

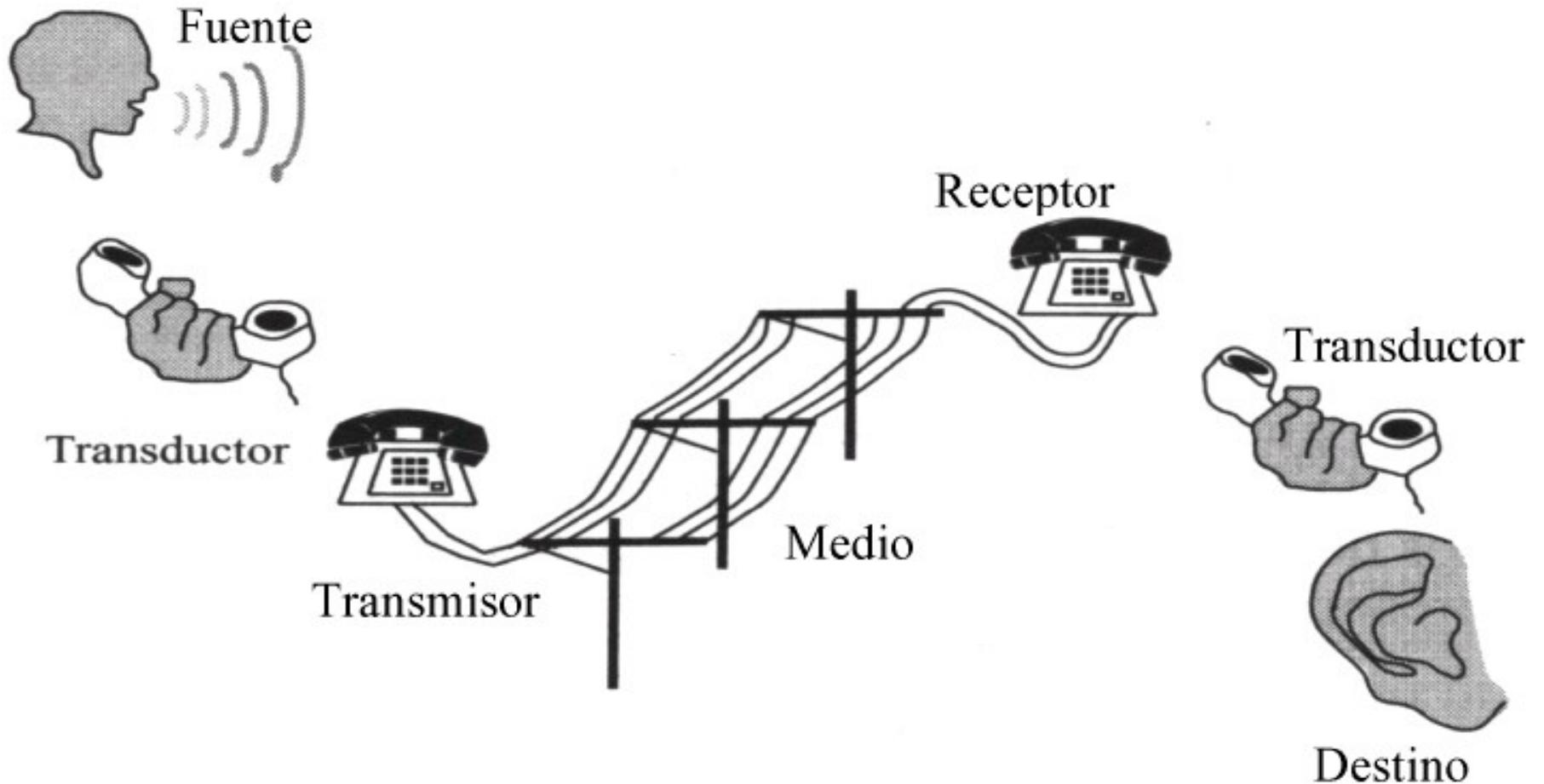
TELECOMUNICACIONES

- ♦ 1835-1844 Samuel F. B. Morse: invención del telégrafo
- ♦ 1858 tendido del cable trasatlántico
- ♦ 1874 Emile Baudot: invención del telégrafo múltiple (varios mensajes simultáneos por la misma línea)
- ♦ 1876 Alexander Graham Bell: invención del teléfono.
- ♦ 1895 telégrafo sin hilos de Marconi (precursor) de las transmisiones por radio
- ♦ 1920 primera emisora de radio
- ♦ 1920 circuito superheterodino de Armstrong (precursor de la radio moderna)
- ♦ 1925 inicio de la televisión
- ♦ 1941 inicio de la radiodifusión comercial en FM
- ♦ 1946 inicio de la TV color
- ♦ 1950 primeros sistemas de telefonía por radio
- ♦ 1957 lanzamiento del Sputnik ruso
- ♦ 1971 aparición de la red ARPANET (Estados Unidos)
- ♦ 1972 aparición de la red IBERPAC (España)
- ♦ 1977 Primer sistema de fibra óptica para prestar servicios telefónicos
- ♦ 1982 inicio de la telefonía móvil en España
- ♦ 1995 inicio de la telefonía GSM en España
- ♦ 2001 inicio de la telefonía GPRS en España
- ♦ 2005 inicio de la telefonía UMTS

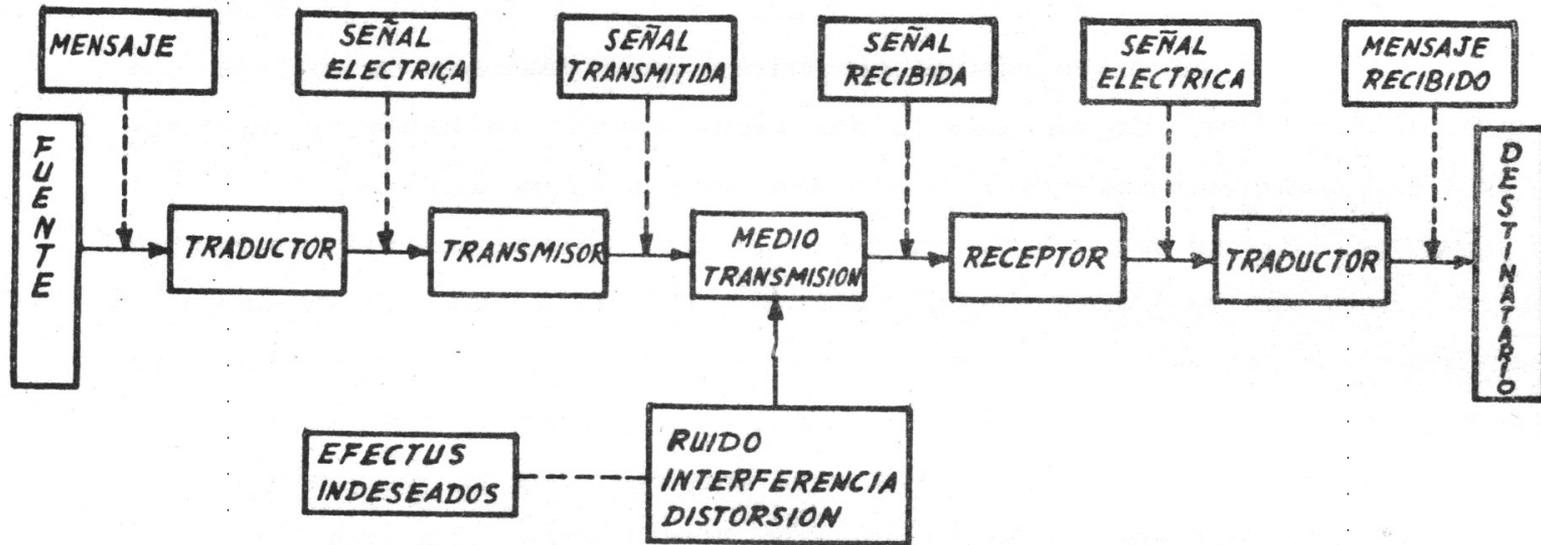
TELECOMUNICACIONES

- Normalización
 - ITU (Unión internacional de Telecomunicaciones)
 - CCITT (Comité Consultivo Internacional de Teléfonos y Telégrafos)
 - CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones)
 - ECMA (Asociación de Fabricantes Europeos de Ordenadores)
 - ANSI (American National Standards Institute)
 - EIA (Electronics Industries Association)
 - ISO (International Standards Organization)
 - IETF (Internet Engineering Task Force)
 - CEN (Comité Europeo para Estandarización)
 - IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)

Ejemplo de comunicación

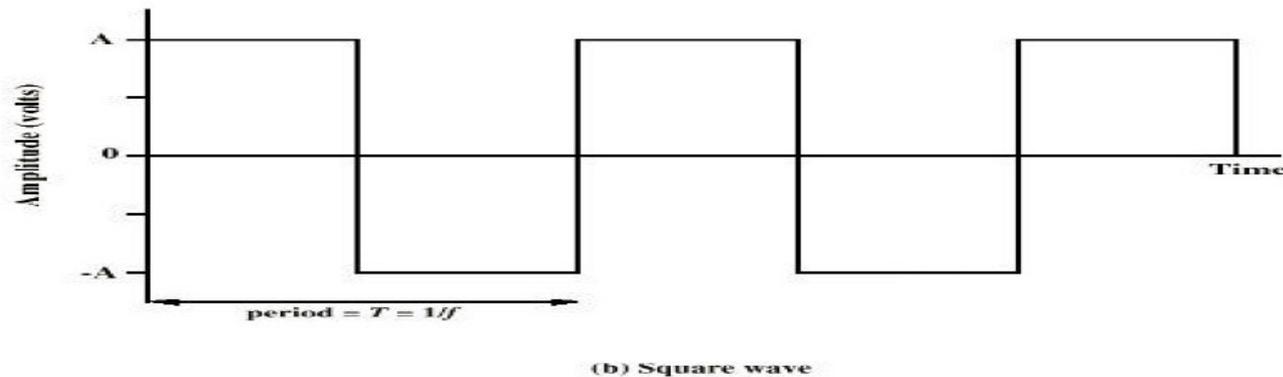
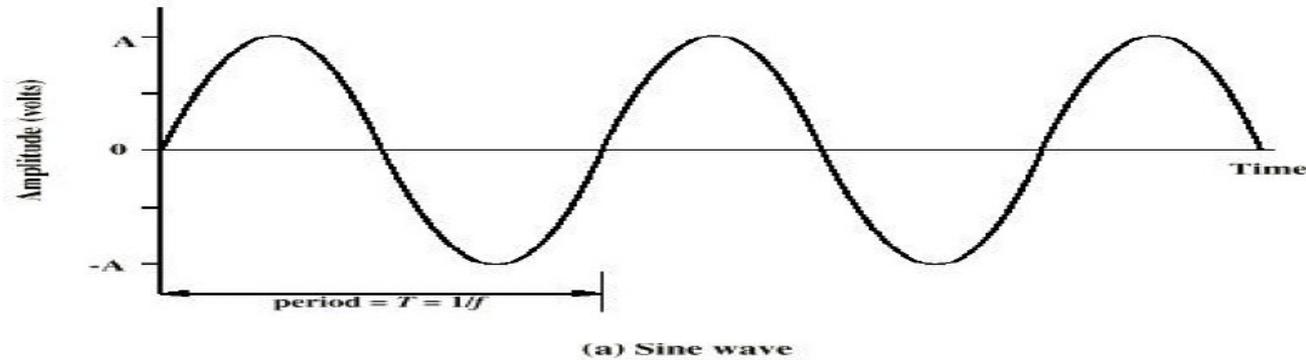


Concepto de comunicación



- **Comunicación** = transvase de información entre dos o más entes a través de un medio físico, mediante signos entendibles por todas las partes y siguiendo unos procedimientos establecidos por todas las partes
- Transductores -> conversión entre magnitudes físicas/electricas
- Transmisor -> adaptación de la señal al medio (modulación)
- Medio de transmisión -> transmisión de las señales eléctricas/ópticas
- Canal de comunicación = transmisor + medio + receptor
- Efectos indeseados -> pérdida de información

Características de las señales



- Señal -> variación de una magnitud física (tensión/corriente) en el tiempo
- Señales periódicas:
 - Periodo (T) = tiempo que tarda en completar un ciclo (segundos)
 - Frecuencia (f) = número de ciclos por segundo -> $f = 1/T$ (Hz = Hertzios)
 - Fase -> posición relativa en el tiempo (grados o radianes)
 - Amplitud (A) -> valor máximo de la magnitud física (voltios, amperios)
 - Potencia (P) -> energía que transmite por unidad de tiempo ($W =$ Watios)

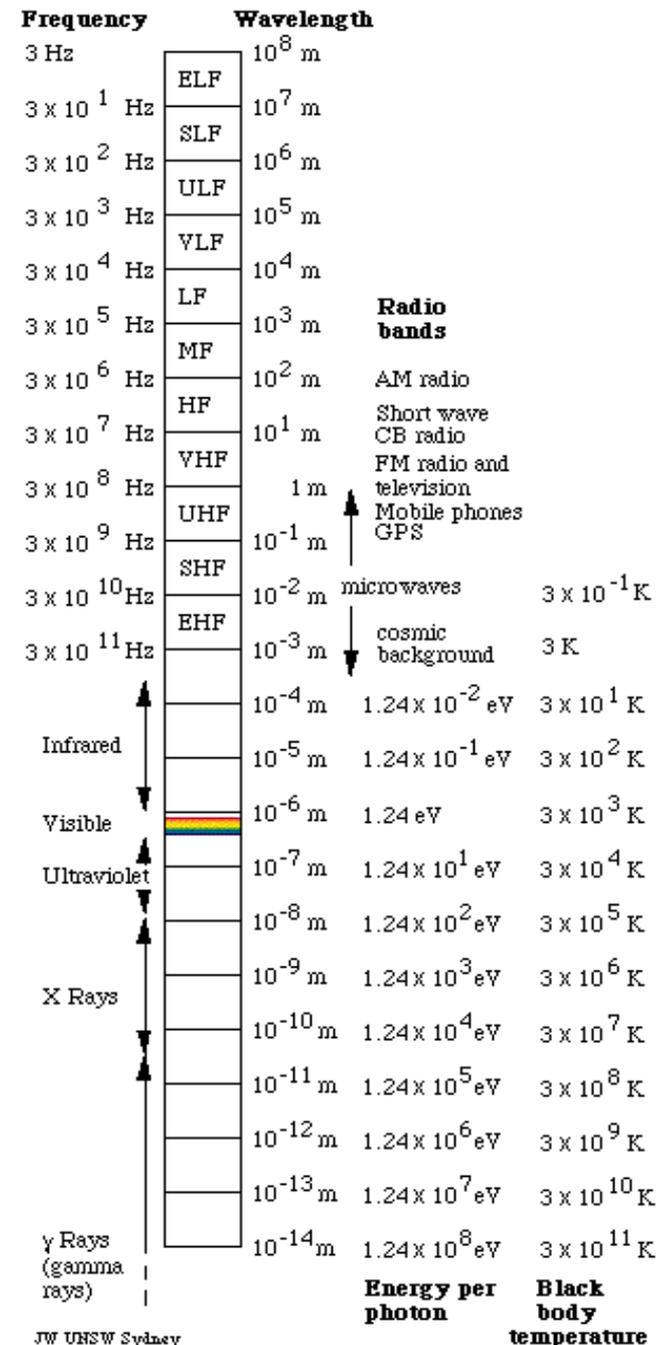
- Ondas -> propagación de la señal en el espacio
 - Velocidad de propagación (v) -> depende del medio
 - Longitud de onda (λ) -> distancia entre dos puntos “en el mismo estado” $\lambda = T \cdot v$
- Señales continuas y discretas:
 - Continua -> puede tomar cualquier valor dentro de un rango (p.e.: números decimales: 1, 1,234, 1,566678, 2, 2,333333333)
 - Discretas -> sólo pueden tomar algunos valores fijados (p.e.: números enteros: 1, 2, 3, 4)

tiempo\amplitud	Continua	Discreta
Continua	ANALÓGICA	Discreta
Discreta	Muestreada	DIGITAL

- Periodicidad
 - Señal periódica -> se repite en el tiempo
 - Señal aperiódica -> no se repite

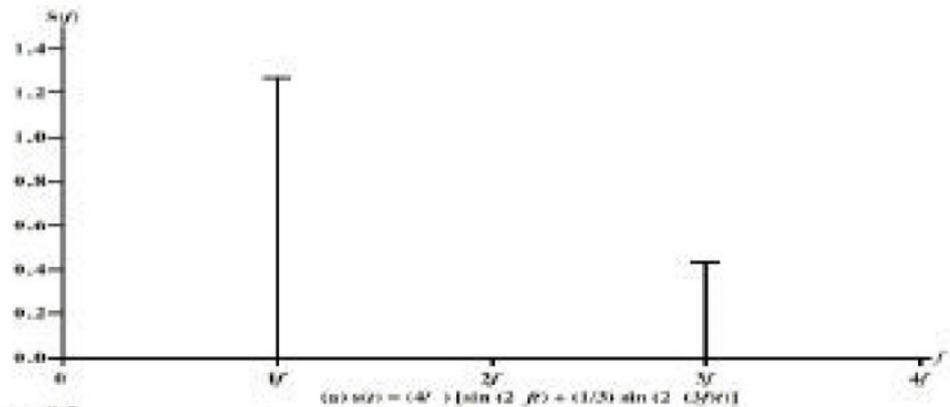
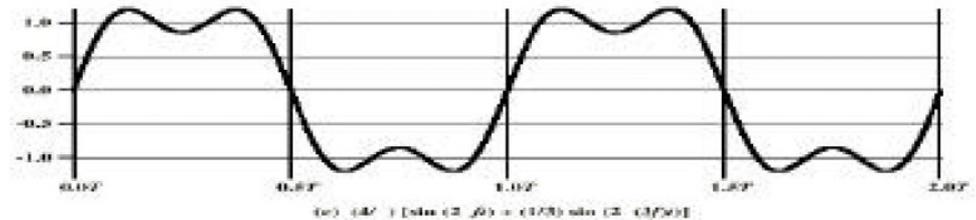
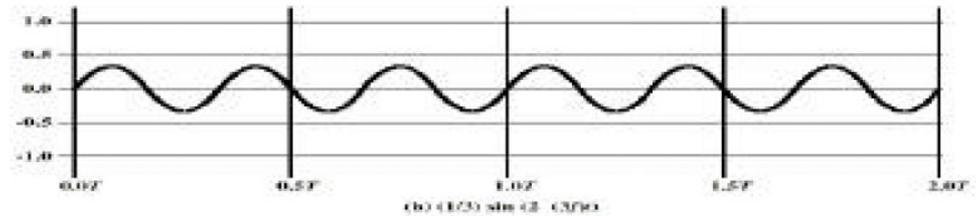
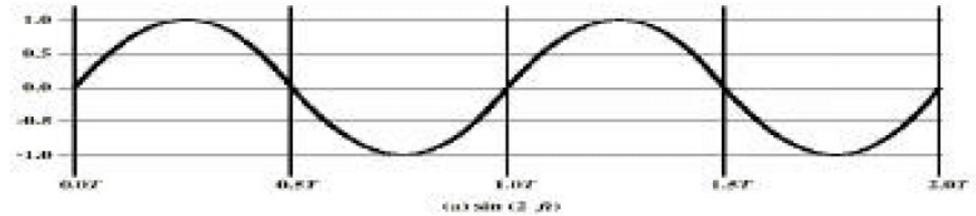
Señales en la frecuencia

- **30 Hz – 300 Hz. Extremely Low Frequency (ELF)** Radiaciones producidas por redes eléctricas.
- **300 Hz - 3 kHz. Ultra Low Frequency (ULF).** Frecuencias de voz.
- **3 - 30 kHz. Very Low Frequency (VLF).** Capacidad de transporte de información muy pequeña.
- **30 - 300 kHz. Low Frequency (LF).** Ondas kilométricas. Propagación a lo largo del mundo mediante reflexión en la ionosfera y en la tierra.
- **300 kHz - 3 MHz. Medium Wave (MW).** (Ondas hectométricas). Peor reflexión, pero aún así se propagan cientos de Km.
- **3 - 30 MHz. High Frequency (HF) o Short Wave (SW).** Ondas decamétricas. Incluye Banda Ciudadana (CB) y radiocontrol. Mayor capacidad de transporte
- **30 - 300 MHz. Very High Frequency (VHF).** Ondas métricas. Incluye FM y televisión. Antenas típicamente de $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda. Transmisión sólo en línea recta. Gran atenuación por obstáculos
- **300 MHz - 3 GHz. Ultra High Frequency (UHF).** Ondas decimétricas. Televisión y telefonía móvil. Gran capacidad de transporte de información.
- **3 - 30 GHz. Super High Frequency (SHF).** Ondas centimétricas o microondas Comunicación por satélite. Muy alta capacidad de transporte. Altísima atenuación por obstáculos
- **30 - 300 GHz. Extra High Frequency (EHF).** Ondas milimétricas. Poco usada por sus dificultades técnicas.

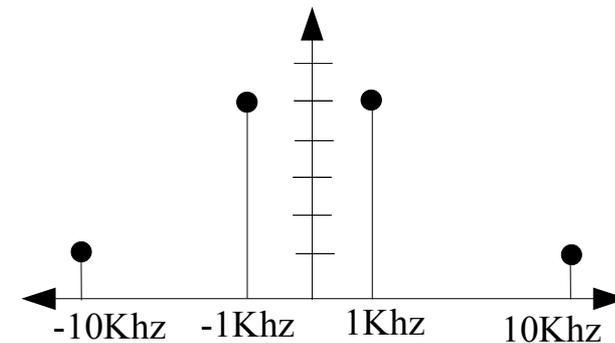
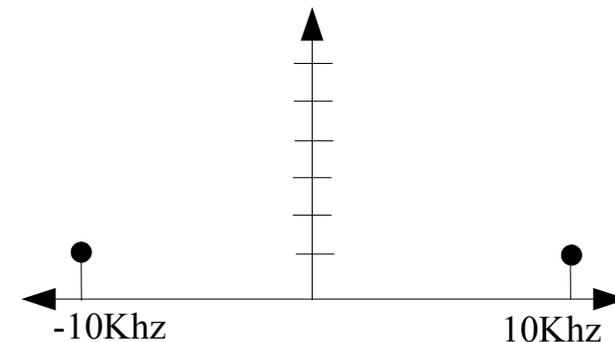
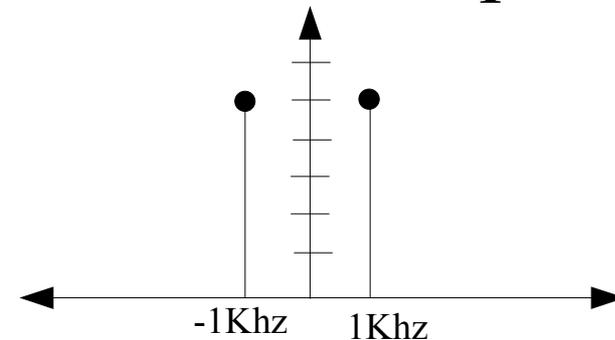
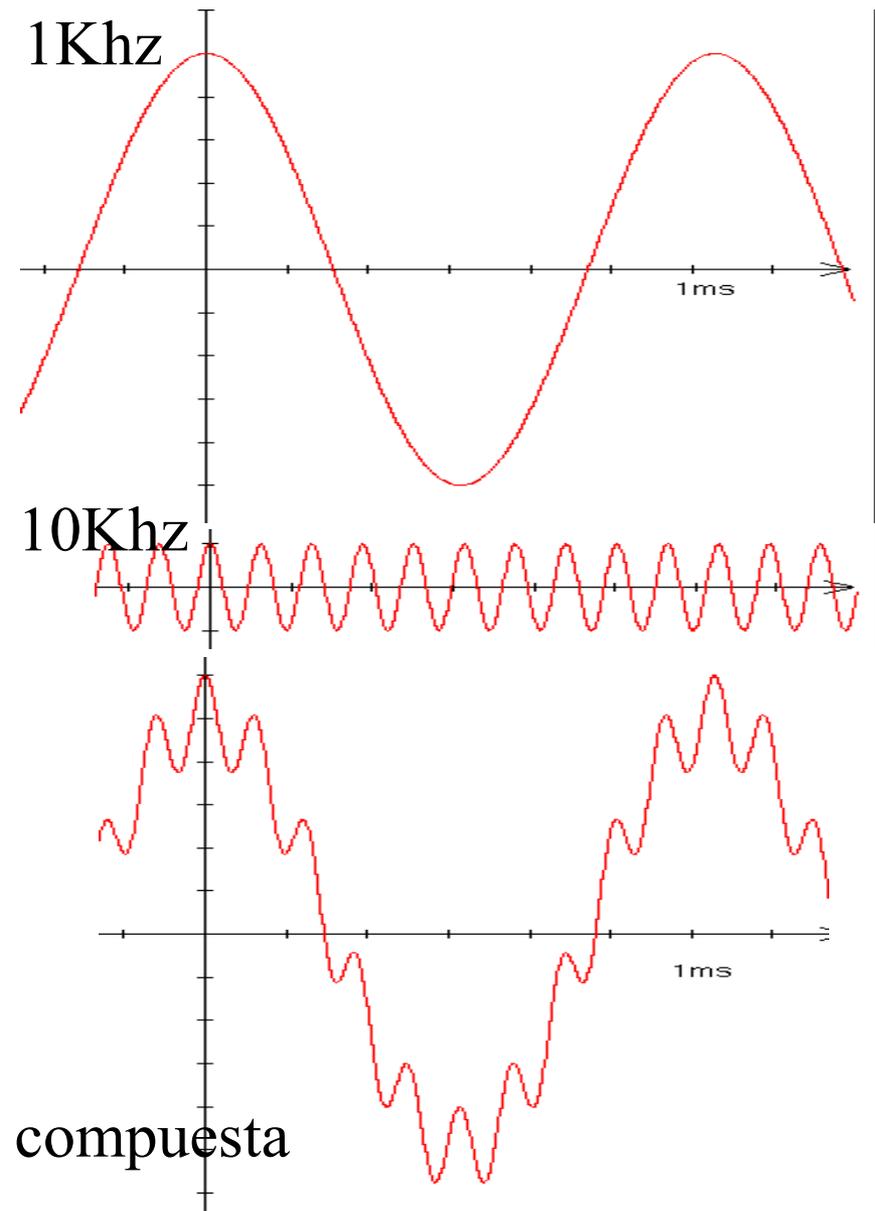


Dualidad tiempo-frecuencia

- Señal sinusoidal = tono puro
- Señal compuesta \rightarrow formada por muchos tonos (Fourier)
- Espectro de la señal \rightarrow frecuencias contenidas en la señal y su amplitud
- Ancho de banda de la señal \rightarrow margen de frecuencias del espectro
- Señales con ancho de banda ilimitado \rightarrow ancho de banda efectivo = banda que contiene la mayor parte de la energía
- Componente continua (DC) = componente de frecuencia 0



Representación tiempo-frecuencia. El espectro



Parámetros de la comunicación

- Atenuación

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_E}{P_S}$$

La atenuación es función de la frecuencia

Función de transferencia del canal -> modifica la señal

Ancho de banda del canal -> atenuación menor del 50% en potencia (3dB)

- Distorsión = efecto por el cual el medio se comporta de forma no lineal
 - Amplitud -> se atenúa de distinta forma las distintas componentes
 - Retardo -> retardo distinto para las distintas componentes
- Perturbaciones = señales ajenas al sistema:
 - Ruido
 - › Ruido térmico -> agitación de los electrones
 - › Ruido de intermodulación -> no linealidad => aparición de armónicos que interfieren
 - › Diafonía -> acoplamiento entre líneas que transportan señales
 - › Ruido impulsivo (ráfagas)
 - Interferencias

Parámetros de la comunicación

- Calidad del canal -> se mide como:

- tasa de error (errores/bit)

- relación S/R = $(S/R)(dB) = 10 \log \frac{P_S}{P_R}$

- Capacidad del canal = velocidad máxima de transmisión

- Teorema de Nyquist: máxima velocidad de modulación = $2W$ (baudios)

- Teorema de Shannon (señales multinivel):

- Amplitud total (señal + ruido) = $\sqrt{S+R}$

- Separación mínima entre niveles = \sqrt{R}

- Máximo número de niveles posibles (según ruido) = $\log_2 \sqrt{1+S/R}$

- Capacidad máxima del canal (bps): $C = W \log_2(1+S/R)$

- Protocolos de transmisión

- Protocolo = conjunto de reglas que hacen posible la comunicación

- El protocolo controla la comunicación transmitiendo información de control junto con los datos

Representación digital de la información

- Unidades de información

- Información de un suceso a: $I(a) = \log_x \frac{1}{P(a)}$

- $X = 2$ -> Shannon

- $X = e$ -> NAT

- $X = 10$ -> Hartley

- Representación de dígitos binarios -> bits

- Si '0' y '1' son equiprobables => 1 bit \equiv 1 Shannon

$$I('0') = \log_2 \frac{1}{0,5} = 1 \text{ Shannon}$$

$$I('1') = \log_2 \frac{1}{0,5} = 1 \text{ Shannon}$$

Adaptación de impedancias

- Potencia transmitida

$$P_L = |E|^2 \cdot \frac{R_L}{|Z_S + Z_L|^2}$$

Potencia máxima para adaptación de impedancias

- Reflexión de ondas -> coef. de reflexión de potencia

$$R_p = \frac{P_{\text{incidente}}}{P_{\text{reflejada}}} = \left[\frac{|Z_L - Z_S|}{|Z_L + Z_S|} \right]^2$$

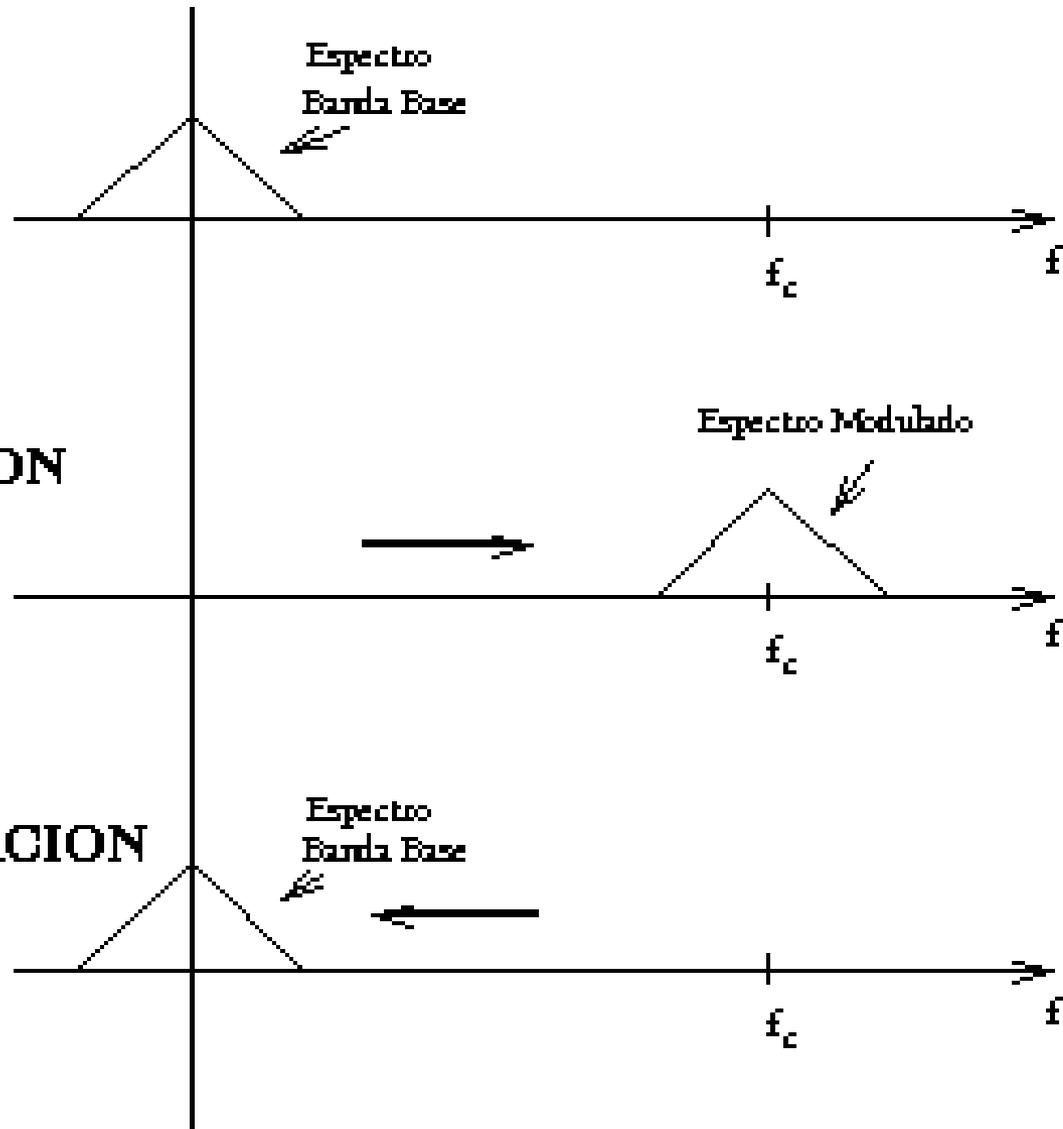
Reflexión nula para adaptación de impedancias

Modulación

- Modulación = variación de la frecuencia de la señal para permitir su transmisión por el medio
 - Facilidad de radiación => longitud antena $\sim \lambda$
 - Reducción del ruido e interferencias
 - Posibilidad de multiplexación
 - Superar limitaciones de los equipos -> funcionamiento óptimo a determinadas frecuencias (p.e. amplificadores)
- “Superposición” de dos señales
 - Moduladora (baja frecuencia) -> señal de información
 - Portadora (alta frecuencia) -> señal que se transmite (modificada)

Port.\Mod.	Analógica	Digital
Analógica	Modulación analógica	Modulación Digital
Digital	Codificación o modulación por impulsos	Codificación

Modulación



MODULACION

DEMULACION

SE UTILIZA UNA PORTADORA SENOIDAL (SEÑAL MODULADA):

$$a_c = A_c \text{ sen } (2\pi f_c t + \theta_c)$$

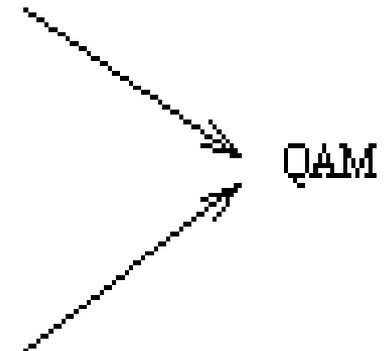
MODULACION ANALOGICA: SEÑAL ANALOGICA COMO MODULADORA

MODULACION DIGITAL : SEÑAL DIGITAL COMO MODULADORA

A_c : MODULACION EN AMPLITUD (AM, ASK)

f_c : MODULACION EN FRECUENCIA (FM, FSK)

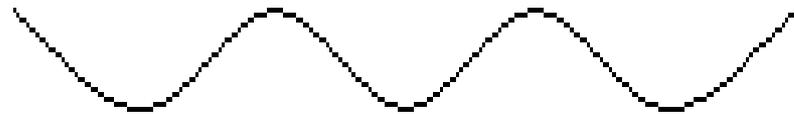
θ_c : MODULACION EN FASE (PM, PSK)



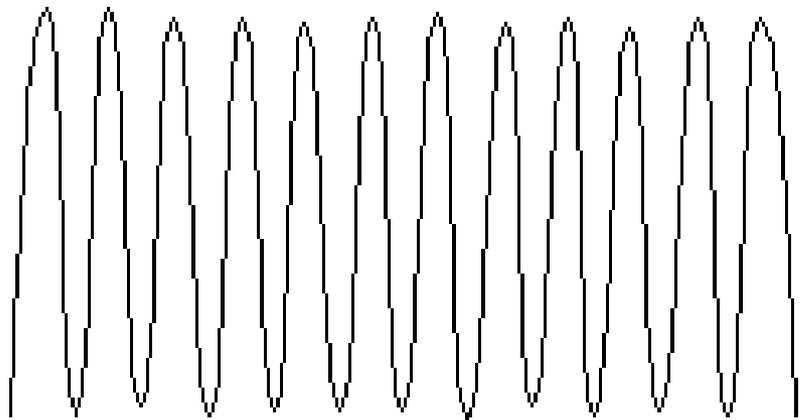
QAM

Modulación analógica

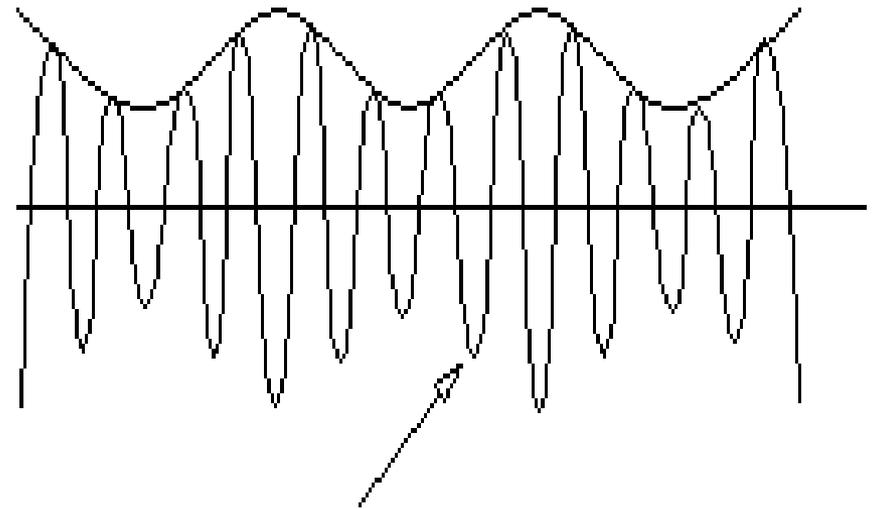
MODULACION ANALOGICA EN AMPLITUD



MODULADORA ANALOGICA

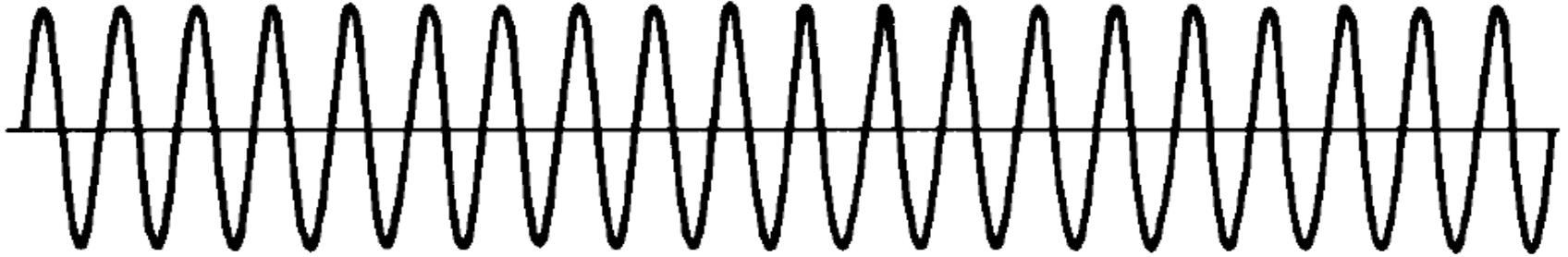


PORTADORA

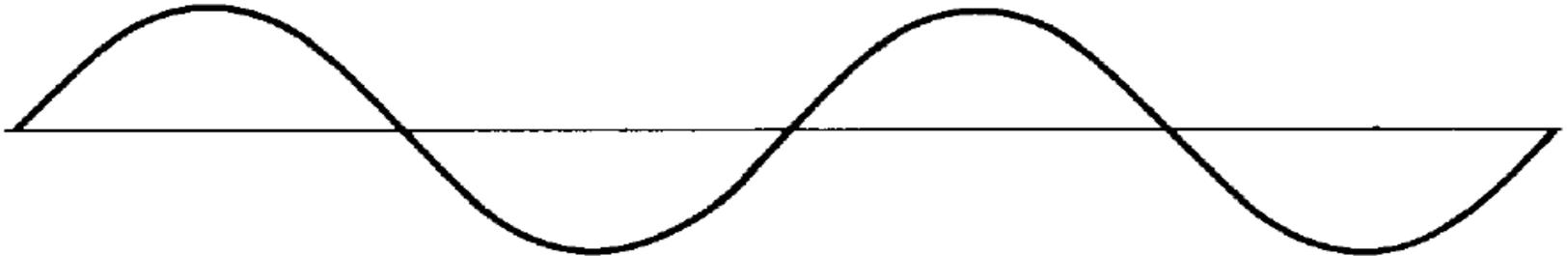


portadora modulada analógicamente

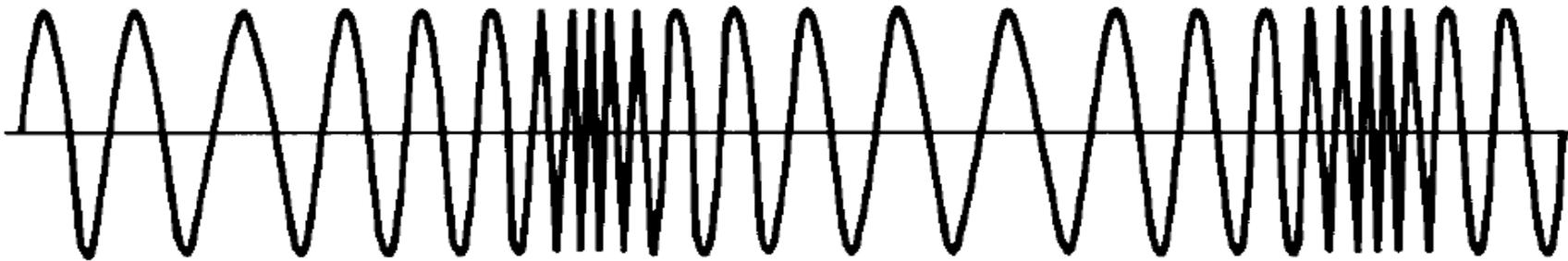
Modulación en frecuencia (FM)



Portadora

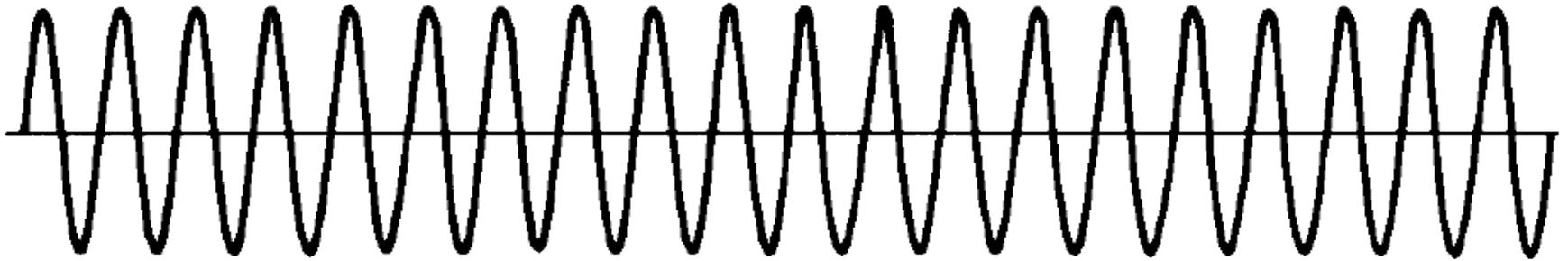


Moduladora



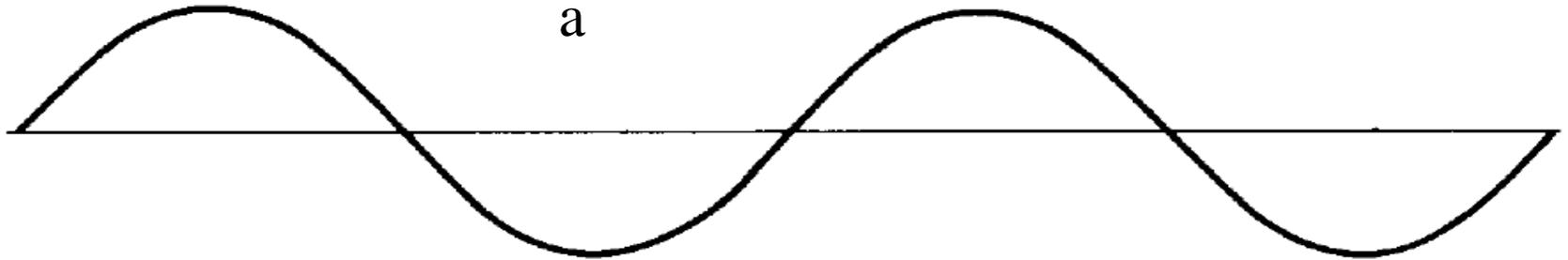
Portadora modulada

Modulación en fase (PM)

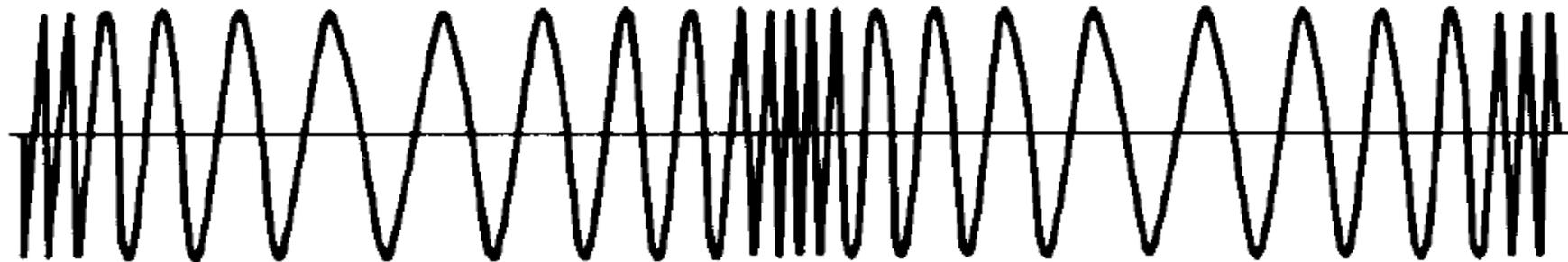


Portador

a

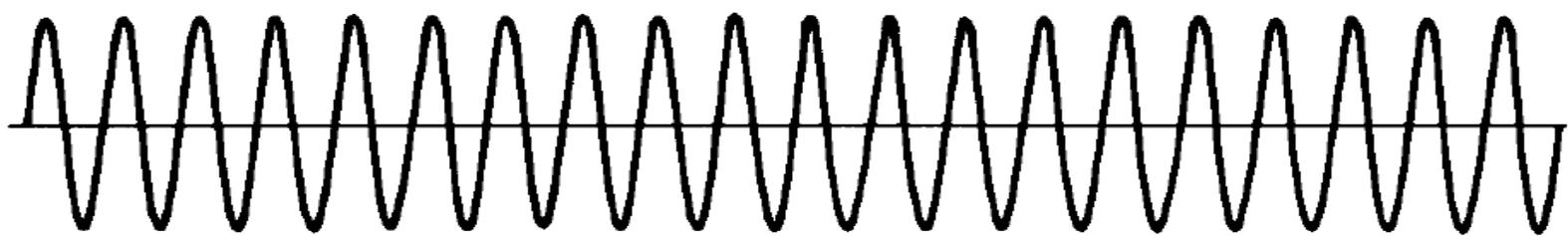


Moduladora

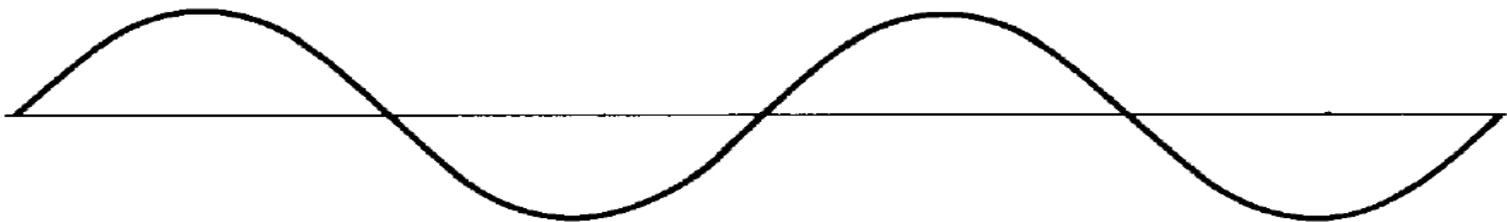


Portadora modulada

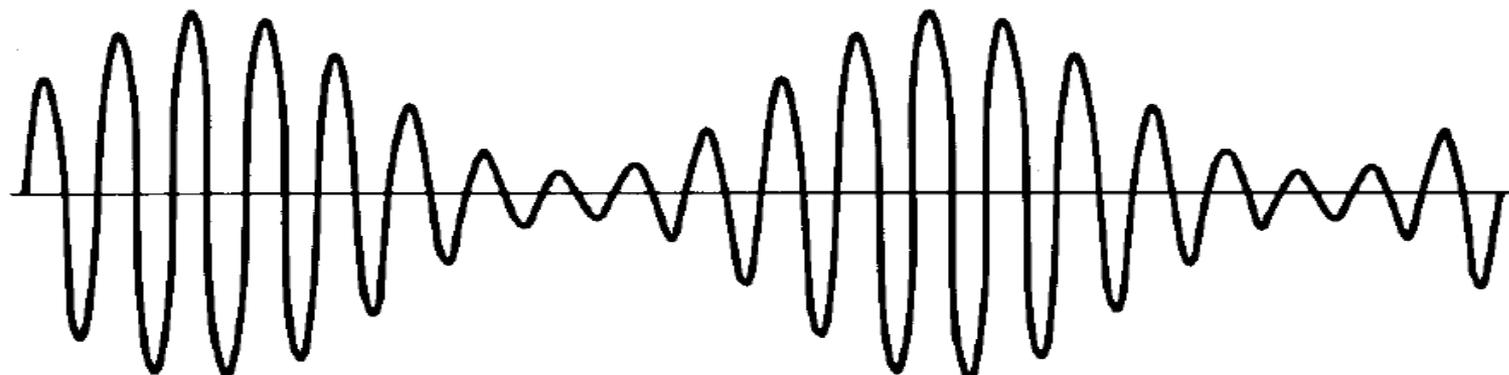
Portadora



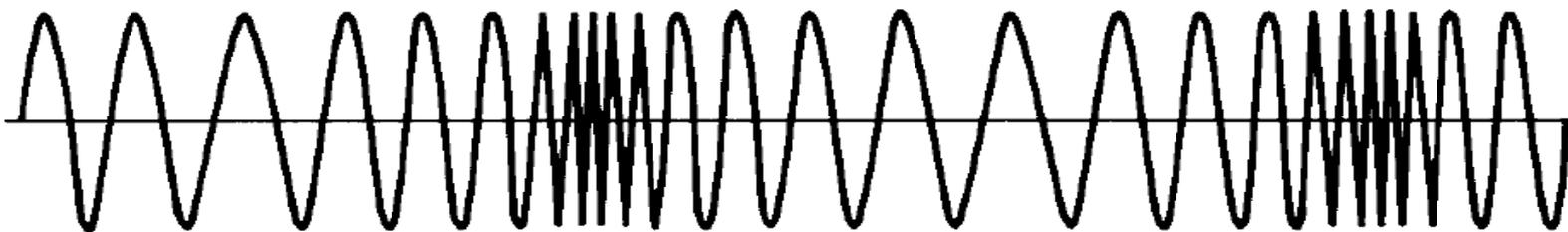
Moduladora



AM



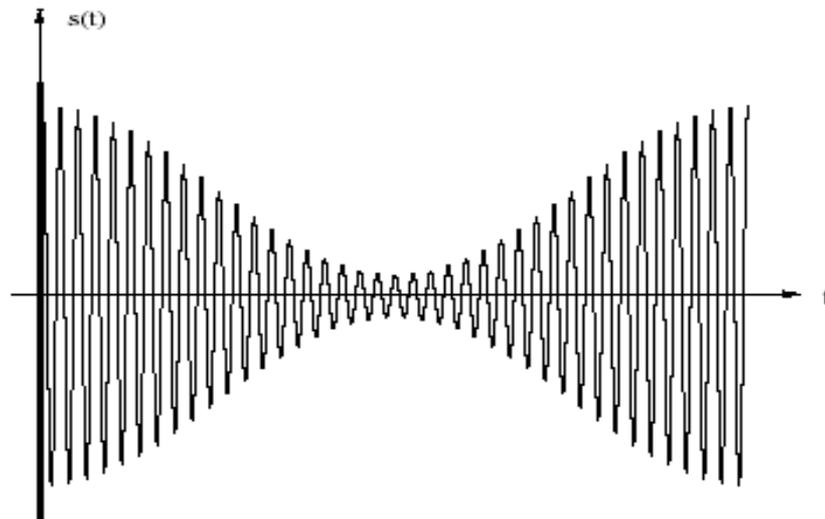
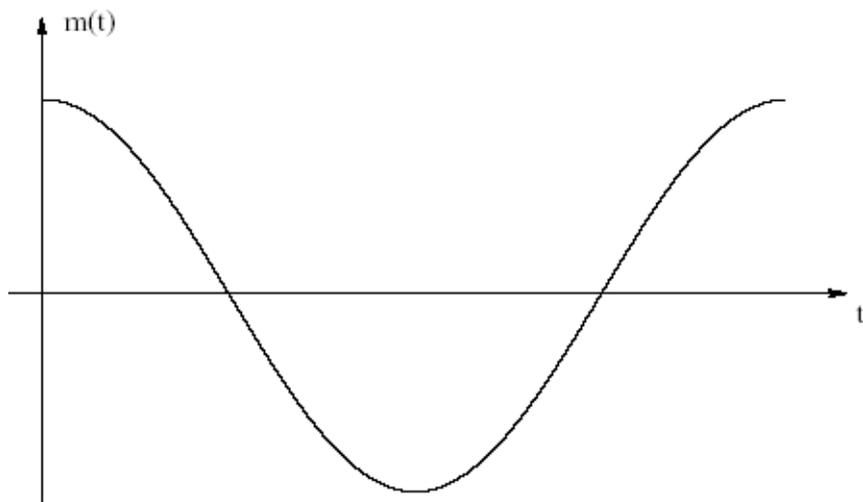
FM



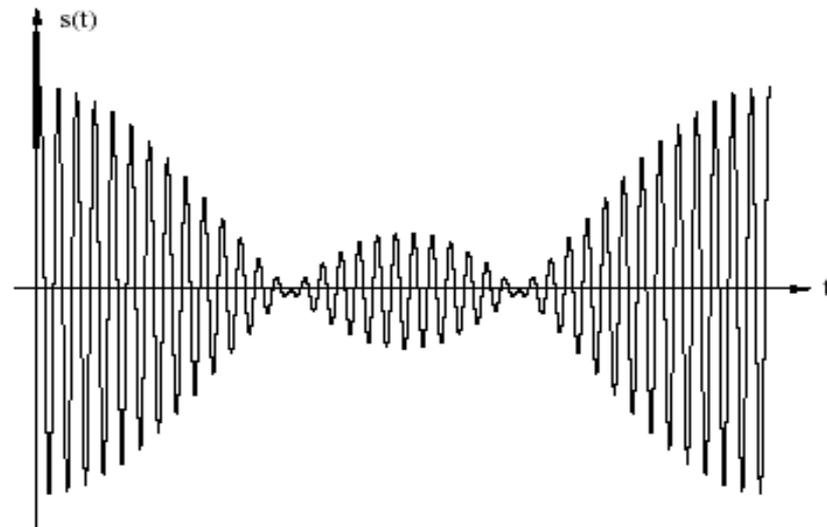
PM



Modulación de AM



Señal modulada sin sobremodulación.



Señal modulada con sobremodulación.

- moduladora $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- portadora sin modular
 $S_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$
- portadora modulada

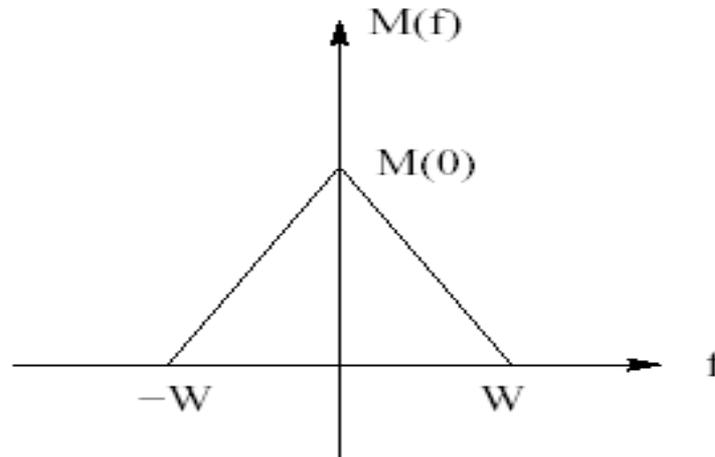
$$S_{AM}(t) = A_p [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(2\pi f_p t)$$

$$|k_a \cdot m(t)| < 1 \quad \text{sin sobremodulación}$$

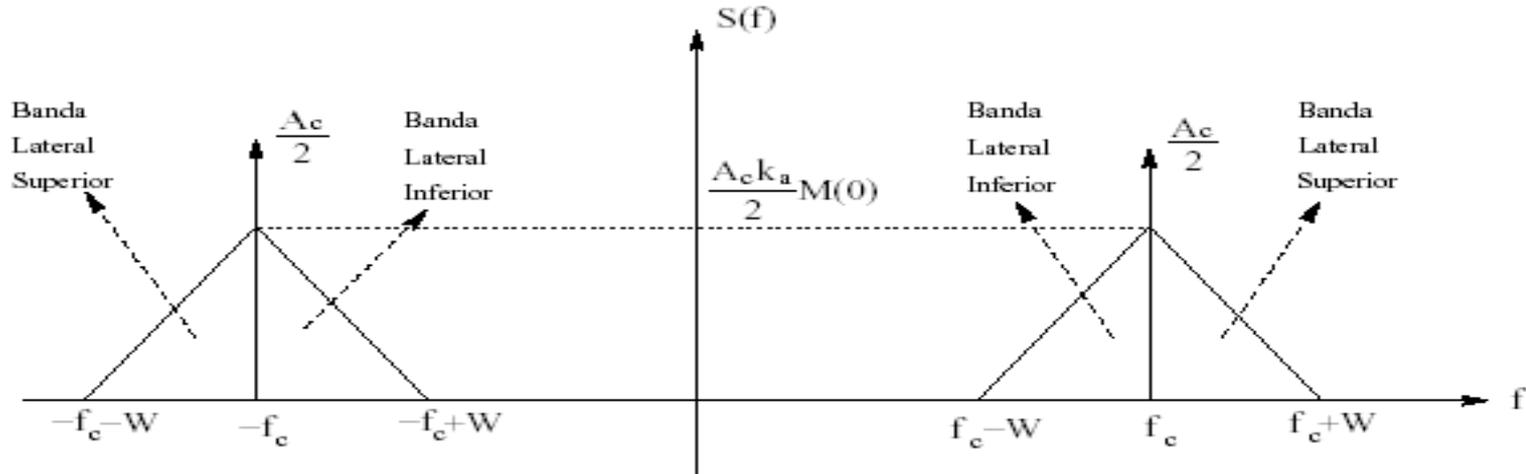
$$|k_a \cdot m(t)| < 1 \quad \text{con sobremodulación}$$

$$\text{índice de modulación} \quad u = k_a \cdot A_m$$

Modulación de AM vista en frecuencia



Espectro de la señal moduladora.

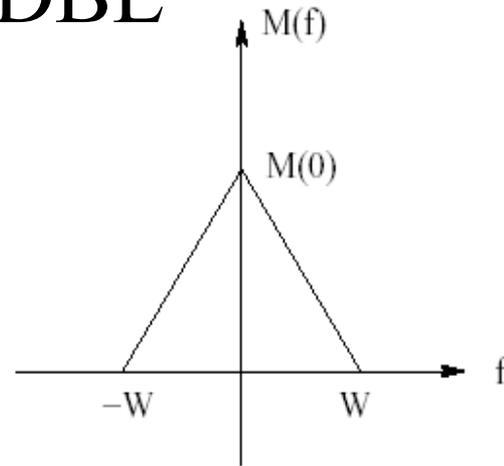
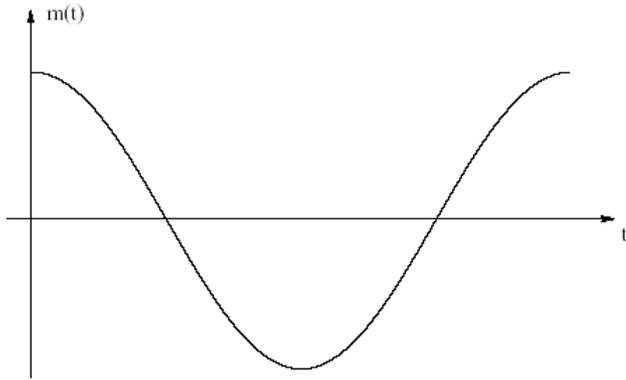


Espectro de la señal modulada.

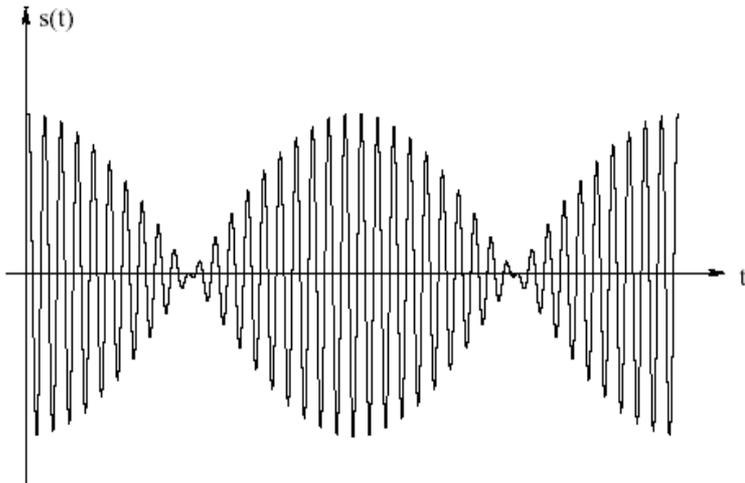
$$B_T = 2W$$

Rendimiento máximo potencia = 17%

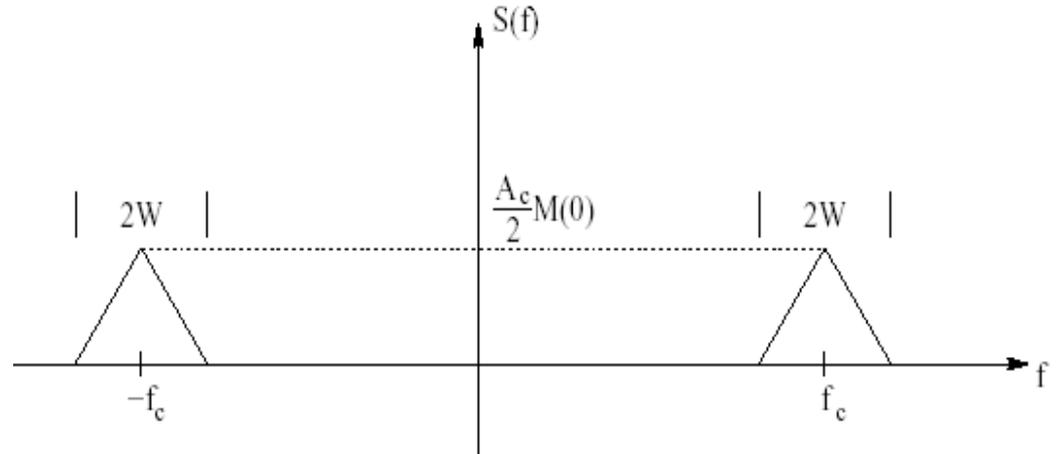
Modulación DBL



Espectro de la señal moduladora.



portadora modulada



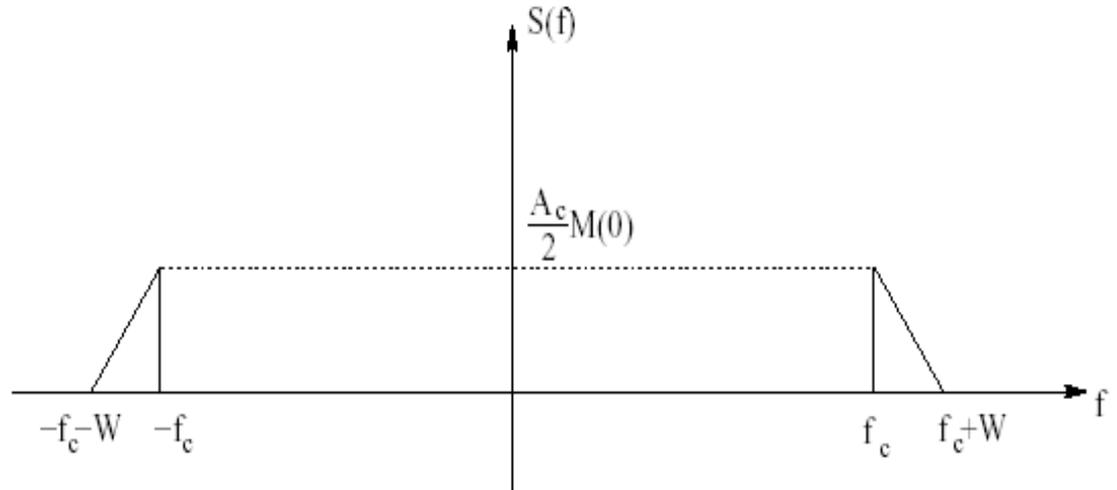
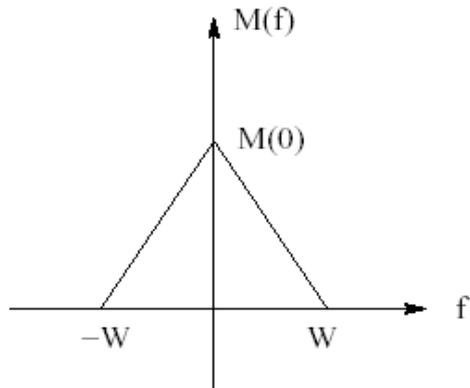
Espectro de la señal modulada DSB.

$$S_{DBL}(t) = p(t) \cdot m(t) = A_p \cos(2\pi f_p t) \cdot m(t)$$

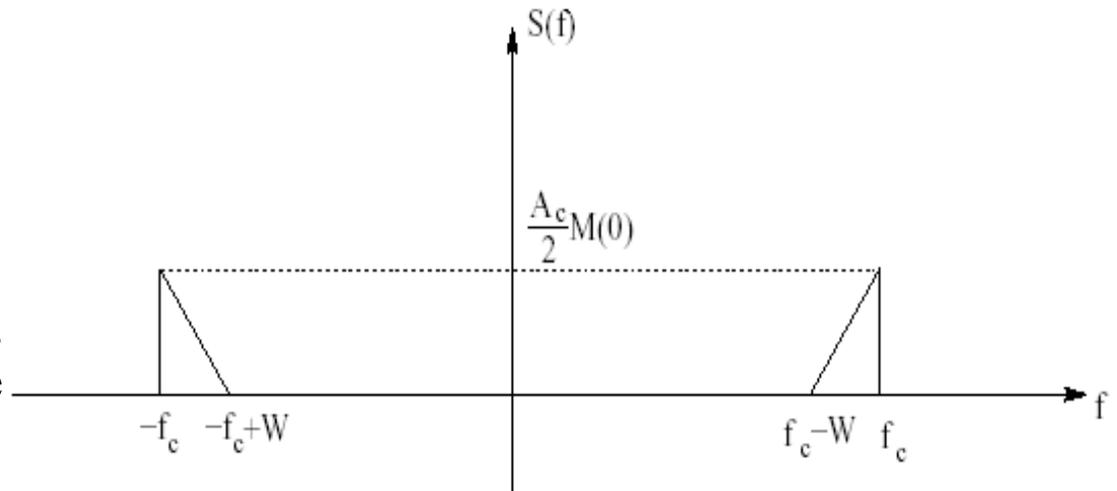
Rendimiento máximo = 50% $B_T = 2W$

Receptores más complejos

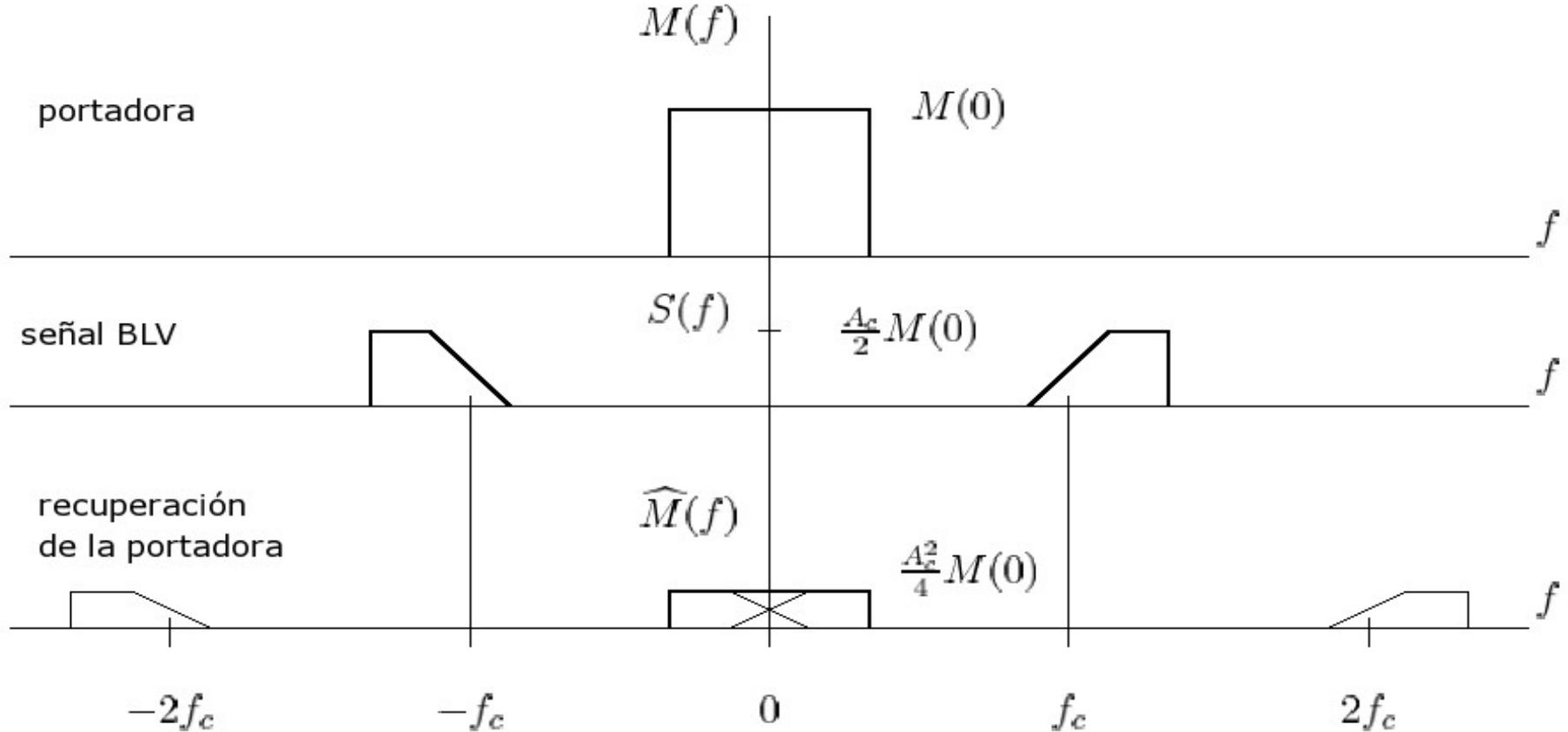
Modulación BLU



- Rendimiento máximo = 100
- $B_T = W$
- Circuitos muy complejos, con filtros muy difíciles de hacer.

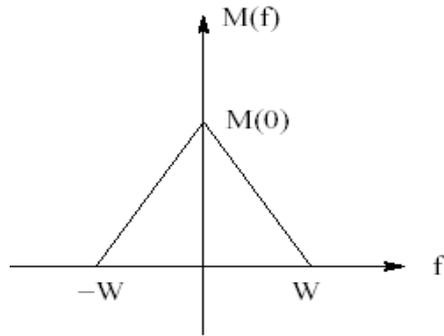


Modulación BLV

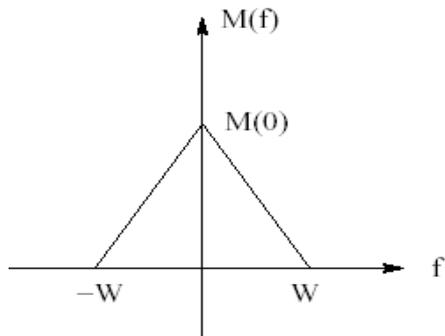


- A partir de DBL, por filtrado \rightarrow una banda y parte de la otra
- Rendimiento máximo cercano a 100%
- B_T cercano a W
- Circuitos más sencillos que en BLU \rightarrow filtro más sencillo
- La señal “que falta” en una banda se compensa con “la que sobra” en la otra. Aparece algo de distorsión

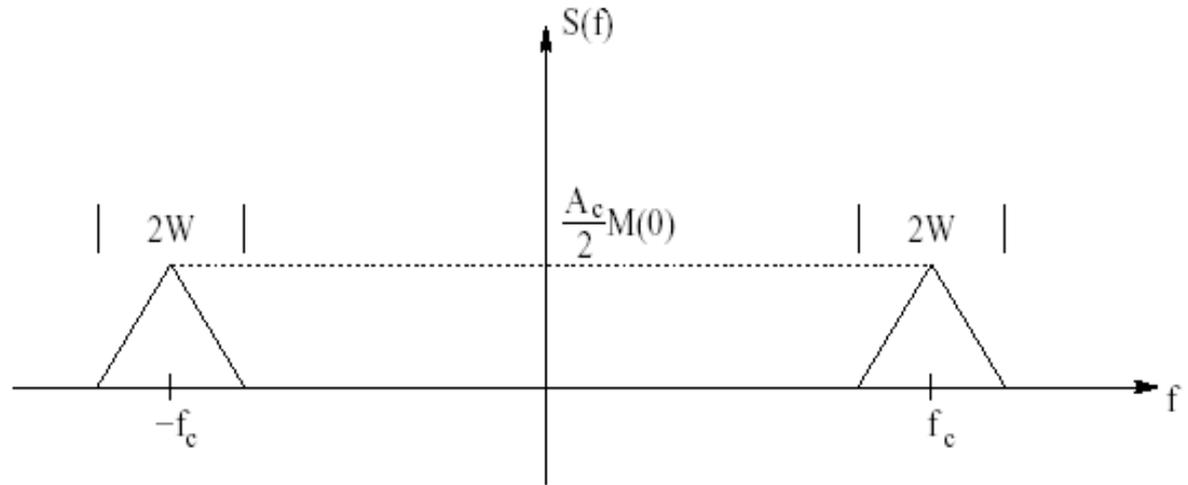
Modulación en cuadratura QAM



moduladora m_1



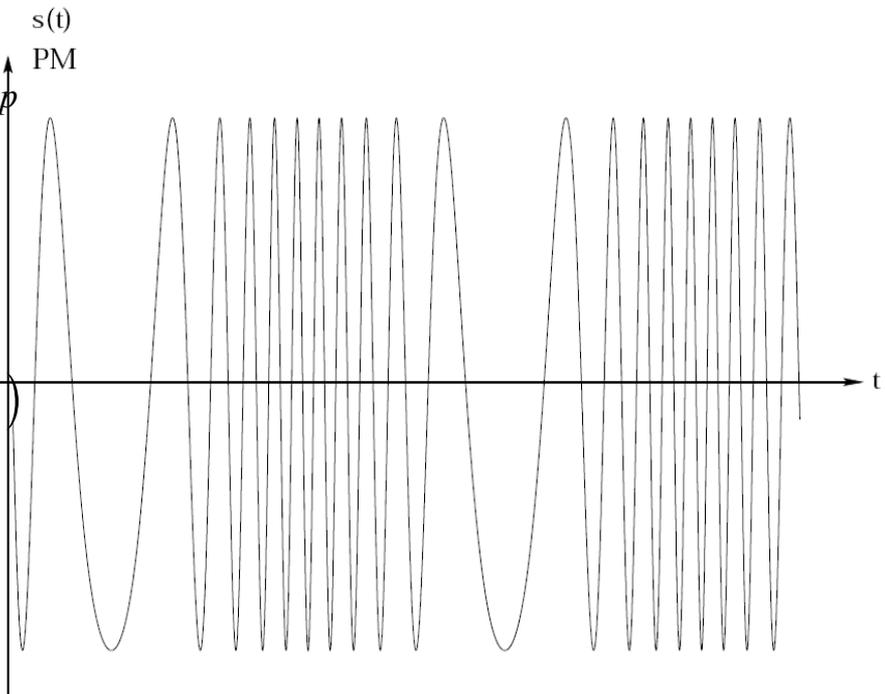
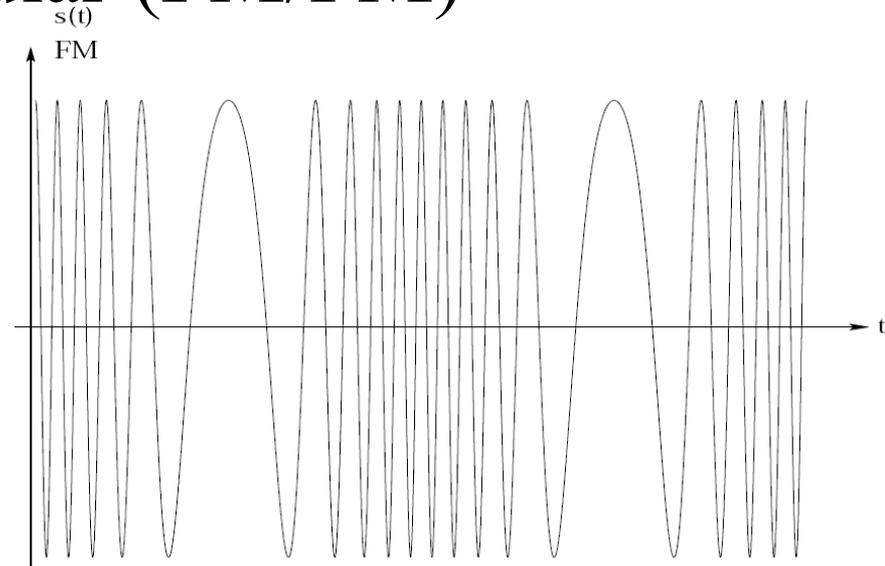
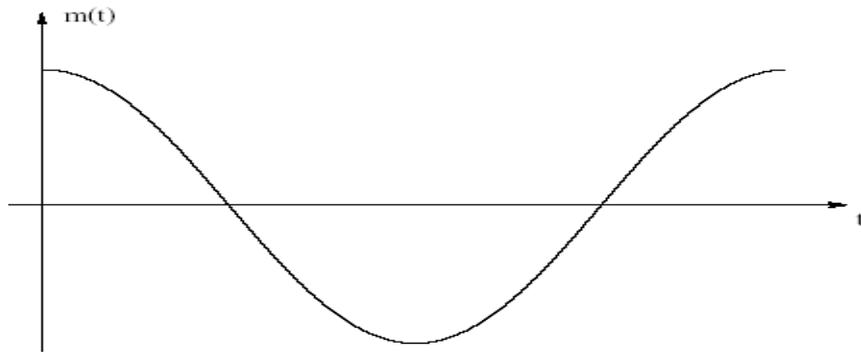
moduladora m_2



$$S_{QAM}(t) = A_p m_1(t) \cos(2\pi f_p t) + A_p m_2(t) \sin(2\pi f_p t)$$

- Modulación de dos señales W
- Transmisión de las señales desfasadas 90°
- $B_T = 2W$

Modulación angular (FM/PM)



- moduladora $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- portadora sin modular

$$S_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \theta_p)$$

- La fase instantánea es $\theta_i(t) = 2\pi f_p t + \theta_p$
- La amplitud de la moduladora modifica la fase instantánea de la moduladora, modificando:

- $f_p \rightarrow$ modulación FM

$$S_{FM}(t) = A_p \cos\left(2\pi f_p t + 2\pi K_f \int m(t) dt\right)$$

- $\theta \rightarrow$ modulación PM

$$S_{PM}(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + K_p m(t))$$

k_f y k_p = sensibilidad del modulador

Modulación de FM vista en frecuencia

- Modulación en FM de un tono puro:

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

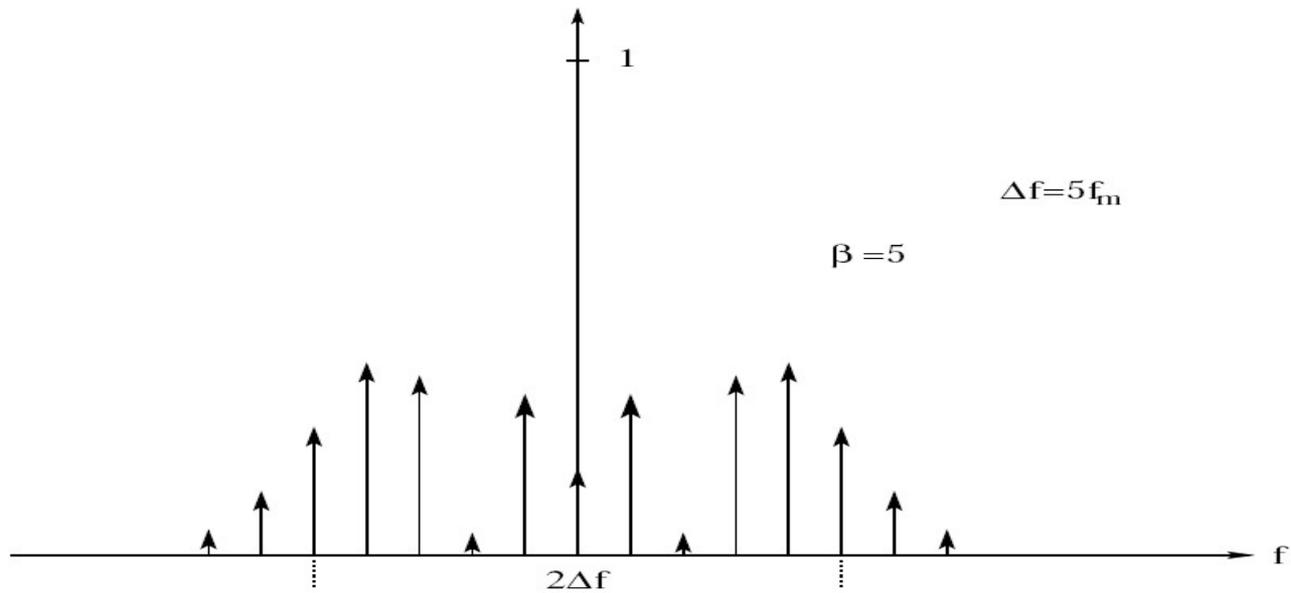
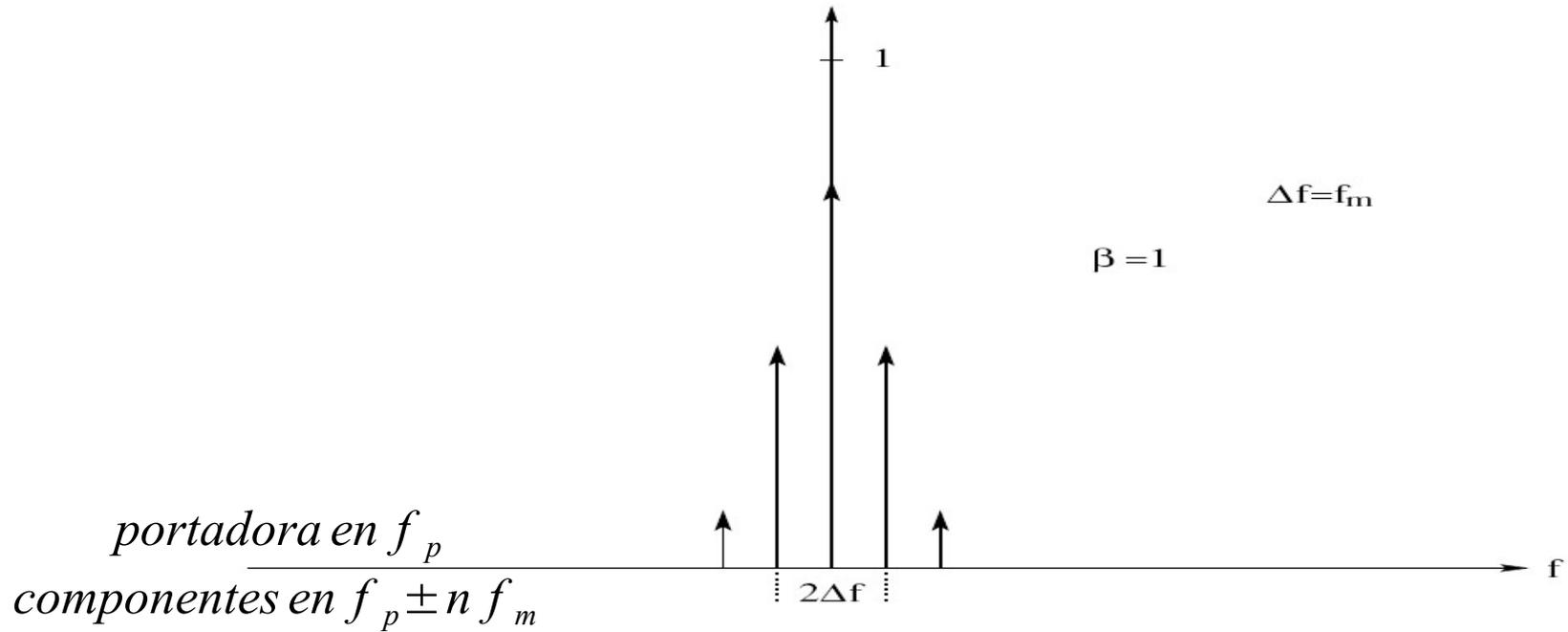
$$S_{FM}(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \beta \operatorname{sen}(2\pi f_m t))$$

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad \text{es el índice de modulación}$$

$$\Delta f = K_f A_m = \text{máxima desviación en frecuencia}$$

- β pequeño ($< 0,3$) \rightarrow FM de banda estrecha
 - Baja calidad (válido para telefonía inalámbrica, radioafinación..)
 - Poco ancho de banda (aprox 2W, como AM)
 - Espectro similar a AM pero BLI cambia fase 180°
- β grande \rightarrow FM de banda ancha
 - Alta calidad (radiodifusión comercial)
 - Gran ancho de banda: $2 f_m (1 + \beta)$

Espectro de la señal FM (un tono)



Espectro de la señal FM (dos tonos)

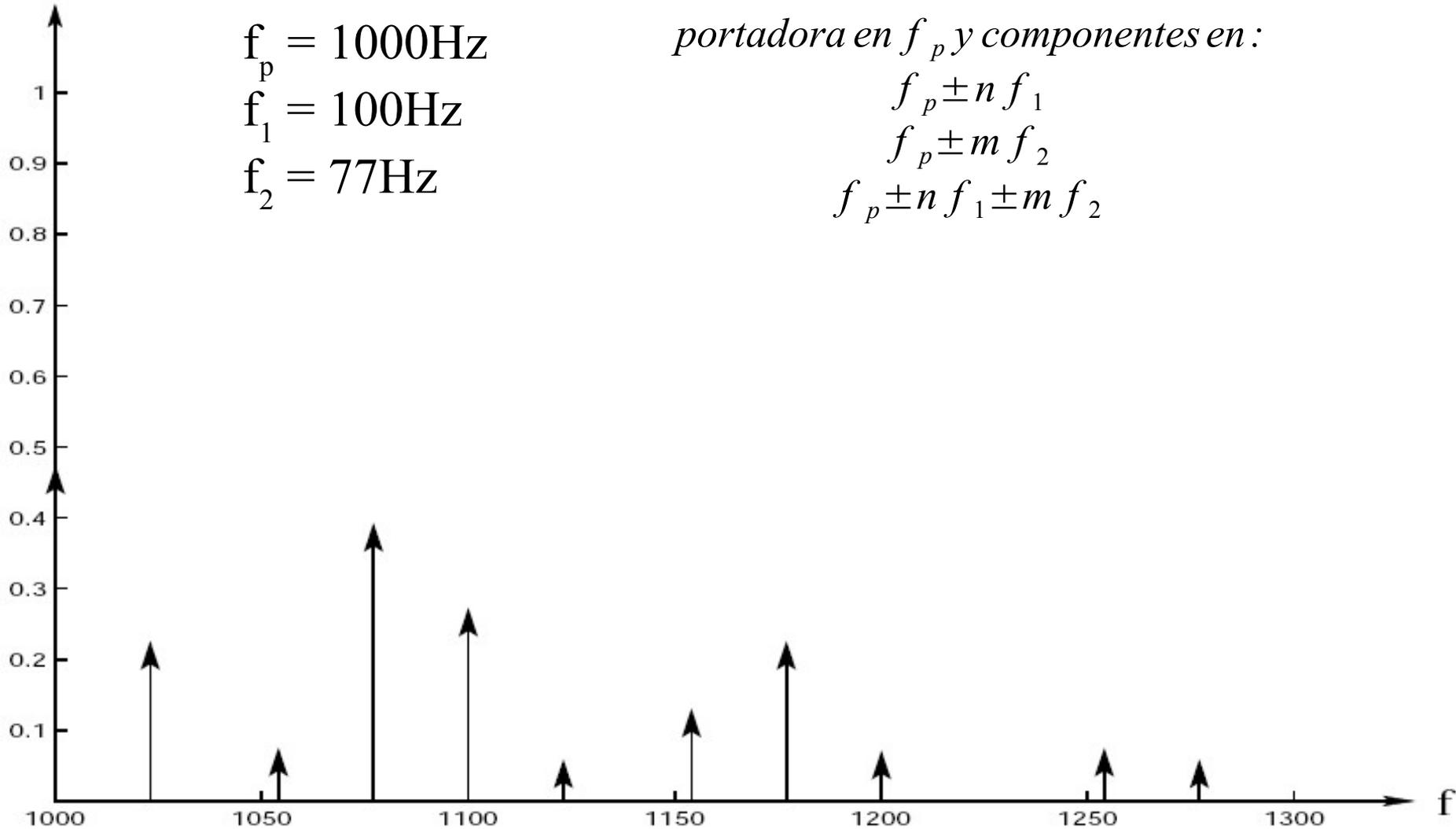
$$f_p = 1000\text{Hz}$$
$$f_1 = 100\text{Hz}$$
$$f_2 = 77\text{Hz}$$

portadora en f_p y componentes en:

$$f_p \pm n f_1$$

$$f_p \pm m f_2$$

$$f_p \pm n f_1 \pm m f_2$$



Ancho de Banda en FM

- Ancho de banda infinito
- Se considera ancho de banda según potencia (ancho de banda efectivo de transmisión)
- 98% de la potencia total.
- Regla de Carson:

$$B_T = 2(\Delta f + f_m) = 2 f_m (\beta + 1)$$

- Radiodifusión comercial

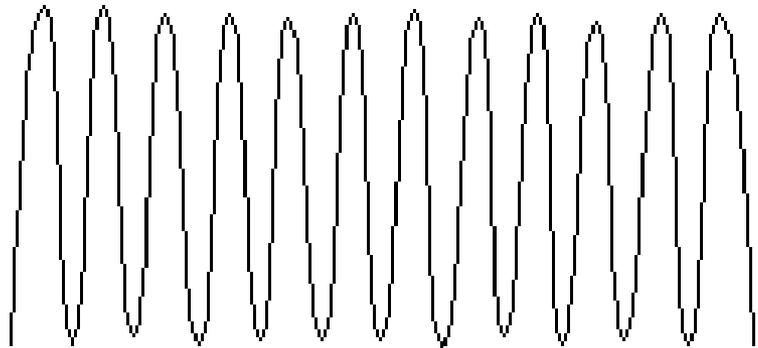
Desviación de frecuencia $\rightarrow \Delta f_m = 75\text{Khz}$

Ancho de banda de la señal $15\text{Khz} \rightarrow f_{m_{\max}} = 15\text{Khz}$

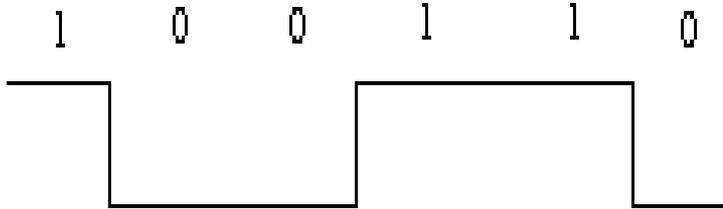
Ancho de banda (FM mono) $B_T = 2(75\text{Khz} + 15\text{Khz}) = 180\text{Khz}$

Modulación digital con portadora analógica

Modulación en amplitud (ASK)

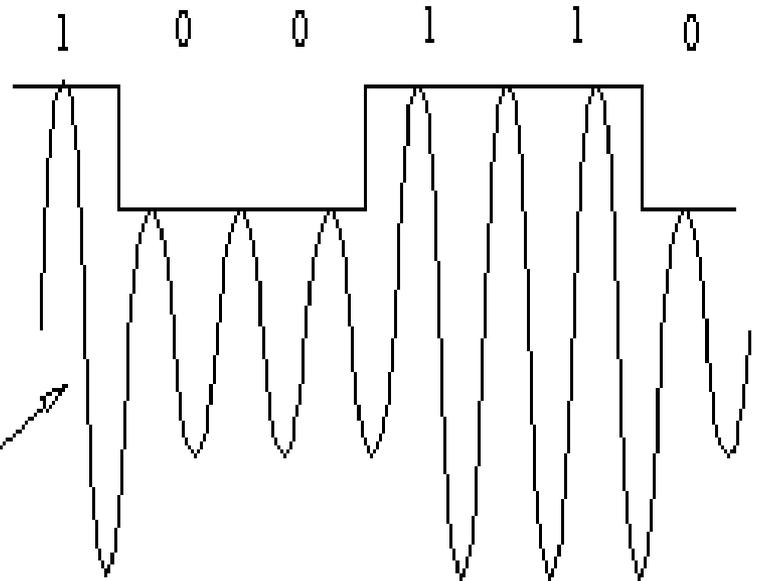


PORTADORA



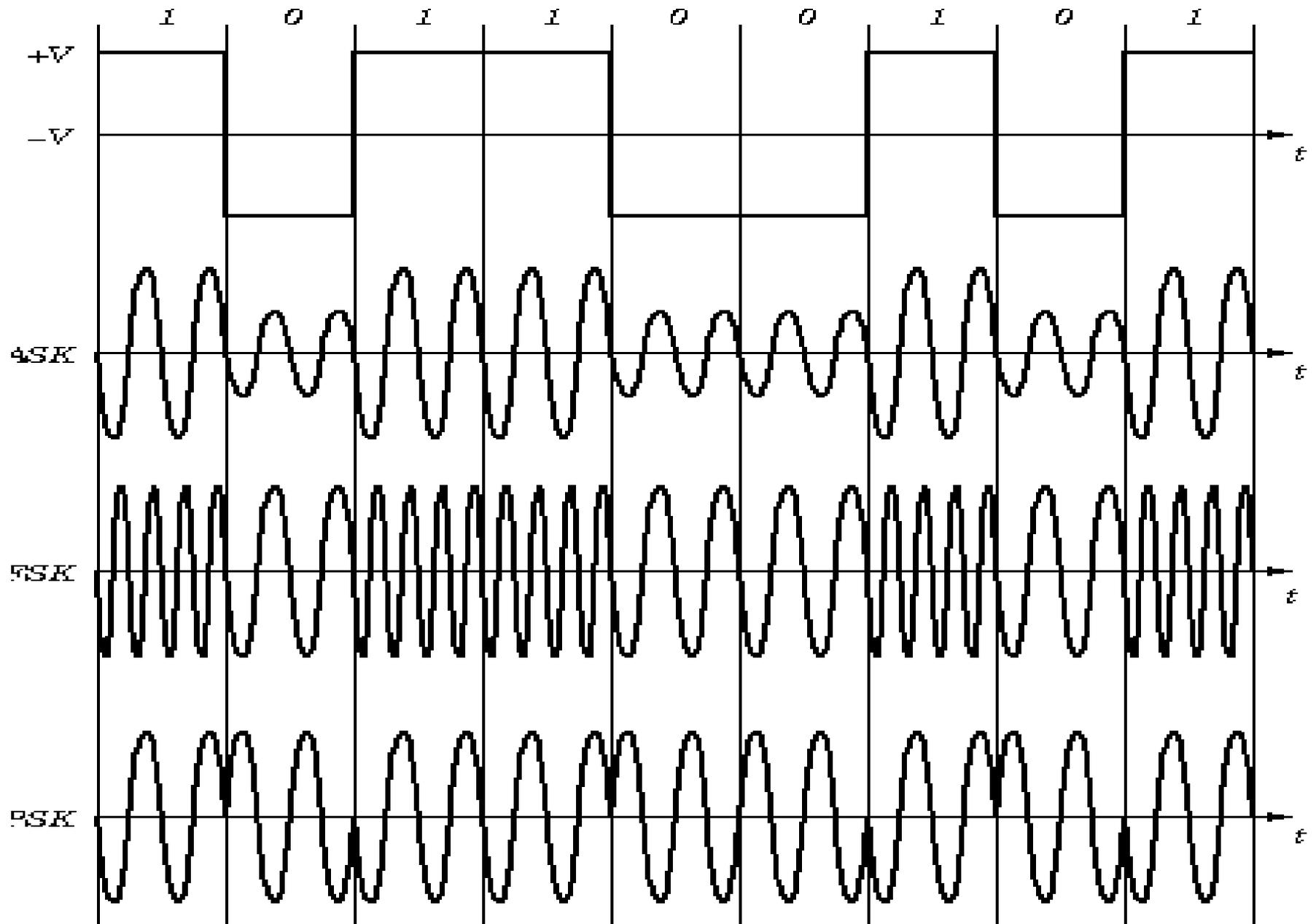
MODULADORA DIGITAL

MODULACION DIGITAL EN AMPLITUD

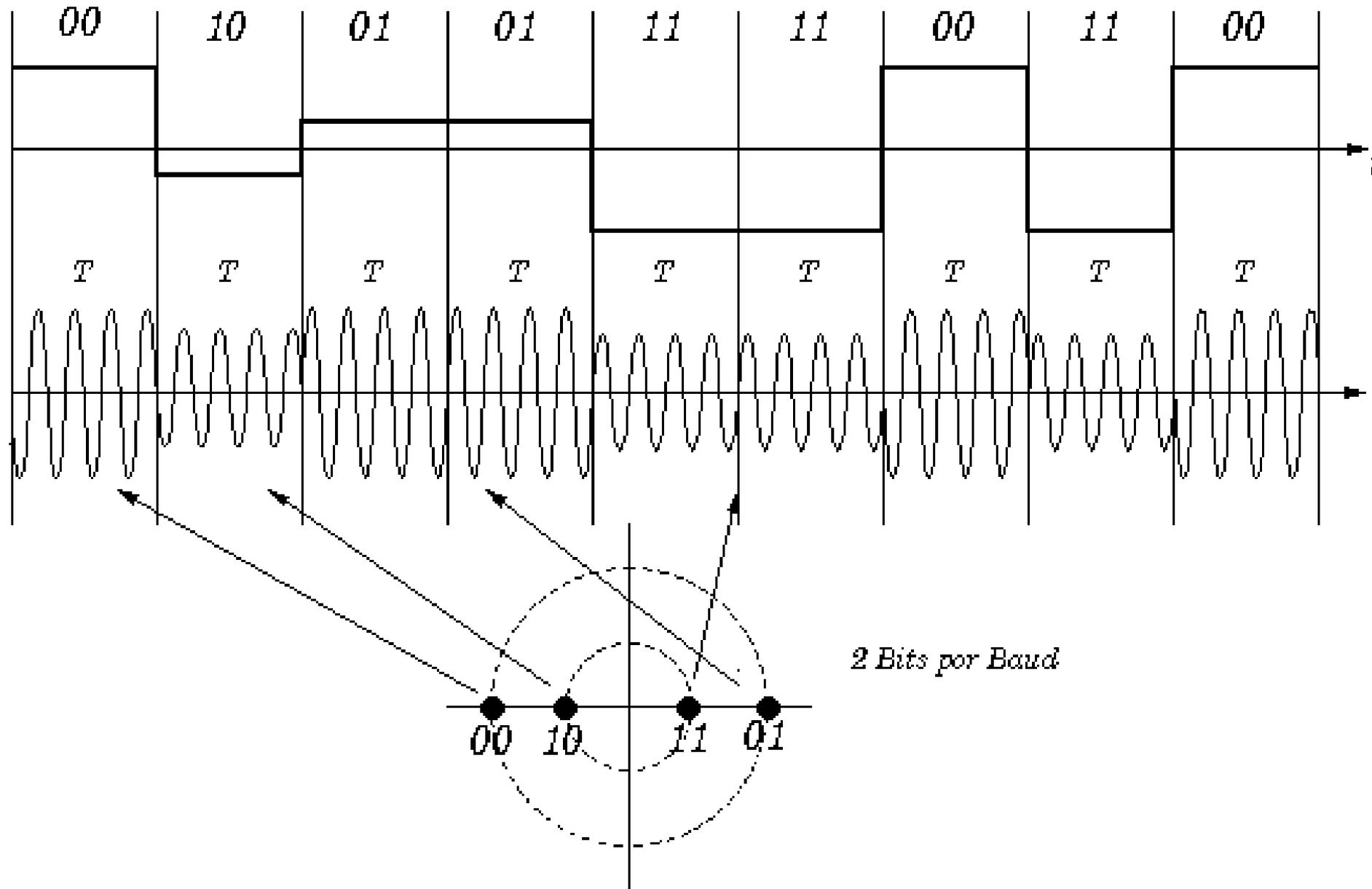


portadora modulada digitalmente

Modulación en frecuencia y fase (FSK y PSK)



MODULACIÓN HÍBRIDA FASE-AMPLITUD

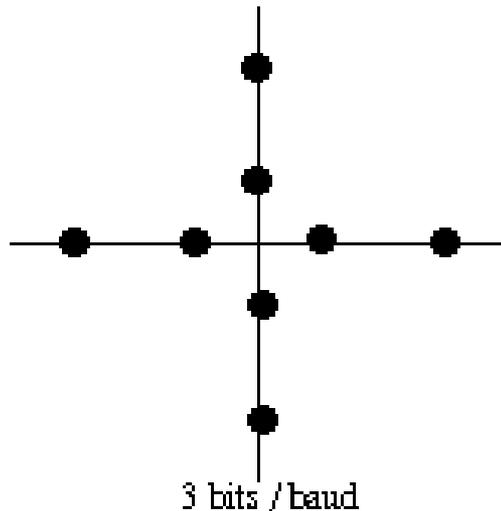


MODULACION HIBRIDA

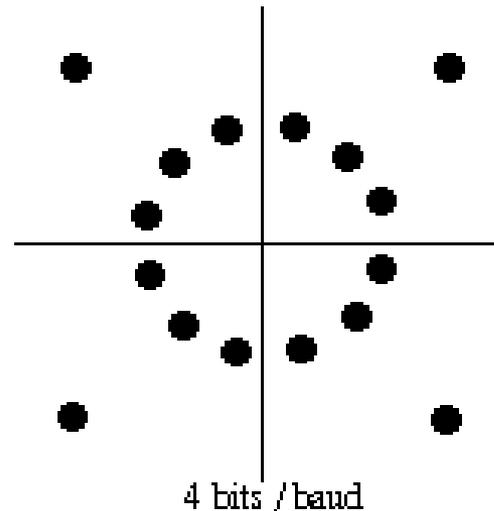
QAM

(QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

8 COMBINACIONES



16 COMBINACIONES



9600 bps SOBRE LINEA DE 2400

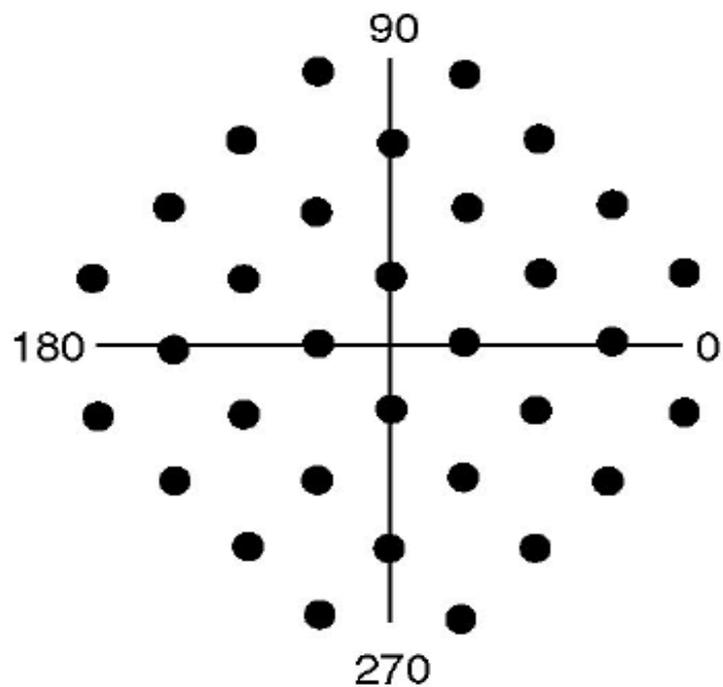
BAUD: NUMERO DE VECES QUE LA SEÑAL CAMBIA SU VALOR (VOLTAJE, FRECUENCIA, FASE)

POR SEGUNDO: $\frac{1}{T}$

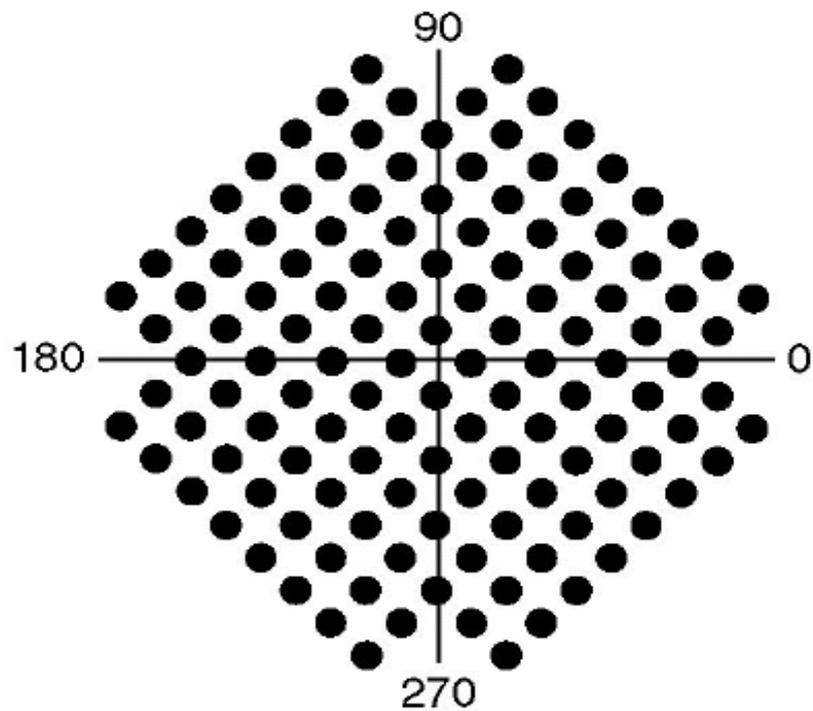
TASA BINARIA: $R = \frac{1}{T} \log_2 M \text{ bits / seg}$

T : INTERVALO DE LA SEÑAL

M : NUMERO DE VALORES POSIBLES DE LA SEÑAL EN EL INTERVALO (EJEMPLO: AMPLITUD & FASE)



(a)



(b)

(a) V.32 para 9600 bps

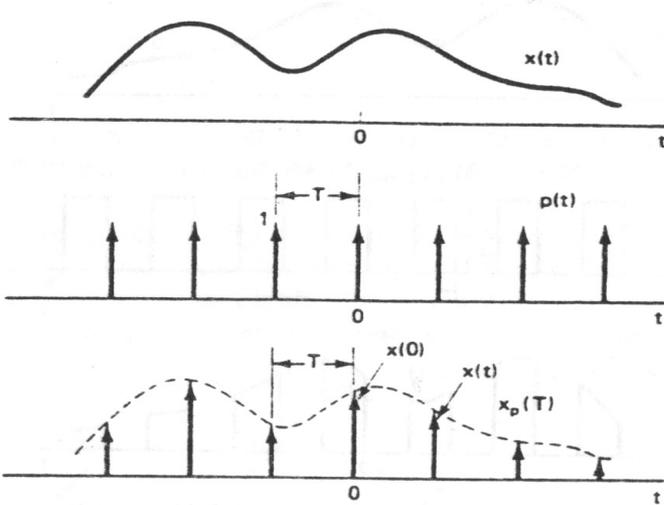
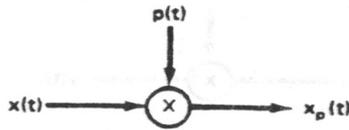
(b) V32 bis para 14.400 bps

Codificación

- Moduladora analógica => modulación por impulsos
 - ♦ Objetivo: Transmisión digital de señales analógicas
 - ♦ Proceso (conversión Analógico-Digital):
 - Muestreo -> discretización en amplitud => señal discreta en el tiempo. No hay pérdida de información
 - Cuantificación -> discretización en amplitud => señal digital. Pérdida de información
 - Codificación => formato de representación binaria
 - ♦ Tipos: PAM, PWM, PPM, delta, MIC....
- Moduladora digital => codificación
 - ♦ Objetivos:
 - Reducir ancho de banda de la señal
 - Eliminar componente continua
 - Sincronización
 - Detección de errores
 - Mejorar la tasa de error
 - ♦ Tipos: bifásica, multinivel, manchester, NRZ, 5B6B, HDB3, etc.

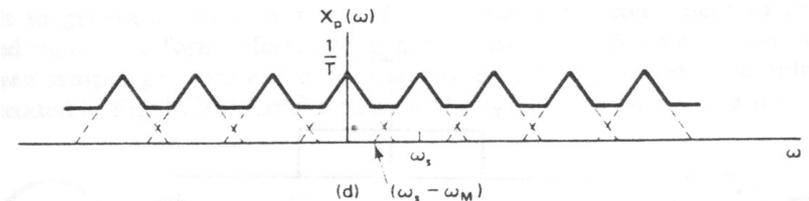
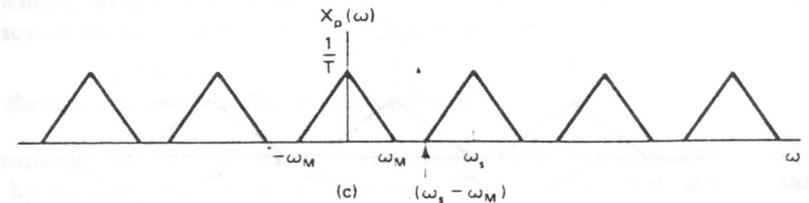
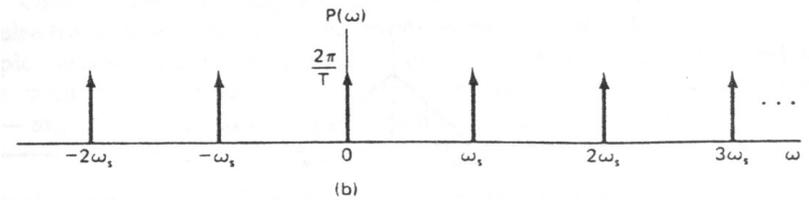
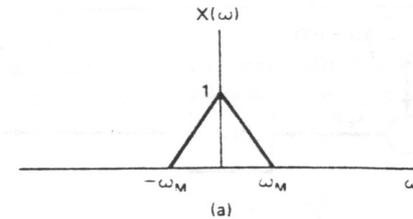
El muestreo

- Muestreo = discretizar en el tiempo señal analógica
- No se pierde información si $f_m \geq 2W$



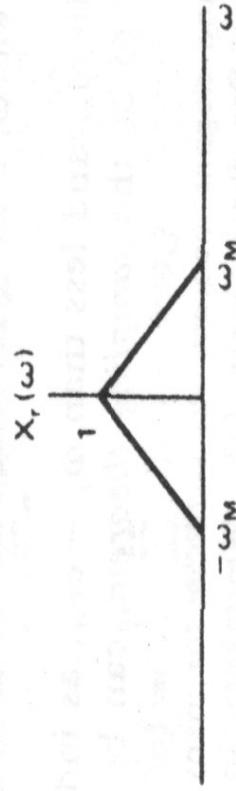
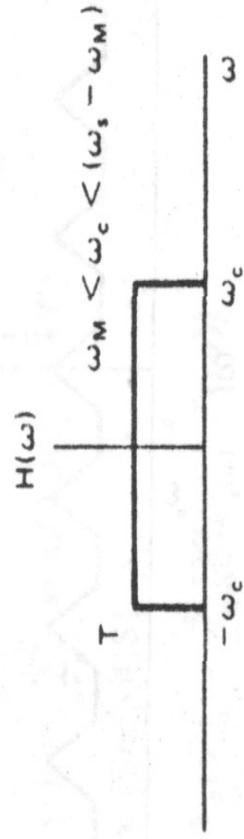
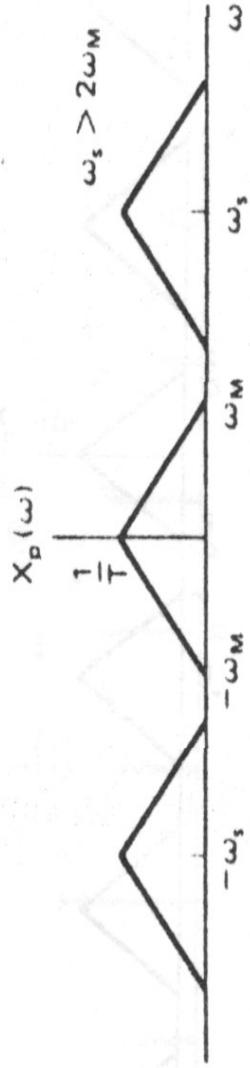
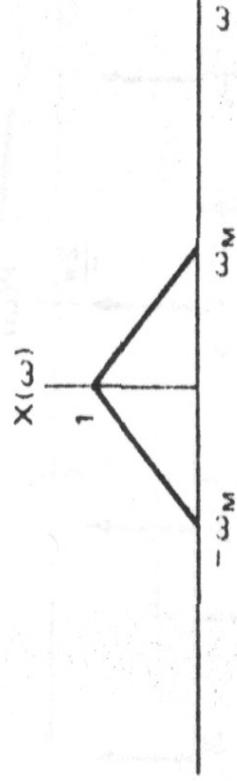
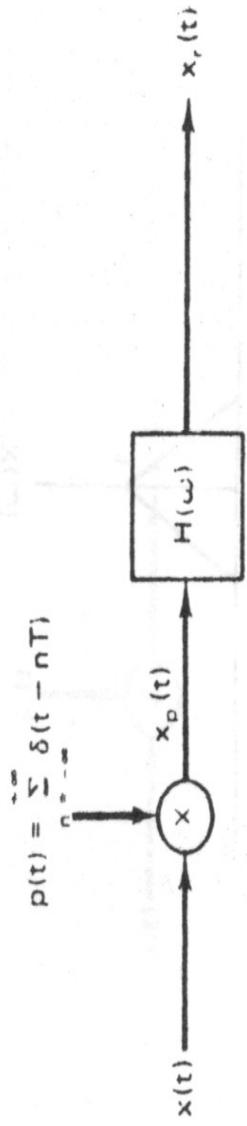
$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT) \delta(t - nT)$$

Muestreo visto en el tiempo

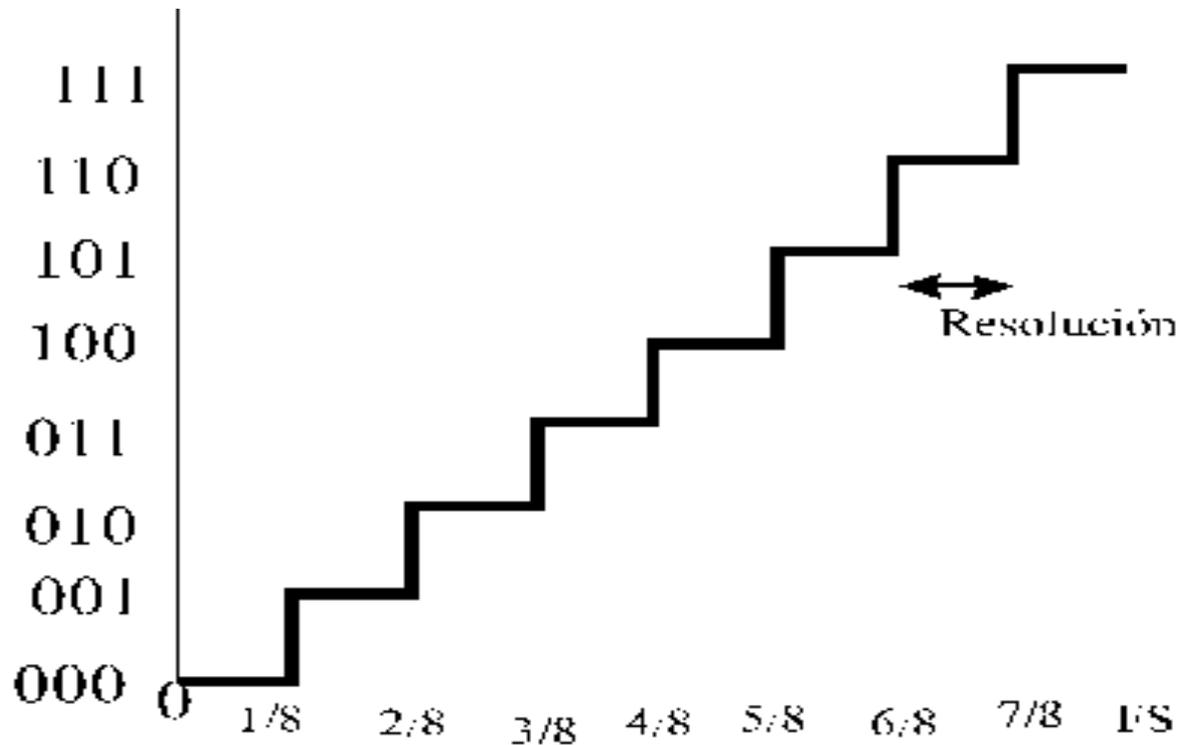


Muestreo visto en la frecuencia

recuperación de la señal original con un filtro ideal



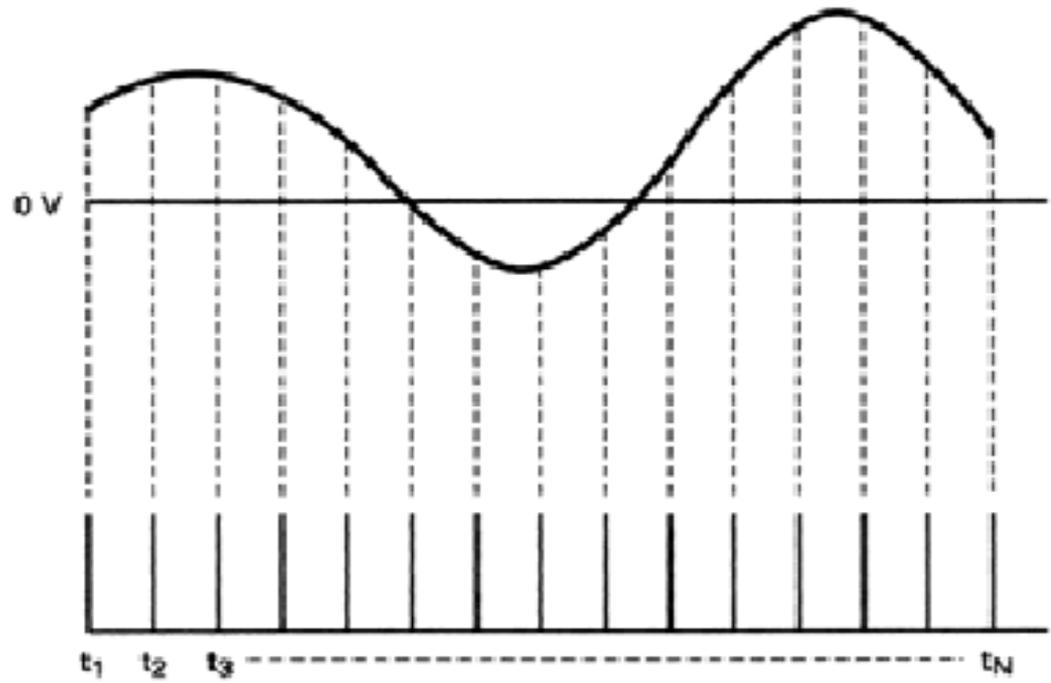
La cuantificación



- Muestra -> cualquier amplitud
- N valores normalizados de amplitud => aproximación
 - Redondeo -> error = $\pm \frac{1}{2}\Delta$
 - Truncamiento -> error = Δ
- Codificación -> n bits, siendo $N = 2^n$

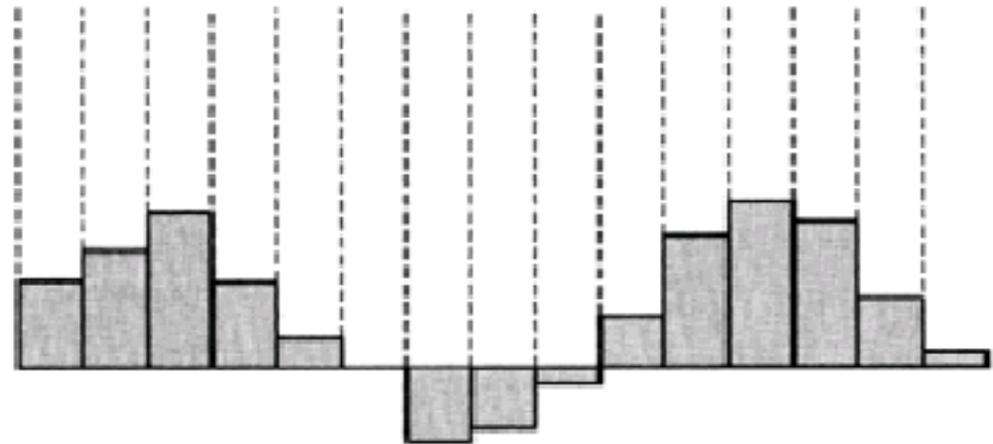
Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

(a) input signal;

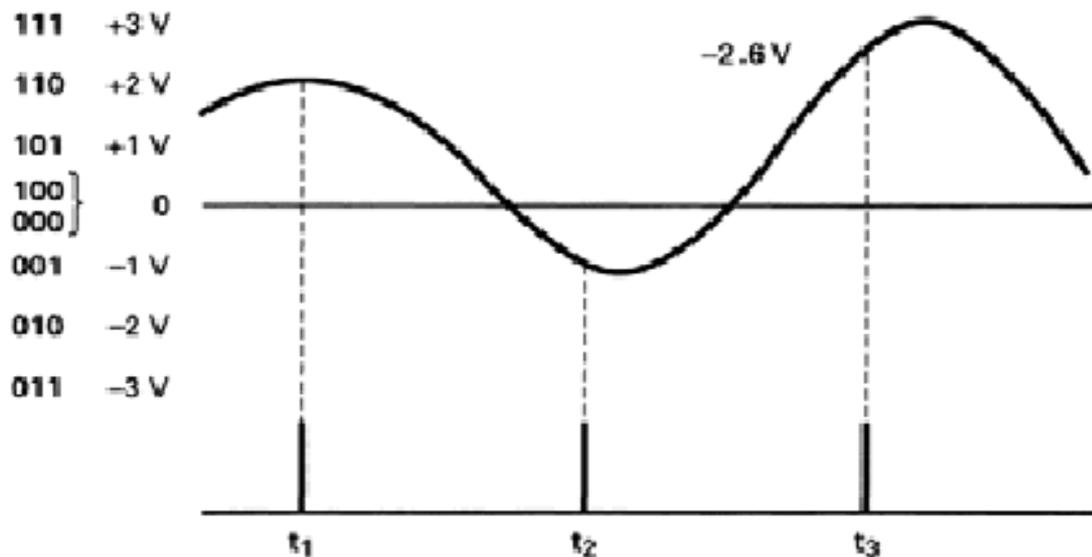


(b) Sampling signal

(c) PAM signal

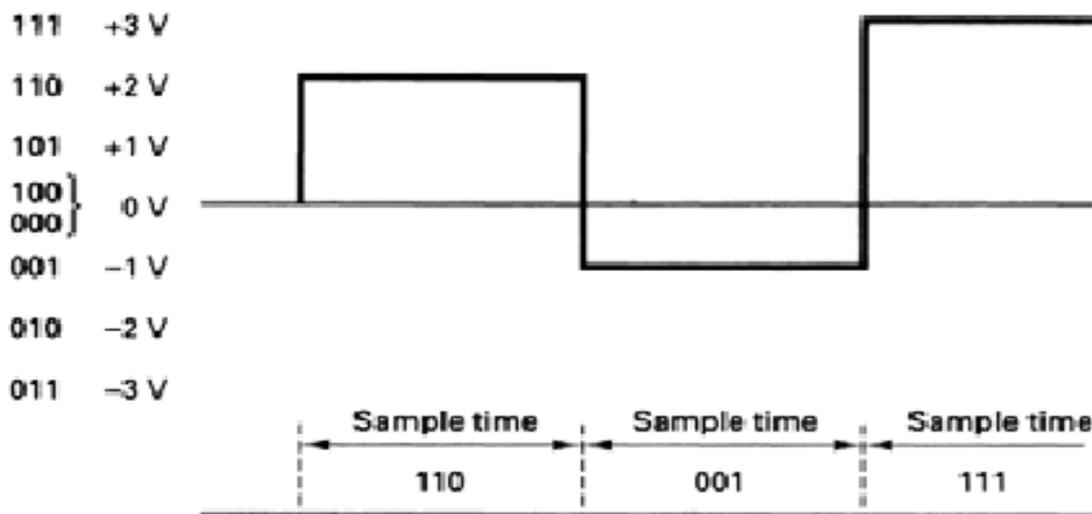


Modulación por pulsos codificados (MIC o PCM)



Analog input signal

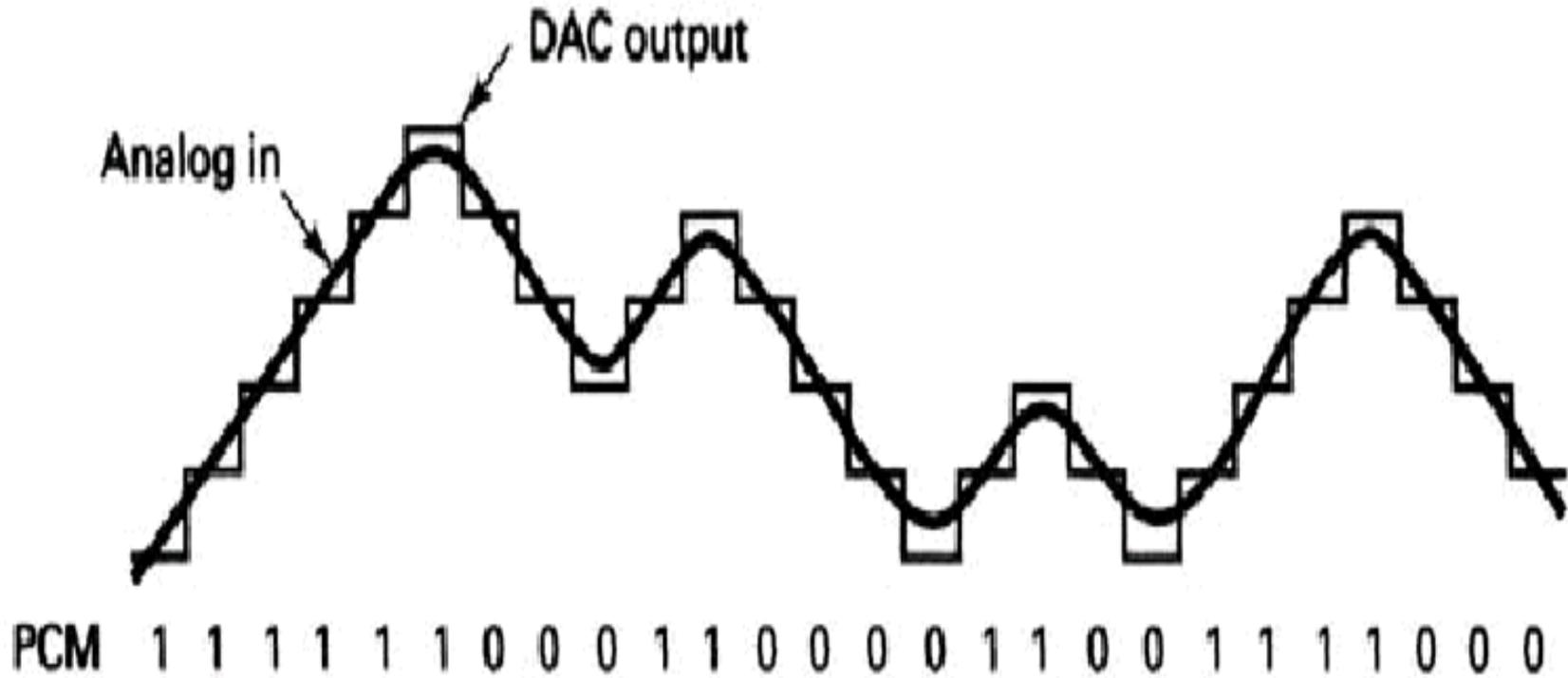
Sampling signal



PAM signal

PCM code

Modulación delta (diferencial)



Modulaciones PWM y PPM

(a) analog signal;



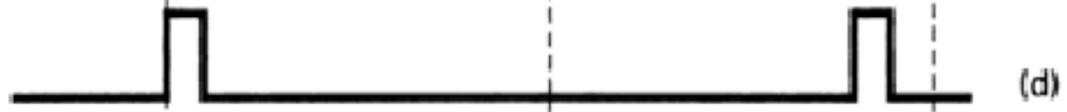
(b) sampling signal;



(c) PWM;



(d) PPM;



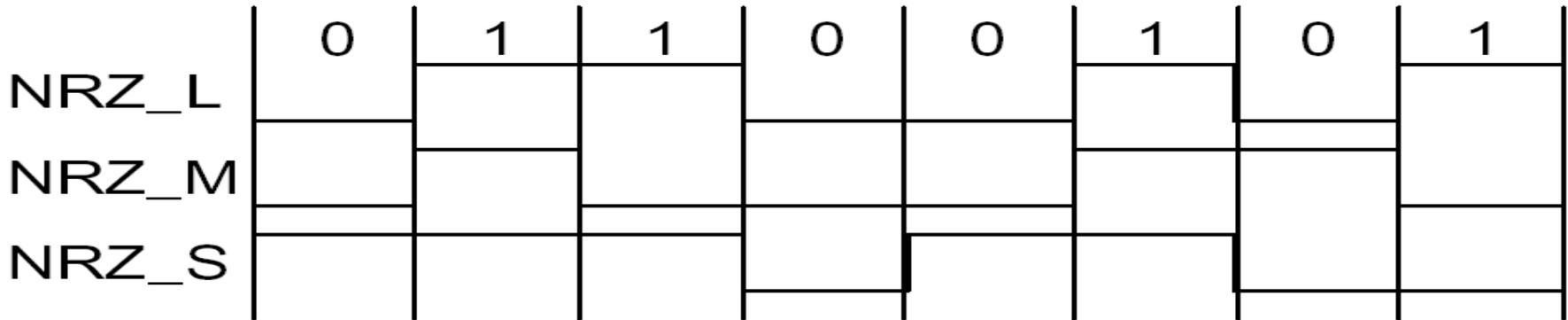
(e) PAM;



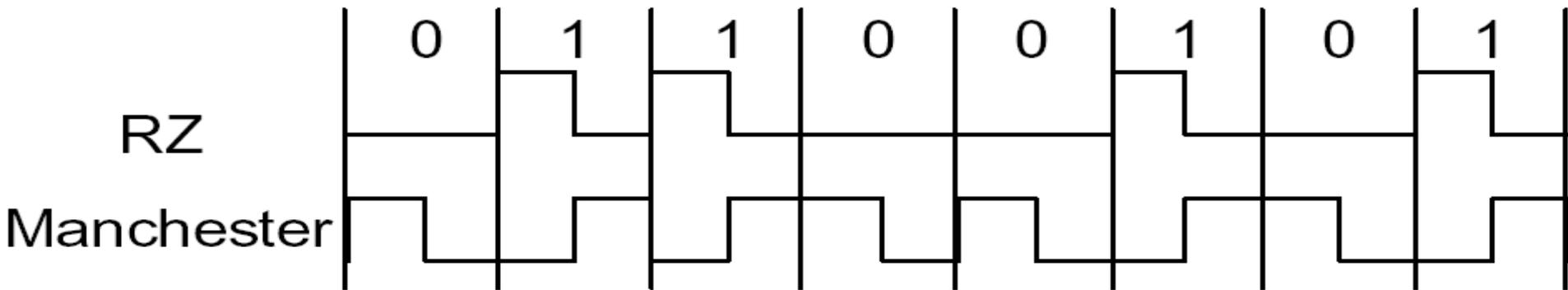
(f) PCM



Datos digitales – señales digitales

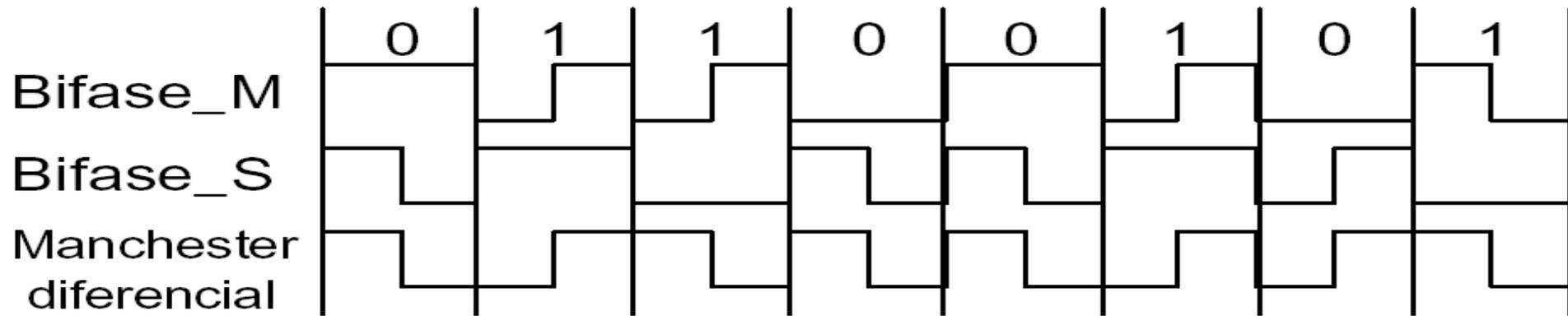


- NRZ_L = bipolar “normal”
- NRZ_M -> “1” = transición al principio del intervalo
- NRZ_S -> “0” = transición al principio del intervalo

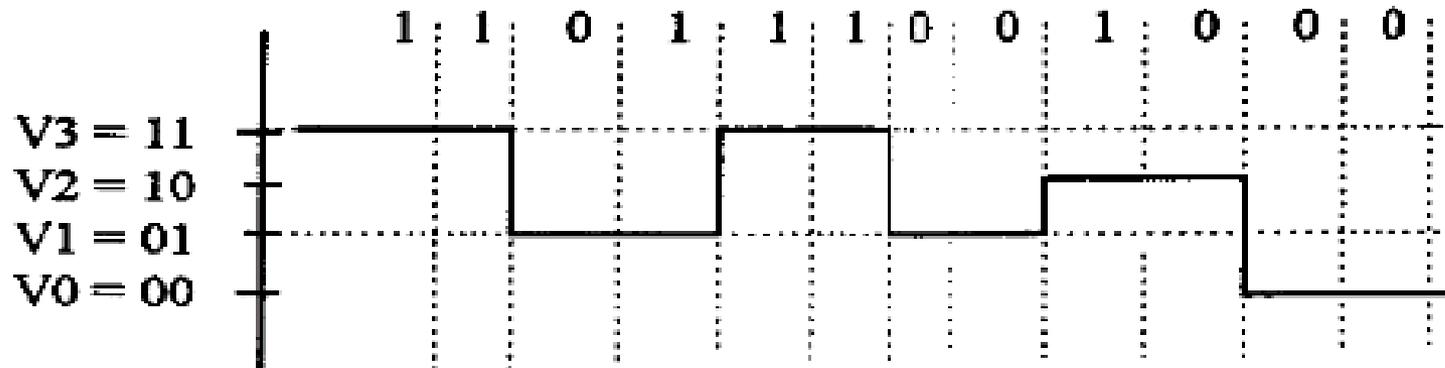


- RZ -> valor del bit en $\frac{1}{2}$ periodo + retorno a cero en el otro medio
- Manchester -> flancos en el centro del bit: “1” = flanco subida, “0”=flanco bajada. Garantiza reloj. Duplica ancho de banda.

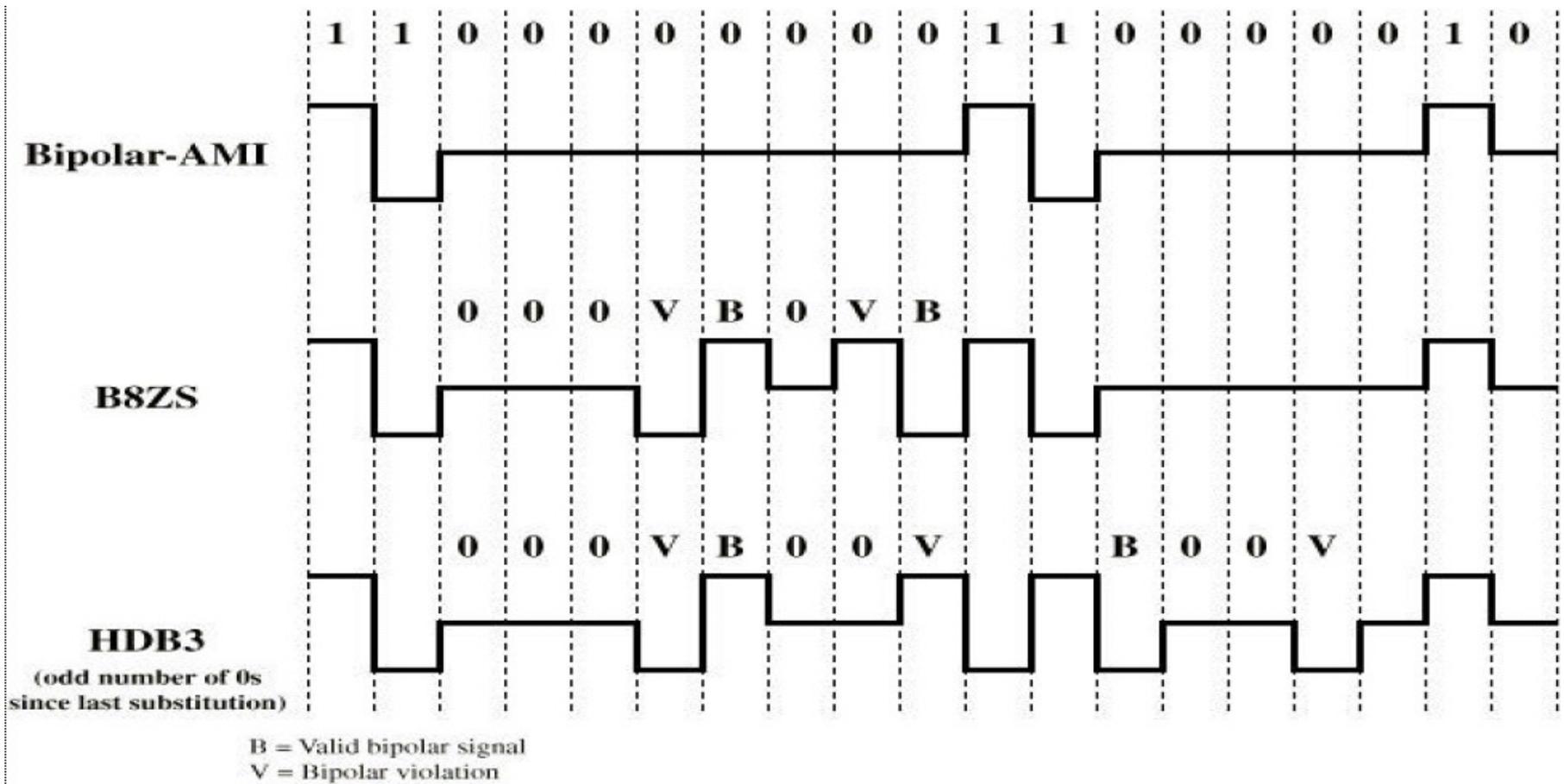
Datos digitales – señales digitales



- Bifase_M -> “1” = flanco de subida
- Bifase_S -> “0” = flanco de bajada
- Manchester diferencial -> siempre flanco en medio. “1” sin flanco al principio, “0” flanco al principio.



- Multivalente -> N niveles. Codificación n bits por transición.



- AMI -> “0” = ausencia de señal. “1” = pulso positivo o negativo (alternados)
- B8ZS (EEUU)
 - no permite 8 “0” seguidos -> genera dos violaciones de AMI (invierte polaridad)
- HDB3 (UE y Japón)
 - No permite 4 “0” seguidos -> genera una violación de AMI

Codificación de la información

- Representación de un dígito binario (“0” o “1”) -> bit
- Representación de un rango mayor de símbolos => código:
 - Símbolos mensaje = cada uno de los símbolos representados
 - Palabras del código = cada una de las combinaciones de bits que representa a un símbolo.
 - N mensajes => como **mínimo** código n bits $N = 2^n$
 - ejemplo -> representación de los símbolos decimales (BCD)
- Fuentes de información
 - De memoria nula -> la probabilidad de cada símbolo depende sólo de ese símbolo
 - Con memoria -> la probabilidad de cada símbolo depende de los anteriores

Símbolo	código
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

- Códigos históricos:
 - ♦ Morse (telégrafo)
 - ♦ Baudot (teletipo) -> 5 bits + bit inicio + bit paada
- Códigos modernos
 - ♦ EBCDIC (8 bits) -> entornos IBM
 - ♦ ASCII (7 bits) -> normalizado ANSI e ISO

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		DEL

Códigos detectores y correctores de error

- Redundancia de un código
 - ♦ Redundancia = diferencia entre la información máxima que puede generar una fuente y la que realmente genera
 - ♦ Redundancia de un código \rightarrow uso de más bits de los “necesarios”
 - ♦ bits de código (cod. binario) $>$ bits de información (Shannon)
 - ♦ Distancia de hamming
 - D. H. entre dos combinaciones binarias = nº de bits que hay que cambiar para pasar de una a otra.
 - D. H. de un código = D.H. mínima entre combinaciones
 - D.H. $>$ 1 \Rightarrow redundancia
- Códigos detectores y correctores de error
 - ♦ Un error de n bits es detectable por un código con distancia n
 - ♦ Y corregible por un código de distancia $2n + 1$

- Códigos m sobre n
 - ♦ Son códigos de m bits
 - ♦ Sólo son válidas las combinaciones que tienen n bits a 1
 - ♦ Distancia de Hamming = 2
- Control de paridad
 - ♦ Se añade un bit de paridad
 - ♦ Distancia de Hamming = 2
 - ♦ Paridad horizontal = para cada dato transmitido
 - ♦ Paridad vertical = para todos los bits de una secuencia de datos (columnas)
 - ♦ Paridad cruzada = combinación de las dos -> distancia de Hamming = 4
- Códigos cíclicos (CRC)
 - ♦ características
 - Detectan ráfagas de errores
 - Tratamiento de las series de bits como polinomios
 - Utilizan un polinomio generador para la comprobación de errores

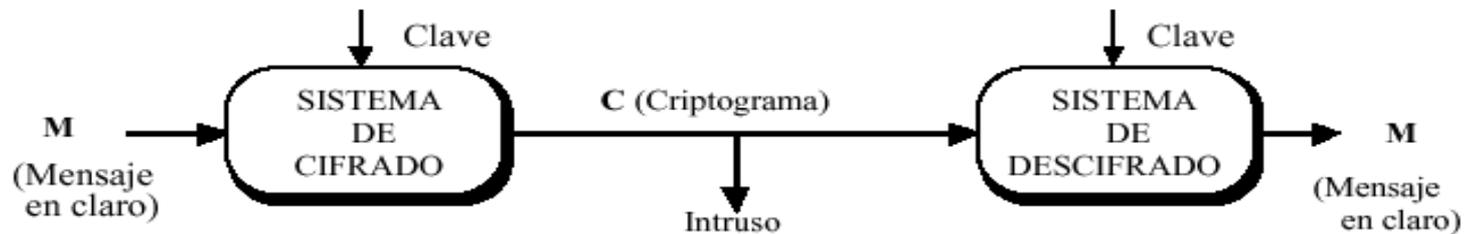
- Proceso
 - ♦ Generación
 - Se añaden al dato a transmitir tantos ceros a la derecha como el orden del polinomio generador
 - Se divide el polinomio resultante por el polinomio generador y se obtiene el resto
 - El resto se suma al dato a transmitir expandido con los ceros
 - ♦ Comprobación
 - El receptor divide el dato que le llega por el polinomio generador.
 - Si el resto es 0 no hay error
 - Si el resto no es 0 hay errores
- Polinomios cíclicos más usados
 - ♦ CRC-12 = $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
 - ♦ CRC-16 = $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
 - ♦ CRC-CCITT = $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
 - ♦ Características de los CRC16
 - Detecta 100% errores simples, y dobles
 - Detecta 100% errores en un número impar de bits
 - Detecta 100% de los paquetes con errores de longitud menor que 18 y 99'998% de los mayores

Compresión de datos

- Dos tipos de técnicas:
 - Sin pérdidas -> información almacenada = original
 - Con pérdidas -> información comprimida \neq original
- Compresión sin pérdidas
 - Basada en eliminar la redundancia => 1bit = 1 Shannon
 - Códigos
 - Símbolos no equiprobables (p.e. letras).
 - Dependen de los anteriores.
 - Agrupaciones en bloques -> también dependen unas de otras
 - Ejemplo: “ME LLEVO EL ~~PARA~~ ~~MI~~ ~~AS~~ ~~PORQUE~~ ~~EST~~ ~~A~~ ~~LLO~~ ~~MI~~ ~~EN~~ ~~DO~~”
 - Tipos:
 - Compresores estadísticos -> basados en la probabilidad de un símbolo: codificación con nº de bits menor según probabilidad
 - Compresores basados en diccionario -> estudian secuencias repetidas.

- Compresión con pérdidas
 - ♦ En sistemas donde se pueden tolerar diferencias (p.e. audio)
 - ♦ Basadas en:
 - Medidas de la percepción -> puede no notarse diferencia
 - Filtrado -> selección del espectro donde está la mayor parte de la potencia.
 - Redundancia temporal -> “lentitud” de variación en la imagen/señal
 - Uso de compresión sin pérdidas
- Ejemplos (algoritmos):
 - ♦ Sin pérdidas
 - Estadísticos
 - ✓ Shannon-Fano (no óptimo): Se usa en ZIP
 - ✓ Huffman (óptimo): Se usa en LZH, BZIP2
 - Basados en diccionario
 - ✓ Familia LZ78 (Lempel-Ziv 78): LZW, LZC (compress), GIF, V42bis
 - ✓ Familia LZ77 (Lempel-Ziv 77): ZIP, LZH
 - ♦ Con pérdidas: MPEG (audio), JPEG (imagen), MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (video)

Cifrado de datos

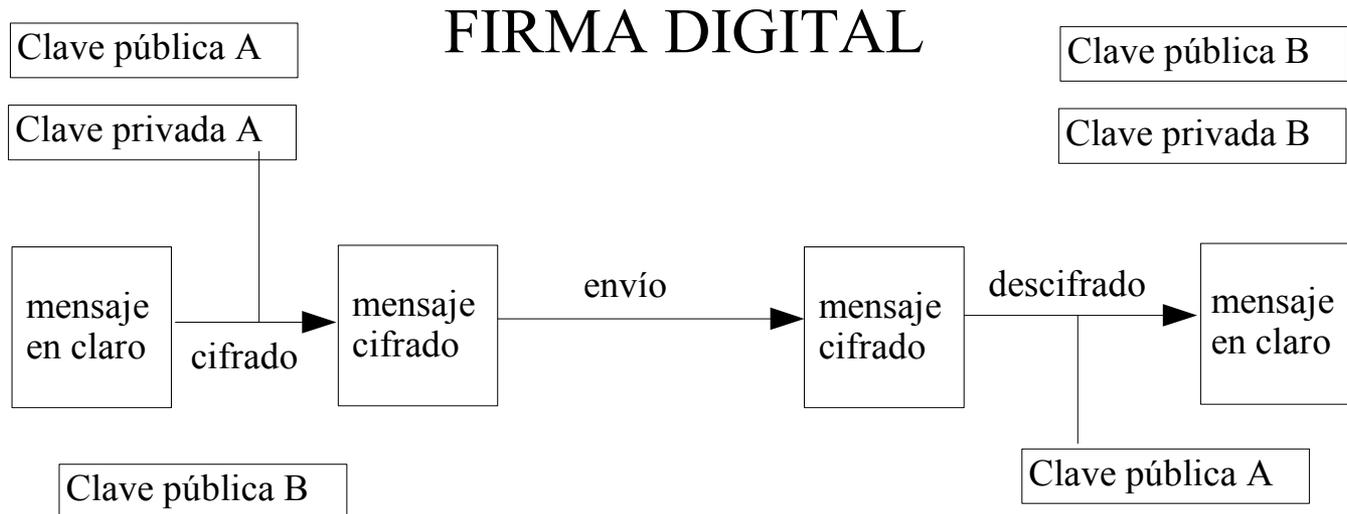
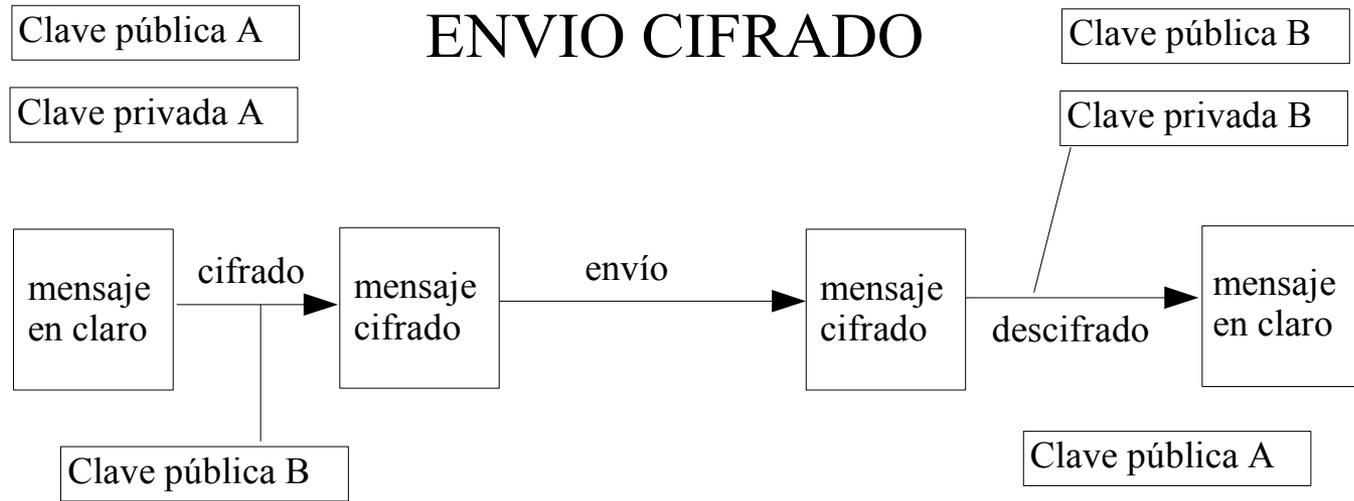


Esquema de transmisión segura de un mensaje

- Claves iguales -> Algoritmos simétricos (DES, IDEA, AES)
- Claves diferentes -> Algoritmos asimétricos (RSA, D-H, PKCS)
- Data Encryption Standard (DES)
 - Estándar americano de 1977
 - clave de 56 bits sobre bloques de datos de 64 bits-> con la tecnología de la época se tardaban 2200 años en romper la clave, hoy 3 días.
- International Data Encryption Algorithm (IDEA)
 - Tuvo su aparición en 1992.
 - Considerado por muchos el mejor y más seguro algoritmo simétrico disponible en la actualidad.
 - Trabaja con bloques de 64 bits de longitud, igual que el DES, pero emplea una clave de 128 bits.
 - Se usa el mismo algoritmo tanto para cifrar como para descifrar.

- **Advanced Encryption Standard (AES)**
 - Publicado el 2 de Octubre de 2000.
 - Se intuye que substituirá al actual D.E.S.
 - El tamaño de clave debe ser de, al menos, 128, 192 y 256 bits (debe admitir los tres), y el tamaño de bloque de cifrado debe ser de 128 bits.
 - Los productos que incorporen AES podrán ser exportados fuera de EE.UU.
- **Algoritmos asimétricos**
 - Cada usuario tiene un par de claves:
 - Clave privada -> debe ser secreta
 - Clave pública -> puede difundirse a todo el mundo.
 - Sirve para que:
 - Otros usuarios le envíen documentación cifrada
 - El propietario de la clave envíe documentación “firmada”

Funcionamiento de un sistema de doble clave



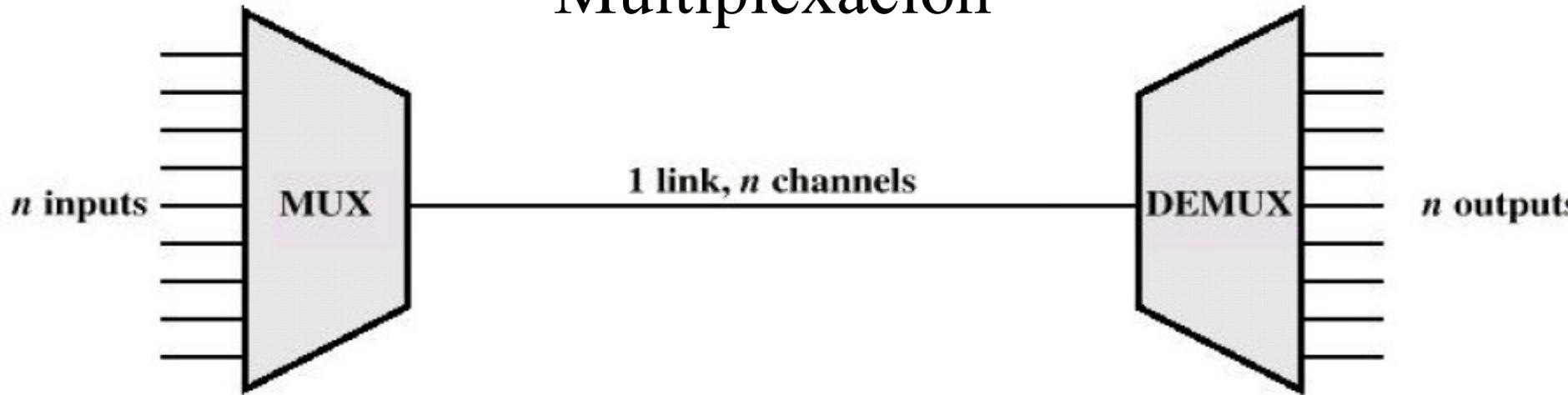
Sistemas de doble clave

- Propiedades
 - ♦ Algoritmos asimétricos
 - ♦ Válidos para encriptar y firmar
 - ♦ Tiempos de cálculo muy altos => sólo se firma un extracto.
 - ♦ Necesidad de autoridades certificadoras para las firmas:
 - Fábrica Nacional de Moneda y Timbre
 - Agencia de Certificación Electrónica
 - Verisign
 -
- Algoritmos de cifrado
 - ♦ RSA
 - Basado en la utilización de un número producto de dos números primos grandes => producto=clave pública, factorización=clave privada.
 - Claves de tamaño variable, típicos 512 o 1024bits. Bloques variables, menores que la clave
 - Muy seguro. Se usa en ssh

Sistemas de doble clave

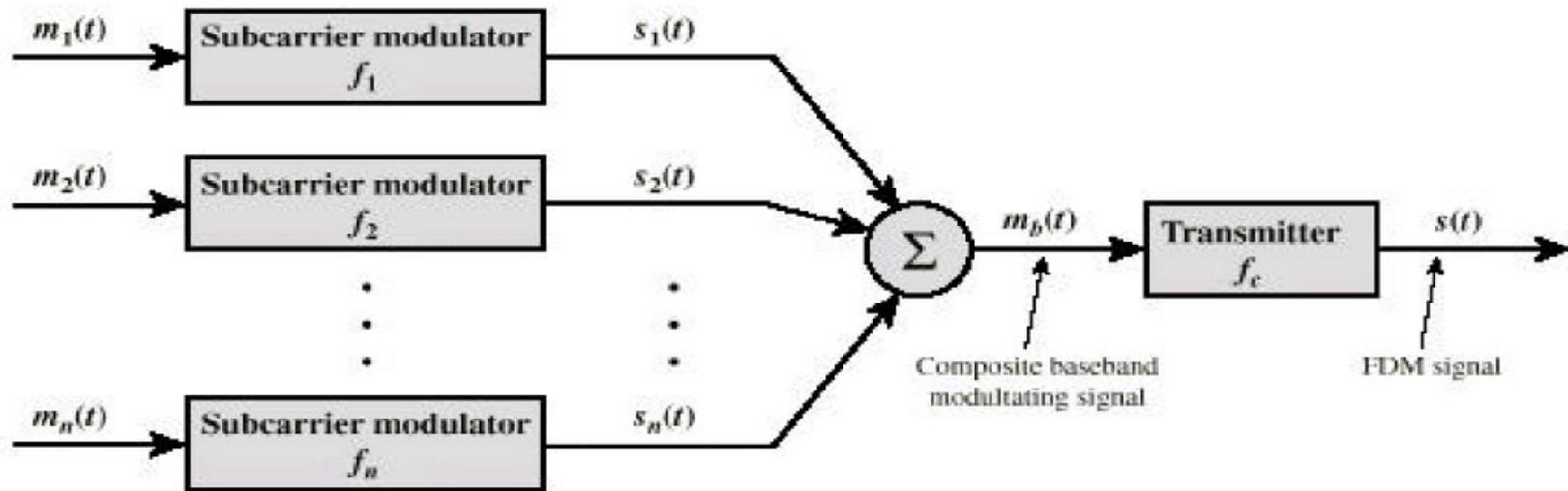
- ♦ Diffie-Hellman
 - Algoritmo histórico (1976)
 - Precursor de RSA
 - Es vulnerable en algunos supuestos
- ♦ PKCS (Public-key Cryptography Standards)
 - 15 estándares basados en RSA.
- ♦ Funciones de hash
 - Son funciones unidireccionales de resumen -> generan una cadena de resumen de un documento (“no puede haber” dos cadenas de resumen iguales)
 - MD5 (128 bits), SHA-1(160 bits), RIPEMD(160 bits), etc.
- ♦ Protocolos de seguridad
 - Utilizan funciones de hash y sistemas de doble clave para transferir información de forma segura
 - PGP, SSL, SET, IPSEC, etc.

Multiplexación

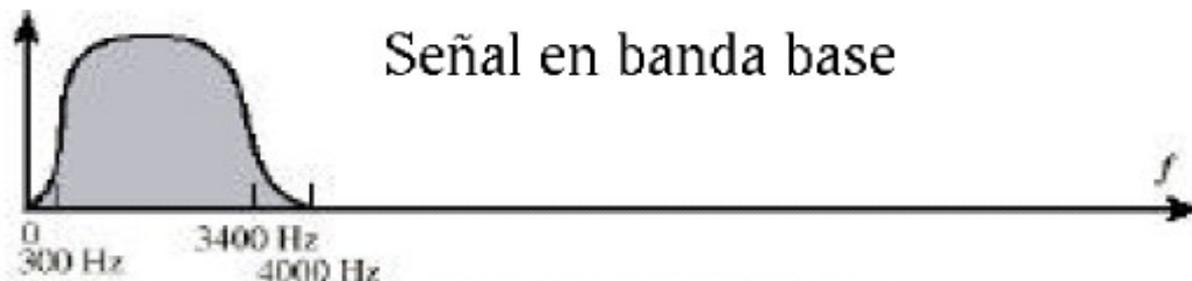


- Objetivos -> compartir el medio
 - ♦ Un solo cable frente a muchos cables
 - ♦ Posibilidad de transmisión de varias señales donde de otro forma no se podría (p.e. por el aire)
 - ♦ Aprovechamiento del ancho de banda
- Tipos
 - ♦ Multiplexación por división en frecuencias (FDM).
 - ♦ Multiplexación por división en tiempo (TDM síncrona).
 - ♦ Multiplexación estadística por división en el tiempo (TDM estadística, asíncrona o inteligente).

Modulación por división en frecuencia (MDF)

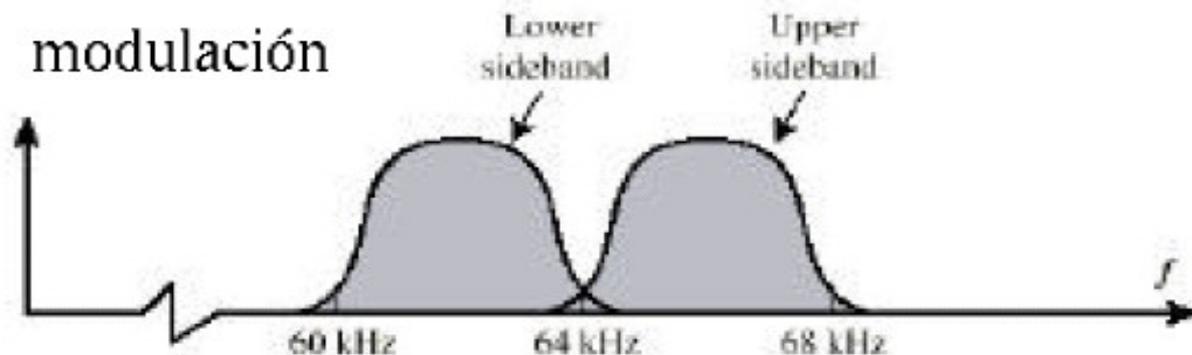


- Modulación \rightarrow desplazamiento de la señal a frecuencias altas
- Multiplexación \rightarrow suma de varias señales moduladas a frecuencias distintas
- Señales limitadas en banda \Rightarrow no hay solapamiento
- Válido para transmisión analógica y digital
- Ancho de banda total = suman anchos de banda



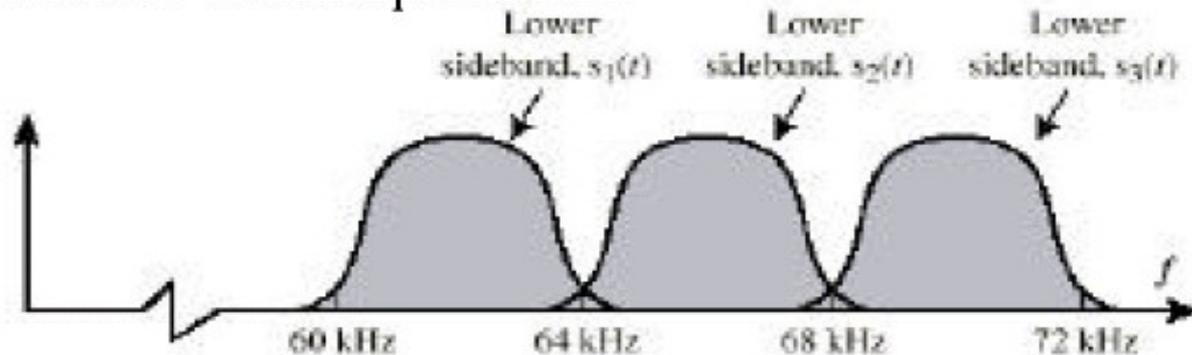
(a) Spectrum of $m_1(t)$, positive f

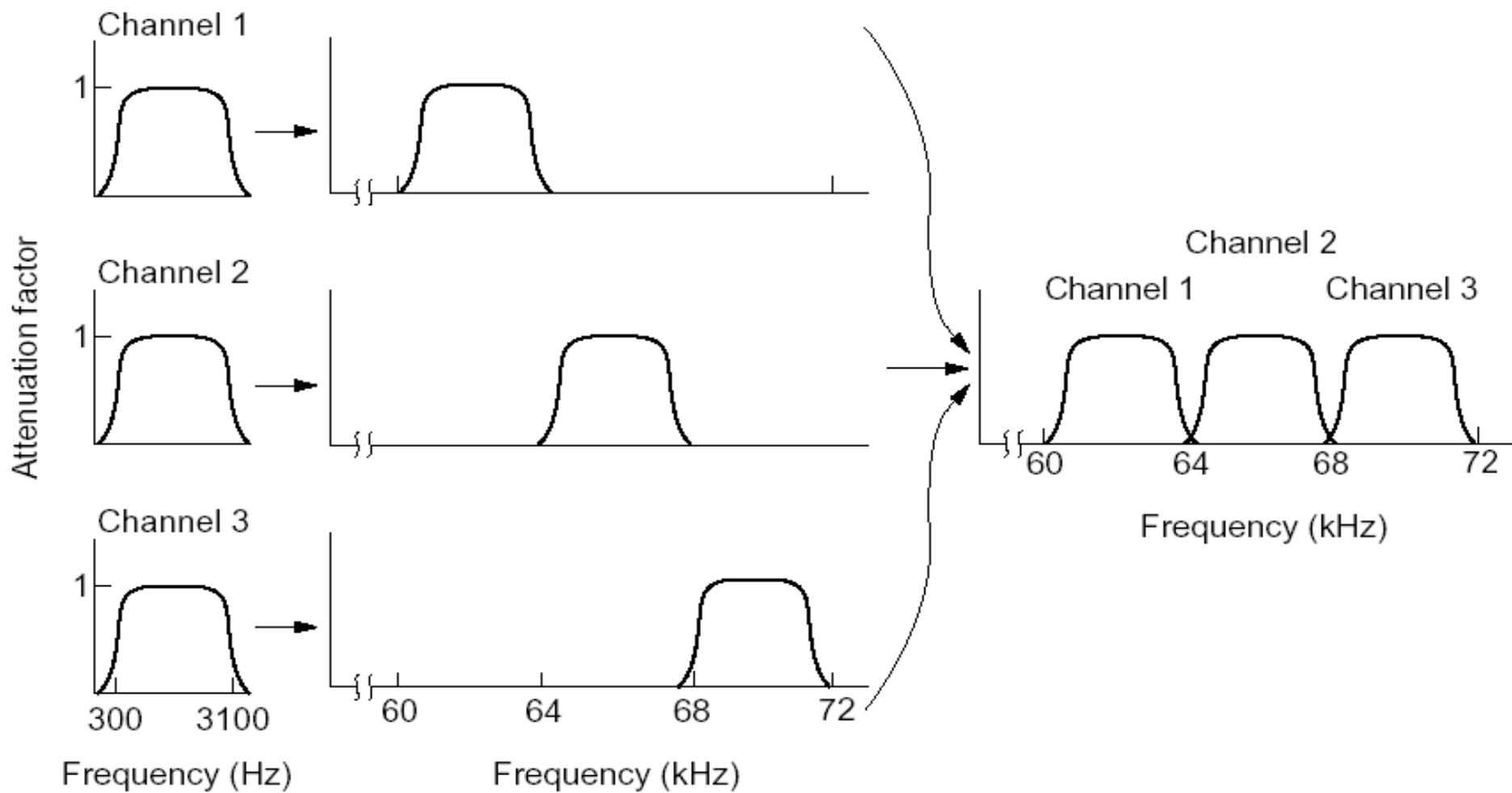
modulación



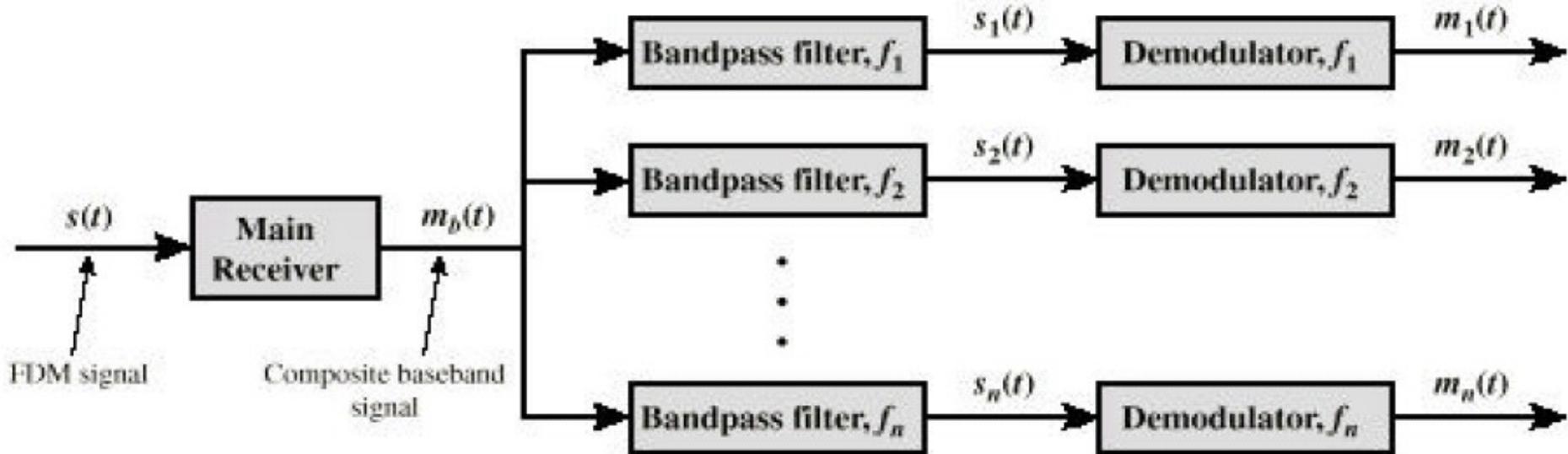
(b) Spectrum of $s_1(t)$ for $f_1 = 64$ kHz

Filtrado + multiplexación



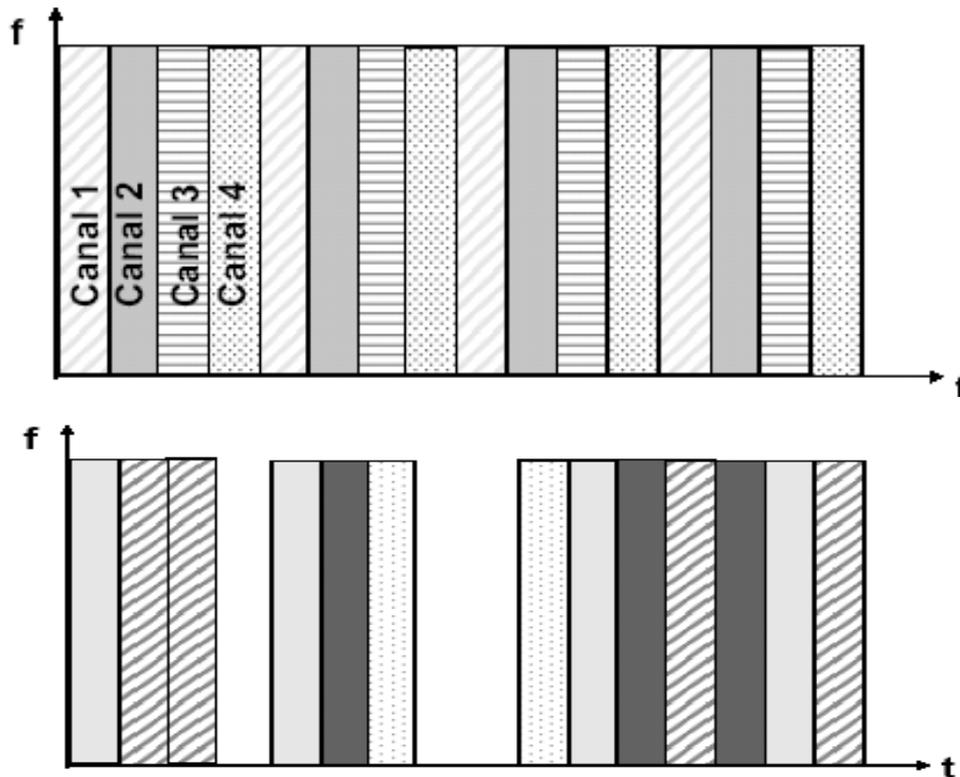


Recuperación de la señal



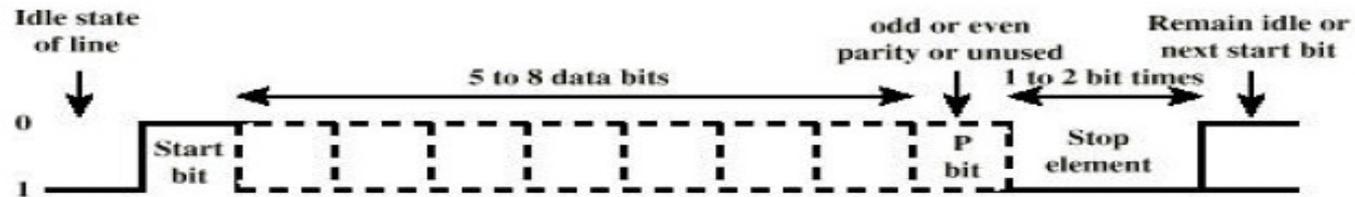
- Filtro P.Banda \rightarrow elimina todo menos un canal
- Demodulador \rightarrow desplaza a frecuencia baja \Rightarrow banda de base
- Problemas
 - Diafonía si los espectros de señales adyacentes se solapan demasiado.
 - Intermodulación en enlaces largos. Los amplificadores de un canal podrían generar frecuencias en otro canal.

Multiplexación por división en el tiempo (MDT)

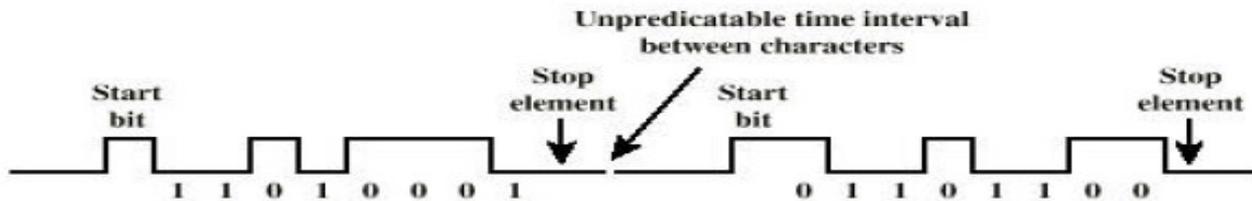


- Asignación de intervalos de canal (slots) a los distintos canales.
- MDT síncrona -> asignación fija de intervalos de canal => desperdicio de ancho de banda
- MDT asíncrona -> asignación variable según las necesidades => hay que identificar canales

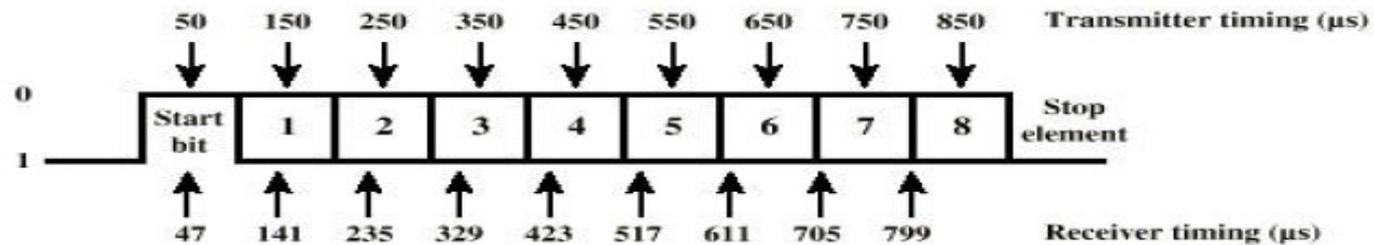
Transmisión asíncrona



(a) Character format



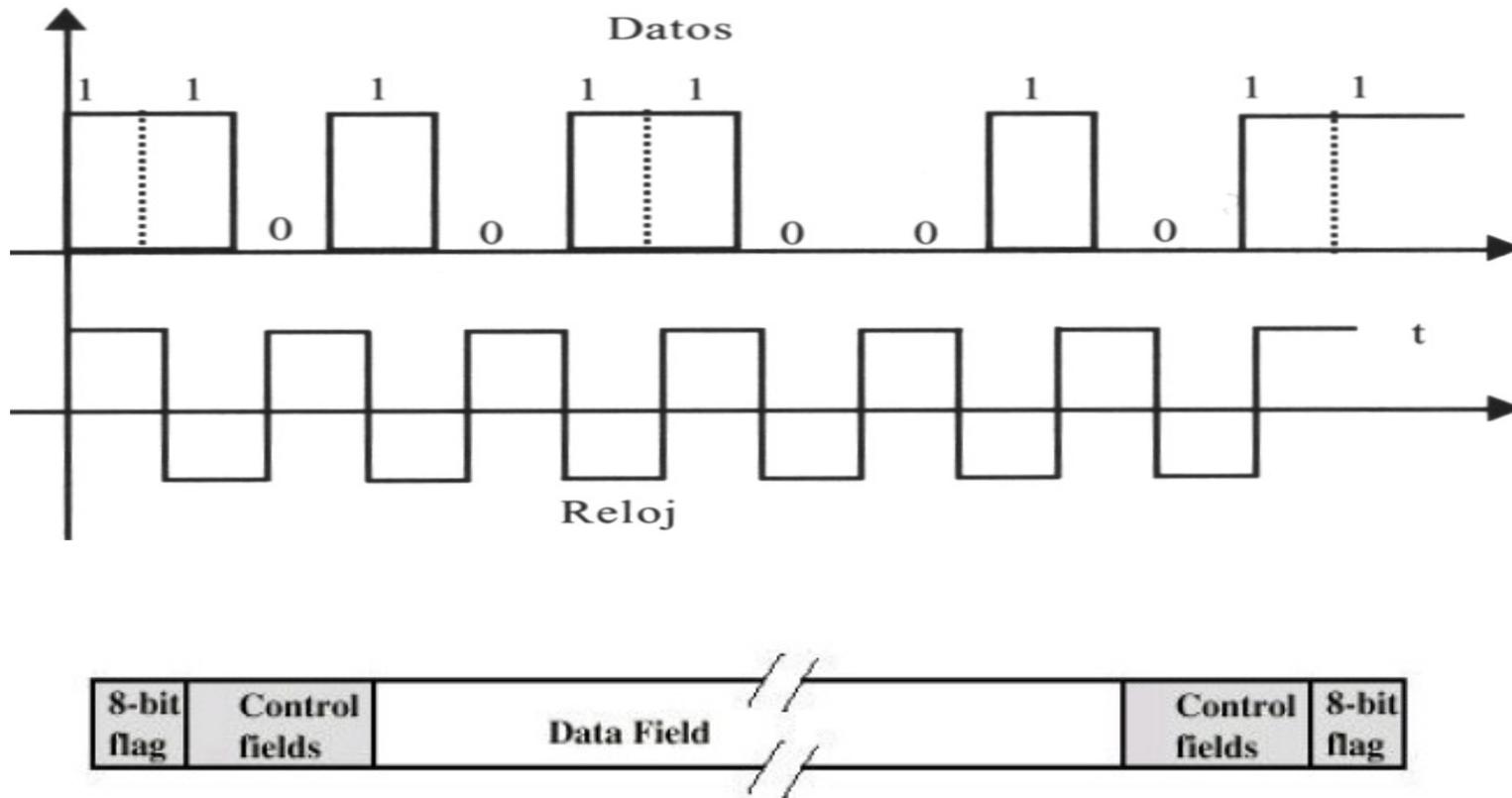
(b) 8-bit asynchronous character stream



(c) Effect of timing error

- Relojes distintos
- Errores de sincronización -> cadenas cortas.

Transmisión síncrona

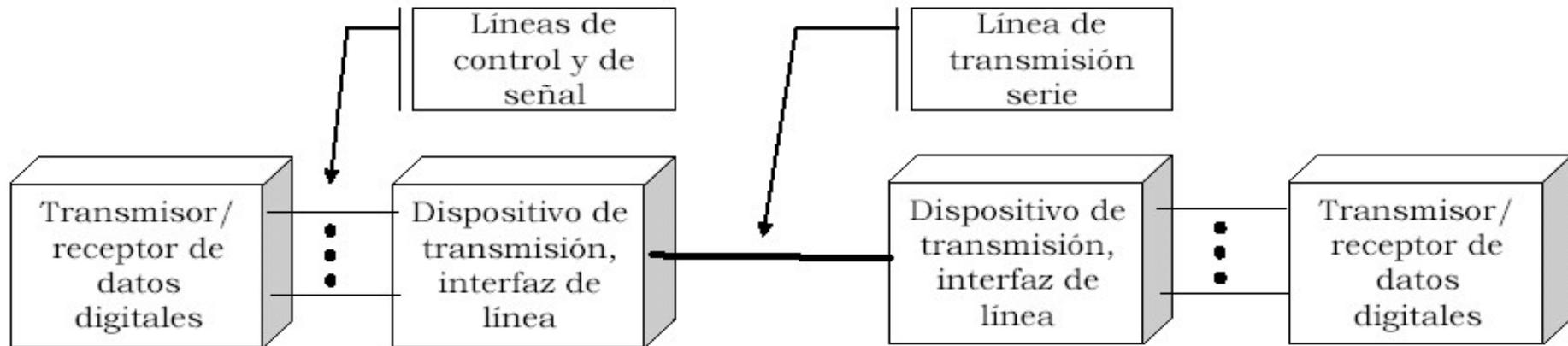


- Reloj
 - Por línea aparte
 - Incluido en la codificación (p.e. manchester)
- Menor sobrecarga de bits de control que en t. asíncrona.

Transmisión serie/paralelo

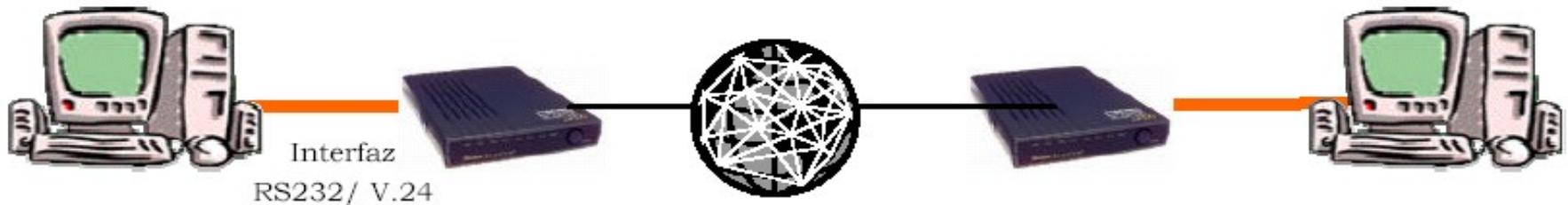
- Transmisión serie
 - ♦ Bit a bit
 - ♦ Menos hilos
 - ♦ Mayor complejidad: necesidad de un protocolo
 - ♦ Transmisión a larga distancia
- Transmisión paralelo
 - ♦ Varios bits a la vez
 - ♦ Mayor número de hilos
 - ♦ Más simple, sin protocolo o protocolo más sencillo
 - ♦ Transmisión a corta distancia

Interfaces para las comunicaciones de datos



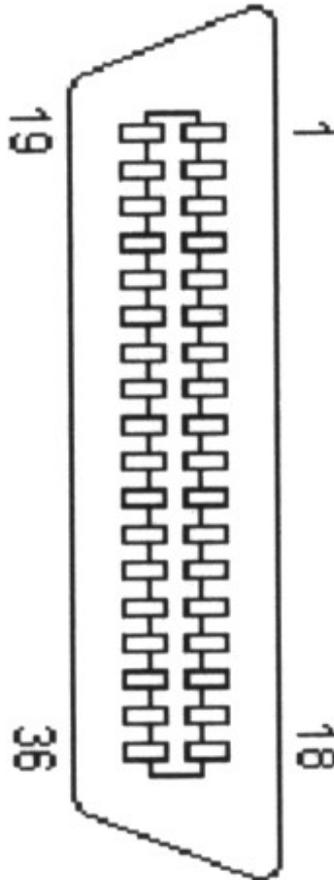
DTE: equipo terminal de datos

DCE: equipo terminación de circuito de datos



Interfaz Centronics

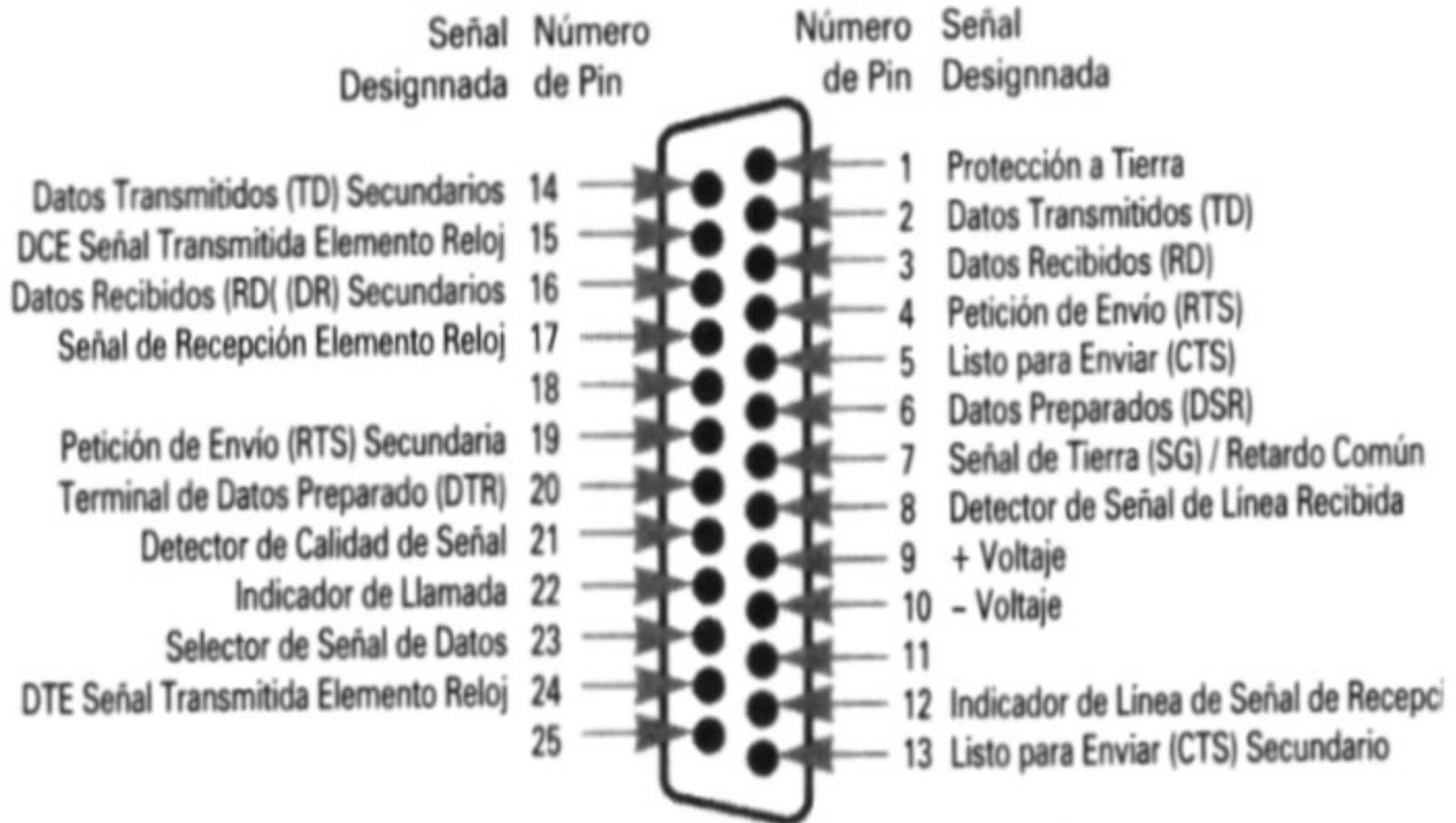
- 19 (R) DATA STROBE
- 20 (R) DATA BIT 1
- 21 (R) DATA BIT 2
- 22 (R) DATA BIT 3
- 23 (R) DATA BIT 4
- 24 (R) DATA BIT 5
- 25 (R) DATA BIT 6
- 26 (R) DATA BIT 7
- 27 (R) DATA BIT 8
- 28 (R) ACKNOWLEDGE
- 29 (R) BUSY
- 30 (R) INIT PRINTER
- 31 INIT PRINTER
- 32 ERROR
- 33 SIN DEFINIR (GND)
- 34 SIN DEFINIR
- 35 SIN DEFINIR
- 36 SIN DEFINIR



- 1 DATA STROBE
- 2 DATA BIT 1
- 3 DATA BIT 2
- 4 DATA BIT 3
- 5 DATA BIT 4
- 6 DATA BIT 5
- 7 DATA BIT 6
- 8 DATA BIT 7
- 9 DATA BIT 8
- 10 ACKNOWLEDGE
- 11 BUSY
- 12 PAPER END
- 13 SELECT
- 14 AUTO FEED
- 15 SIN ASIGNAR
- 16 LOGIC GND
- 17 CHASSIS GND
- 18 + 5v

(R) Retorno de la Señal

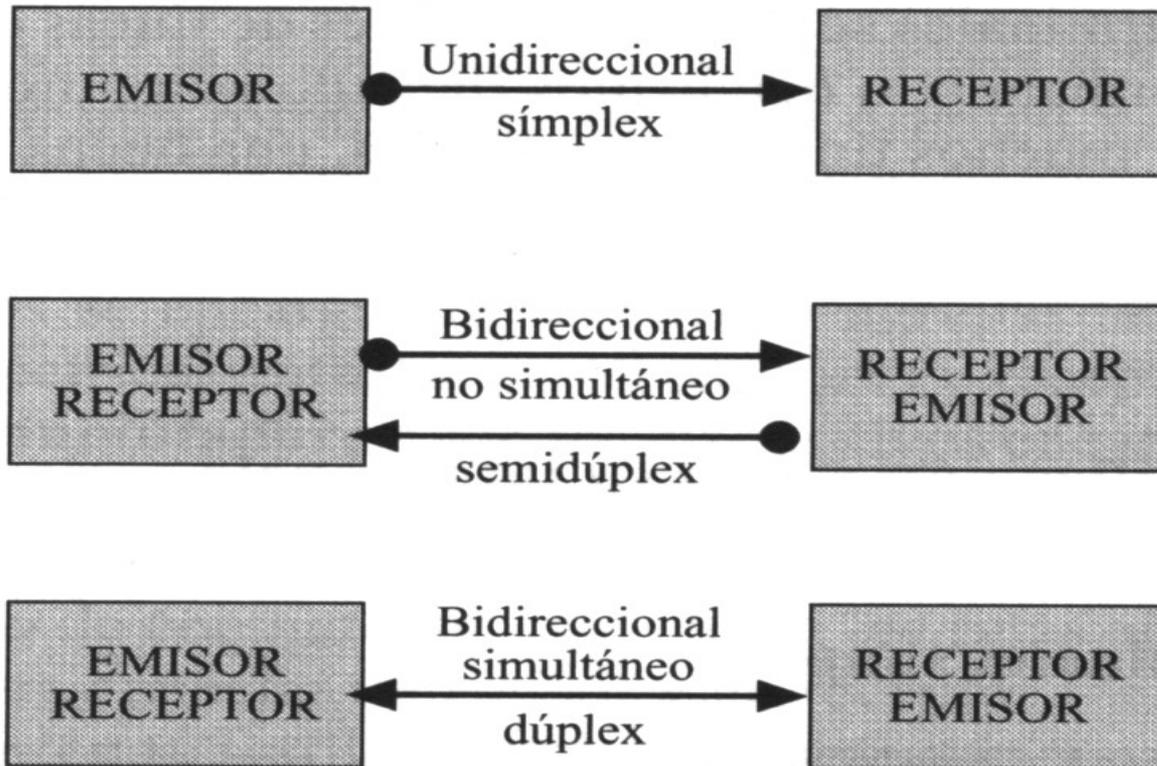
Interfaz RS-232



Señales RS-232 en un conector PC de 9 pines

PIN	SEÑAL	NOMBRE	FUNCIÓN
1	DCD	Data Carrier Detect	Detección de portadora
2	RD	Received Data	Entrada de datos en el DTE
3	TD	Transmitted Data	Salida de datos del DTE
4	DTR	Data Terminal Ready	DTE preparado y listo. Pone en funcionamiento al módem
5	GND	Masa	Masa del circuito
6	DSR	Data Set Ready	ETCD está listo para comunicar con DTE
7	RTS	Request To Send	DTE desea cambiar a modo de transmisión
8	CTS	Clear To Send	ETCD está listo para transmitir
9	RI	Ring Indicator	Aviso de llamada detectada

Modos de diálogo



Protocolos de comunicación

- Protocolo = conjunto de normas que hacen posible la comunicación entre dos o más nodos.
- Funciones más importantes de un protocolo:
 - Establecimiento y fin de la comunicación
 - Sincronización de la comunicación -> a nivel de bit, de palabra y de trama.
 - Direccionamiento -> identificación de los nodos
 - Control de flujo y de congestión -> permitir a la red compartir sus recursos entre varios nodos dando servicio a todos.
 - Control de errores -> códigos y sistemas para la detección y recuperación de errores.
 - Estrategias de encaminamiento -> utilización de los recursos de la red de forma óptima, caminos alternativos, etc.
- Arquitectura de protocolos
 - Procesos independientes
 - Implementación por software o hardware
 - Estructura en capas.

Clasificación de los protocolos

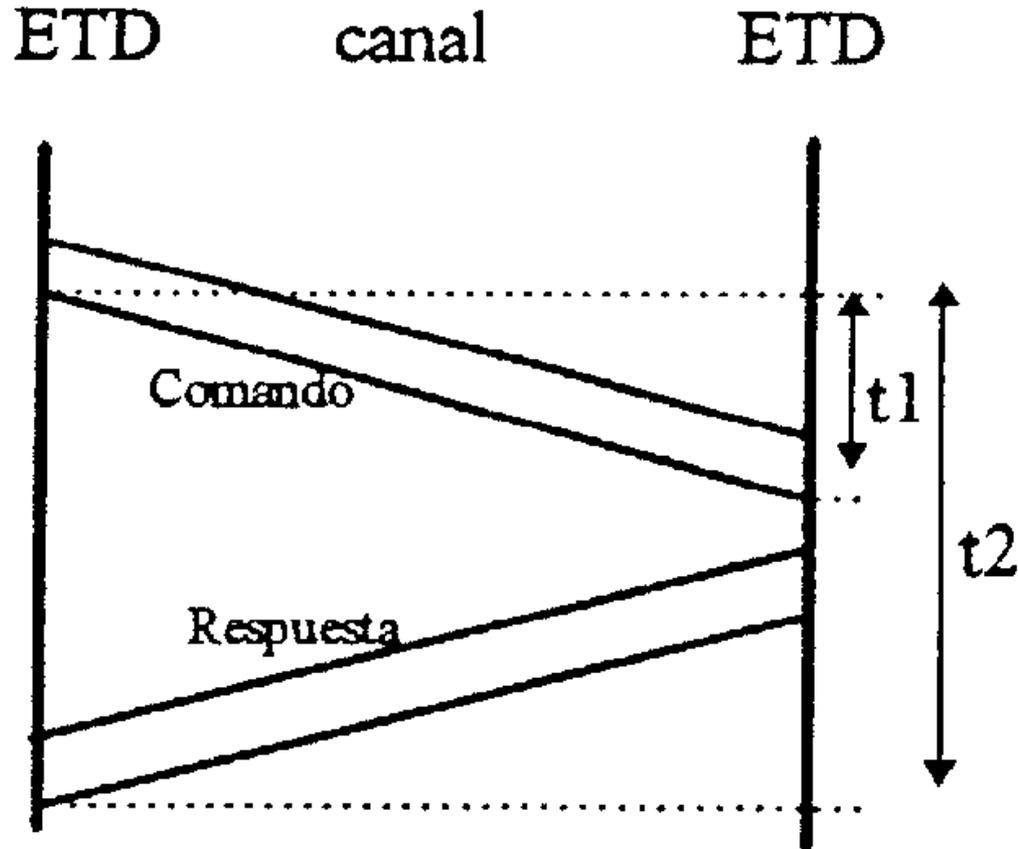
- Según las unidades de datos con las que trabajan
 - ♦ Protocolos orientados a carácter -> década de los 60
 - ♦ Protocolos orientados a bit -> modernos
- Según su forma de sincronización -> síncronos / asíncronos
- Según el control sobre el medio
 - ♦ Balanceados o simétricos:
 - los dos extremos trabajan igual.
 - Cada uno puede tomar la iniciativa de la comunicación
 - ♦ No balanceados a asimétricos
 - Una estación primaria (maestra) y las demás secundarias (esclavas)
 - La estación primaria emite y/o da turnos de palabra para emitir
 - La estación secundaria recibe o espera su turno para emitir
 - ♦ Híbridos

- Según utilicen o no sondeo
 - ♦ Protocolos de sondeo-selección
 - Sondeo = la estación primaria pide información a la secundaria
 - Selección = la estación primaria envía información a la estación secundaria
 - El proceso se controla con señales:
 - ✓ Sondeo = petición de información
 - ✓ Selección = aviso de envío de información
 - ✓ ACK = validación
 - ✓ NAK = no validación
 - ✓ EOT = fin de transmisión
 - ♦ Protocolos sin sondeo: no realizan sondeo
 - Control de flujo hardware: RTS/CTS
 - Control de flujo software: XON/XOFF
 - ✓

- Según utilicen o no prioridades
 - ♦ Sistemas sin prioridad
 - MUX-MDT (Multiplex por división en el tiempo)
 - ✓ El canal se divide en intervalos de tiempo
 - ✓ Se asigna un intervalo a cada estación
 - CSMA/CD (acceso múltiple por detección de portadora y detección de colisiones)
 - ✓ Todas las estaciones pueden utilizar el canal cuando está libre
 - ✓ Una estación escucha a ver si el canal está libre, y si está libre transmite
 - ✓ Si dos estaciones empiezan a emitir a la vez se produce una colisión. Cada estación corta el envío y espera un tiempo aleatorio antes de empezar a enviar de nuevo
 - ✓ El rendimiento se degrada en sistemas con mucho tráfico por el aumento de las colisiones
 - Paso de testigo
 - ✓ Se transmite por la red un testigo
 - ✓ Sólo la estación que tiene el testigo puede transmitir

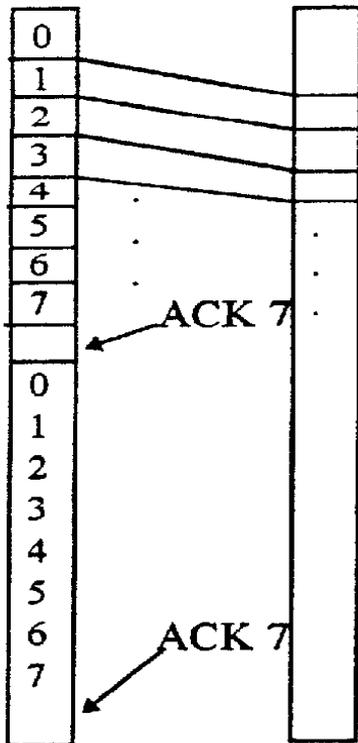
- ♦ Sistemas con prioridad
 - CSMA/CD con prioridad
 - ✓ El tiempo de espera después de una colisión no es aleatorio sino que se fija para cada estación, menor cuanto mayor sea la prioridad de la estación
 - Paso de testigo con prioridad
 - ✓ El paso del testigo no se hace por turnos, sino que se puede reservar por las estaciones según su prioridad
- Protocolos de ventana deslizante
 - ♦ En protocolos normales (parada y espera) el canal permanece sin utilizar mientras se espera la validación del receptor
 - ♦ Los protocolos de ventana deslizante permiten enviar varias tramas sin esperar validación y validarlas luego todas a la vez
 - ♦ Llevan un contador de tramas transmitidas

Desperdicio de tiempo de canal en protocolos de parada y espera

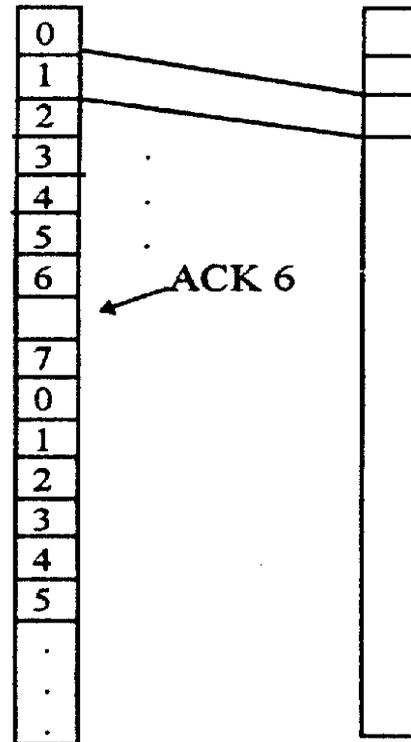


Protocolos con ventana deslizante

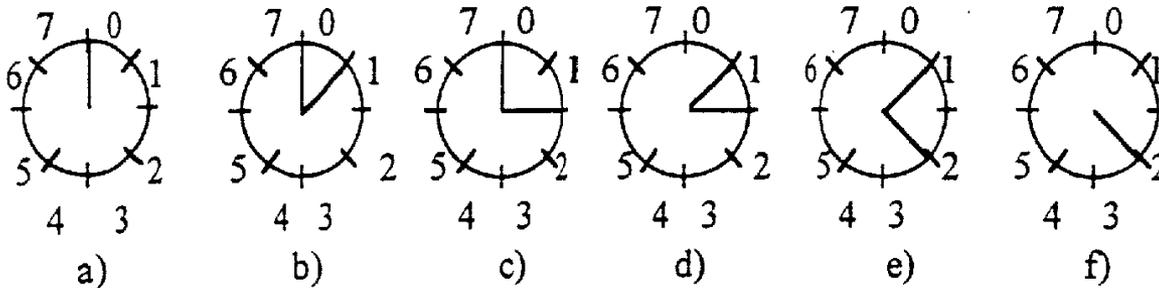
EMISOR RECEPTOR



EMISOR RECEPTOR



E



- Clasificación según el nivel (OSI):
 - Protocolos de nivel físico (1)
 - Protocolos de nivel de enlace (2)
 - Protocolos de nivel de red (3)
 - Protocolos de nivel de transporte (4)
 - Protocolos de nivel de sesión (5)
 - Protocolos de nivel de presentación (6)
 - Protocolos de nivel de aplicación (7)

Protocolo XMODEM

- Protocolo para transferencia de archivos entre PC's a través del módem
- Protocolo de parada y espera, serie, asíncrono
- Tramas de longitud fija:

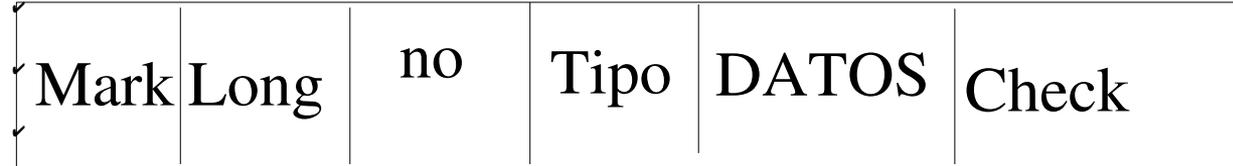
✓ SOH ✓	No	C1 no	DATOS	Checksum
---------------	----	----------	-------	----------

- SOH = cabecera (carácter 1 ASCII)
- no (1byte)= número de secuencia del paquete
- C1 no (1byte)= n° secuencia en complemento a 1
- DATOS (128 bytes)
- Checsum (1 byte) = suma de todos los bytes de datos

- Inicio de la transmisión -> receptor envía ACK indicando que está preparado para recibir
- Transmisión:
 - El emisor envía un dato
 - Si el receptor lo recibe bien envía ACK
 - Si hay error de secuencia en vía CAN -> corta la transmisión
 - Si hay otro error envía NACK -> el emisor reenvía la trama
- Fin de la transmisión -> el emisor envía EOT

Protocolo kermi

- Protocolo para transferencia de archivos entre ordenadores (no PCs) a través del módem
- Protocolo de parada y espera, serie, asíncrono
- Tramas de longitud variable:



- mark (1 byte) = cabecera (secuencia irrepetible)
- long (1 byte) = longitud de la trama
- no (1byte)= número de secuencia de la trama
- tipo = tipo de trama
- DATOS (longitud variable)
- Check (1,2,3 byte) = puede ser check o CRC

- Permite la transferencia de archivos entre diferentes sistemas
- Sólo presupone que los sistemas son capaces de enviar caracteres imprimibles (20h-7Fh ASCII)
- Los "códigos de control" son tramas en vez de caracteres
- Tramas de longitud variable
- El protocolo incluye el nombre del fichero
- Permite negociar parámetros de la comunicación
- Permite versiones de ventana deslizante (nº de secuencia en tramas ACK y NACK)
- Permite transferir múltiples ficheros

Protocolo HDLC

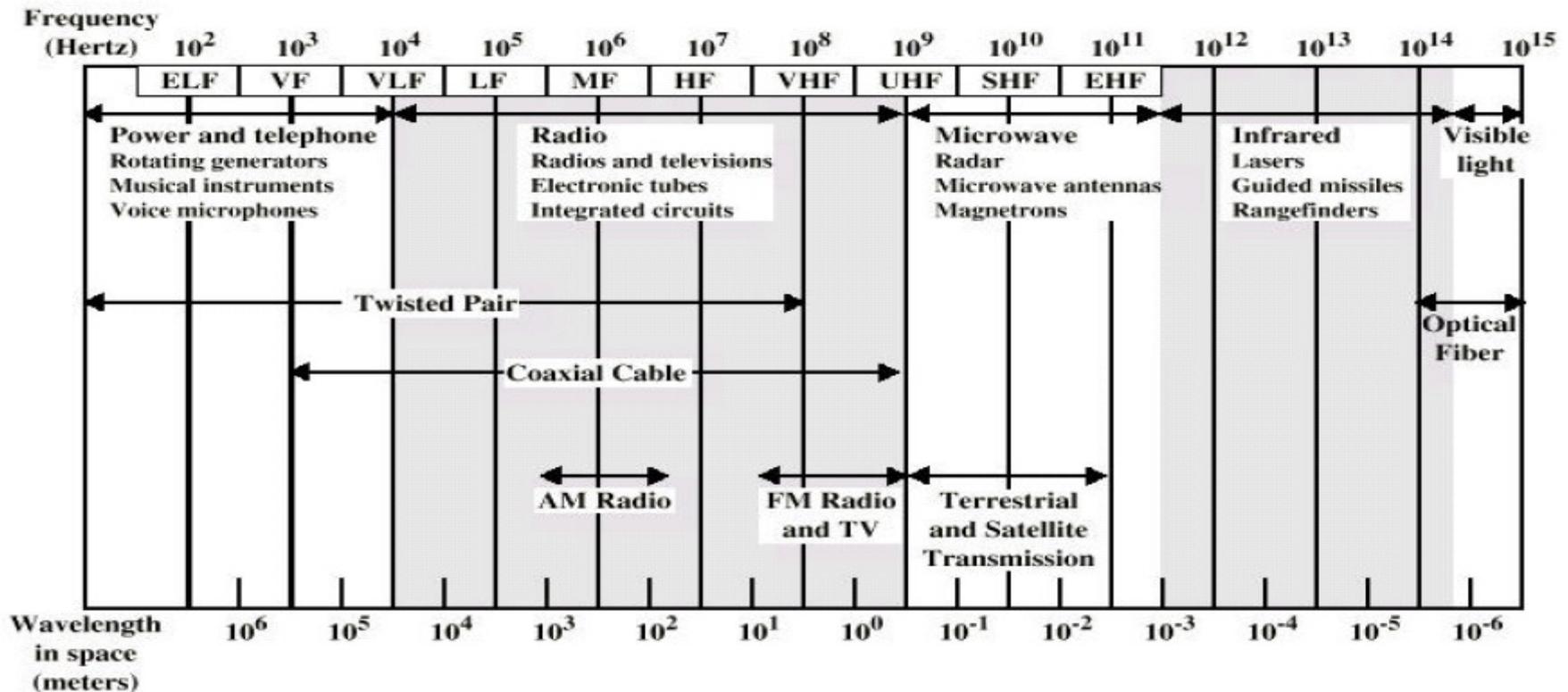
- Protocolo orientado a bit, síncrono, punto a punto o multipunto, de ventana deslizante.
- Estandar ISO.
- Permite explotación duplex del enlace.
- Permite la transmisión de cualquier tipo de datos.
- Permite enlaces equilibrados y no equilibrados.
- Trama:



- Bandera = 01111110
- Dirección (8bits) = identifica estación (multipunto)
- Control (8bits) = tipo de trama, etc
- DATOS = cualquier número de bits
- FCS (16 bits) = control de errores

Medios de transmisión

- Tipos de medios:
 - Guiados -> par trenzado, cable coaxial y fibra óptica
 - No guiados -> atmósfera o espacio exterior (infrarrojos, radioenlaces, satélite, radio)
- Espectro electromagnético y uso de los distintos medios



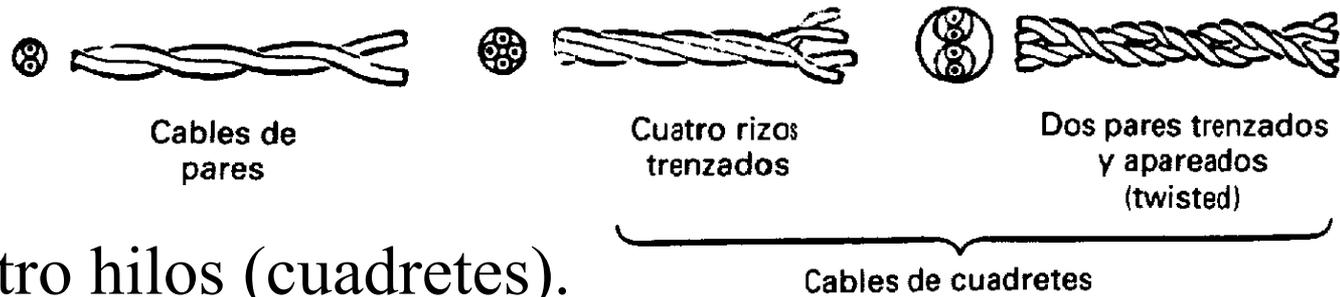
Par trenzado

- Características

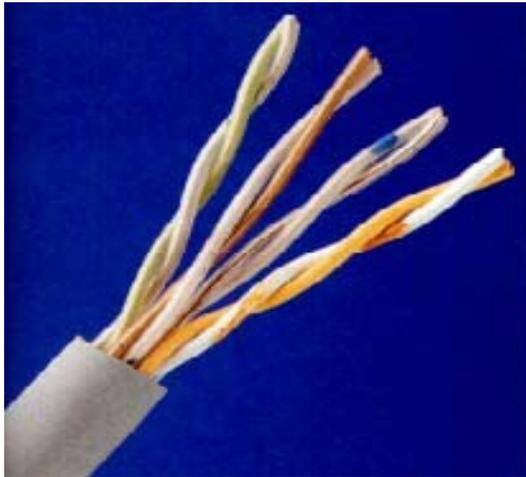
- ♦ Inicialmente pensado para telefonía: común y económico.
- ♦ Dos conductores aislados y trenzados.
 - Van trenzados para evitar que hagan de antenas.
 - Poca protección frente a interferencias.
 - Resistencia → Diámetro → Ancho de banda.
 - Blindaje.
 - Normalización: **American Wire Gauge**.



Calibre (AWG)	19	22	24	26	28
Diámetro (mm)	0.912	0.644	0.511	0.405	0.320



- Composición
 - ♦ Dos o cuatro hilos (cuadretes).
 - ♦ Cables multipares -> de 6 a 2200 pares.
- Tipos
 - ♦ No apantallados (UTP)
 - ♦ Apantallados (STP)



No apantallado UTP.

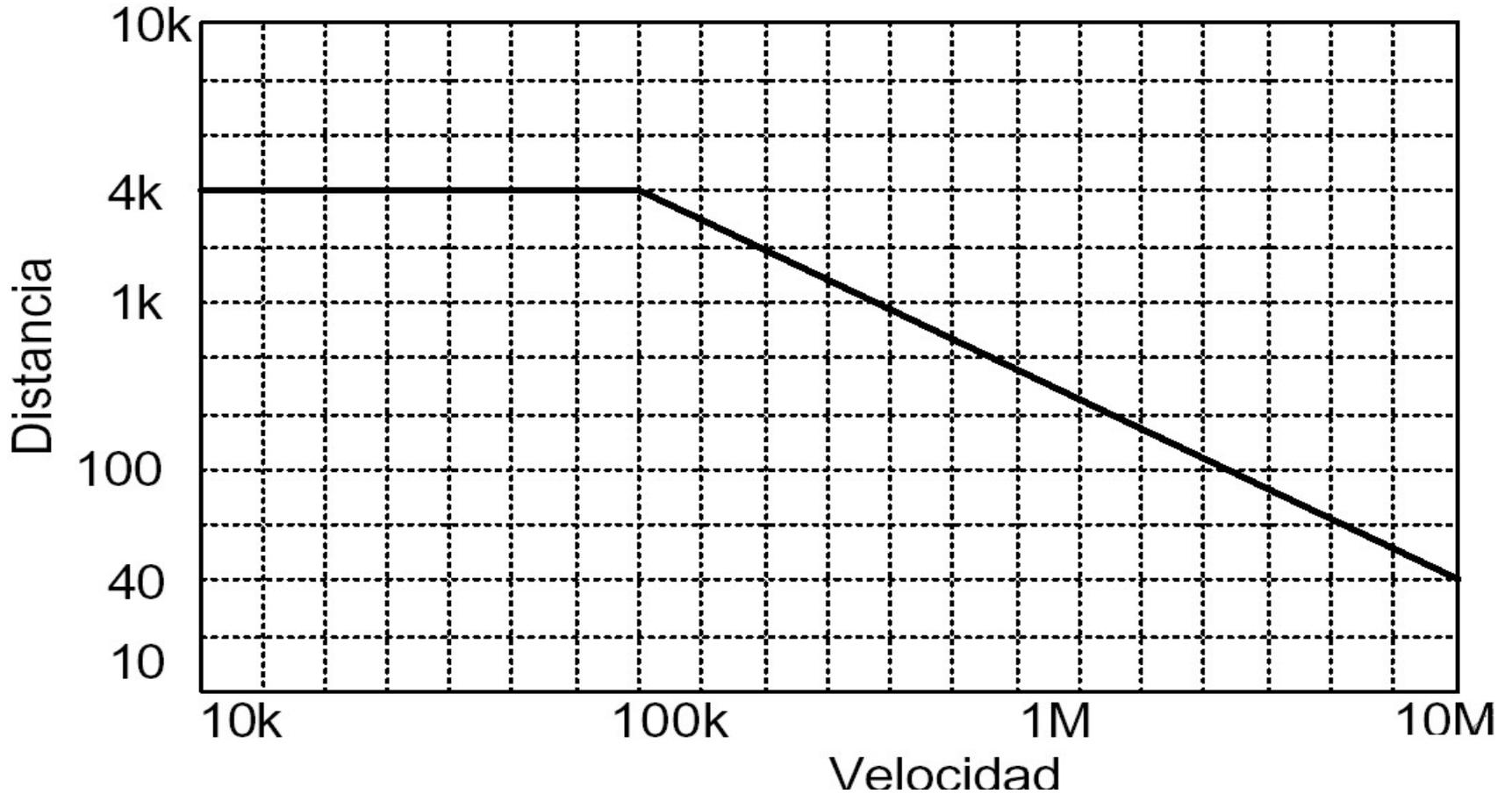


Apantallado STP.

Diámetro	0.40	0.50	0.65	0.80	0.90
Ohms/Km	143	91.4	54.5	35.7	28.2

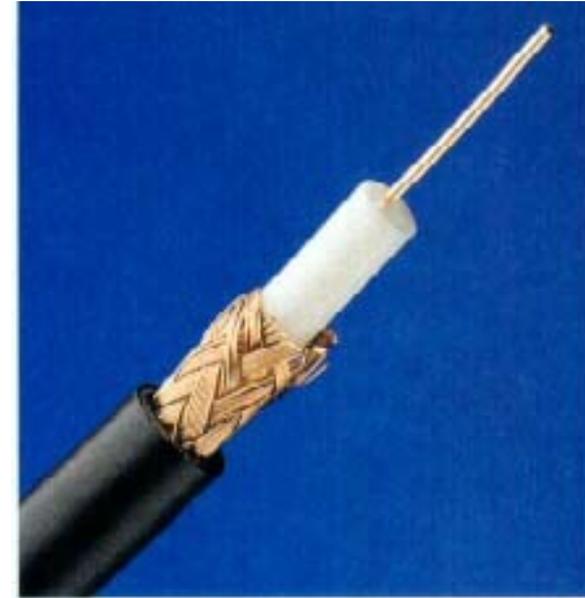
- Cables UTP
 - ♦ Categoría 1: Telefonía, transporte de voz (< 1Mbps)
 - ♦ Categoría 2: Datos hasta 4 Mbps. Token Ring a 4 Mbps.
 - ♦ Categoría 3: Datos hasta 10 Mbps. Ethernet 10base-T. 3-4 vueltas/pie.
 - ♦ Categoría 4: Token-Ring, Token-bus y 10base-T, 20MHz.
 - ♦ Categoría 5: Datos hasta 100 Mbps (Fast-Ethernet).
 - ♦ Redes 100baseT y 10baseT.
 - ♦ Hasta 100MHz
 - ♦ 3-4 vueltas/pulgada.

- Distancia máxima \rightarrow inversamente proporcional a la velocidad.



Cable coaxial

- Dos conductores concéntricos.
- Señales TV, redes locales (Ethernet).
- Características
 - Menor atenuación -> repetidores cada Km o hasta decenas de Km, según frecuencia
 - Mejor respuesta en frecuencia.
 - Inmunidad al ruido.
 - Mayor ancho de banda que cable de pares
 - Más caro y pesado.
- Denominación: RG xx X/U (norma MIL C-17 E)

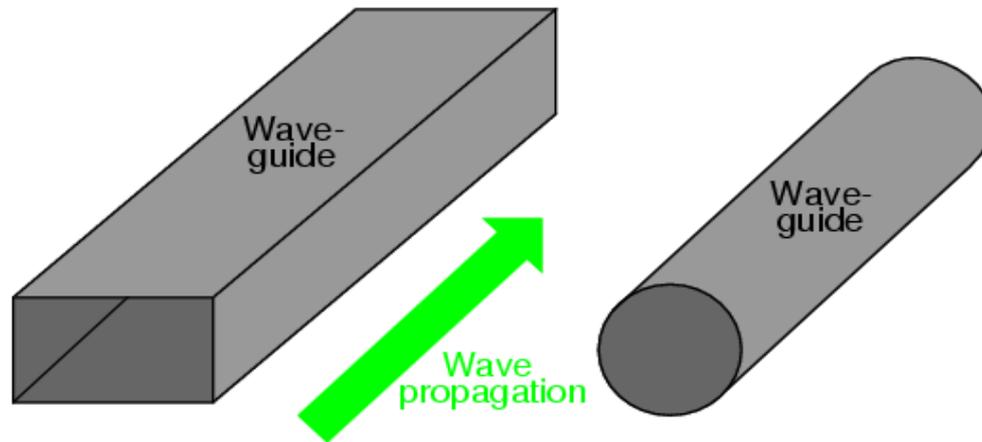


- Coaxial fino: RG 58 C/U
 - ♦ Impedancia: $Z=50\text{ohm}$.
 - ♦ Capacidad $C=101\text{ pF/m}$
 - ♦ Veloc. Propagación = 66% (5ns/m)
 - ♦ Tensión máxima $U=1.9\text{ KV}$
 - ♦ Atenuación (a 20°C)

MHz	10	50	100	200	400	1000
dB/100m	4.9	12	17	26	38	65

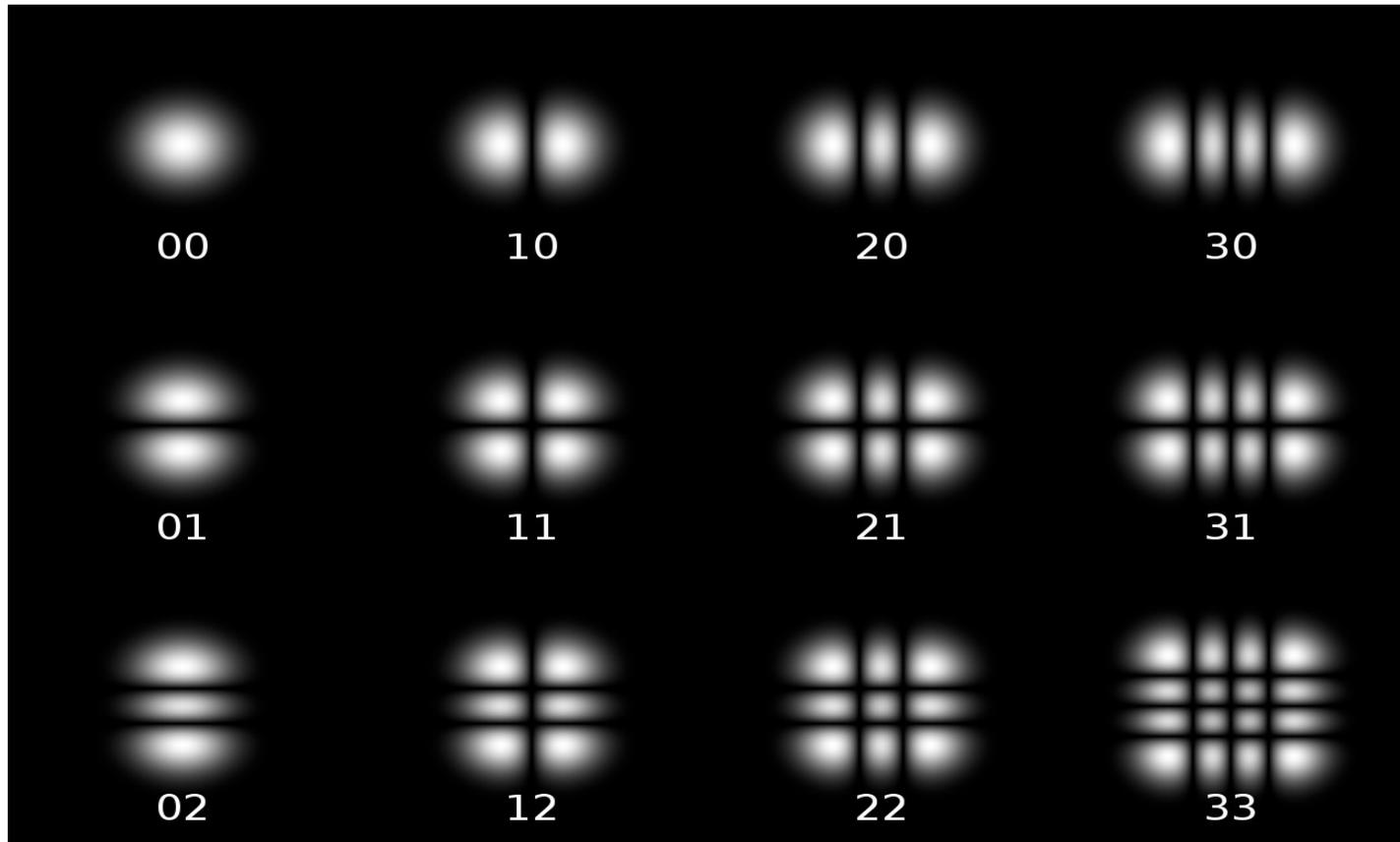
Coaxial tipo	Capacidad (pF/m)	Velocidad propag.(%)	Vmáx (KV)	ATENUACIÓN (dB/100m) a Mhz.					
				10	50	100	200	400	1000
RG 174A/U		66	1'5	12'8	23	29'2	39'4	61	98'4
RG 122/U	101	66	1'9	5'9	14'2	23	36'1	56	95'2
RG 58 C/U	101	66	1'9	4'9	12	17	26	38	65
RFA 223/U	101	66	1'9	4'3	10	14	30	29	45
RG 223/U	101	66	1'9	3'9	9'5	15'8	23	33	54'2
RG 213 /U	101	66	5	2	4'9	7	10'5	15'5	26
RG 9 B/U	101	66	5	2'2	5'4	7'6	11'5	17'5	30
RG 21 4/U	101	66	5	2'2	5'4	7'6	10'9	17	28'9
RG 21 8/U	101	66	11	0'75	1'8	3	4'6	7	12
RG 177 /U	101	66	11	0'78	1'8	3'1	4'6	7'9	14'5

Guías de onda



- Son tubos huecos
- Transmiten ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (microondas)
- Frecuencia de corte : λ debe “caber” en la guía -> sólo frecuencias mayores (λ menores)
- Transmisión con muy bajas pérdidas

Modos de transmisión



- Distintas formas de propagarse
- Interesa que sólo haya un modo -> modo fundamental: que sólo “quepa” un modo

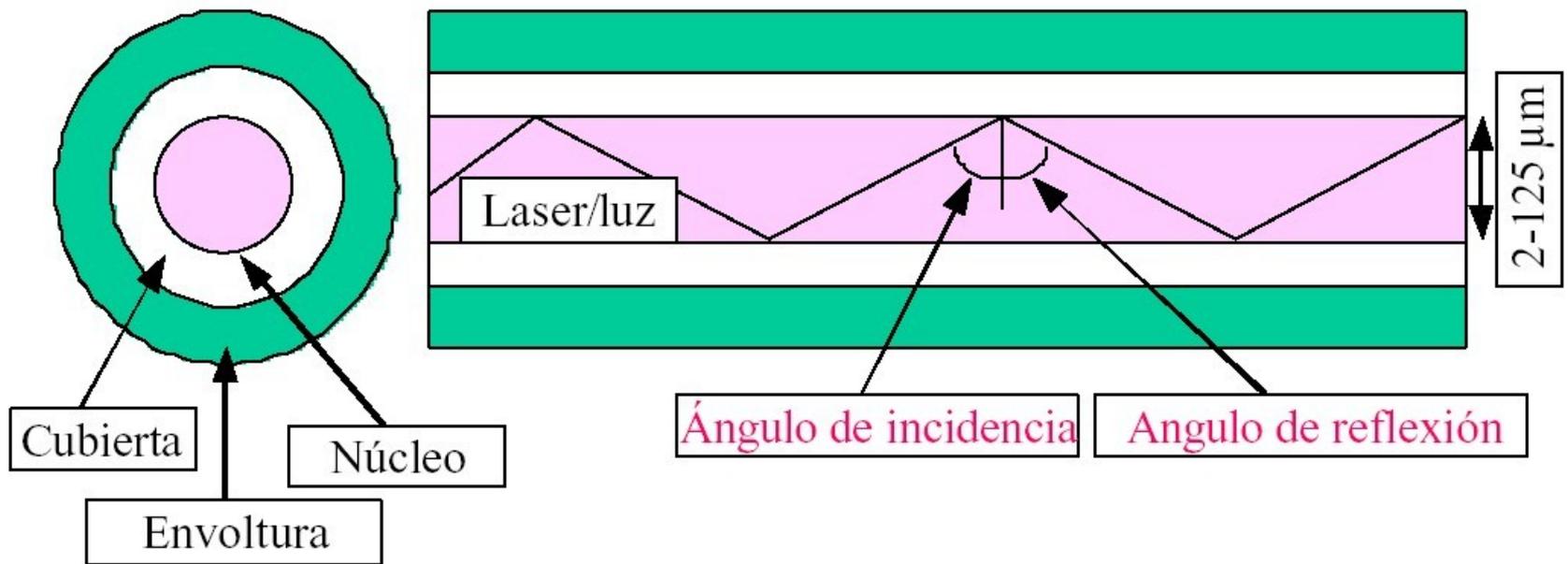
Ejemplos de guías de onda



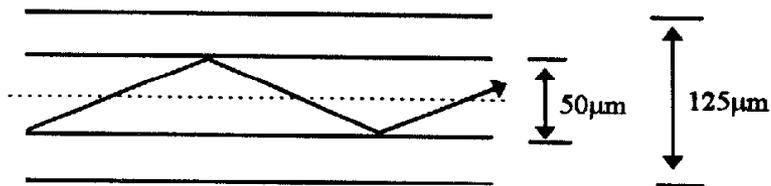
Fibra óptica

- Formado por una o varias hebras de cristal o plástico.
- Transmisión por luz infrarroja
 - Ventana de 850nm -> distancias cortas y medias
 - Ventana de 1300nm -> distancias largas, menor atenuación
 - Ventana de 1550 nm -> distancias largas, menor atenuación
- Reflexión de la luz
- Propiedades.
 - Gran ancho de banda (hasta 2Gbps)
 - Baja atenuación.
 - Inmunidad ruido electromagnético.
 - Baja potencia.
 - Poco peso y tamaño.
 - Transmisión al larga distancia (decenas de Km)
 - Necesidad de conversiones electricidad/luz

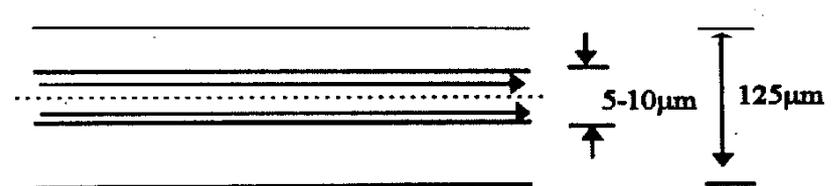




- Ángulo de incidencia menor que un cierto ángulo \Rightarrow reflexión
- Según la anchura del núcleo
 - Fibras multimodo (anchura del núcleo mucho mayor que la longitud de onda de la portadora) \rightarrow varios modos de propagación
 - Fibras monomodo (anchura del núcleo cercana a la longitud de onda de la portadora) \rightarrow un solo modo de propagación



Fibra multimodo



Fibra monomodo

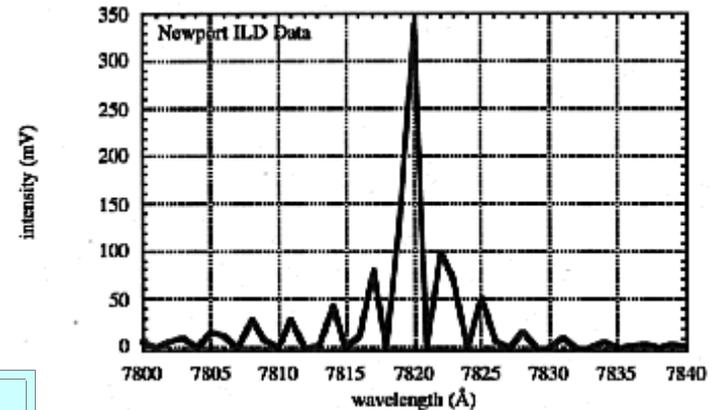
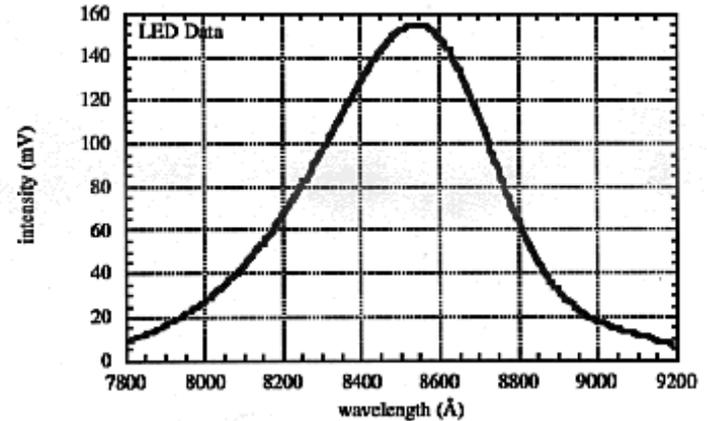
Dispersión en la fibra



- Tipos de dispersión
 - Dispersión modal -> la luz viaja por distintos caminos (distintas longitudes) => depende de la fibra
 - Dispersión espectral -> las distintas longitudes de onda de la luz sufren distintos retardos => depende de la fuente de luz.
- Tipos de fuentes de luz
 - LED -> luz poco coherente => uso en fibras multimodo en la primera ventana
 - ILD (Injection Laser Diode) -> luz coherente => uso en fibras monomodo en la segunda y tercera ventanas.
- Detectores => fotodiodos polarizados en inverso

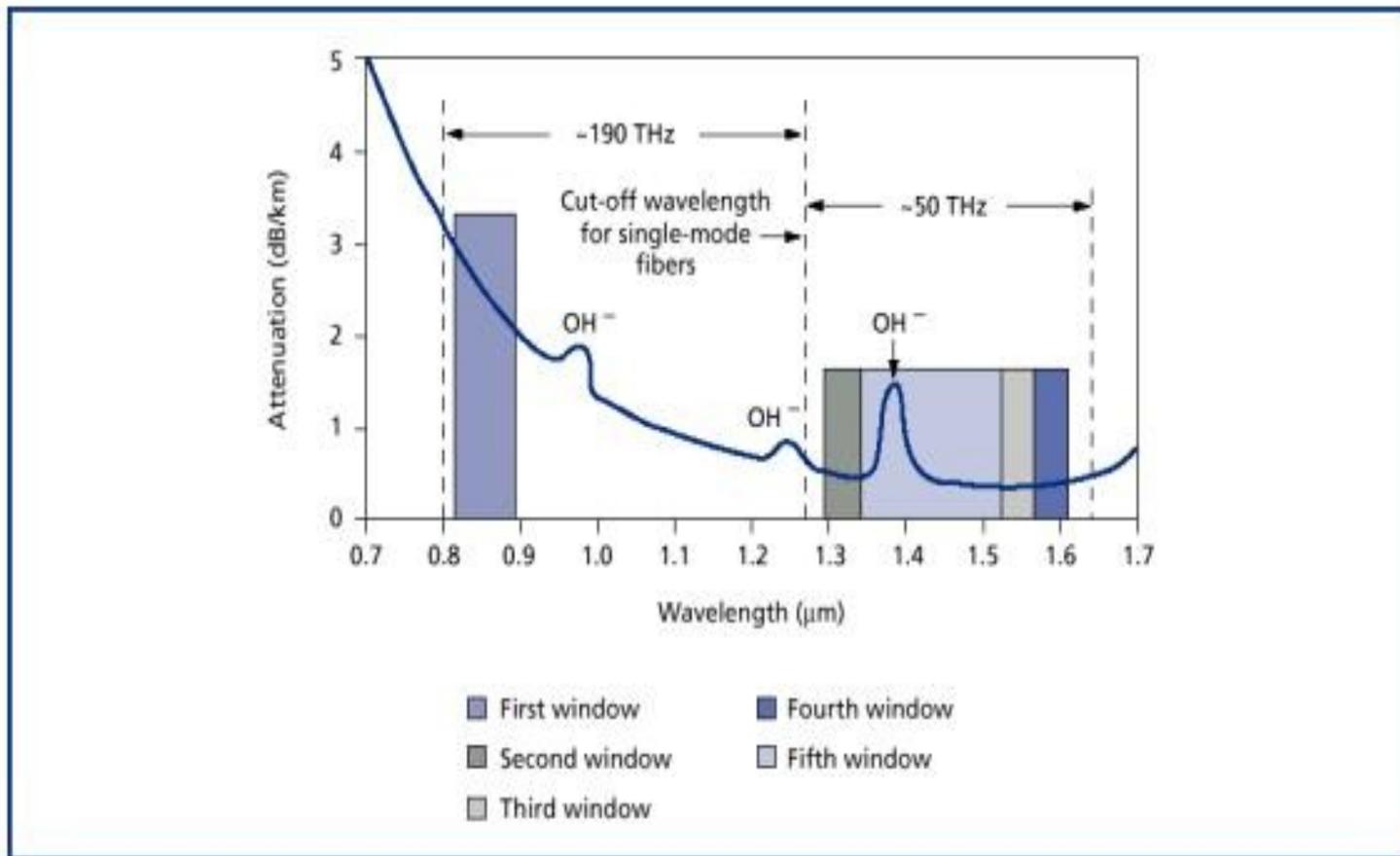
Fuentes de luz

- LED
 - Luz poco coherente => distintas velocidades de propagación.
 - Baja potencia => menor alcance
 - Bajo coste
- ILD
 - Luz mucho más coherente => menor dispersión espectral
 - Alta potencia => más alcance
 - Mayor coste



Características	LED	Laser
Ancho espectral	20-60 nm	0.5-6 nm
Corriente	50 mA	150 mA
Potencia de salida	5 mW	100 mW
Velocidad	100 MHz	2 GHz
Tiempo de vida	10,000 hrs.	50,000 hrs.
Costo	\$1.00- \$1500	\$100 - \$10000

Pérdidas en la fibra

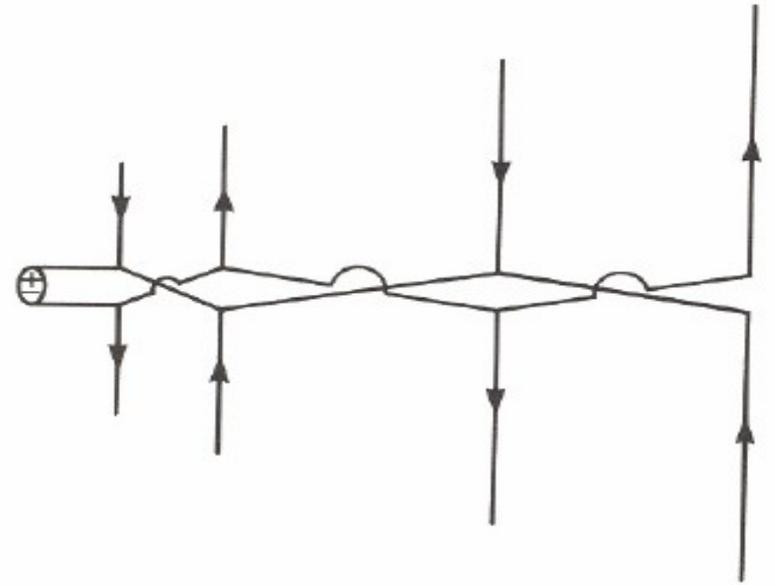


- Pérdidas -> dependen de la frecuencia de la portadora
- Segunda y tercera ventana -> menos pérdidas => transmisión a larga distancia.

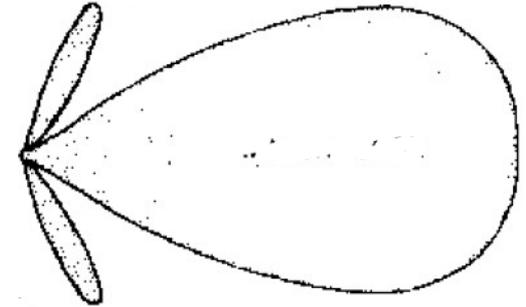
Transmisión por radio

- Bandas de frecuencia VLF-UHF (aprox 50Khz – 3Ghz)
- Transmisión omnidireccional
- Antenas monopolares o dipolares $\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{4}\lambda$
- Transmisión
 - ♦ Bajas frecuencias
 - Ondas terrestres -> poca atenuación por obstáculos (larga distancia)
 - Poco ancho de banda
 - ♦ Altas frecuencias
 - Ondas espaciales (propagación en línea recta) -> gran atenuación
 - Mucho mayor ancho de banda
- Usos:
 - ♦ Radiodifusión comercial (AM, FM..)
 - ♦ Televisión
 - ♦ Telefonía móvil
 - ♦ Radiocomunicación (Banda Ciudadana, 2metros,...)
 - ♦ Varios (telecontrol, telemando, telemedida, servicio móvil marítimo, radiobalizas, RLAN/WiFi, etc.)

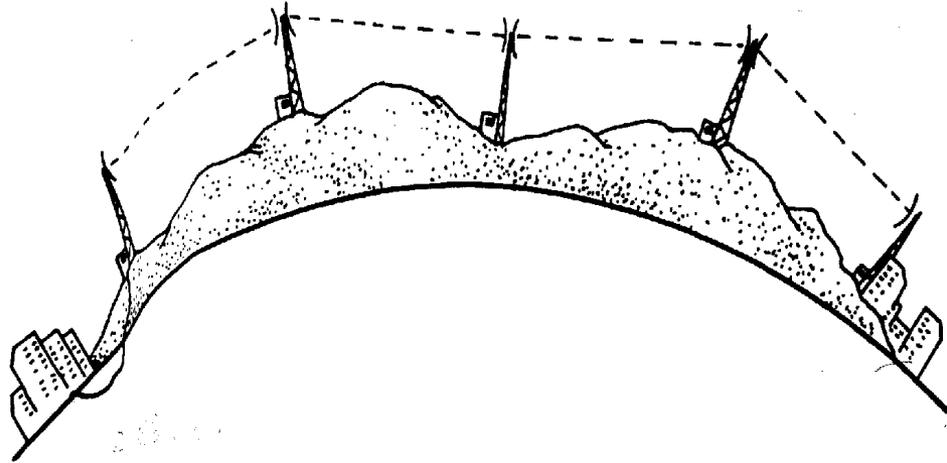
Arrays de antenas



- Campo se suma a 0° \rightarrow direccional
- “trenzado” evita interferencias



Radioenlaces

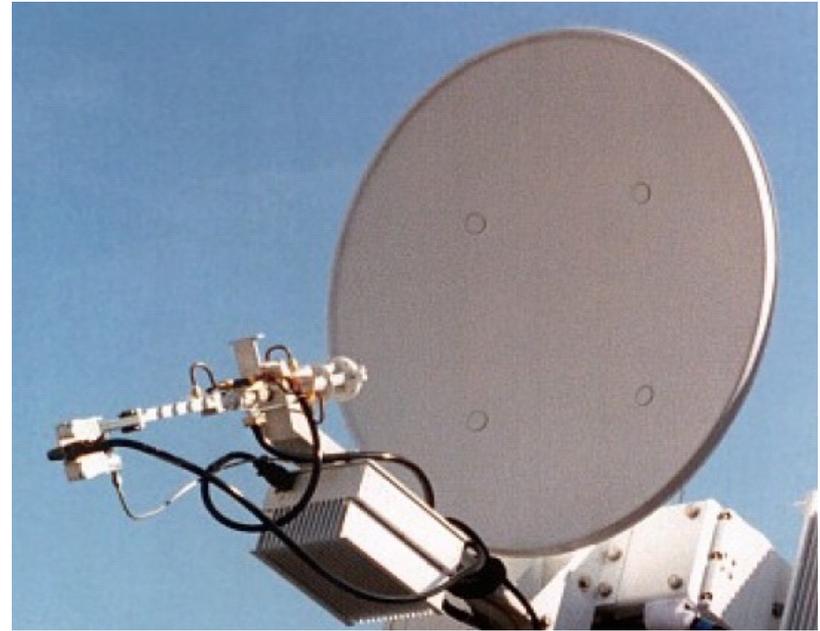


- Enlaces via radio -> microondas (1-40Ghz, $\lambda=30\text{cm}-1\text{mm}$)
- Propagación en línea recta hasta 30-50Km (punto a punto)
- Mucha atenuación por obstáculos => visión directa
- Antenas de tamaño varias veces λ
- Haz muy direccional: entre 1° y 5° -> parabólicas
- No son necesarios permisos para “utilizar el aire”
- Problemas con la difracción en el aire y el agua.
- Muy gran ancho de banda (mayor a mayor frecuencia)

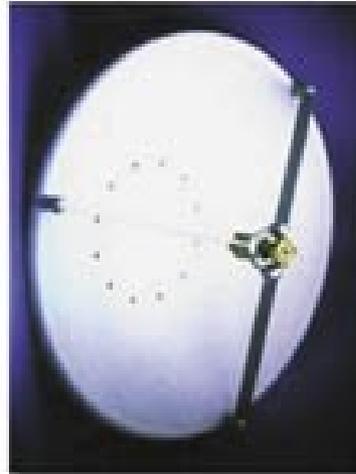
Antenas usadas en los radioenlaces



Pantalla para reducir lóbulos laterales



Convencional



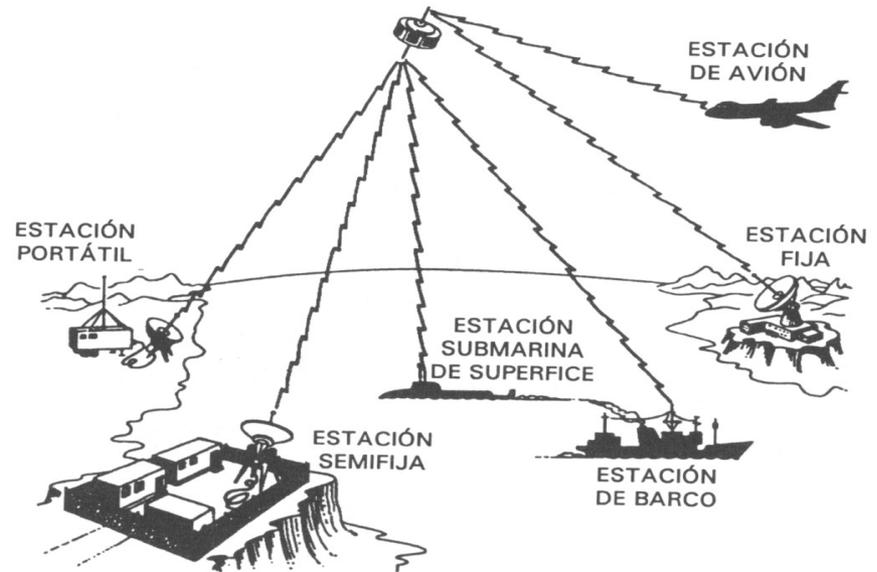
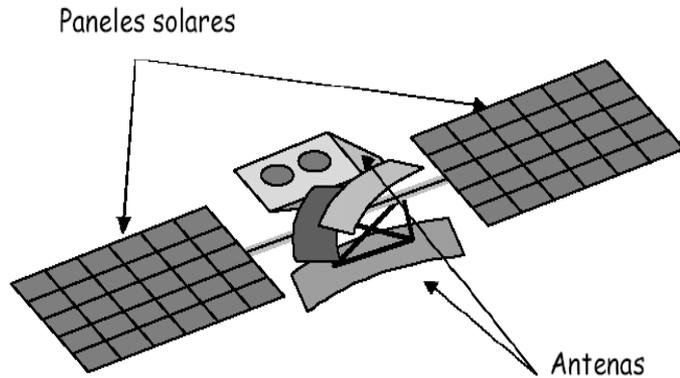
Cassegrain



Gregoriano



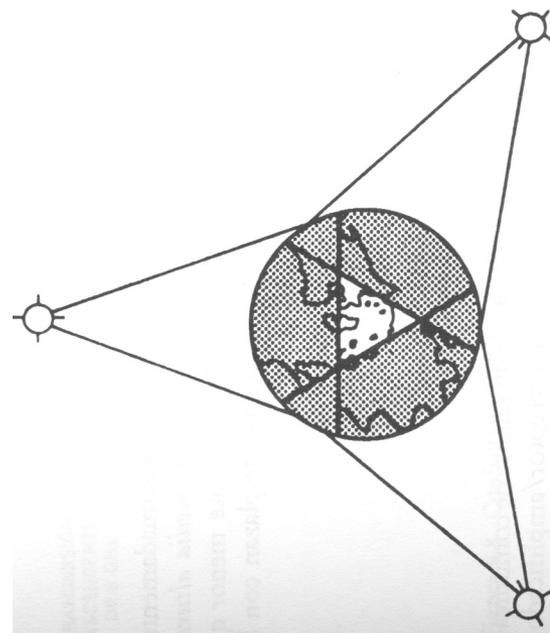
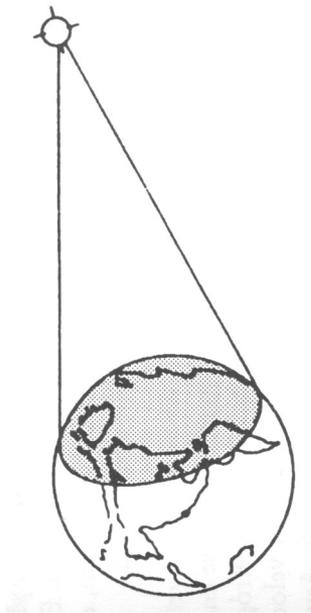
Transmisión por satélite



- **Características**

- Eluden barreras naturales
- Alcance todo el planeta (sin necesidad de otras infraestructuras)
- Retardos de propagación (señal viaja 72.000km)
- Atenuación por lluvia, nieve, etc.
- Interferencias de radio, microondas, etc.
- Costes de lanzamiento muy altos, pero rentable para transmisiones a muy larga distancia
- Gran ancho de banda

- Tipos
 - ♦ Satélite pasivo
 - Refleja la señal de radio procedente de la tierra
 - Señal ascendente y descendente de la misma frecuencia
 - ♦ Satélite activo
 - Recibe la señal, la amplifica y la envía
 - Frecuencias ascendente y descendente distintas.
- Frecuencias
 - ♦ 30Mhz – 40Ghz
 - ♦ Distintas bandas para distintas aplicaciones
- Usos
 - ♦ Transmisión a larga distancia
 - ♦ GPS
 - ♦ Telefonía por satélite
 - ♦ Aplicaciones espaciales
 - ♦ Usos militares



- **Satélites geoestacionarios**

- Satélite mantiene altura si $\text{peso} = \text{fuerza centrífuga} \Rightarrow \text{velocidad}$
- A 36.000Km de altura $\text{velocidad} = 1 \text{ vuelta cada } 24\text{h} \Rightarrow \text{igual que la tierra} \Rightarrow \text{posición "fija"}$
- Un satélite geoestacionario cubre casi la mitad de la tierra.