

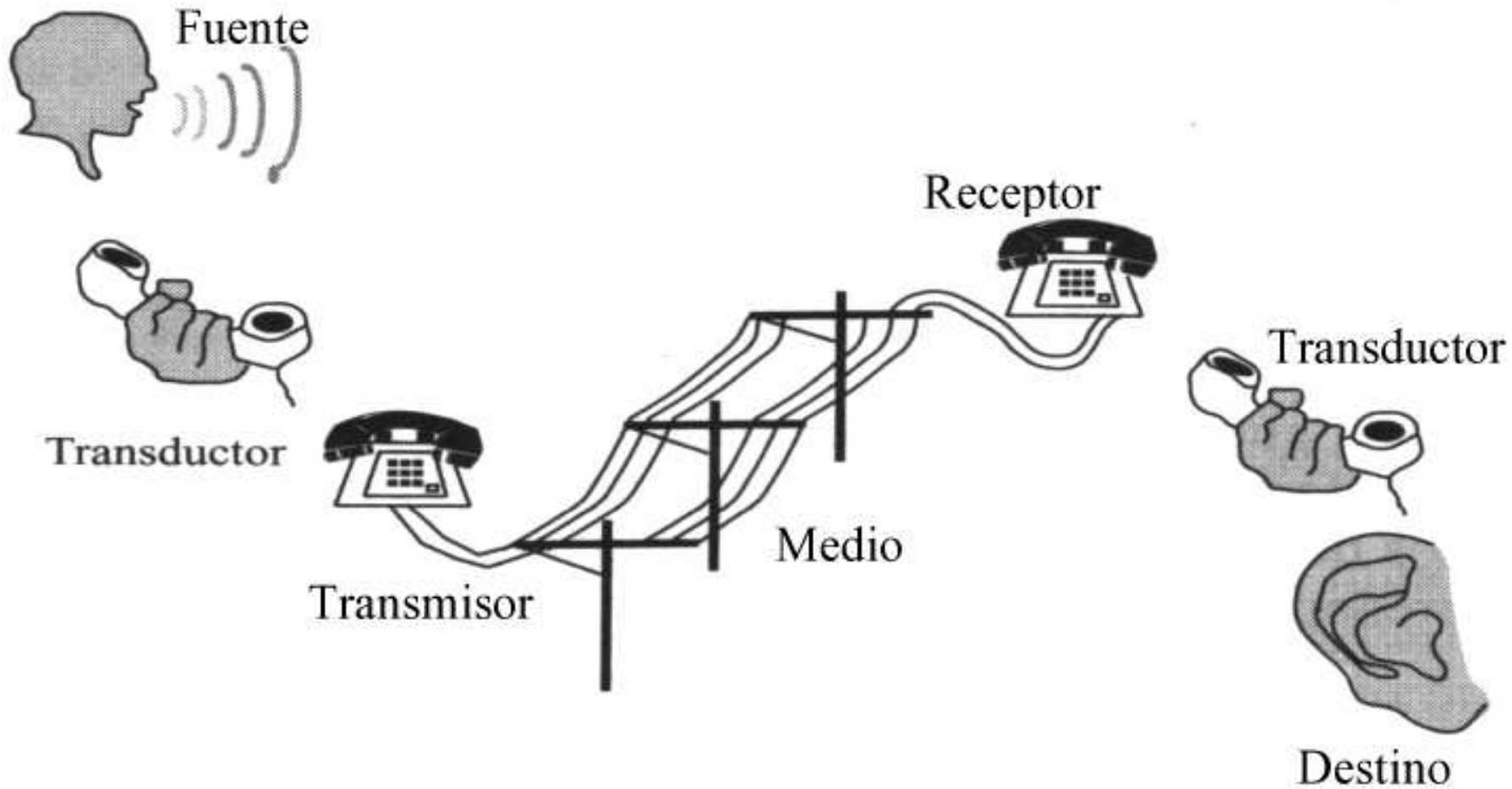
TELECOMUNICACIONES

- 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

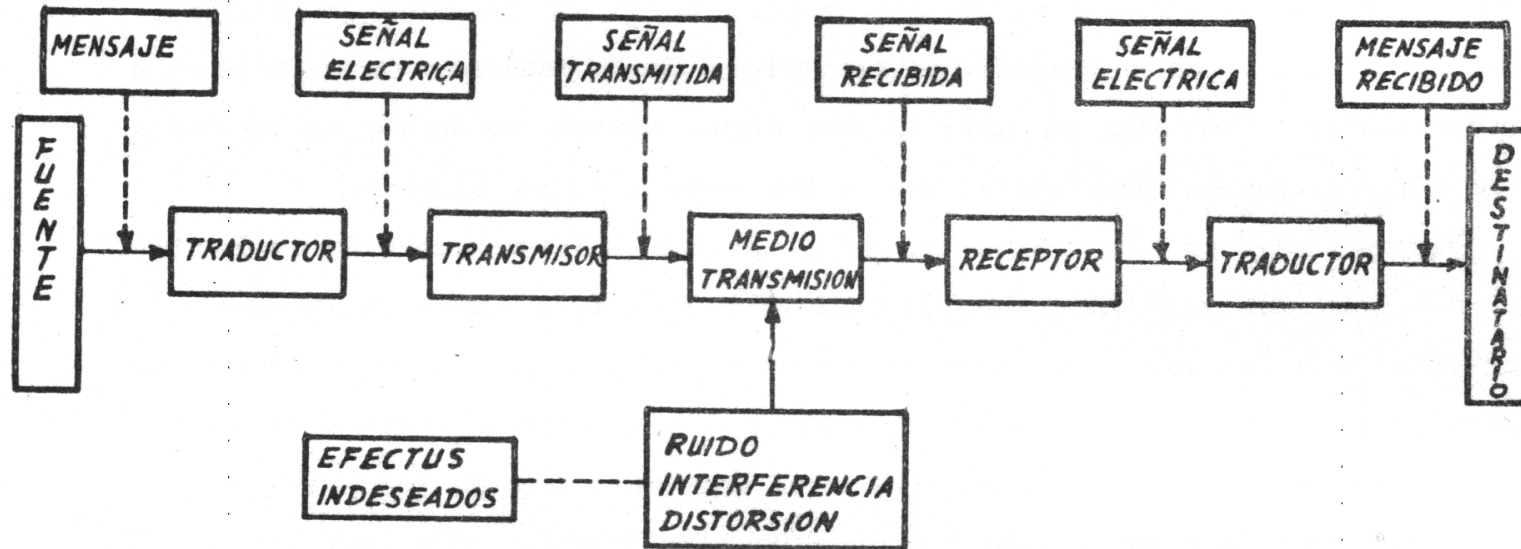
TELECOMUNICACIONES

- 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

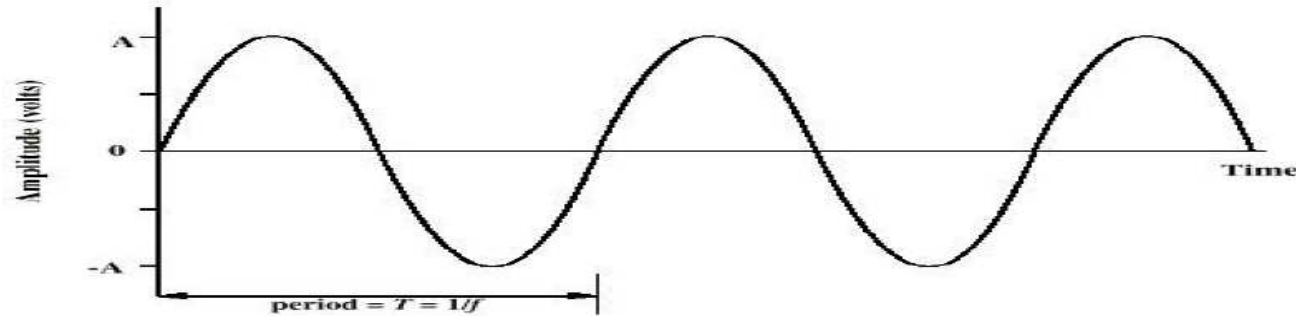


Concepto de comunicación

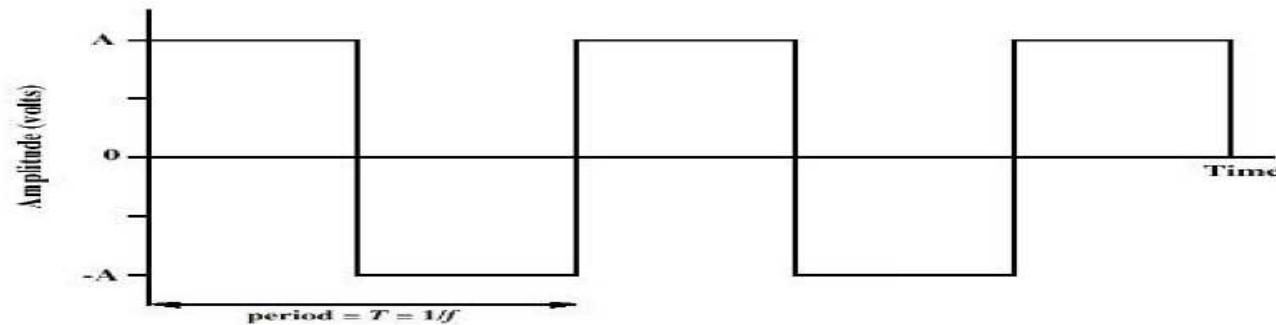


- **Comunicación** = transvase de información entre dos o más entes a través de un medio físico, mediante signos entendibles por todas las partes y siguiendo unos procedimientos establecidos por todas las partes
- Transductores -> conversión entre magnitudes físicas/electricas
- Transmisor -> adaptación 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



(a) Sine wave



(b) Square wave

- 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)

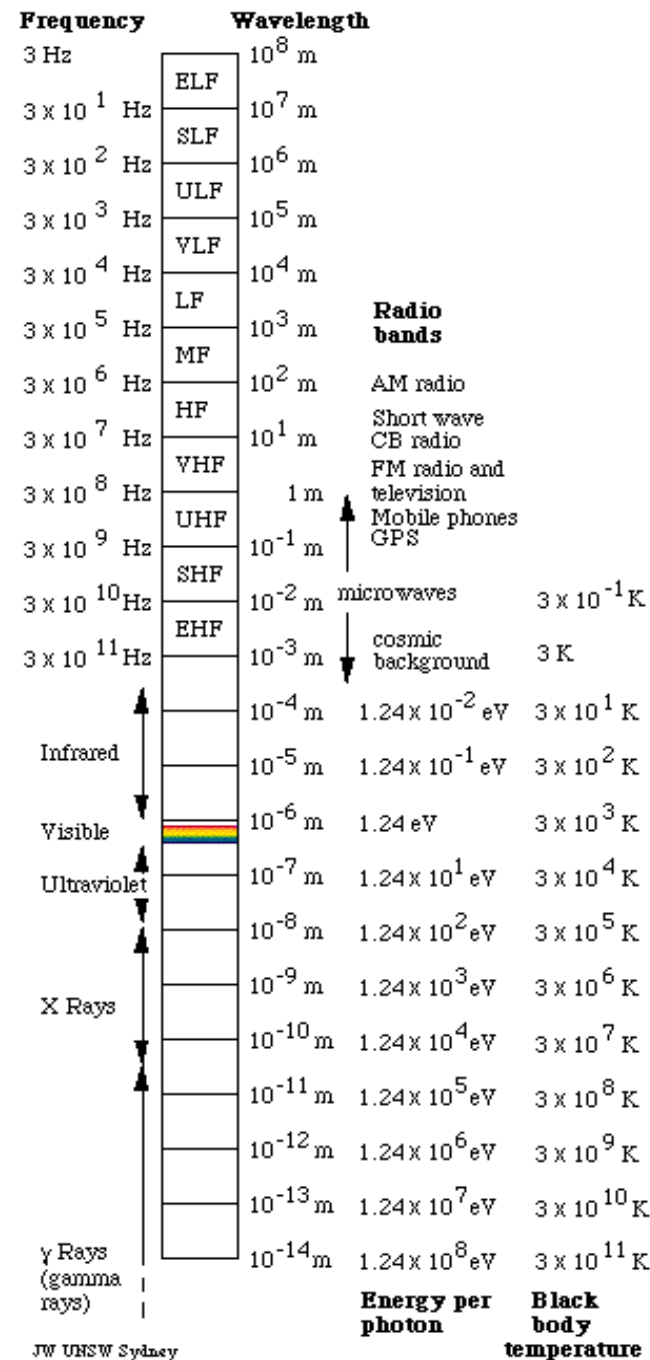
- Ondas -> propagación de la señal en el espacio
 - Velocidad de propagación (v) -> depende del medio
 - Longitud de onda (λ) -> distancia entre dos puntos “en el mismo estado” $\lambda = T \cdot v$
- Señales continuas y discretas:
 - Continua -> puede tomar cualquier valor dentro de un rango (p.e.: números decimales: 1, 1,234, 1,566678, 2, 2,33333333)
 - 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

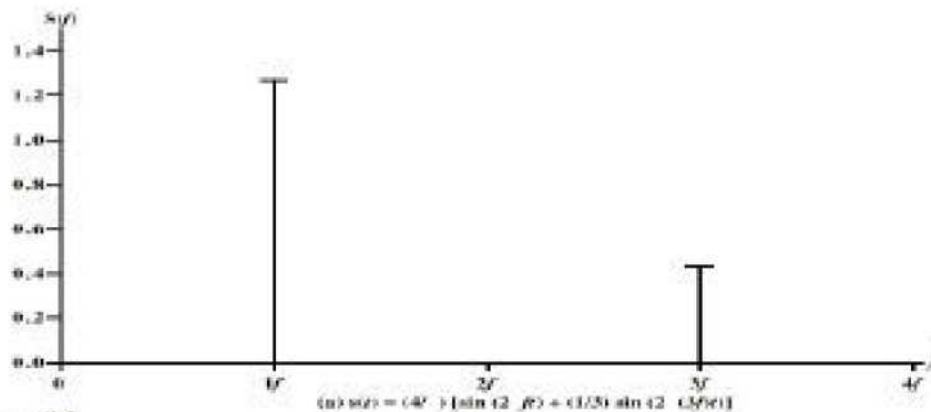
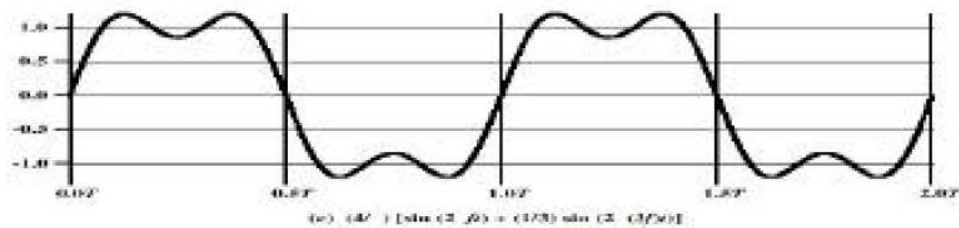
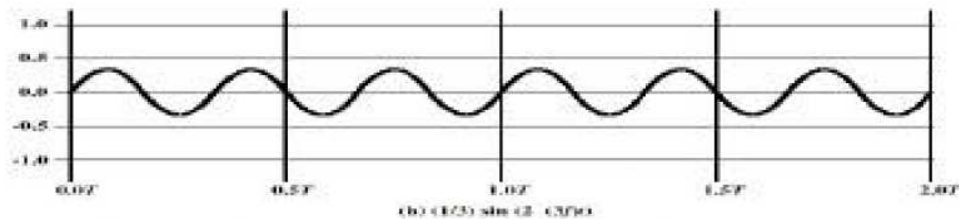
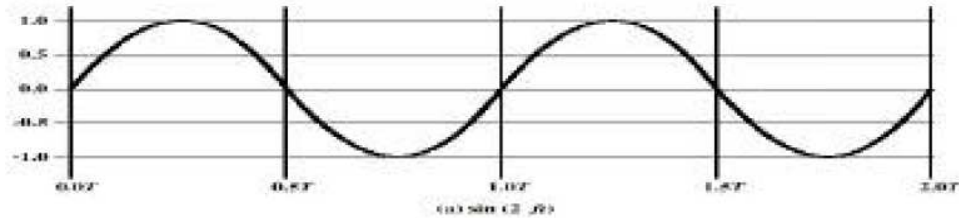
Señales en la frecuencia

- **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



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: $I(a) = \log_x \frac{1}{P(a)}$

- $X = 2 \rightarrow$ Shannon

- $X = e \rightarrow$ NAT

- $X = 10 \rightarrow$ Hartley

- Representación de dígitos binarios \rightarrow bits

- Si '0' y '1' son equiprobables $\Rightarrow 1 \text{ bit} \equiv 1 \text{ Shannon}$

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

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

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

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

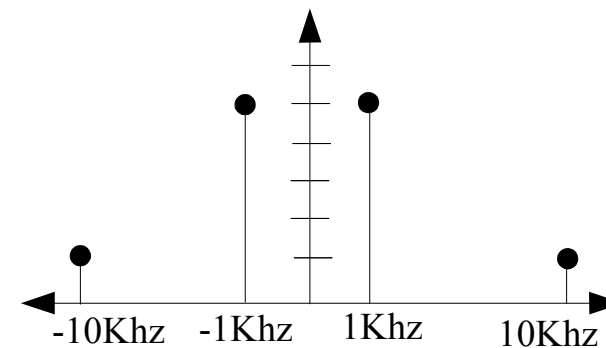
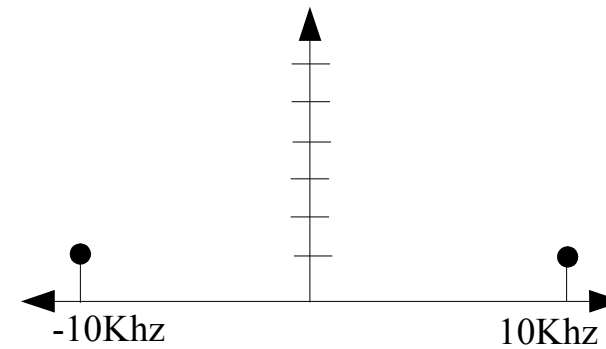
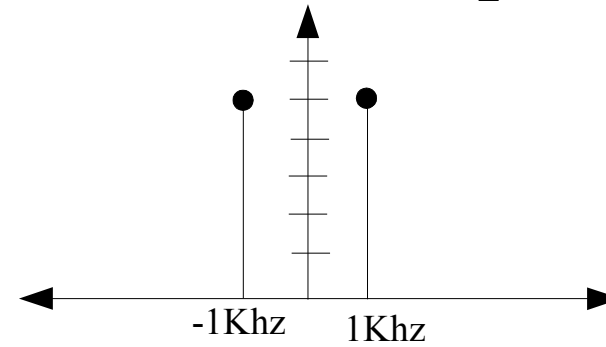
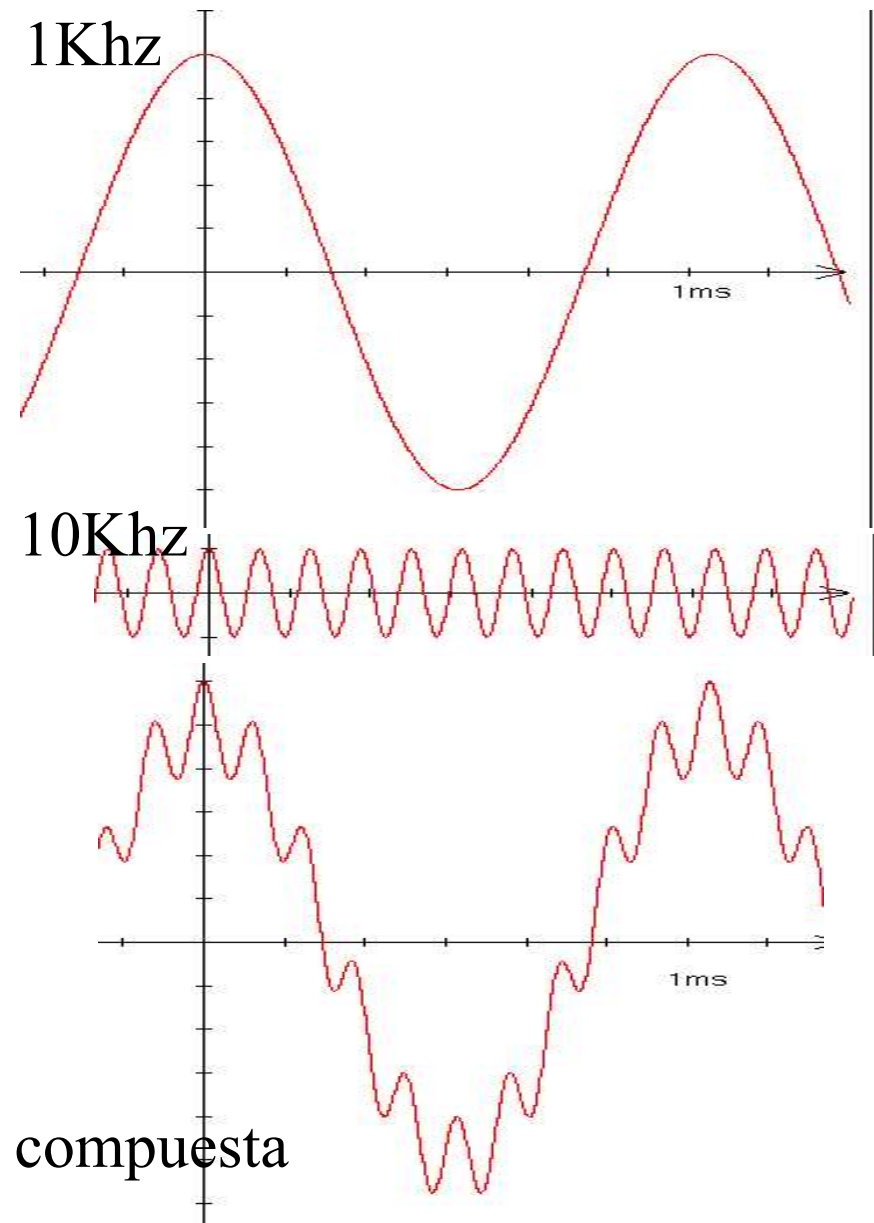
Reflexión nula para adaptación de impedancias

Modulación

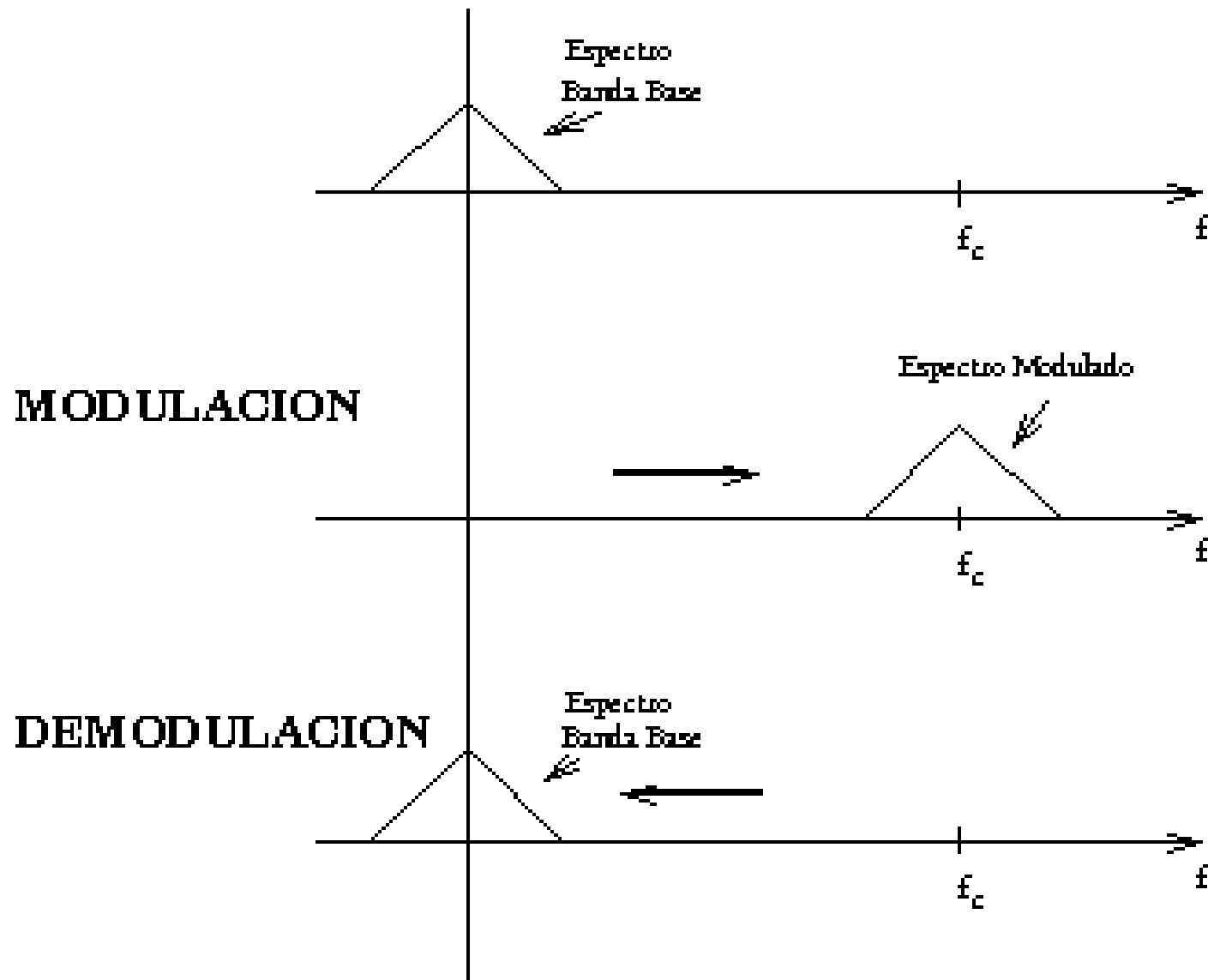
- Modulación = variación de la frecuencia de la señal para permitir su transmisión por el medio
 - Facilidad de radiación => longitud antena $\sim \lambda$
 - Reducción del ruido e interferencias
 - Posibilidad de multiplexación
 - Superar limitaciones de los equipos -> funcionamiento óptimo a determinadas 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

Representación tiempo-frecuencia. El espectro



Modulación



SE UTILIZA UNA PORTADORA SENOIDAL (SEÑAL MODULADA):

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

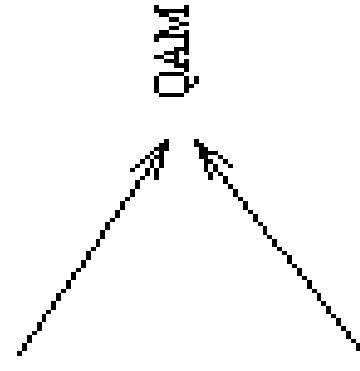
MODULACION ANALOGICA: SEÑAL ANALOGICA COMO MODULADORA

MODULACION DIGITAL : SEÑAL DIGITAL COMO MODULADORA

A_c : MODULACION EN AMPLITUD (AM, ASK)

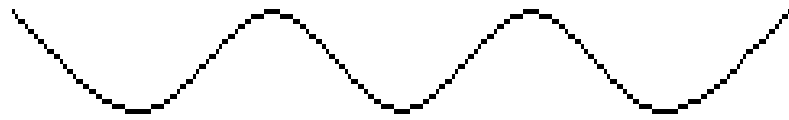
f_c : MODULACION EN FRECUENCIA (FM, FSK)

θ_c : MODULACION EN FASE (PM, PSK)

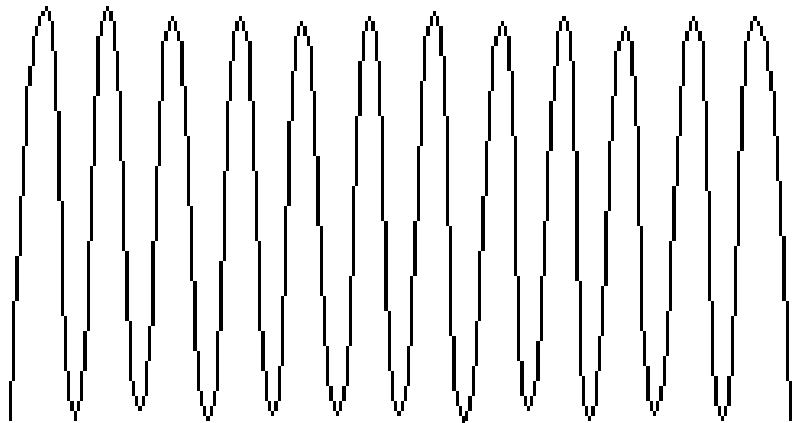


Modulación analógica

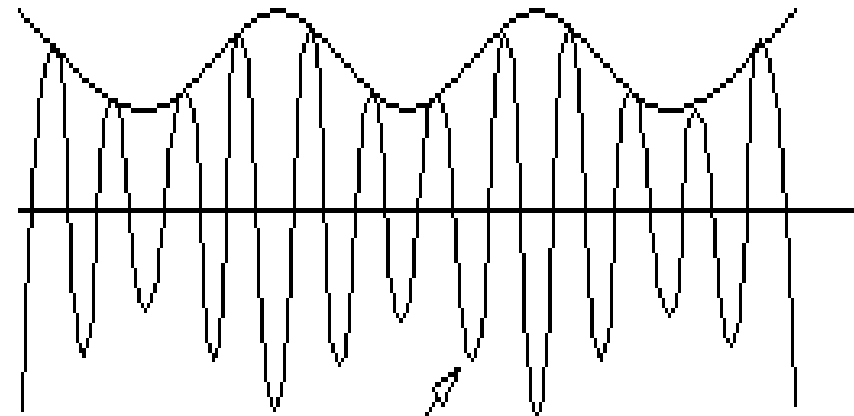
MODULACION ANALOGICA EN AMPLITUD



MODULADORA ANALOGICA

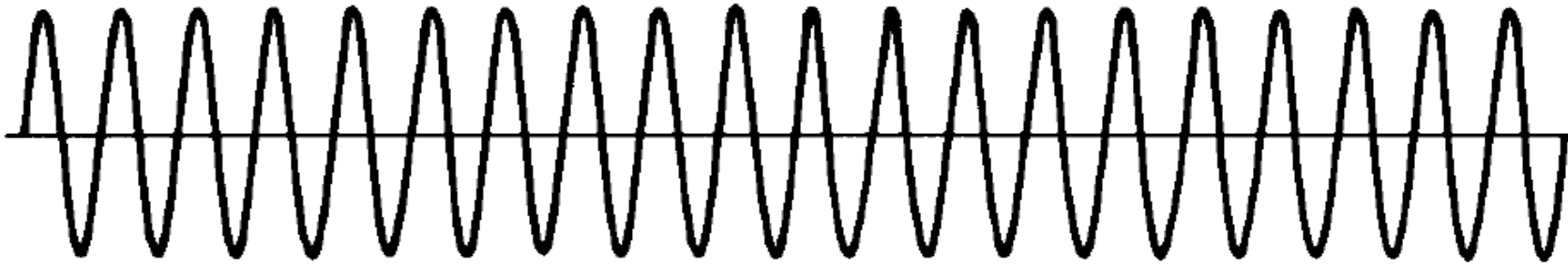


PORTADORA

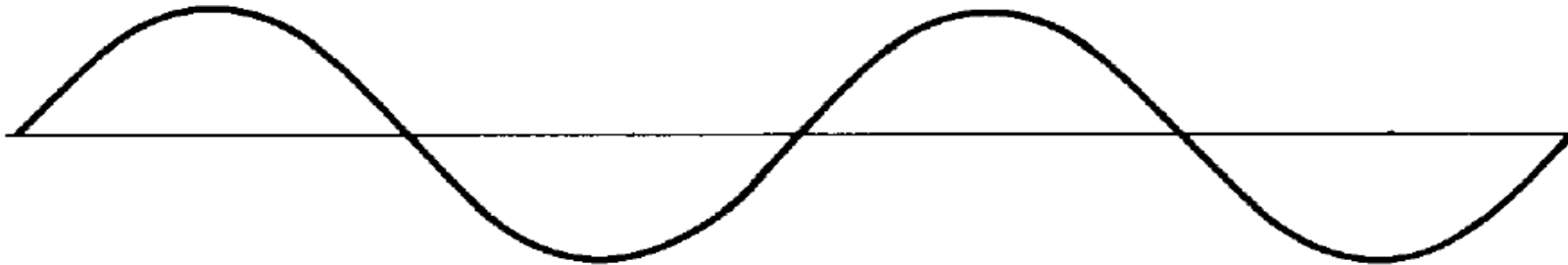


portadora modulada analógicamente

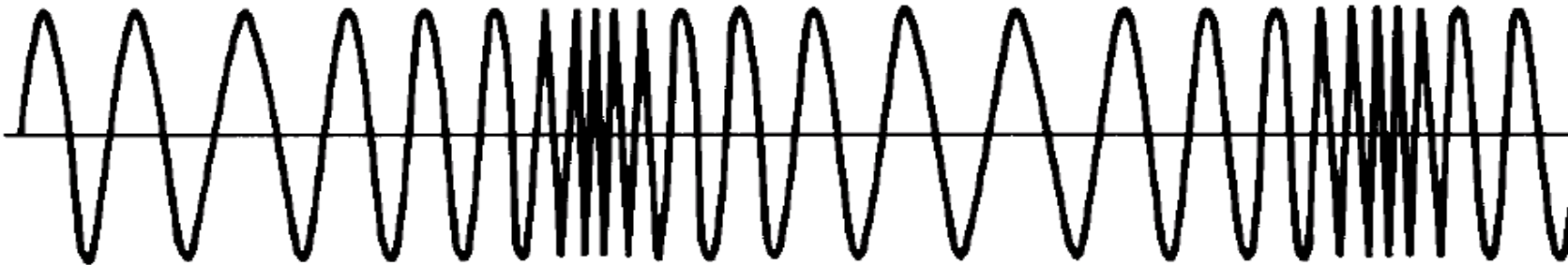
Modulación en frecuencia (FM)



Portadora

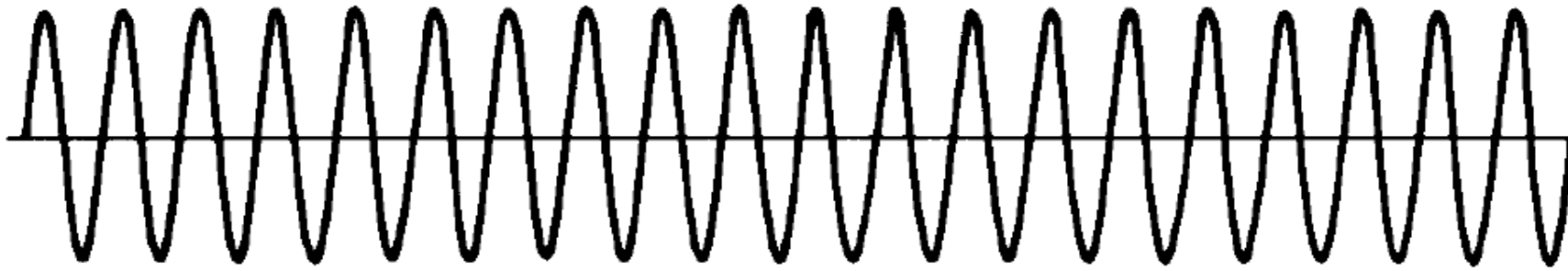


Moduladora



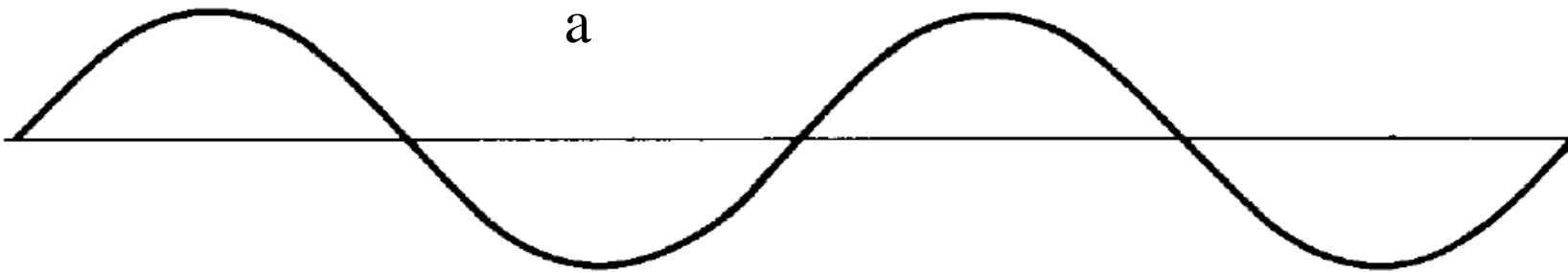
Portadora modulada

Modulación en fase (PM)



Portador

a

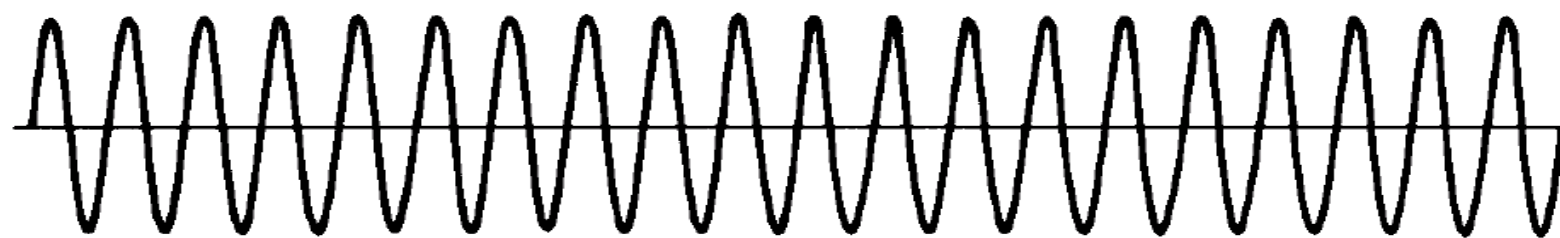


Moduladora

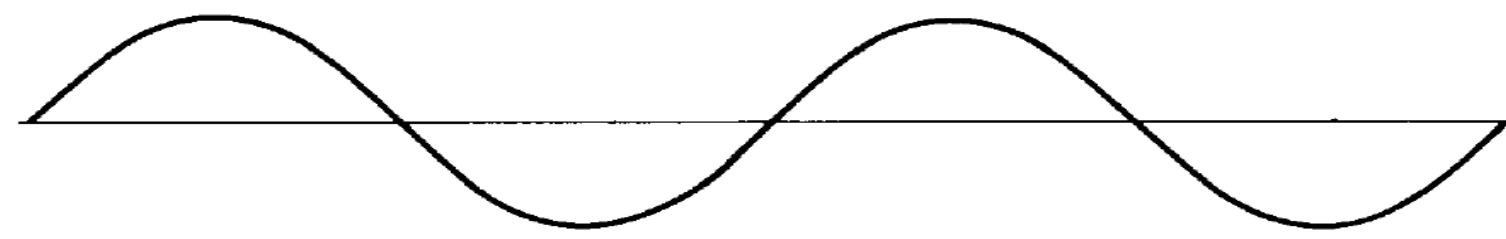


Portadora modulada

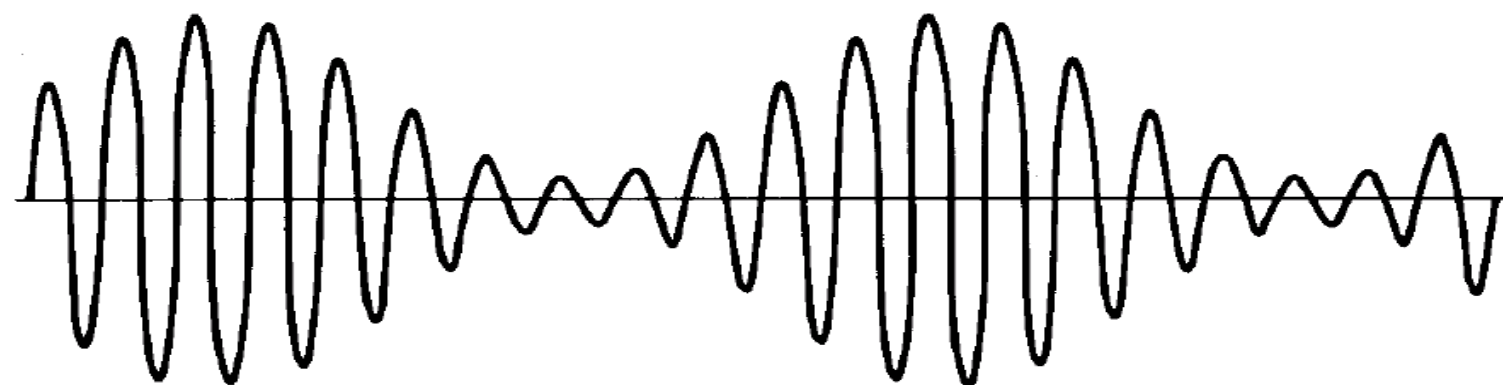
Portadora



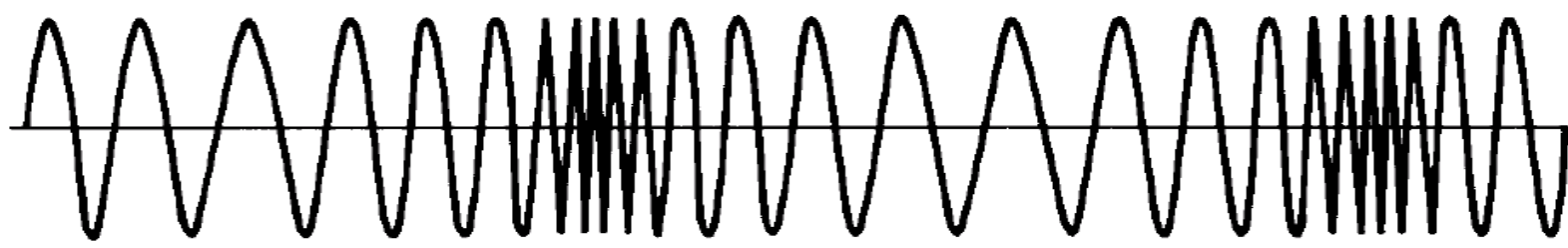
Moduladora



AM



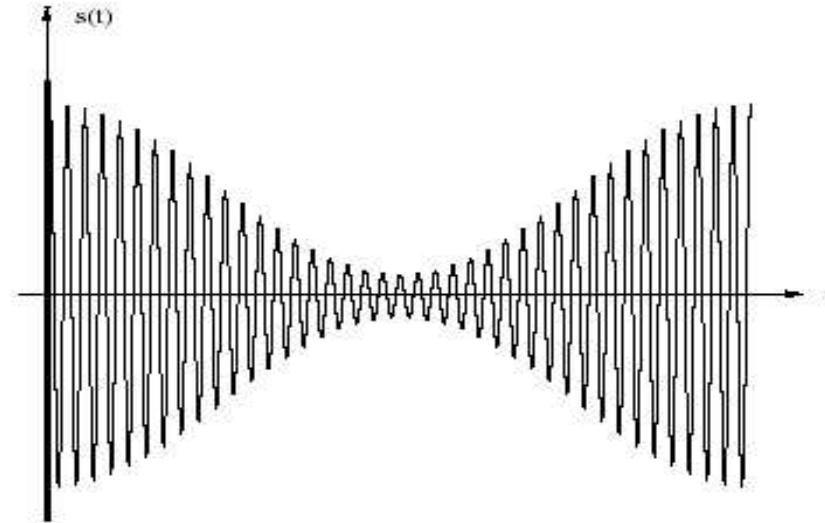
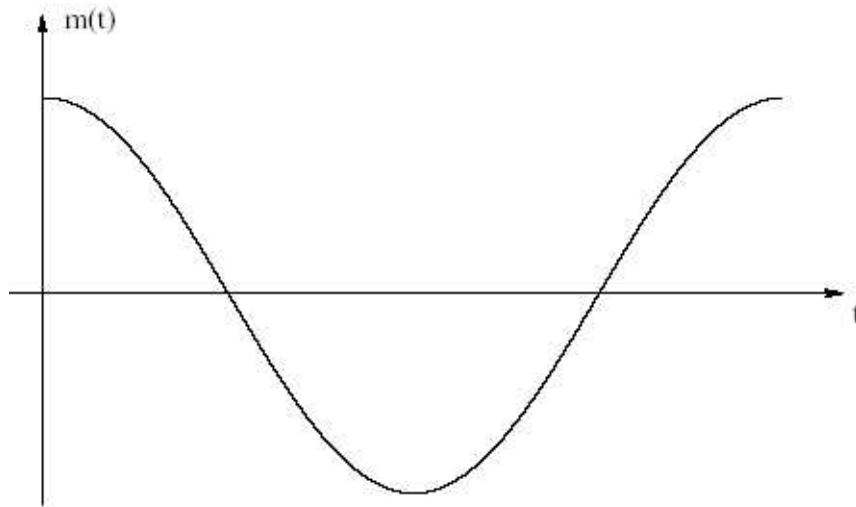
FM



PM



Modulación de AM



Señal modulada sin sobremodulación.

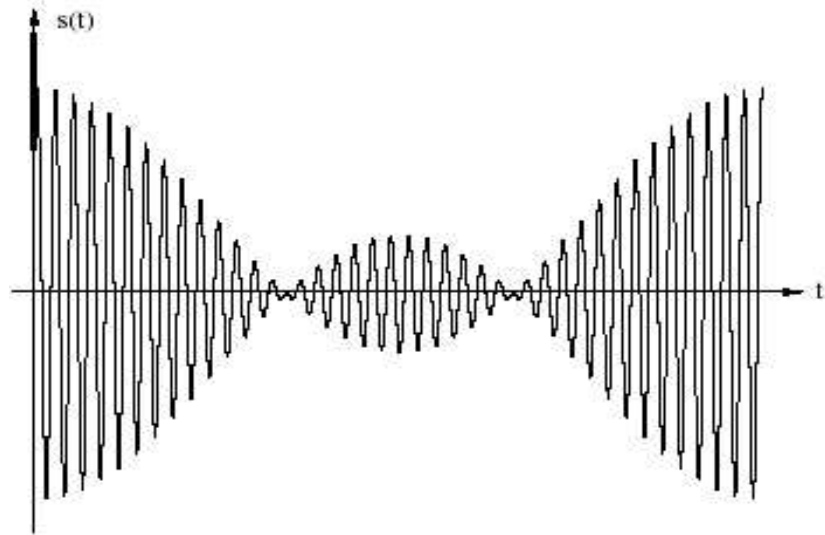
- moduladora $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- portadora sin modular
 $S_{AM}(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$
- portadora modulada

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

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

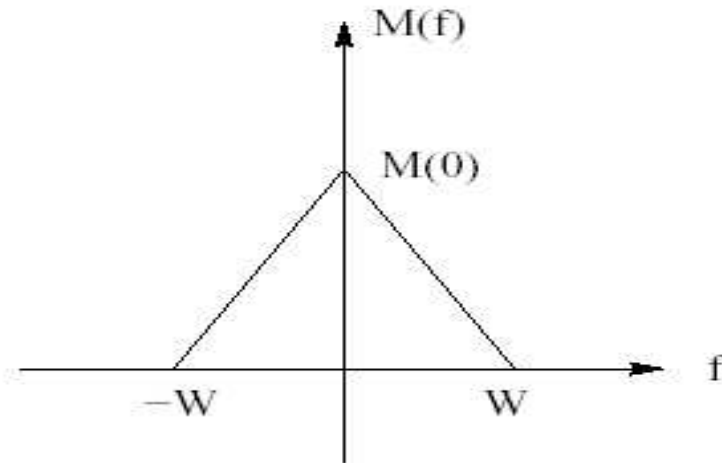
$$|k_a \cdot m(t)| < 1 \quad \text{con sobremodulación}$$

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

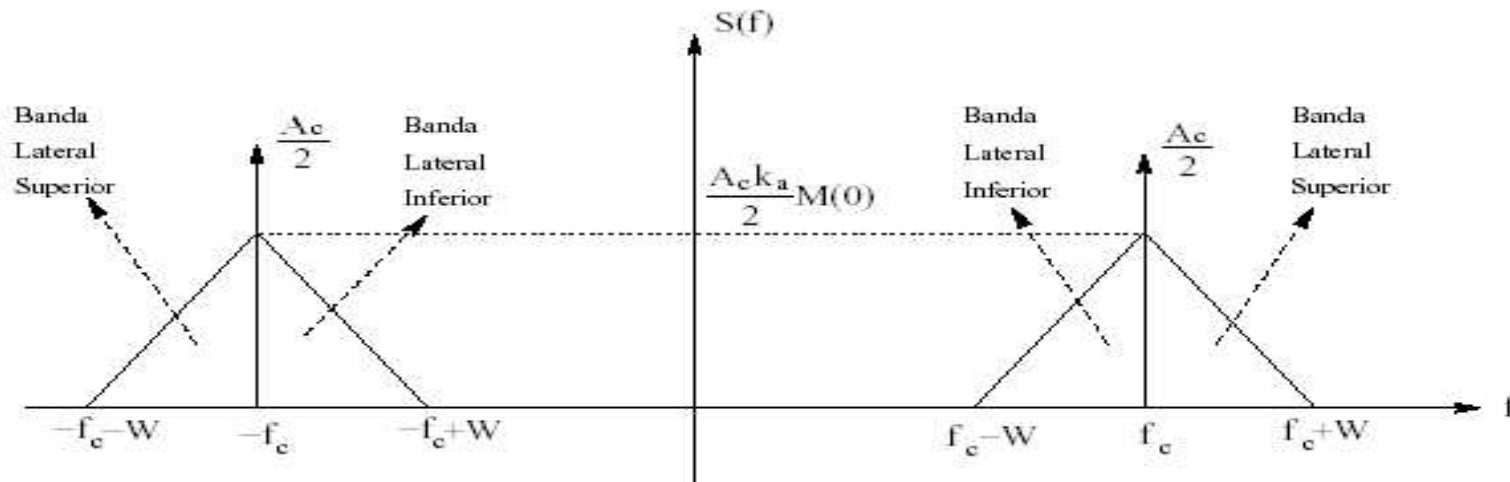


Señal modulada con sobremodulación.

Modulación de AM vista en frecuencia



Espectro de la señal moduladora.

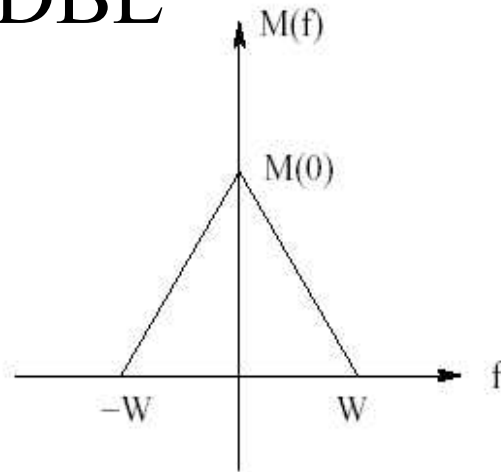
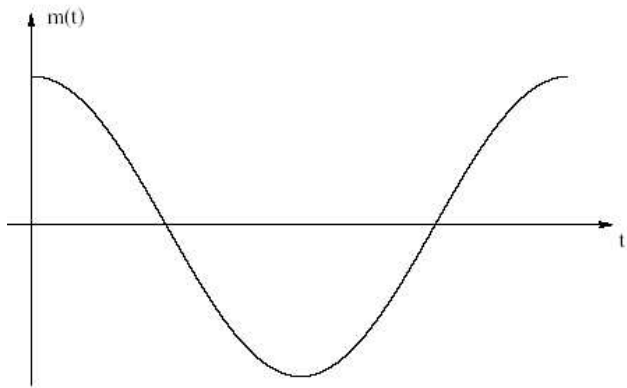


Espectro de la señal modulada.

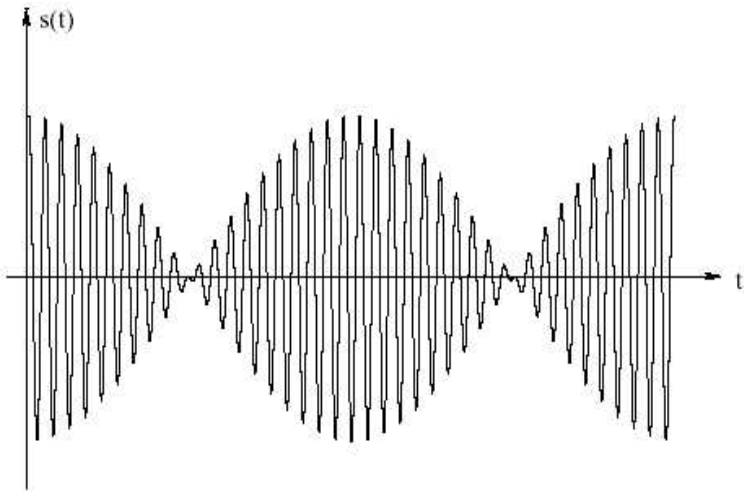
$$B_T = 2W$$

Rendimiento máximo potencia = 17%

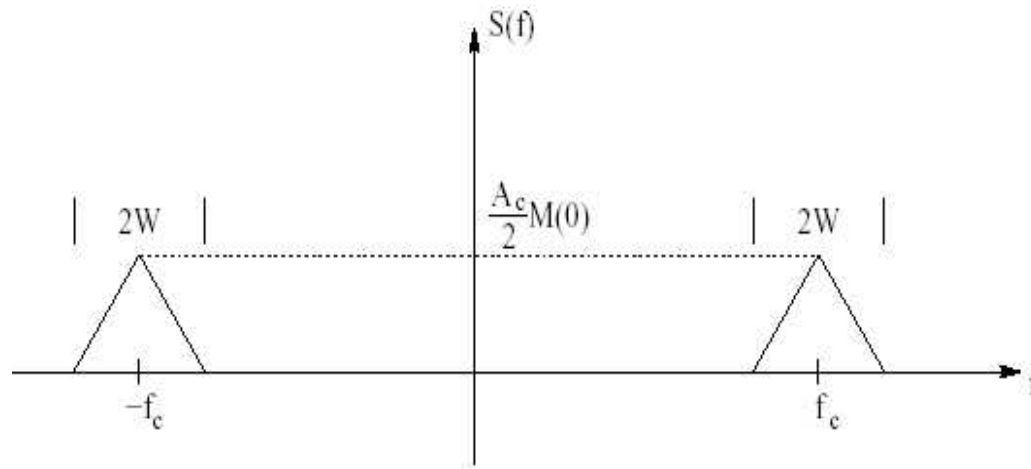
Modulación DBL



Espectro de la señal moduladora.



portadora modulada



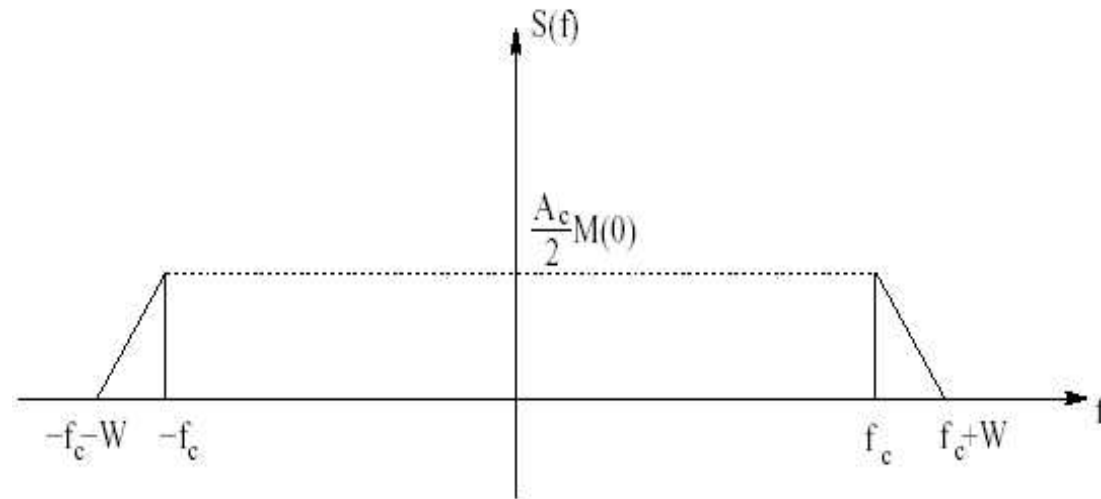
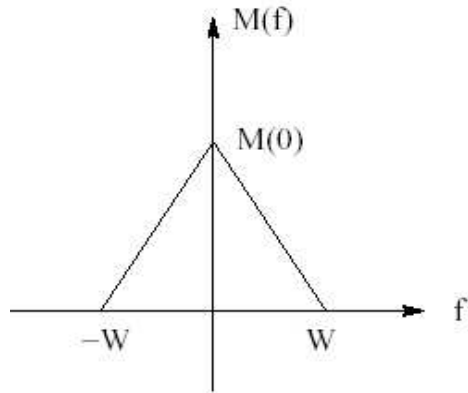
Espectro de la señal modulada DSB.

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

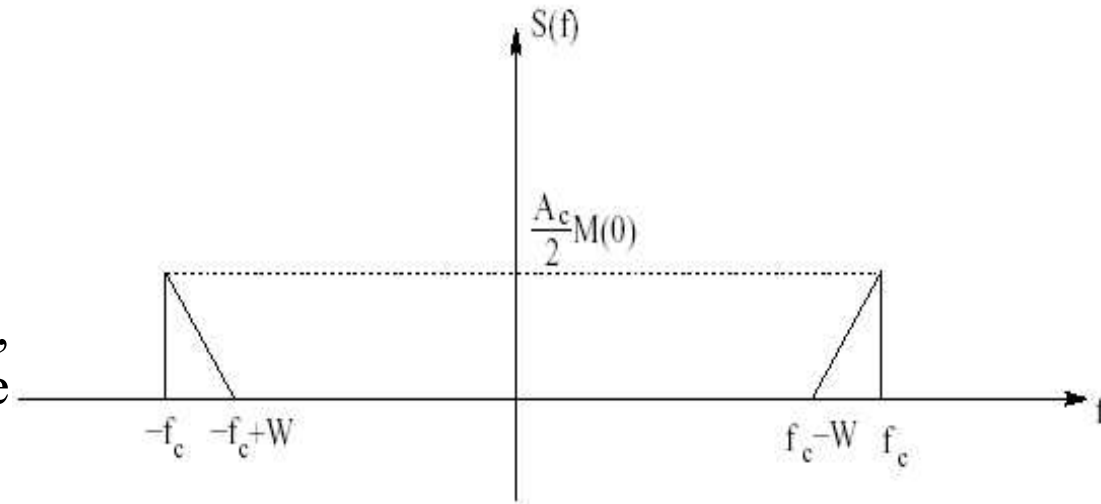
Rendimiento máximo = 50% $B_T = 2W$

Receptores más complejos

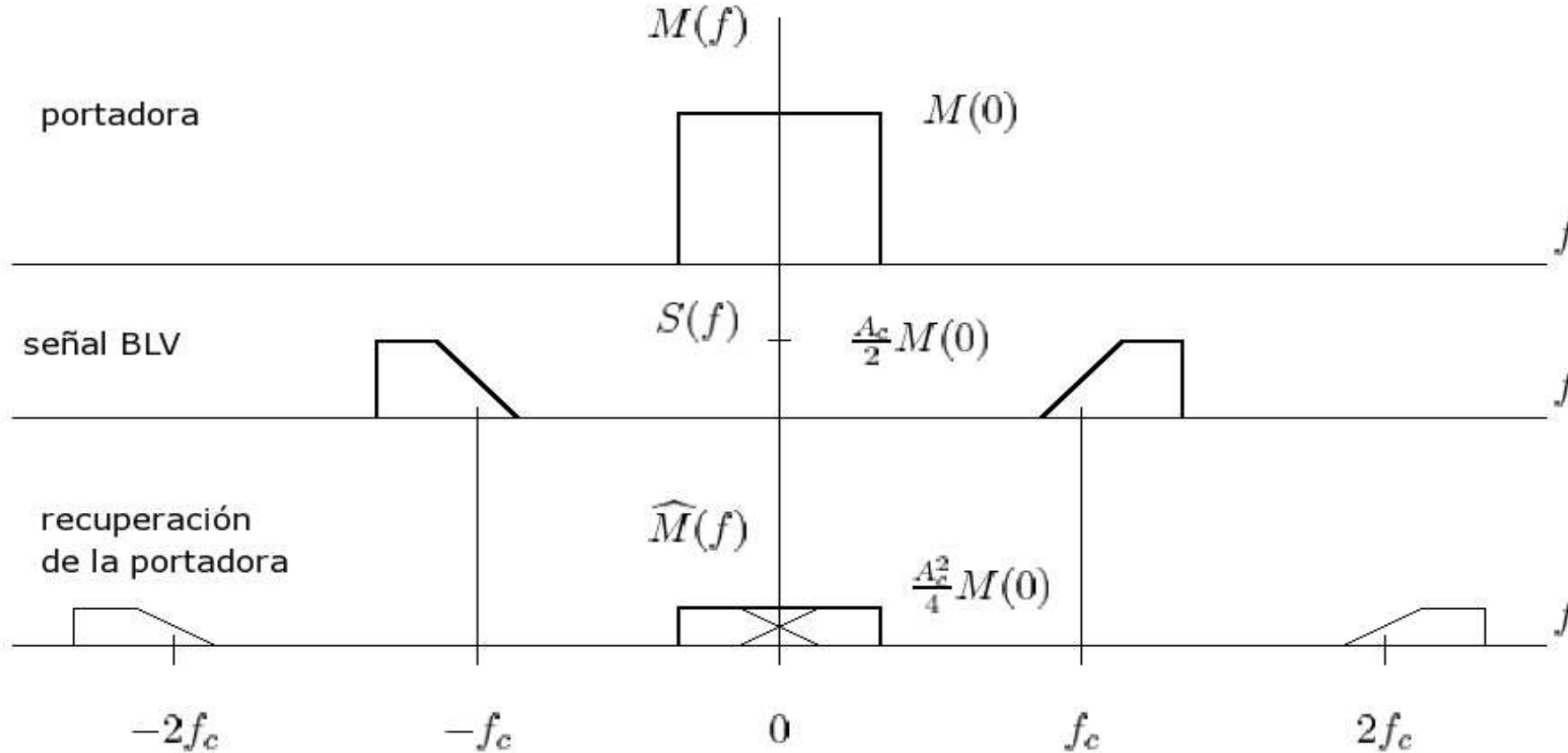
Modulación BLU



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

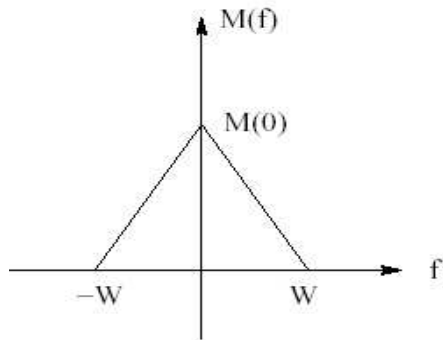


Modulación BLV

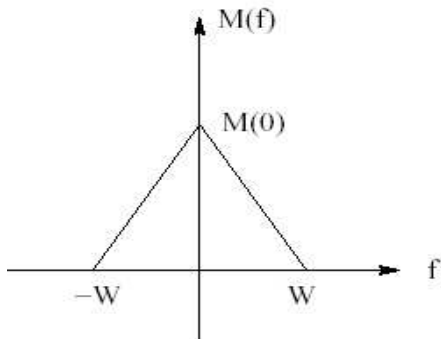


- A partir de DBL, por filtrado \rightarrow una banda y parte de la otra
- Rendimiento máximo cercano a 100%
- B_T cercano a W
- Circuitos más sencillos que en BLU \rightarrow filtro más sencillo
- La señal “que falta” en una banda se compensa con “la que sobra” en la otra. Aparece algo de distorsión

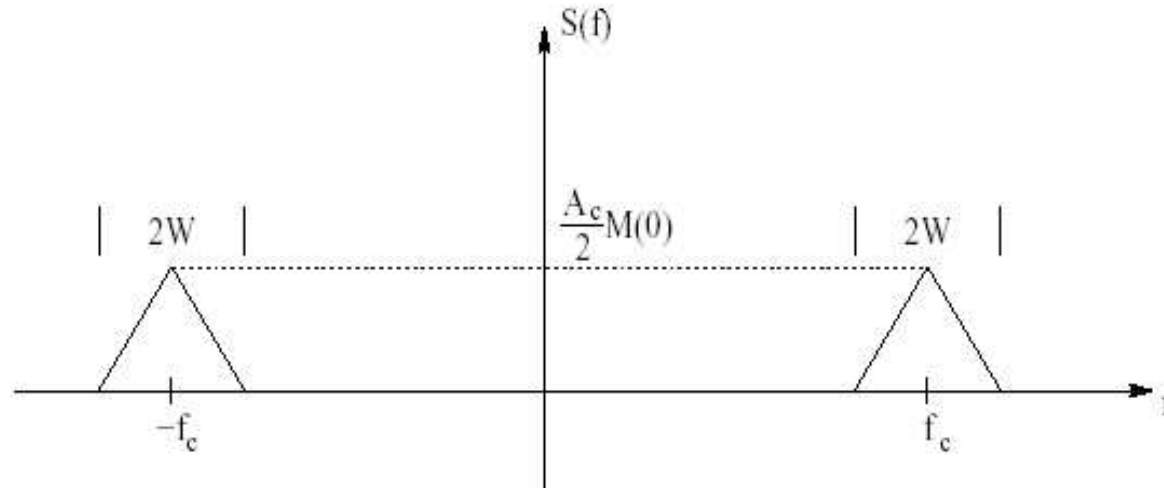
Modulación en cuadratura QAM



moduladora m_1



moduladora m_2

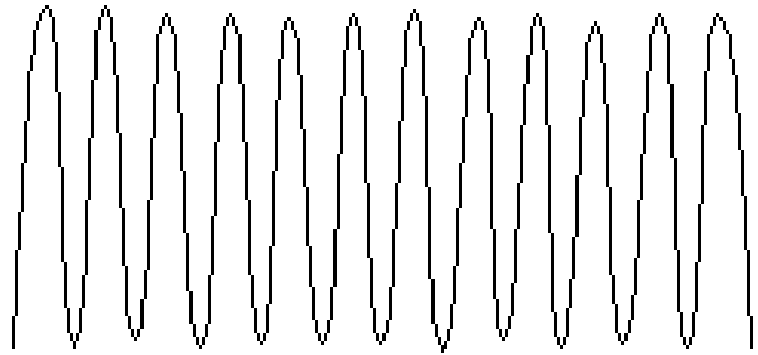


$$S_{QAM}(t) = A_p m_1(t) \cos(2\pi f_p t) + A_p m_2(t) \text{sen}(2\pi f_p t)$$

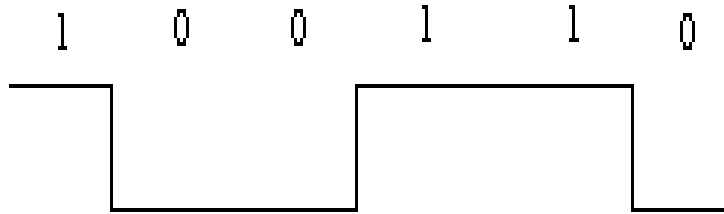
- Modulación de dos señales W
- Transmisión de las señales desfasadas 90°
- $B_T = 2W$

Modulación digital con portadora analógica

Modulación en amplitud (ASK)

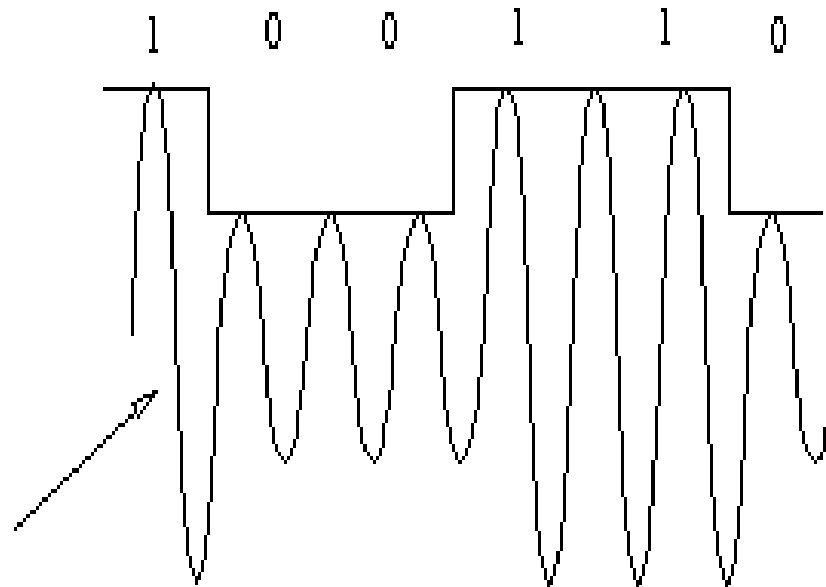


PORTADORA



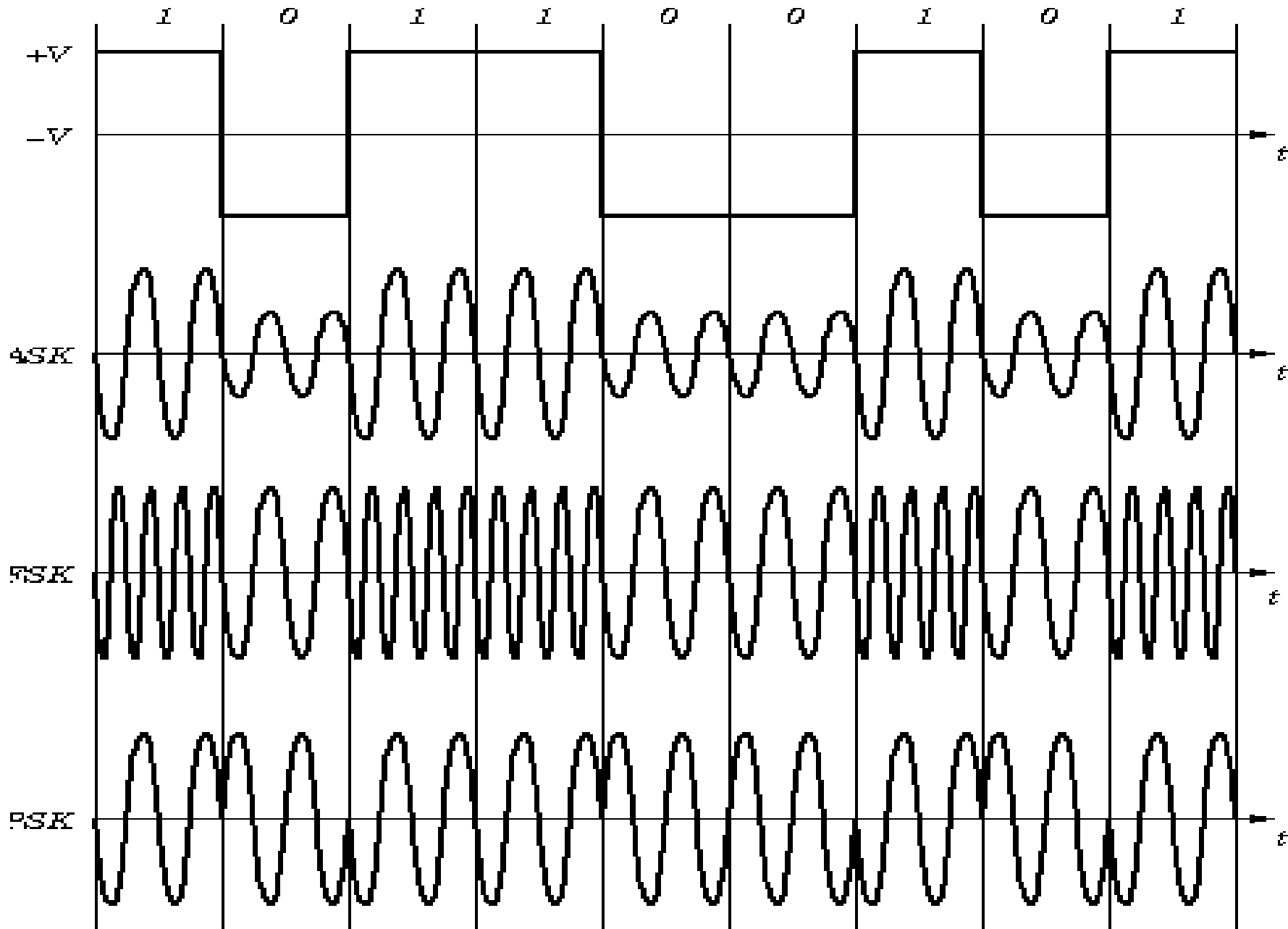
MODULADORA DIGITAL

MODULACION DIGITAL EN AMPLITUD

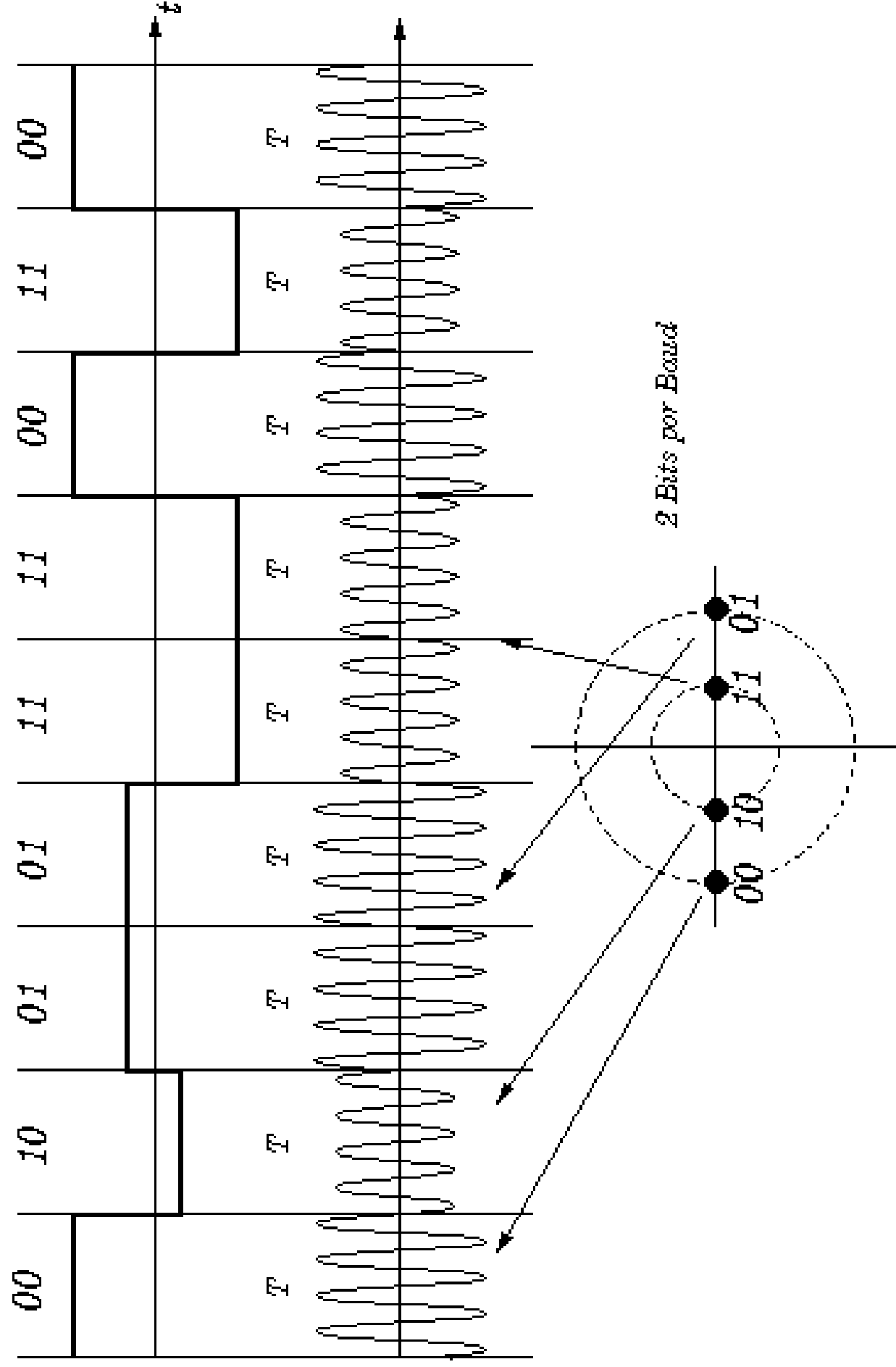


portadora modulada digitalmente

Modulación en frecuencia y fase (FSK y PSK)



MODULACIÓN HÍBRIDA FASE-AMPLITUD

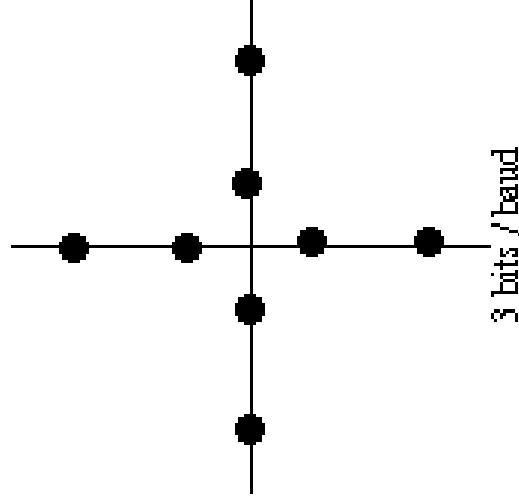


MODULACION HIBRIDA

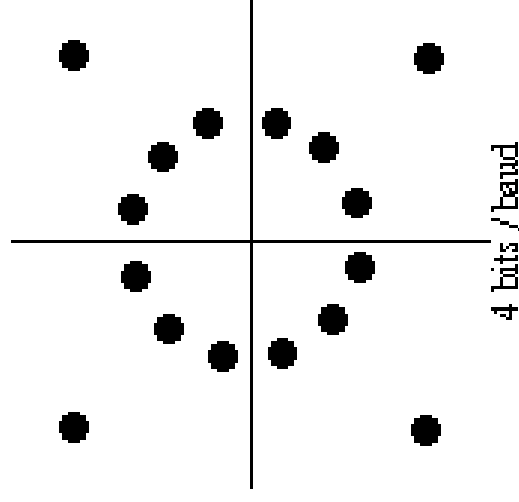
QAM

(QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

8 COMBINACIONES



16 COMBINACIONES



9600 bps SOBRE LINEA DE 2400

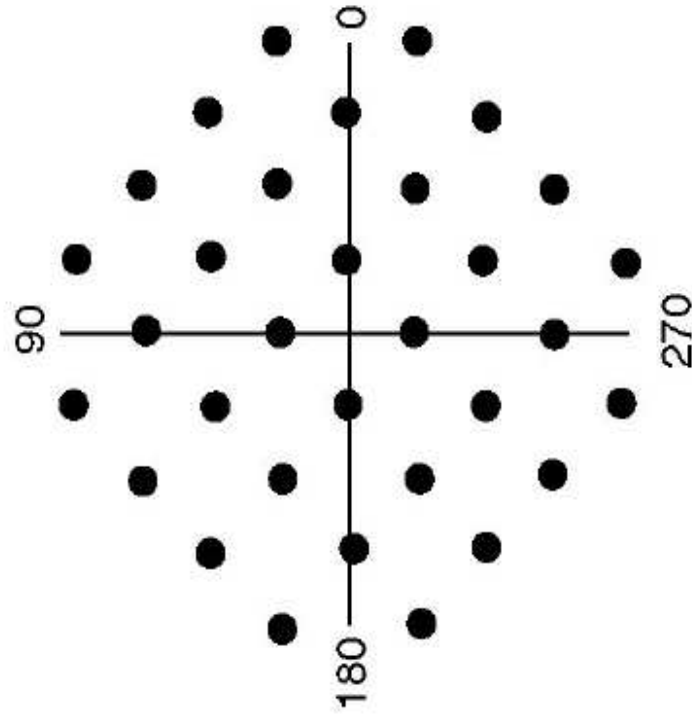
BAUD: NUMERO DE VECES QUE LA SEÑAL CAMBIA SU VALOR (VOLTAJE, FRECUENCIA, FASE)

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

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

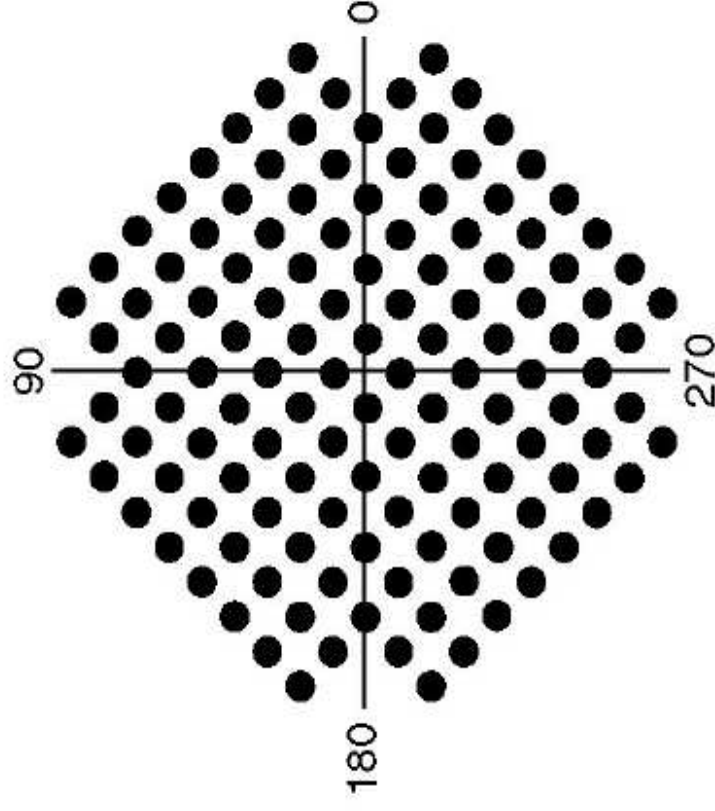
T : INTERVALO DE LA SEÑAL

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



(a)

(a) V.32 para 9600 bps



(b)

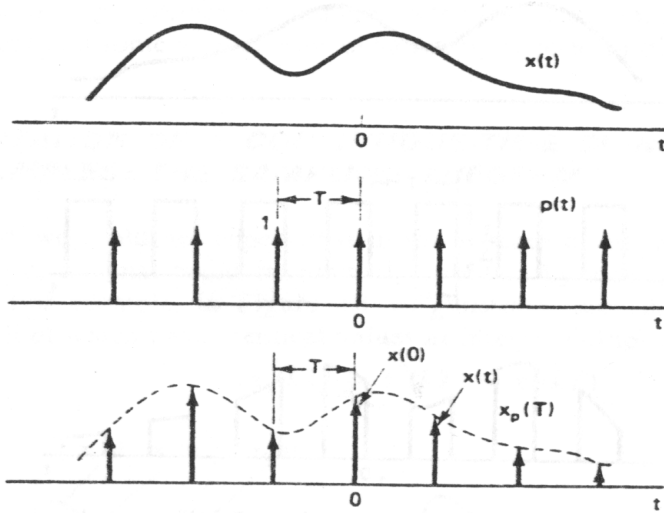
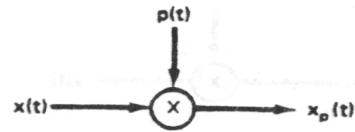
(b) V32 bis para 14.400 bps

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.

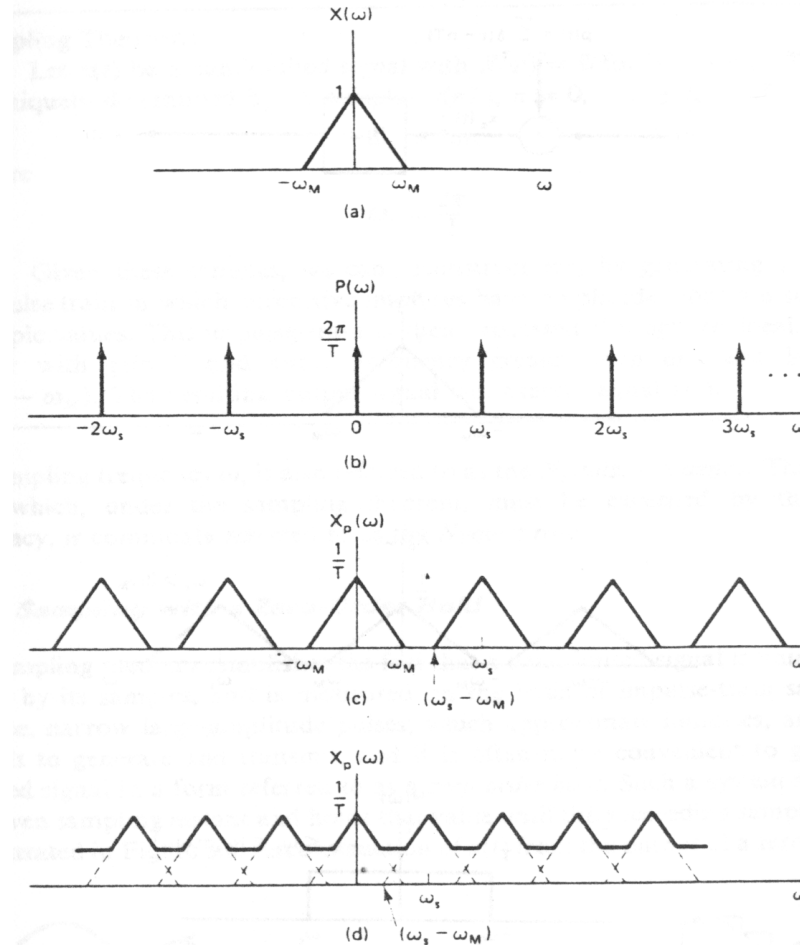
El muestreo

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



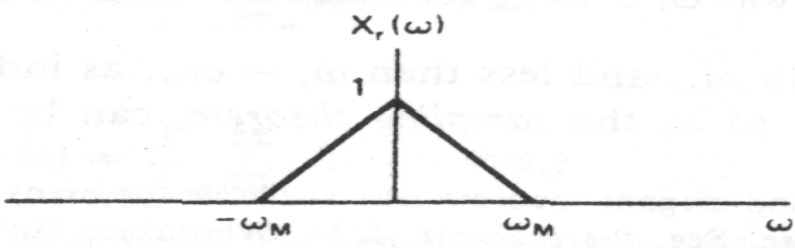
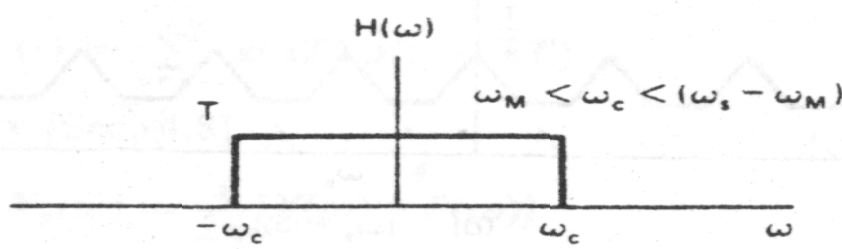
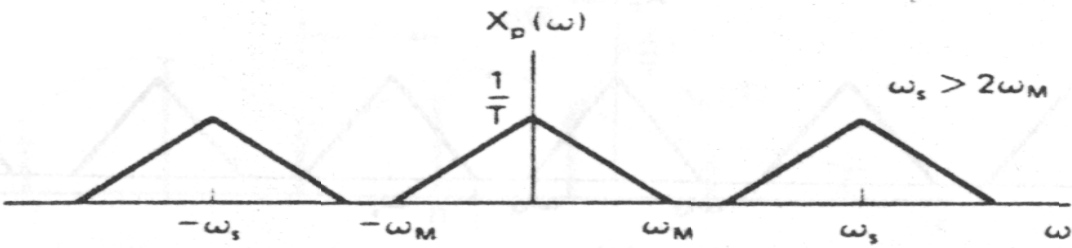
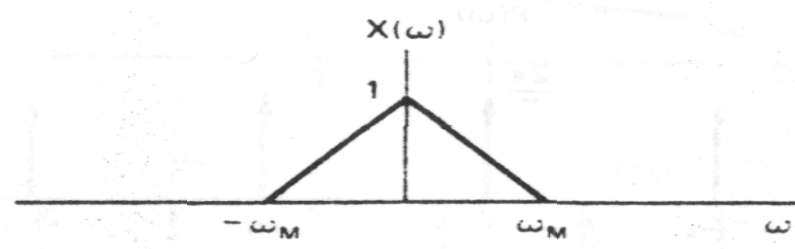
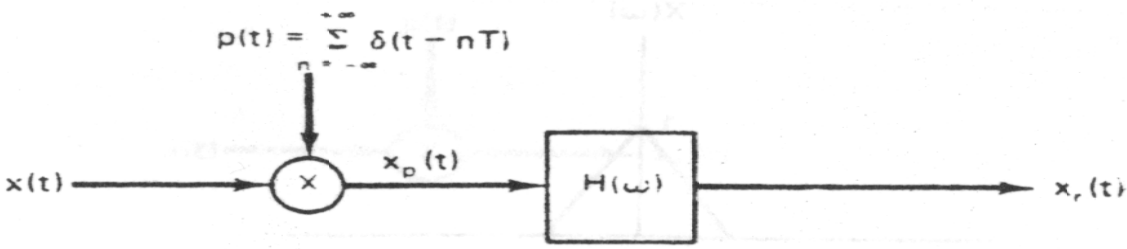
$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT) \delta(t - nT)$$

Muestreo visto en el tiempo

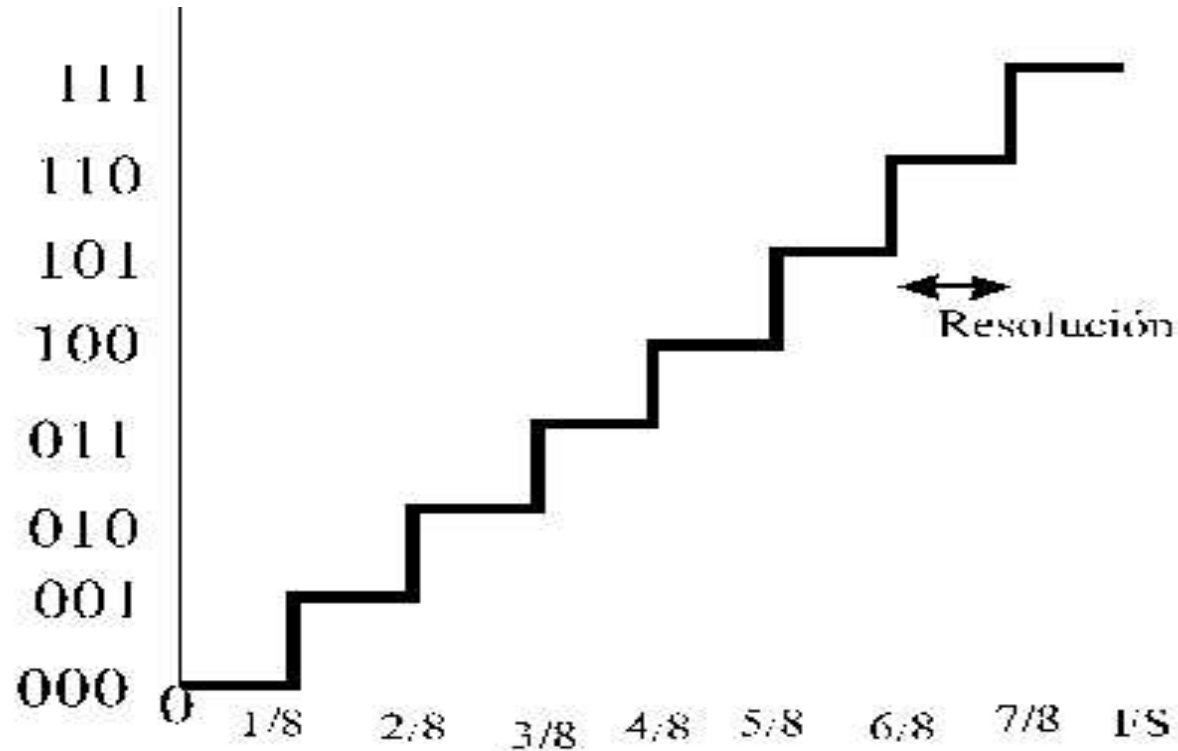


Muestreo visto en la frecuencia

recuperación de la señal original con un filtro ideal



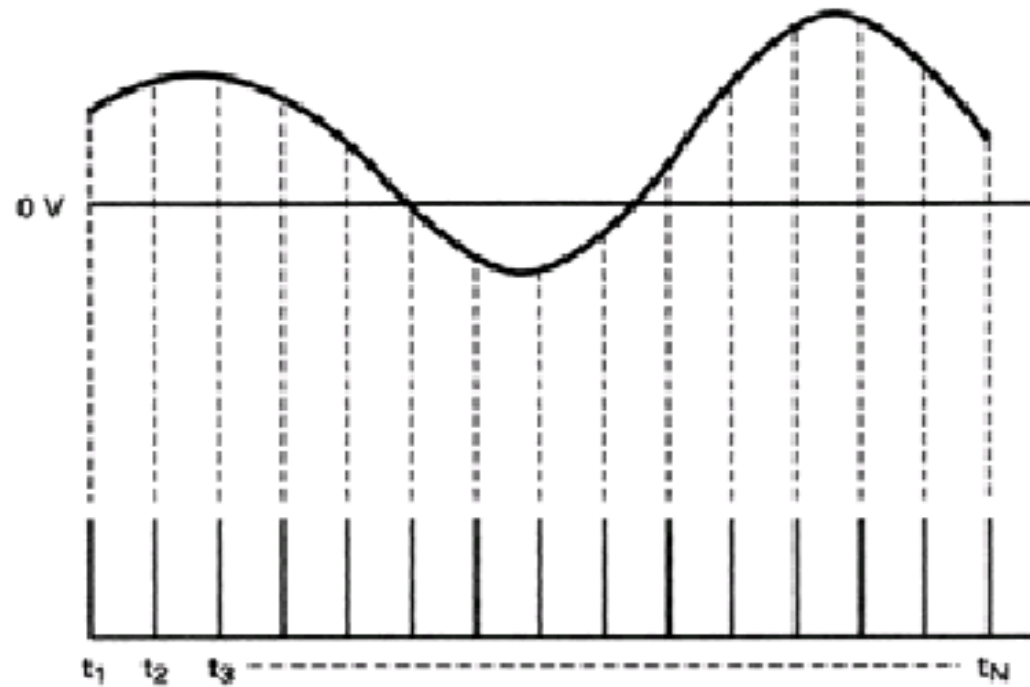
La cuantificación



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

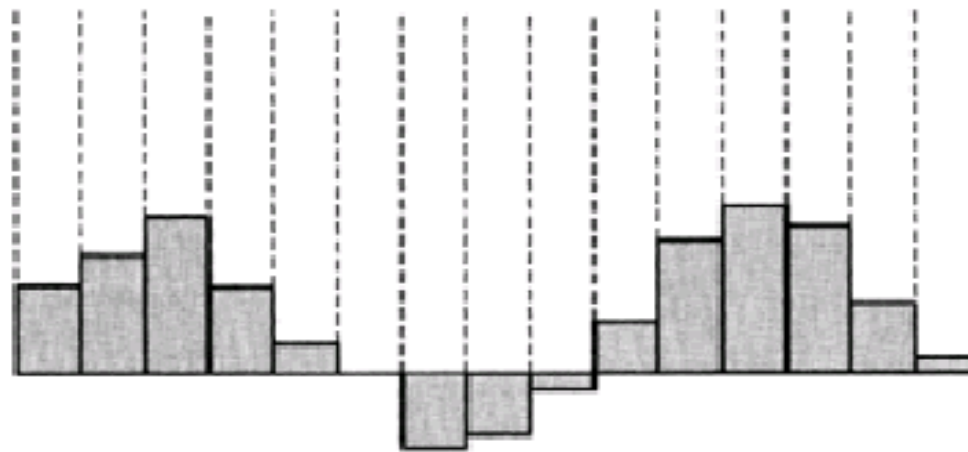
Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

(a) input signal;

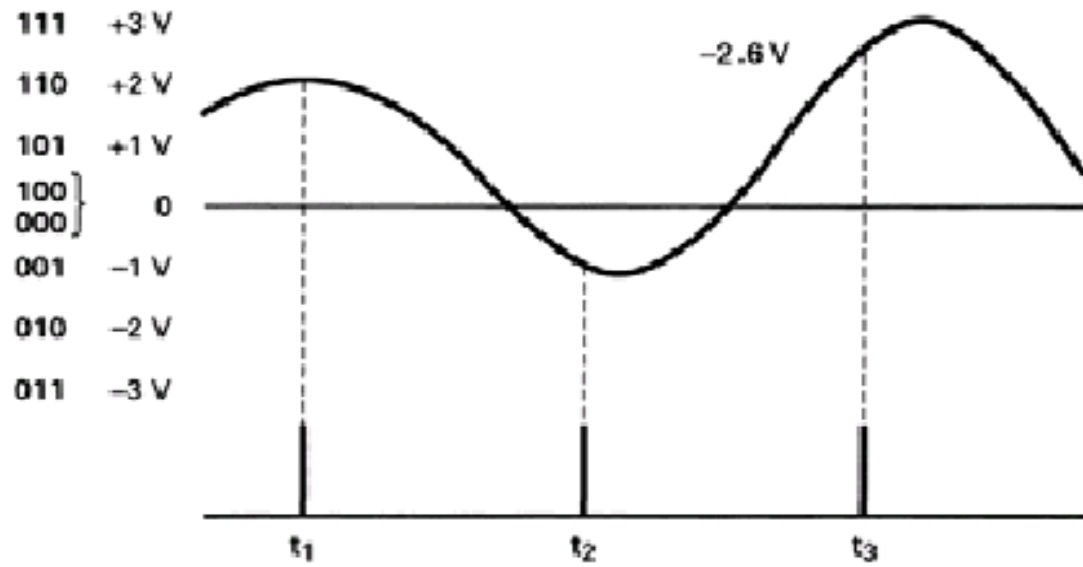


(b) Sampling signal

(c) PAM signal

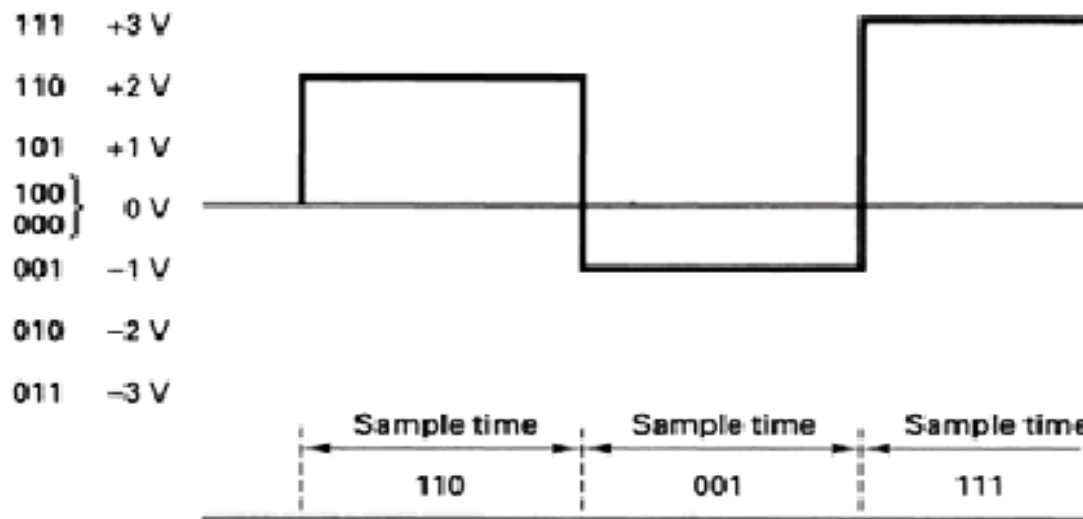


Modulación por pulsos codificados (MIC o PCM)



Analog input signal

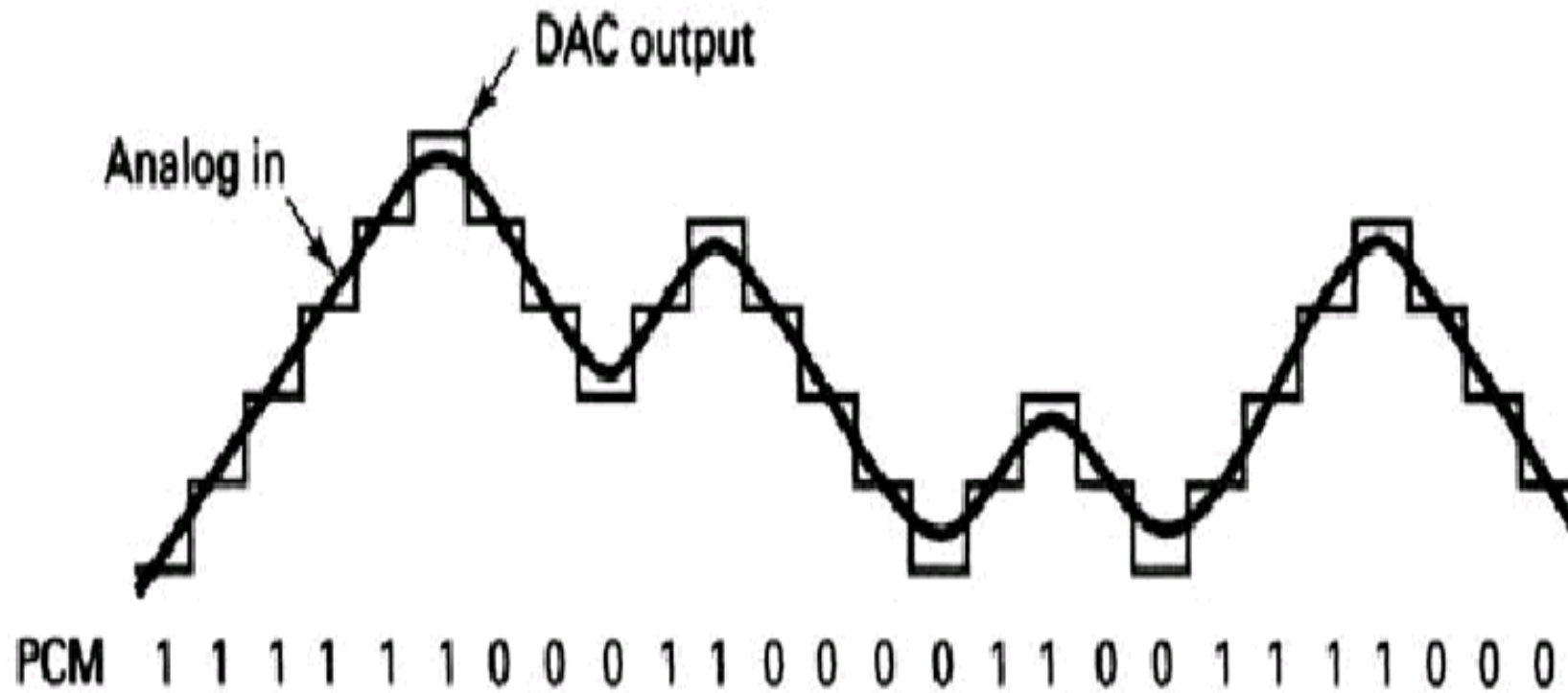
Sampling signal



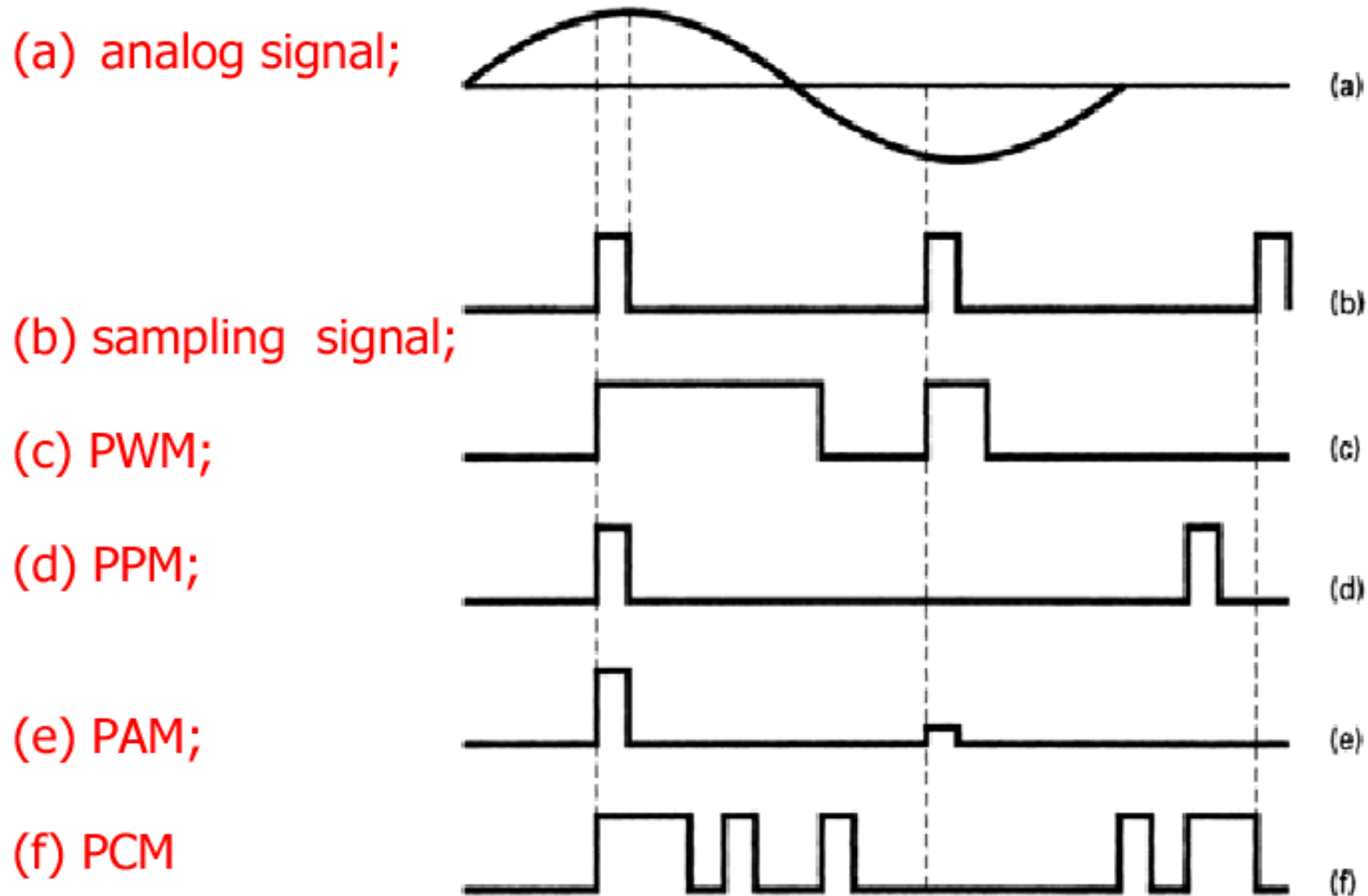
PAM signal

PCM code

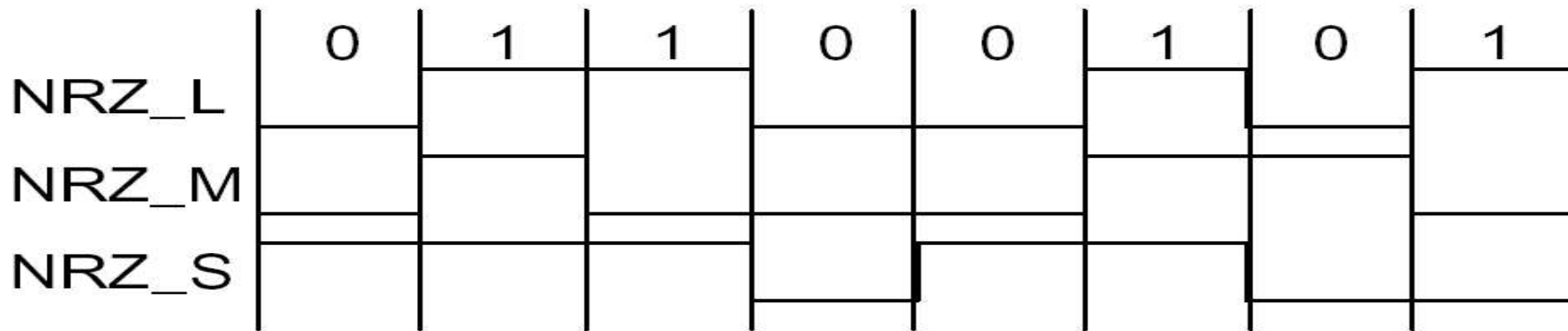
Modulación delta (diferencial)



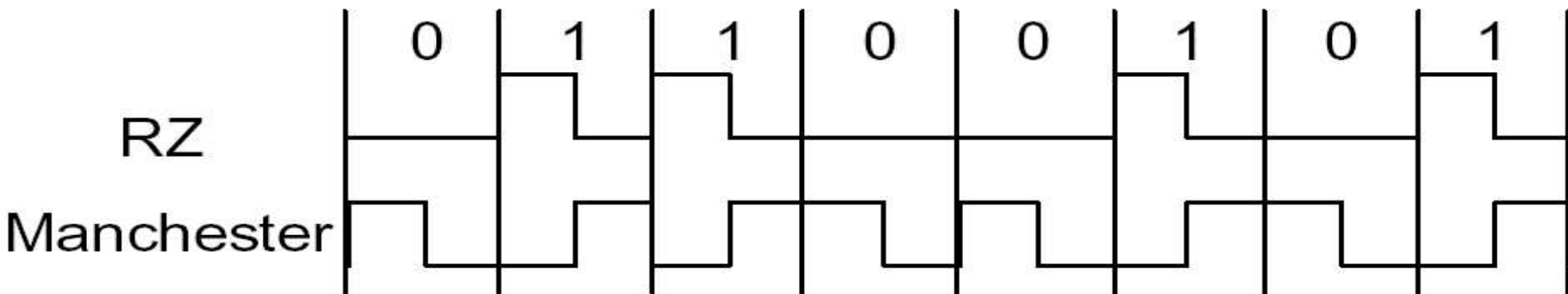
Modulaciones PWM y PPM



Datos digitales – señales digitales

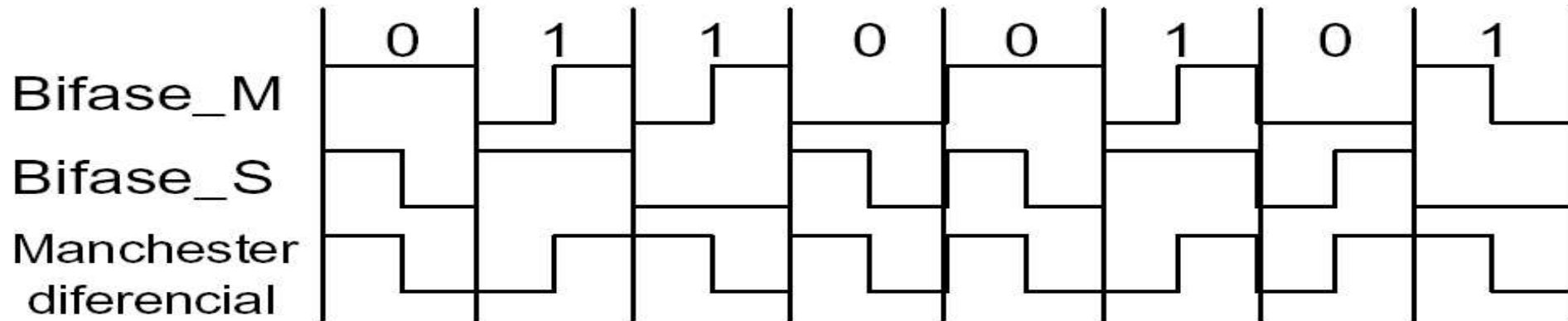


- NRZ_L = bipolar “normal”
- NRZ_M -> “1” = transición al principio del intervalo
- NRZ_S -> “0” = transición al principio del intervalo

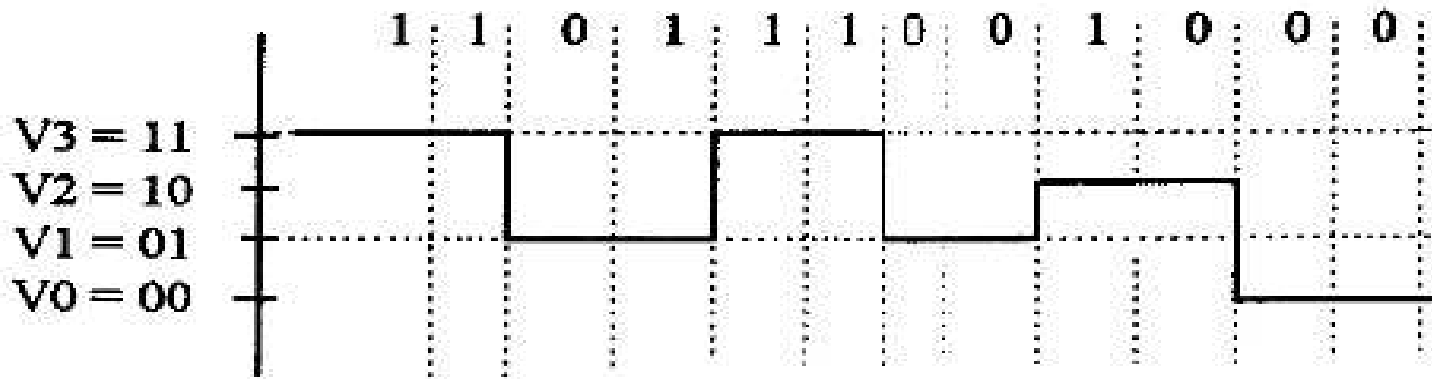


- RZ -> valor del bit en $\frac{1}{2}$ periodo + retorno a cero en el otro medio
- Manchester -> flancos en el centro del bit: “1” = flanco subida, “0”=flanco bajada. Garantiza reloj. Duplica ancho de banda.

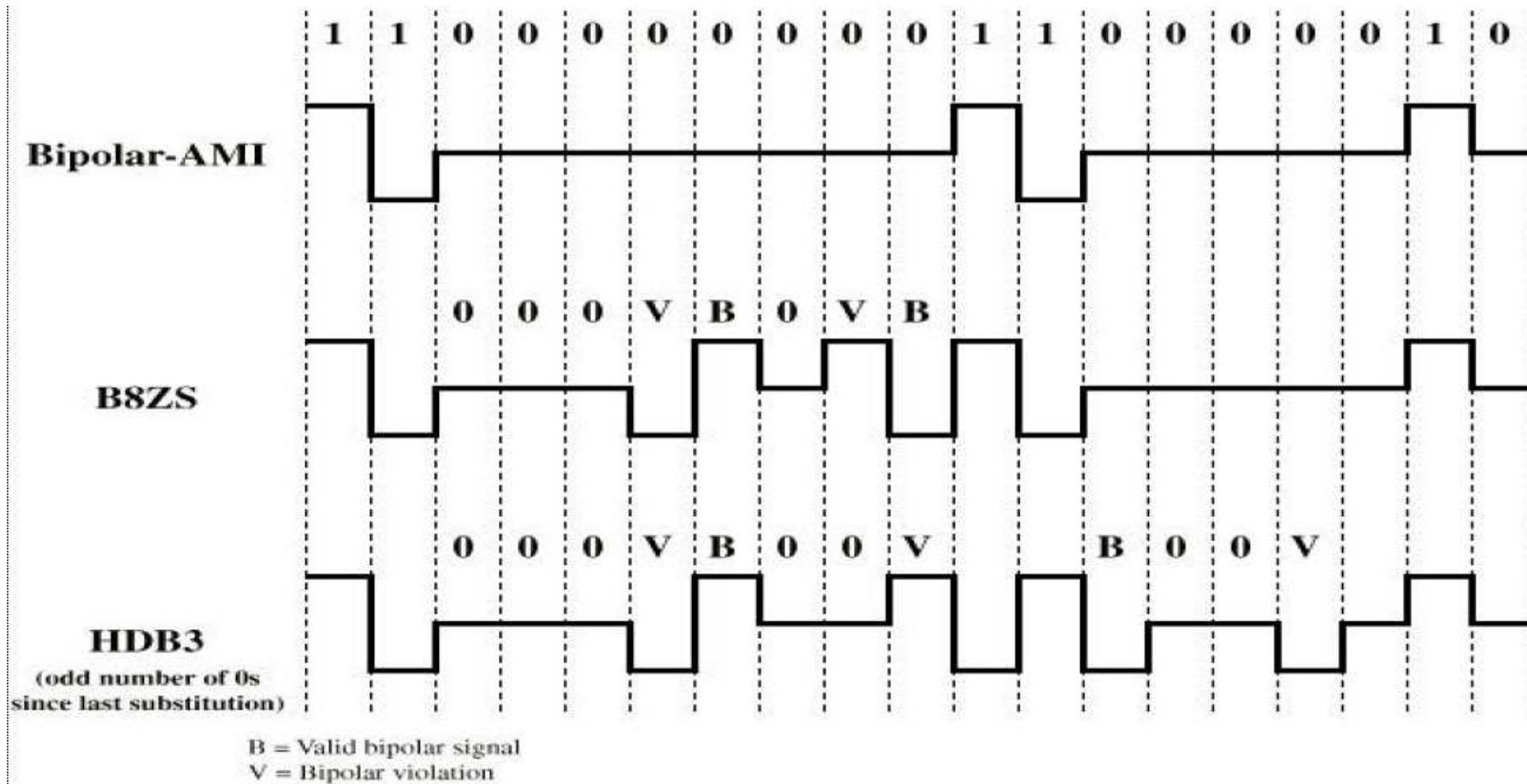
Datos digitales – señales digitales



- 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

Source: www.asciitable.com

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 = n° 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 \rightarrow 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

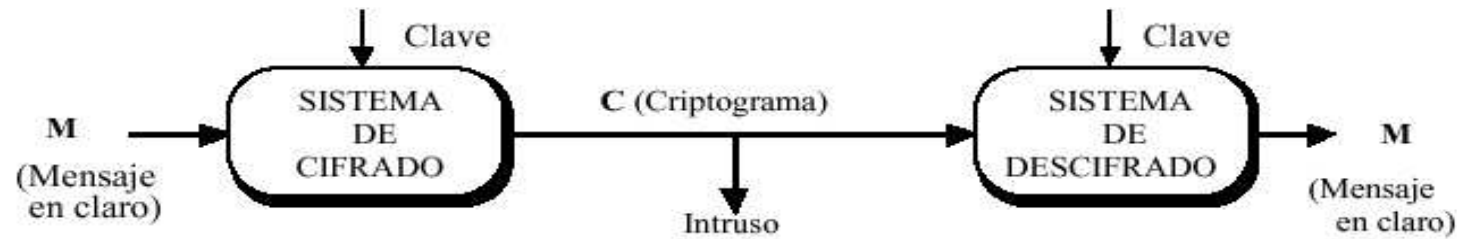
- **Proceso**
 - ♦ **Generación**
 - Se añaden al dato a transmitir tantos ceros a la derecha como el orden del polinomio generador
 - Se divide el polinomio resultante por el polinomio generador y se obtiene el resto
 - El resto se suma al dato a transmitir expandido con los ceros
 - ♦ **Comprobación**
 - 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**
 - ♦ $\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
 - ♦ $\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
 - ♦ $\text{CRC-CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
 - ♦ **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 \Rightarrow 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 PARAGUAS PORQUE ESTALLOXIENDO”
 - 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

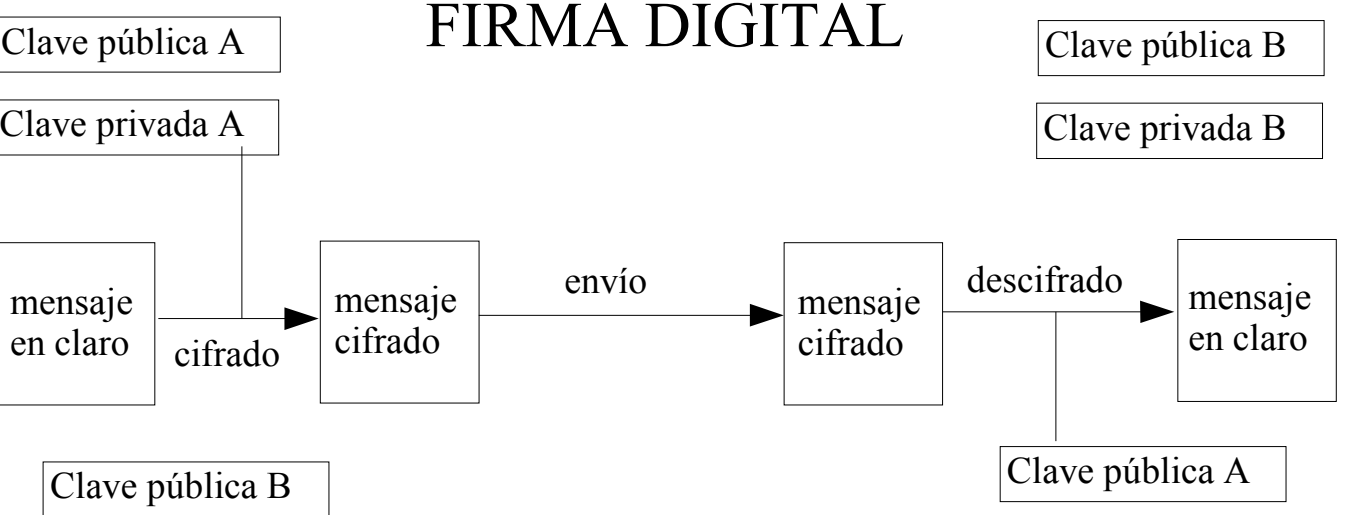
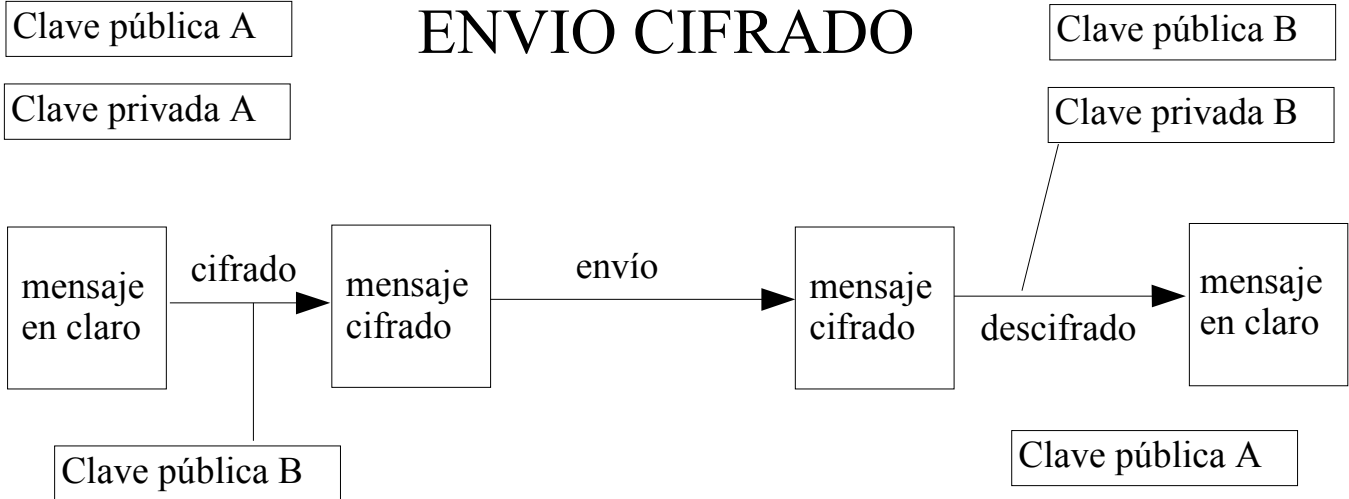


Esquema de transmisión segura de un mensaje

- 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



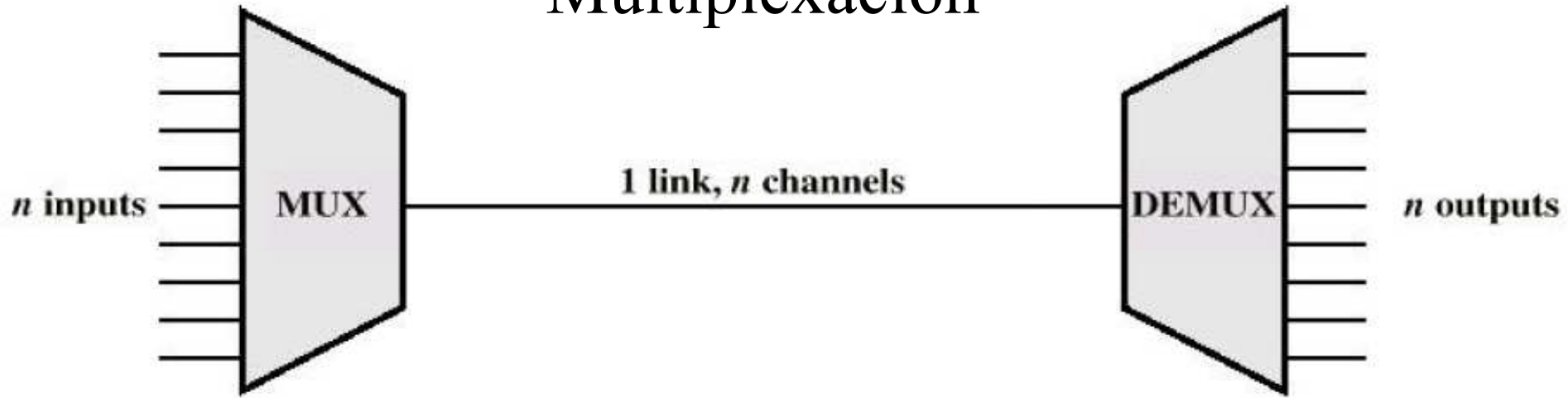
Sistemas de doble clave

- 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

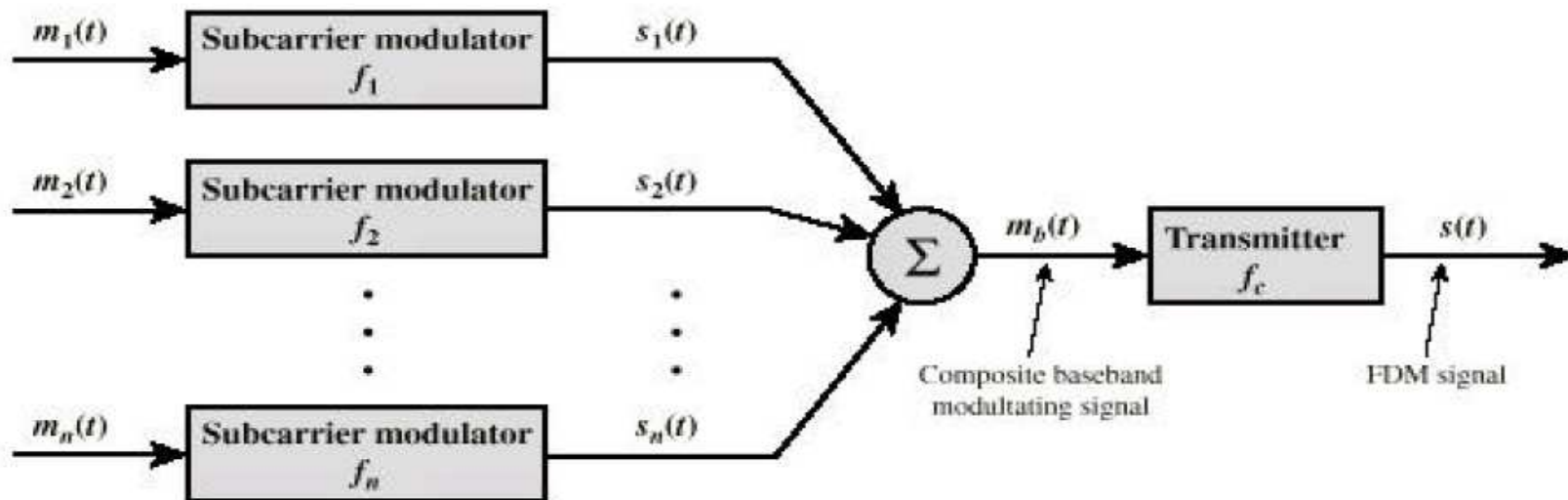
- ♦ Diffie-Hellman
 - Algoritmo histórico (1976)
 - Precursor de RSA
 - Es vulnerable en algunos supuestos
- ♦ PKCS (Public-key Cryptography Standards)
 - 15 estándares basados en RSA.
- ♦ Funciones de hash
 - Son funciones unidireccionales de resumen -> generan una cadena de resumen de un documento (“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



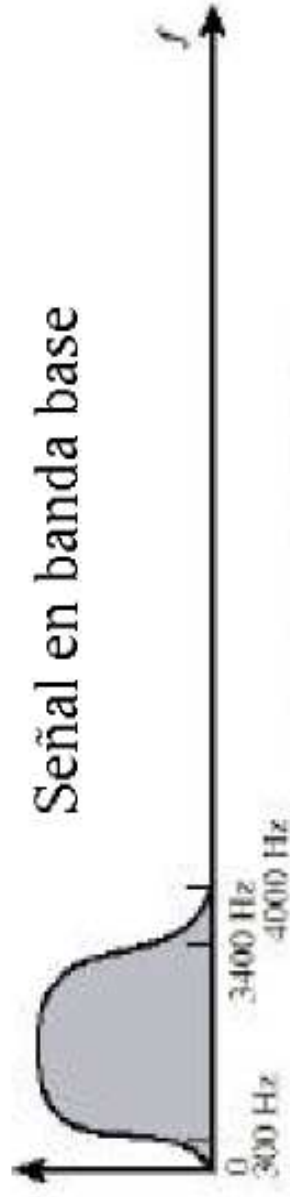
- Objetivos -> compartir el medio
 - Un solo cable frente a muchos cables
 - Posibilidad de transmisión de varias señales donde de otro forma no se podría (p.e. por el aire)
 - Aprovechamiento del ancho de banda
- Tipos
 - Multiplexación por división en frecuencias (FDM).
 - Multiplexación por división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

Modulación por división en frecuencia (MDF)



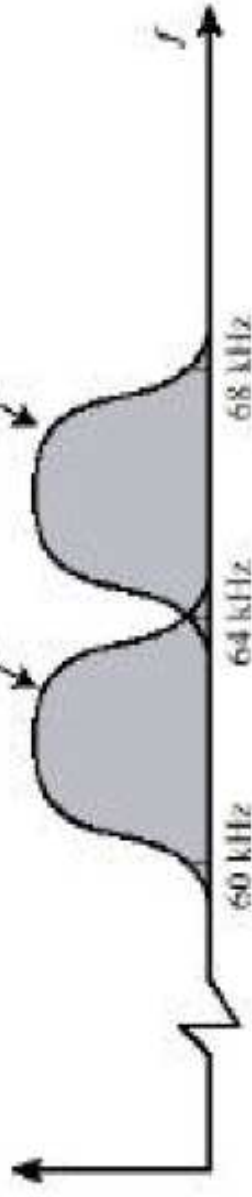
- Modulación \rightarrow desplazamiento de la señal a frecuencias altas
- Multiplexación \rightarrow suma de varias señales moduladas a frecuencias distintas
- Señales limitadas en banda \Rightarrow no hay solapamiento
- Válido para transmisión analógica y digital
- Ancho de banda total = suman anchos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

Señal en banda base



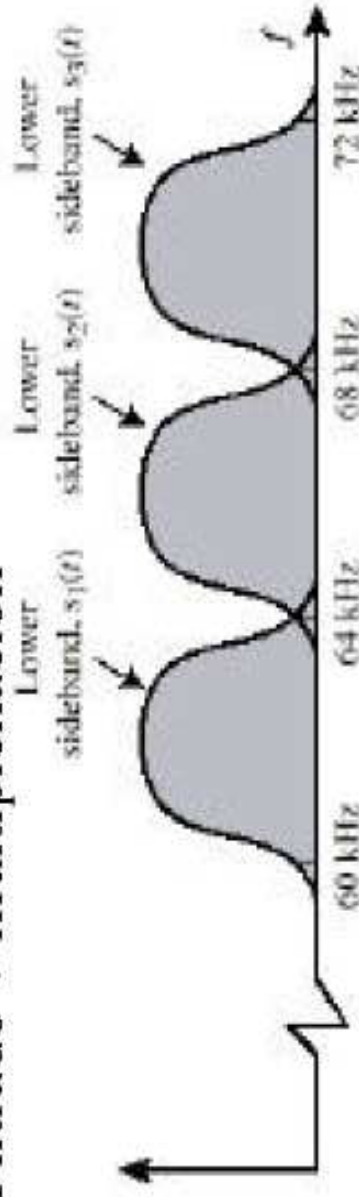
(a) Spectrum of $m_1(t)$, positive f

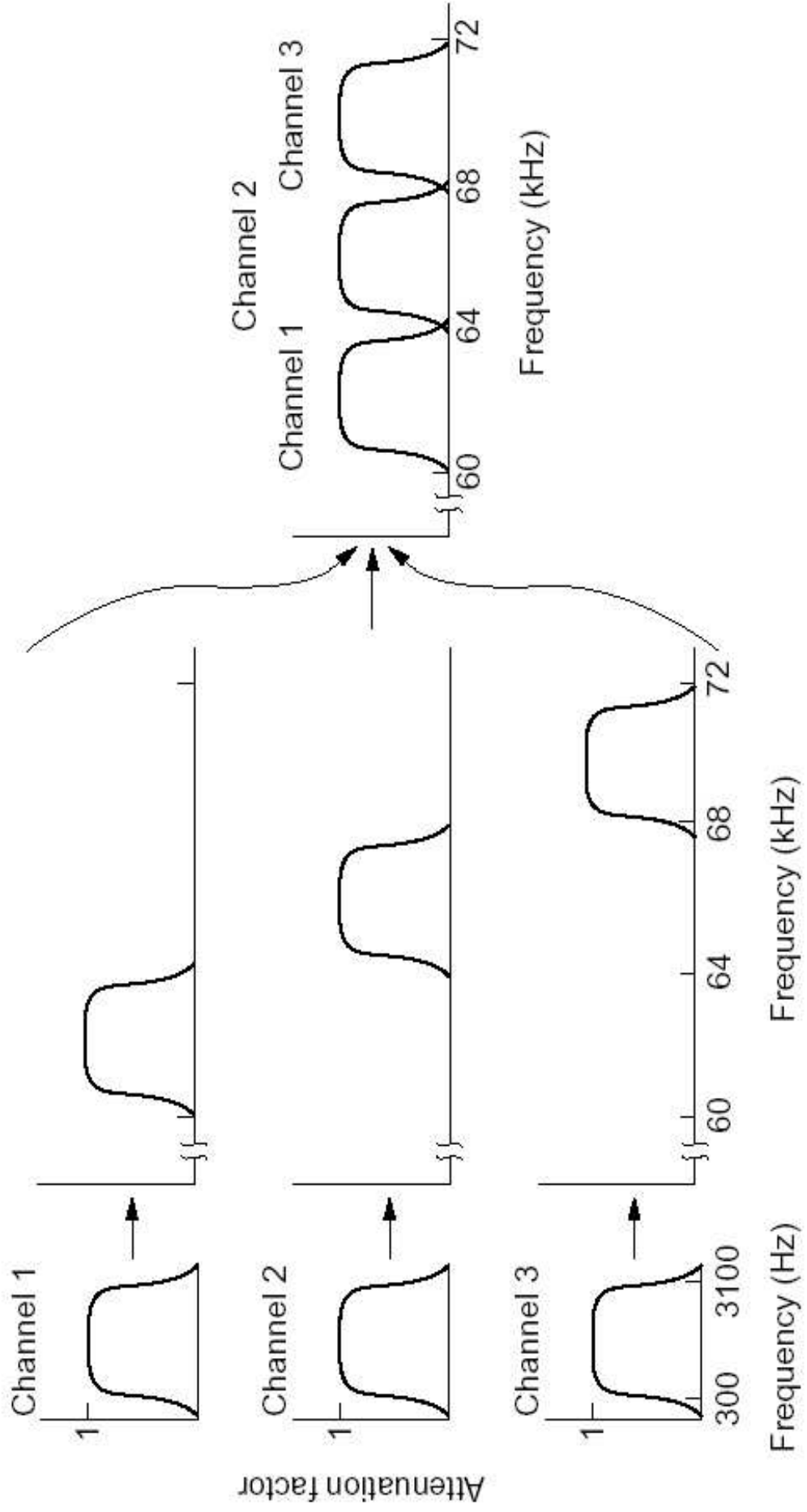
modulación



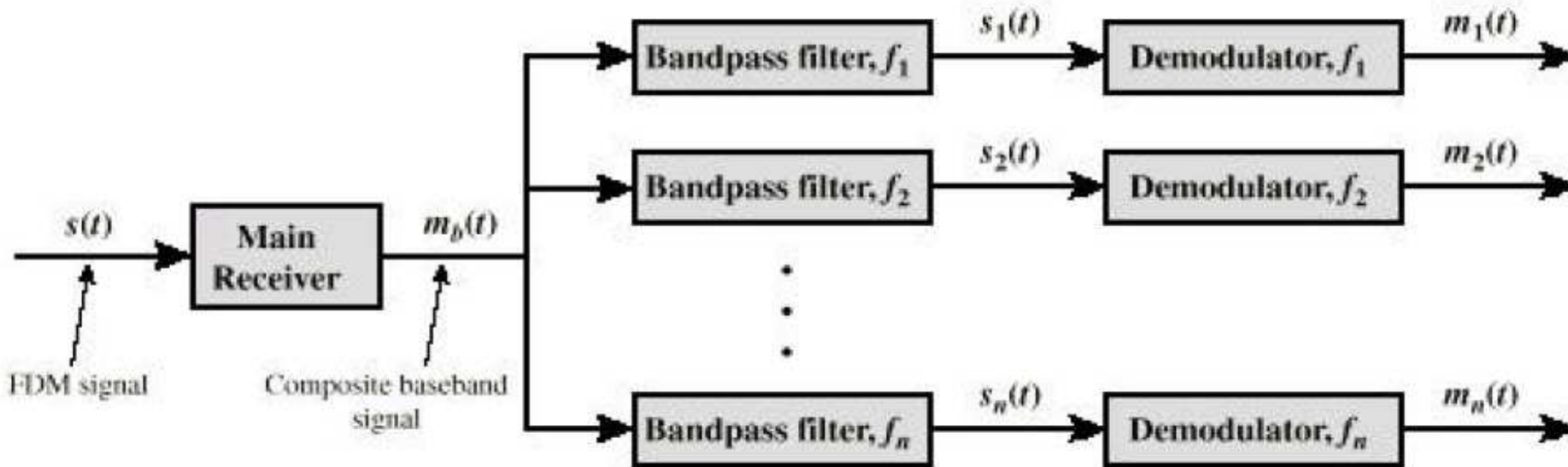
(b) Spectrum of $s_1(t)$ for $f_1 = 64$ kHz

Filtrado + multiplexación



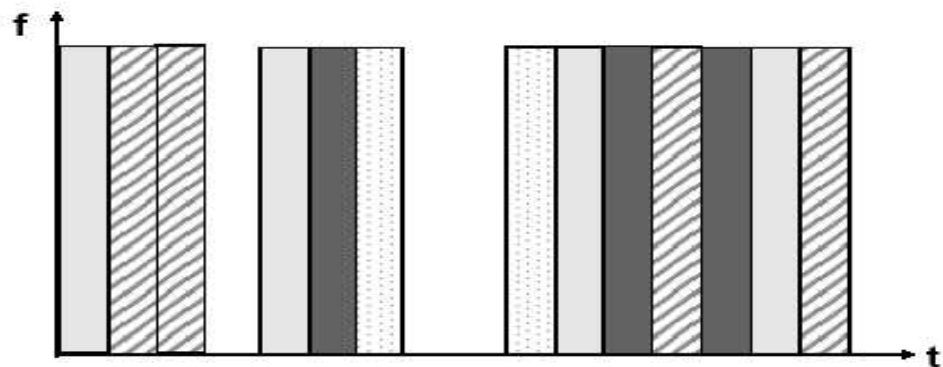
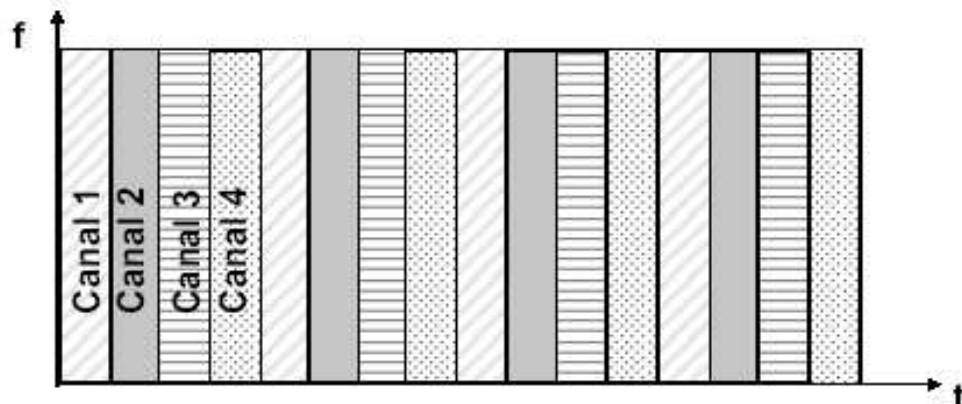


Recuperación de la señal



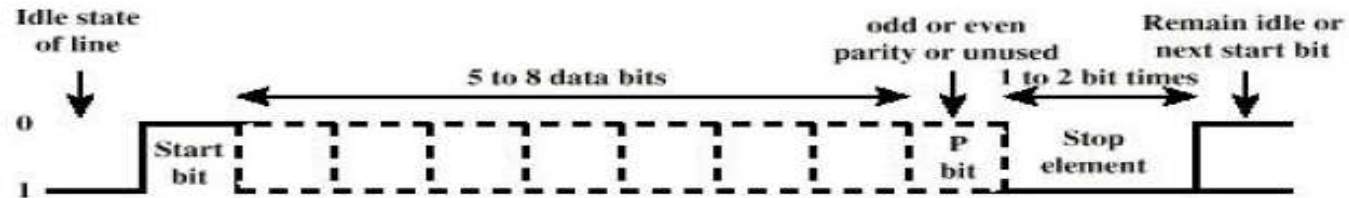
- Filtro P.Banda \rightarrow elimina todo menos un canal
- Demodulador \rightarrow desplaza a frecuencia baja \Rightarrow banda de base
- Problemas
 - Diafonía si los espectros de señales adyacentes se solapan demasiado.
 - Intermodulación en enlaces largos. Los amplificadores de un canal podrían generar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

Multiplexación por división en el tiempo (MDT)

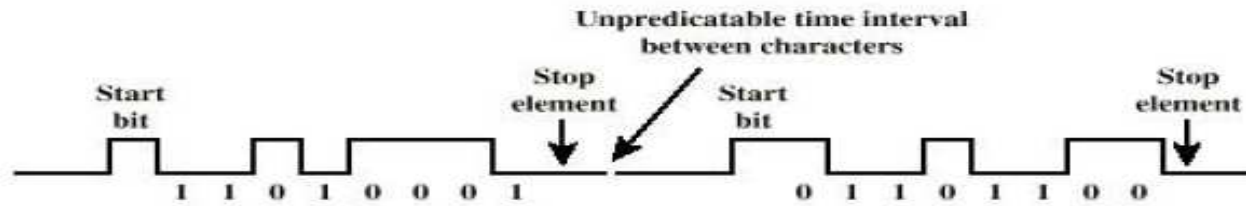


- ♦ Asignación de intervalos de canal (slots) a los distintos canales.
- ♦ MDT síncrona -> asignación fija de intervalos de canal => desperdicio de ancho de banda
- ♦ MDT asíncrona -> asignación variable según las necesidades => hay que identificar canales

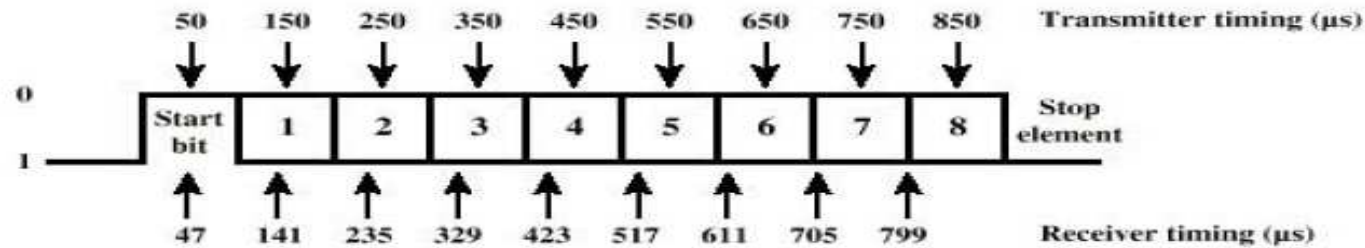
Transmisión asíncrona



(a) Character format



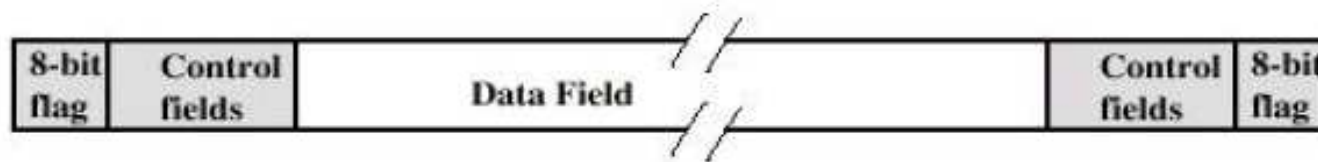
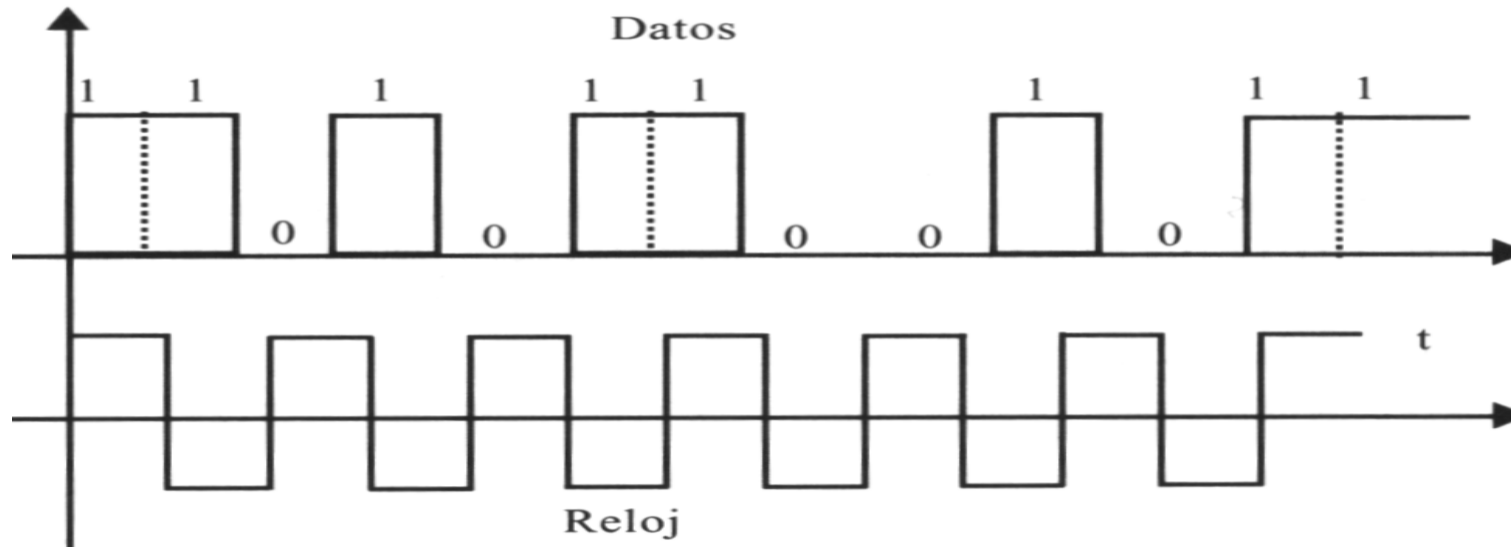
(b) 8-bit asynchronous character stream



(c) Effect of timing error

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

Transmisión síncrona

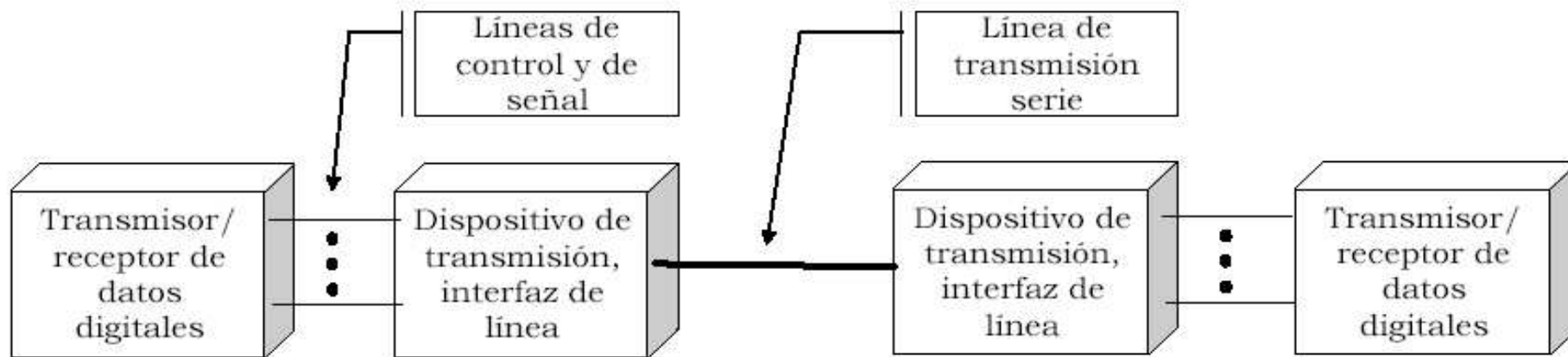


- Reloj
 - ♦ Por línea aparte
 - ♦ Incluido en la codificación (p.e. manchester)
- Menor sobrecarga de bits de control que en t. asíncrona.

Transmisión serie/paralelo

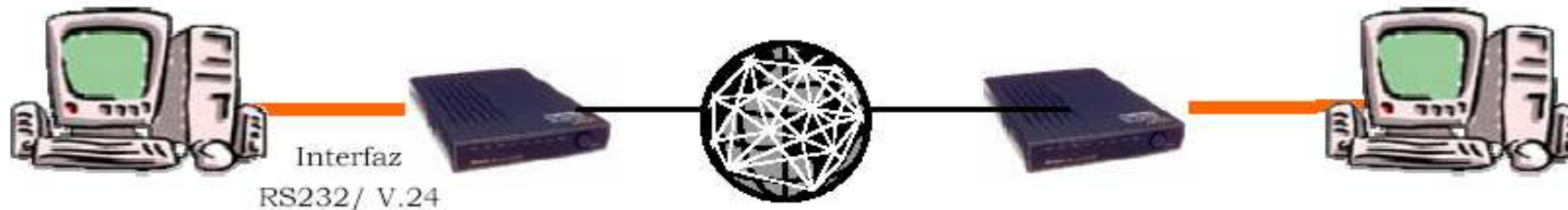
- Transmisión serie
 - ♦ Bit a bit
 - ♦ Menos hilos
 - ♦ Mayor complejidad: necesidad de un protocolo
 - ♦ Transmisión a larga distancia
- Transmisión paralelo
 - ♦ Varios bits a la vez
 - ♦ Mayor número de hilos
 - ♦ Más simple, sin protocolo o protocolo más sencillo
 - ♦ Transmisión a corta distancia

Interfaces para las comunicaciones de datos



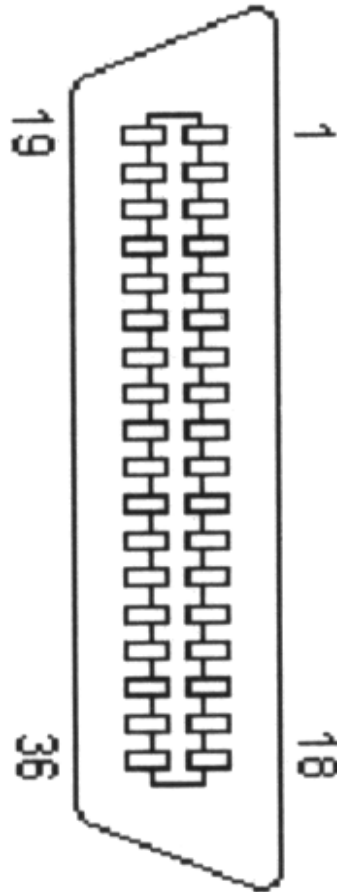
DTE: equipo terminal de datos

DCE: equipo terminación de circuito de datos



Interfaz Centronics

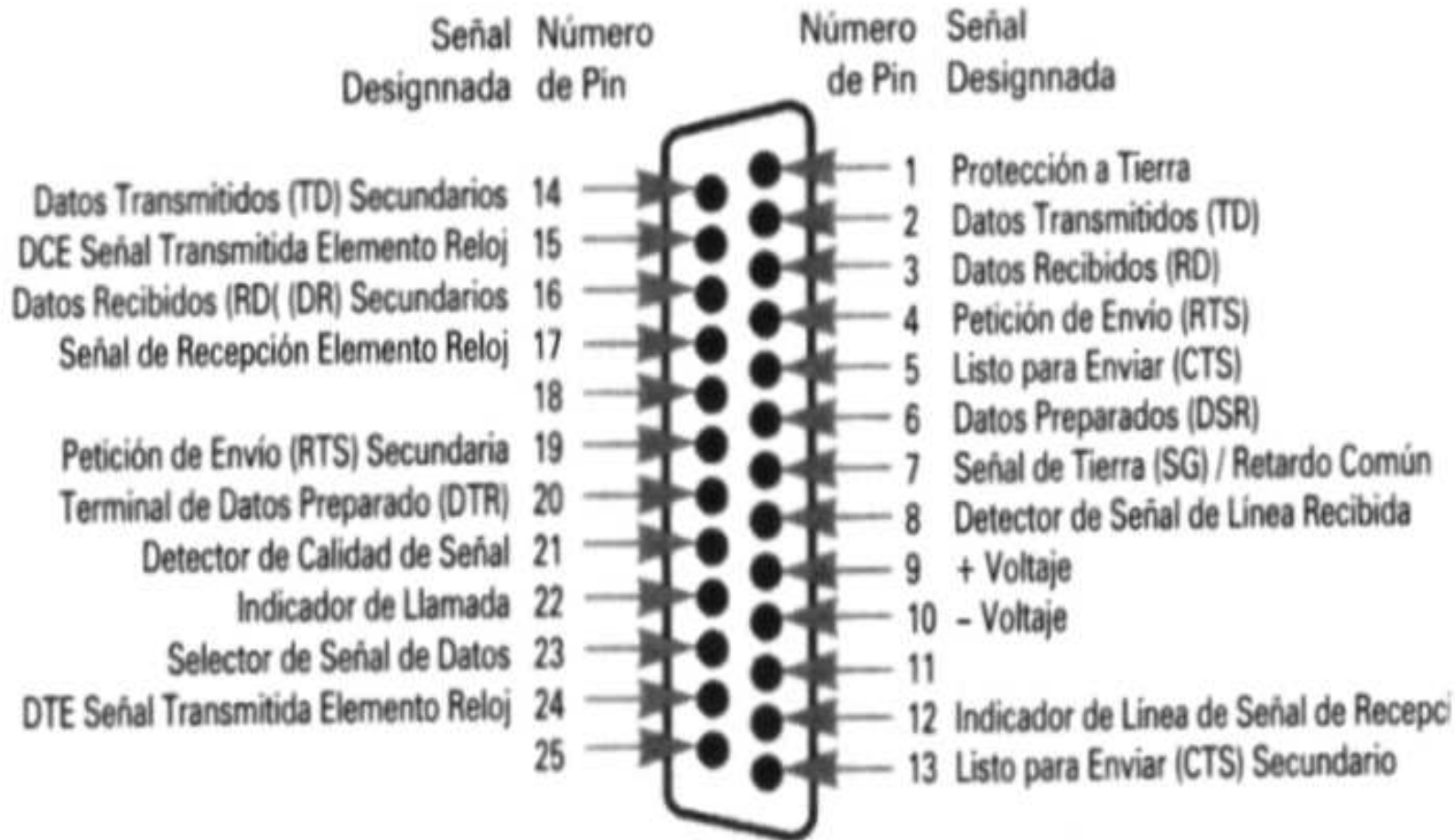
- 19 (R) DATA STROBE
- 20 (R) DATA BIT 1
- 21 (R) DATA BIT 2
- 22 (R) DATA BIT 3
- 23 (R) DATA BIT 4
- 24 (R) DATA BIT 5
- 25 (R) DATA BIT 6
- 26 (R) DATA BIT 7
- 27 (R) DATA BIT 8
- 28 (R) ACKNOWLEDGE
- 29 (R) BUSY
- 30 (R) INIT PRINTER
- 31 INIT PRINTER
- 32 ERROR
- 33 SIN DEFINIR (GND)
- 34 SIN DEFINIR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

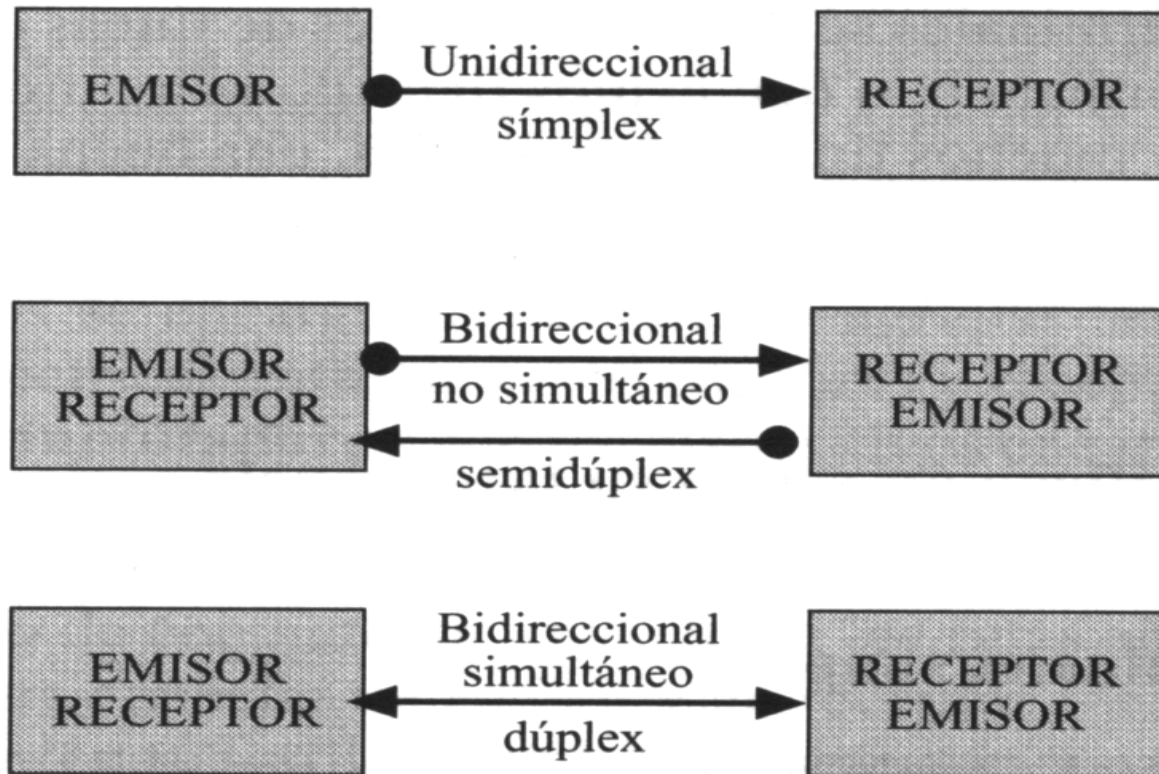
Interfaz RS-232



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

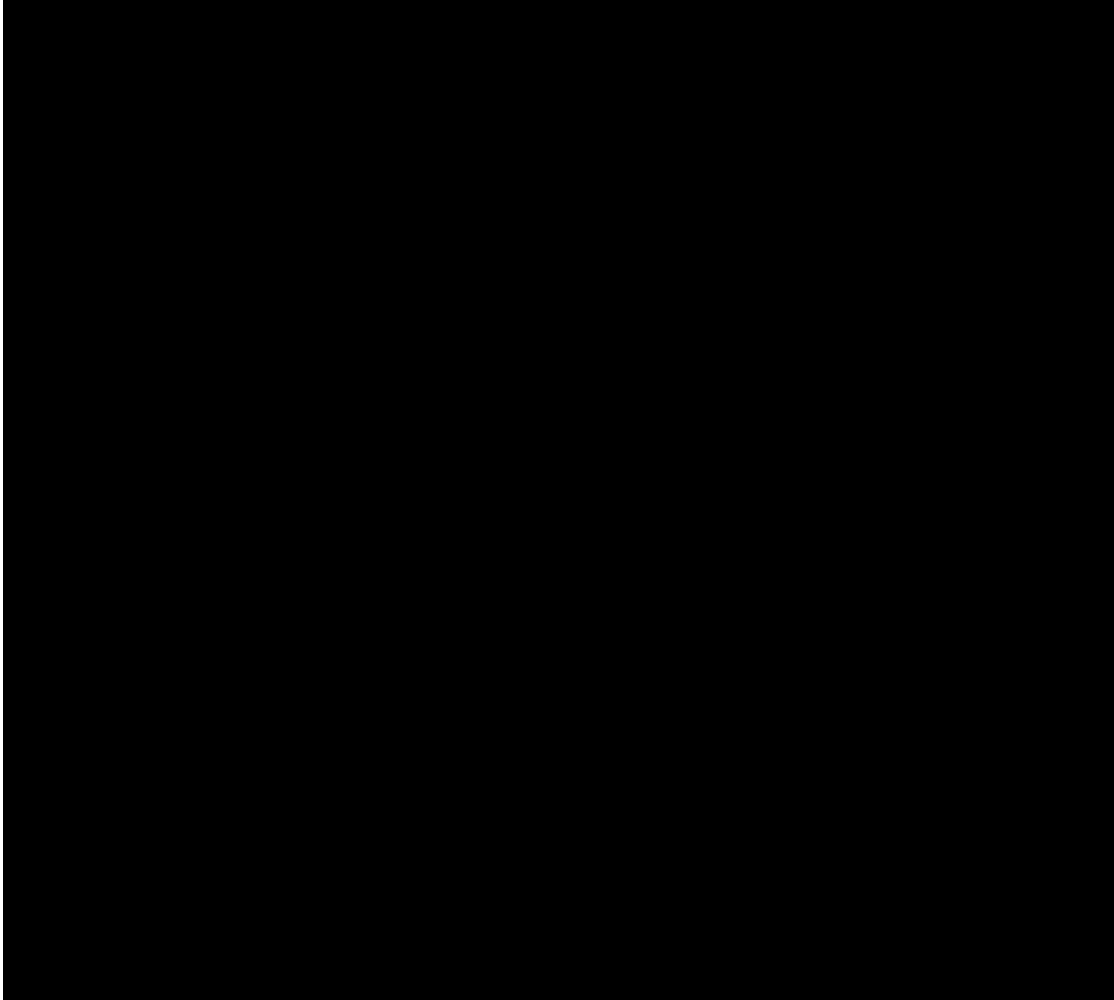
- Según las unidades de datos con las que trabajan
 - ♦ Protocolos orientados a carácter -> década de los 60
 - ♦ Protocolos orientados a bit -> modernos
- Según su forma de sincronización -> síncronos / asíncronos
- Según el control sobre el medio
 - ♦ Balanceados o simétricos:
 - los dos extremos trabajan 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
 - ✓

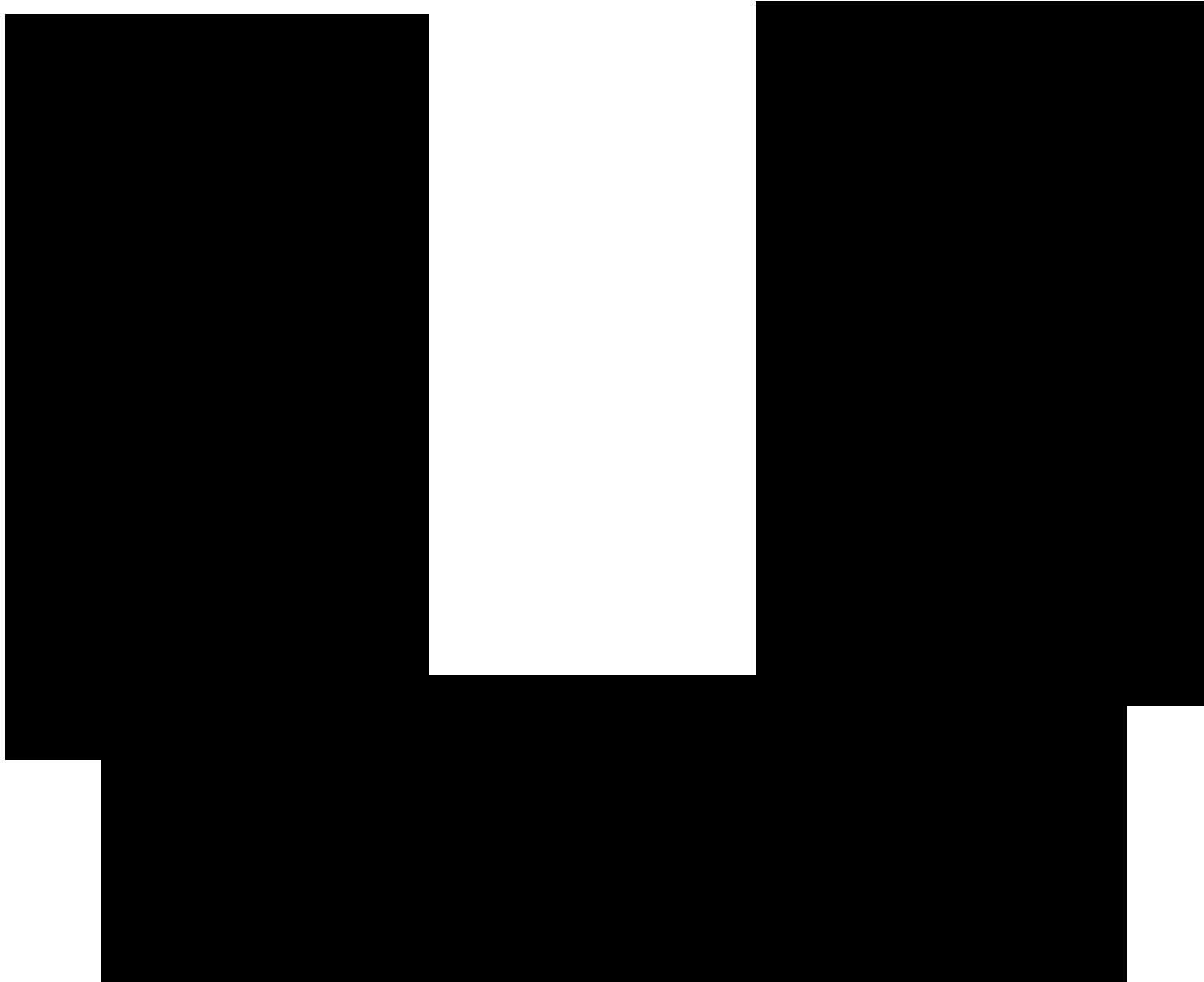
- Según utilicen o no prioridades
 - ♦ Sistemas sin prioridad
 - MUX-MDT (Multiplex por división en el tiempo)
 - ✓ El canal se divide en intervalos de tiempo
 - ✓ Se asigna un intervalo a cada estación
 - CSMA/CD (acceso múltiple por detección de portadora y detección de colisiones)
 - ✓ Todas las estaciones 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



- 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:

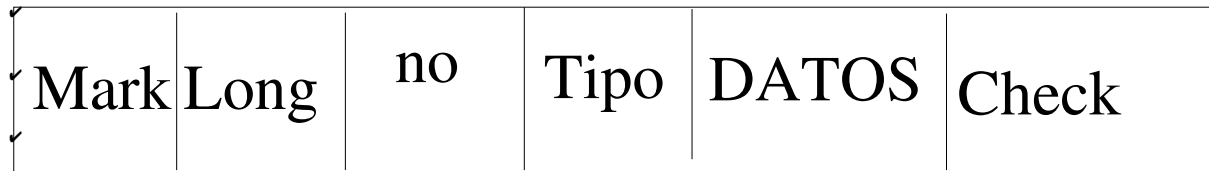
✓ SOH ✓	No	C1 no	DATOS	Checksum
---------------	----	----------	-------	----------

- 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
- Fín de la transmisión -> el emisor envía EOT

Protocolo kermit

- 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

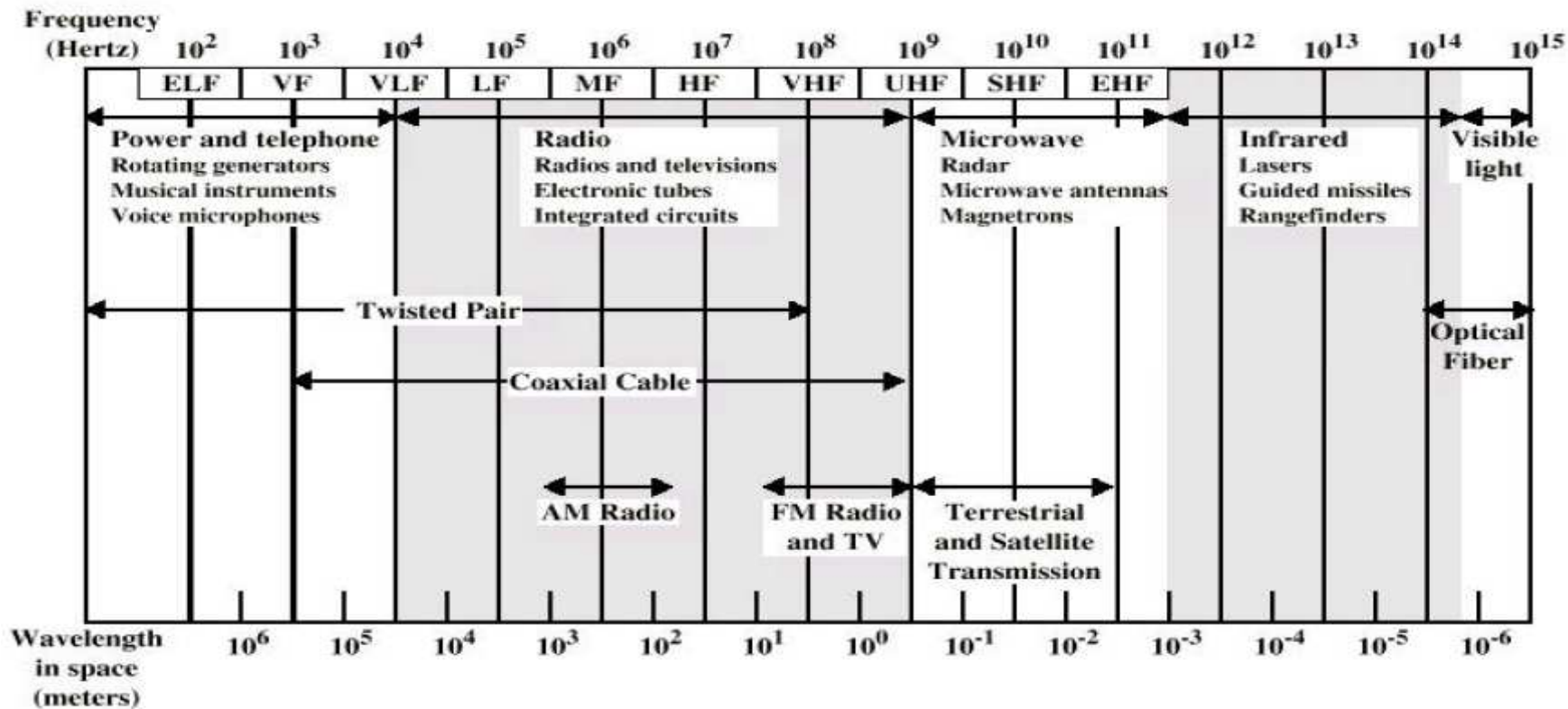
- Protocolo orientado a bit, síncrono, punto a punto o multipunto, de ventana deslizante.
- Estandar ISO.
- Permite explotación duplex del enlace.
- Permite la transmisión de cualquier tipo de datos.
- Permite enlaces equilibrados y no equilibrados.
- Trama:



- ♦ 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

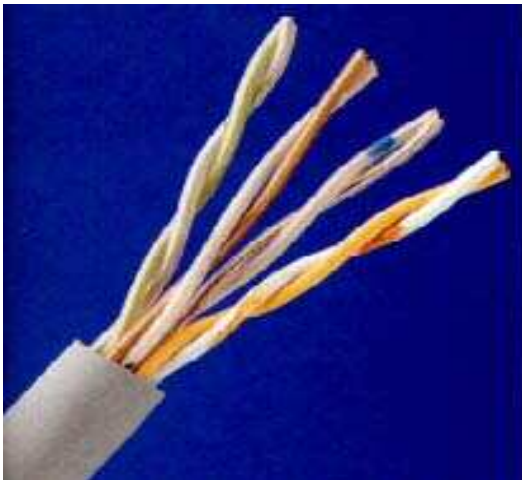
- Características

- ♦ 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**.

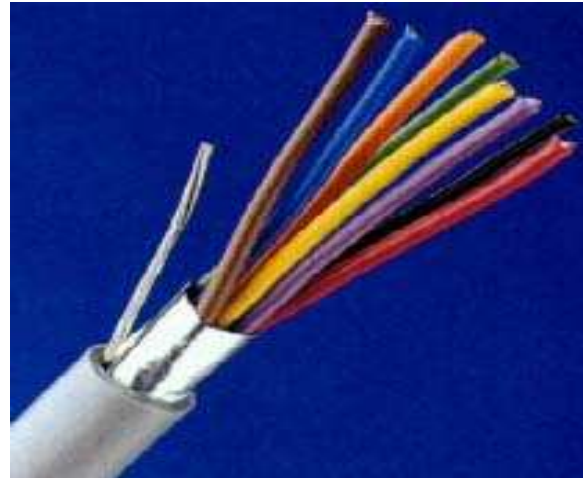


Calibre (AWG)	19	22	24	26	28
Diámetro (mm)	0.912	0.644	0.511	0.405	0.320

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



No apantallado UTP.

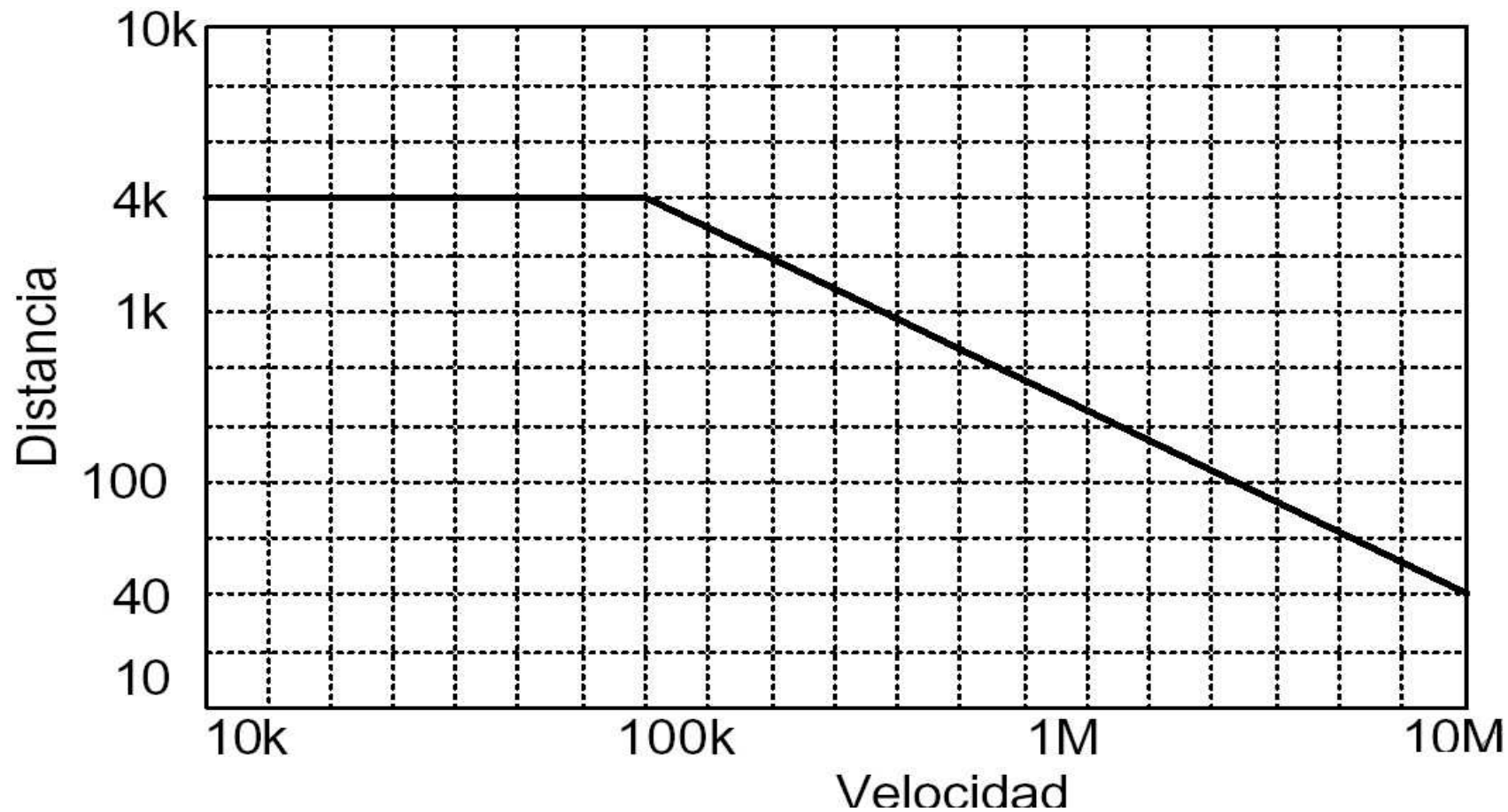


Apantallado STP.

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

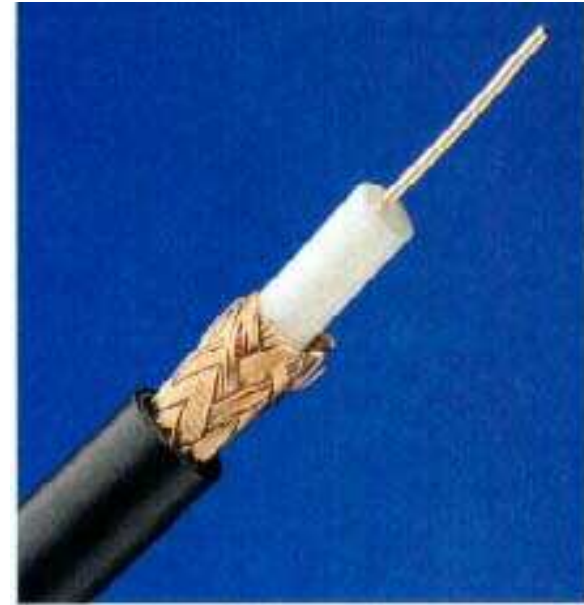
- Cables UTP
 - ♦ Categoría 1: Telefonía, transporte de voz (< 1Mbps)
 - ♦ Categoría 2: Datos hasta 4 Mbps. Token Ring a 4 Mbps.
 - ♦ Categoría 3: Datos hasta 10 Mbps. Ethernet 10base-T. 3-4 vueltas/pie.
 - ♦ Categoría 4: Token-Ring, Token-bus y 10base-T, 20MHz.
 - ♦ Categoría 5: Datos hasta 100 Mbps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

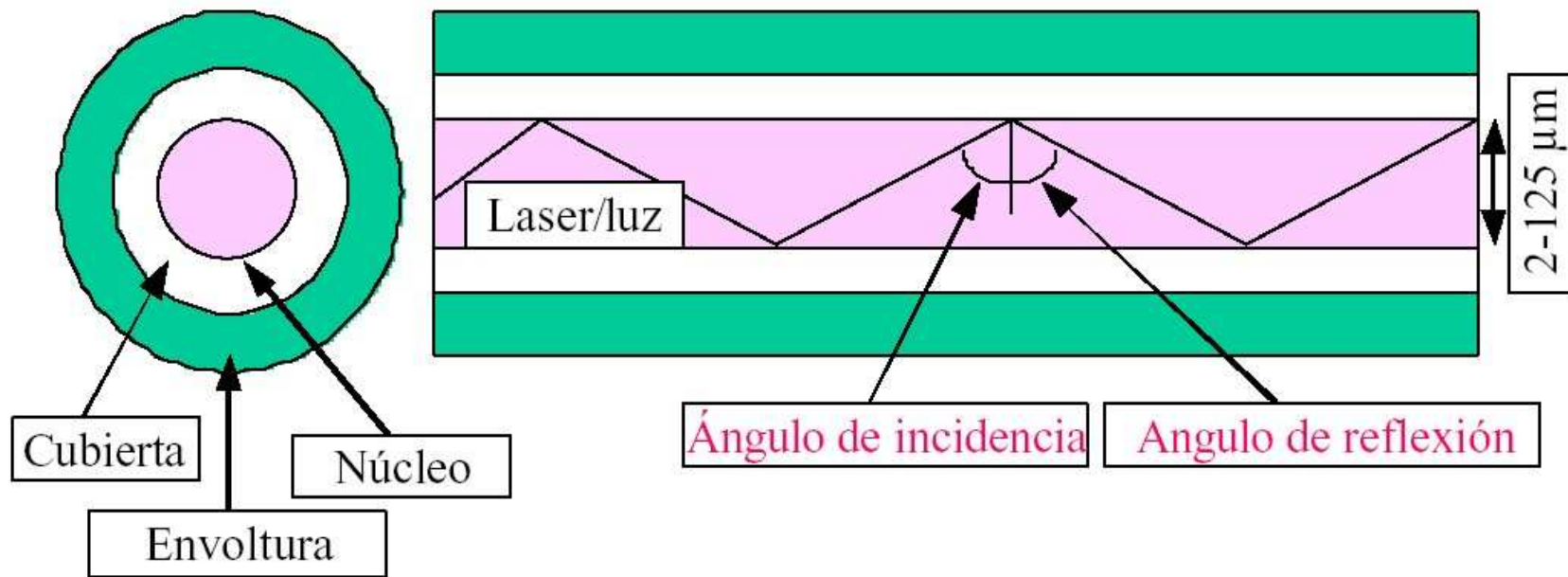
MHz	10	50	100	200	400	1000
dB/100m	4.9	12	17	26	38	65

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

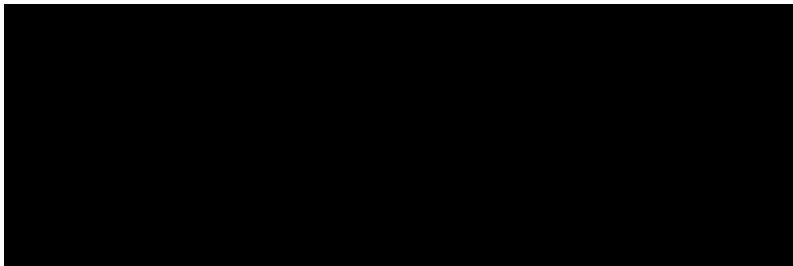
Fibra óptica

- 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

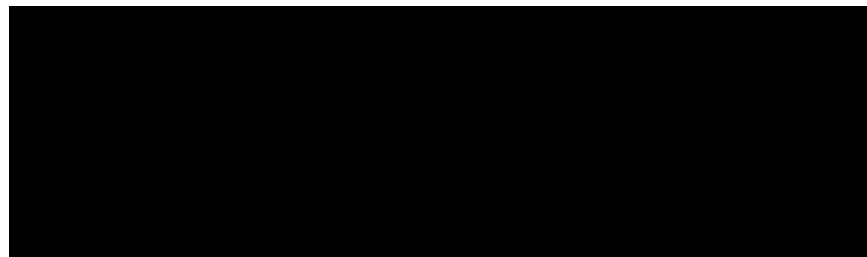




- Angulo de incidencia menor que un cierto ángulo => reflexión
- Según la anchura del núcleo
 - ♦ Fibras multimodo (anchura del nucleo mucho mayor que la longitud de onda de la portadora) -> varios modos de propagación
 - ♦ Fibras monomodo (anchura del nucleo cercana a la longitud de onda de la portadora)-> 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

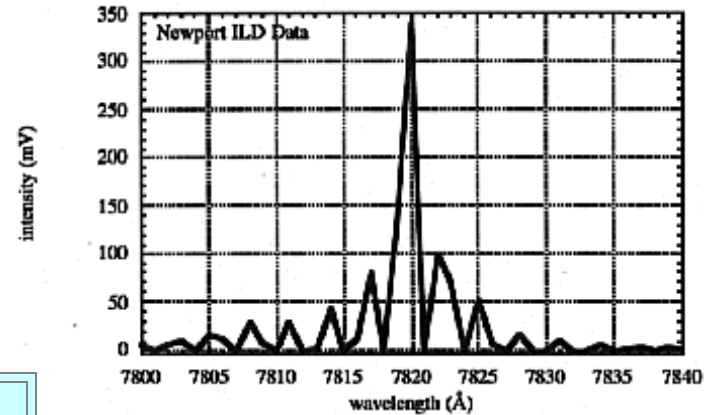
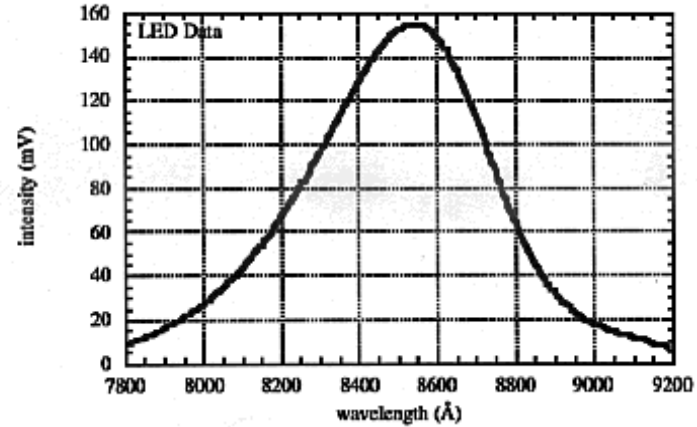
Fuentes de luz

- LED

- Luz poco coherente => distintas velocidades de propagación.
- Baja potencia => menor alcance
- Bajo coste

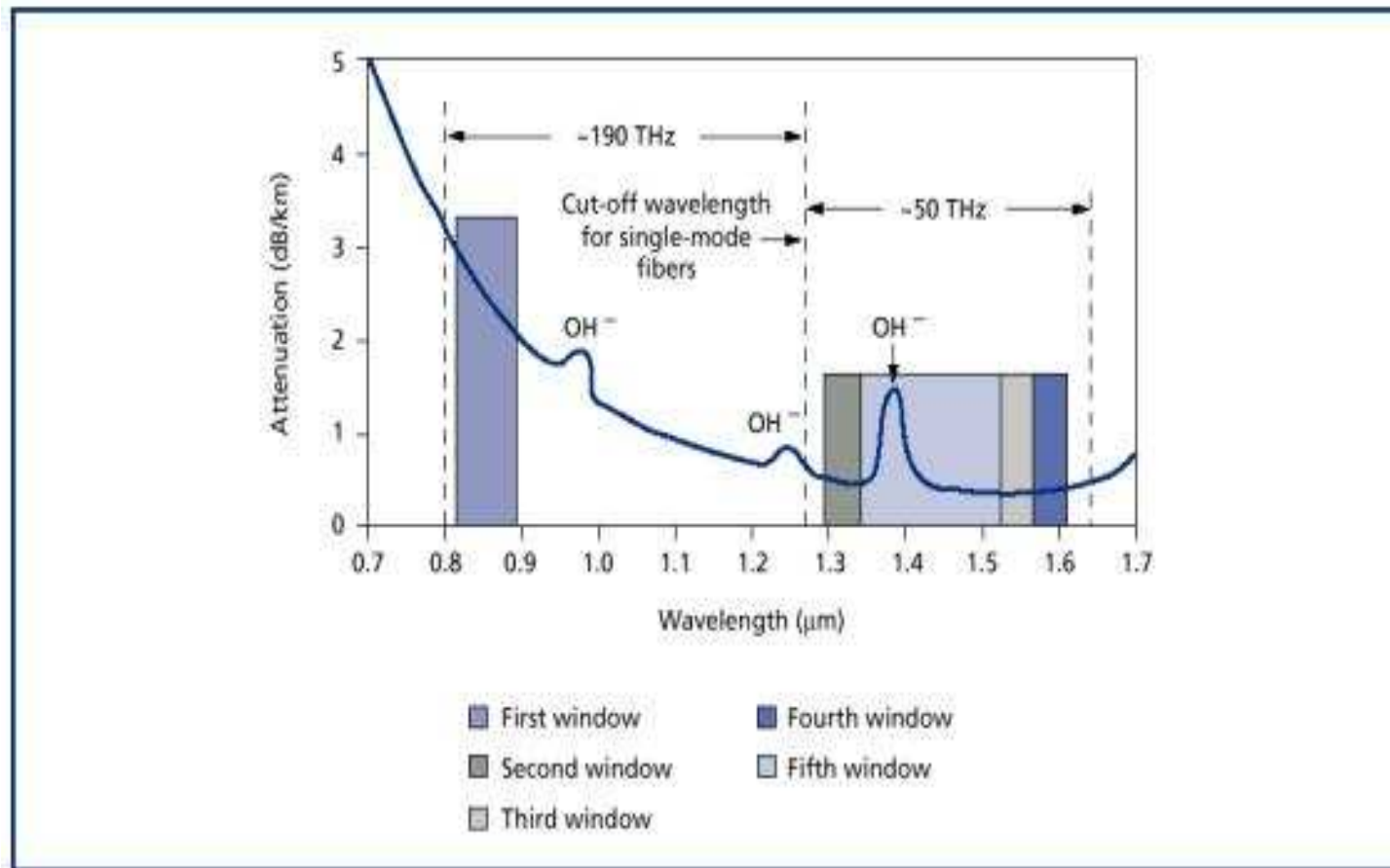
- ILD

- 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

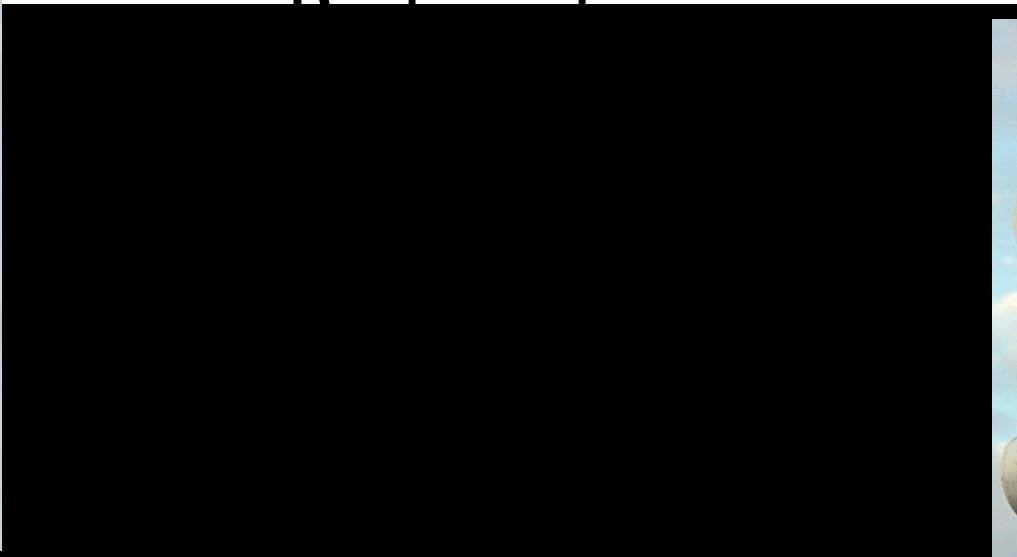
Pérdidas en la fibra



- 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 monopolaes o dipolaes $\frac{1}{2}\lambda$ – $\frac{1}{4}\lambda$
- 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.)



- 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)

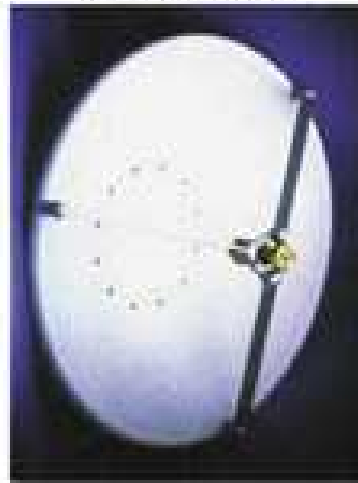
Antenas usadas en los radioenlaces



Pantalla para reducir lóbulos laterales



Convencional



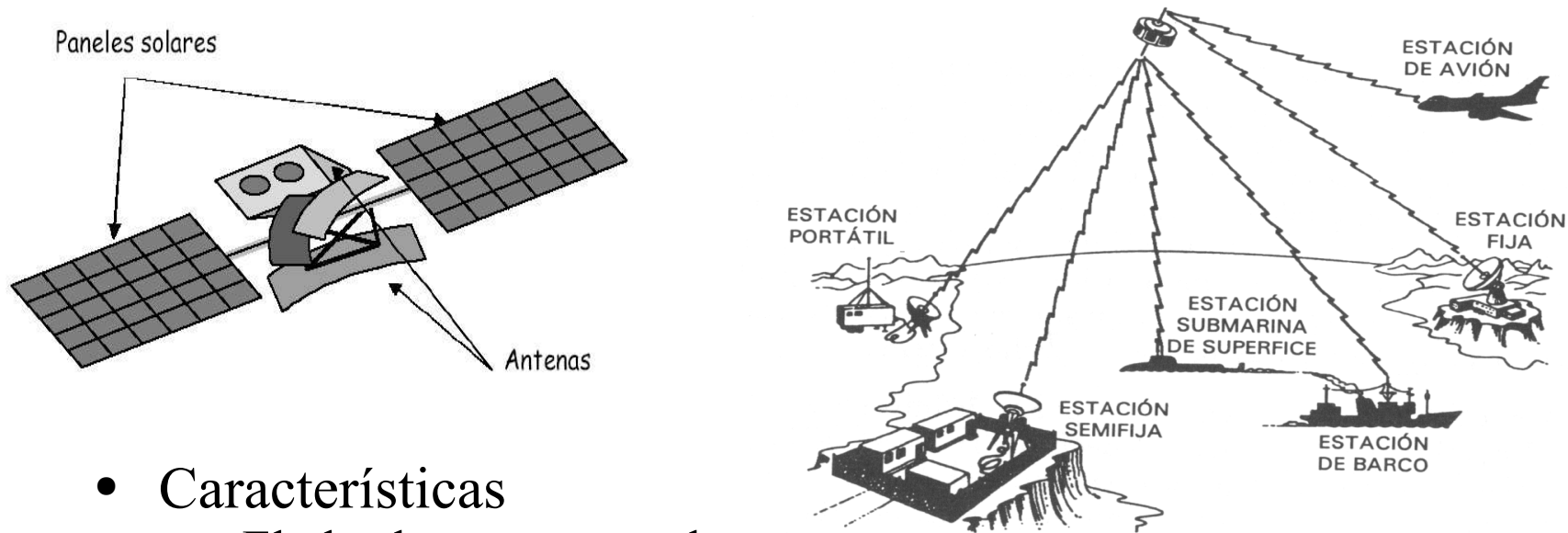
Cassegrain



Gregoriano



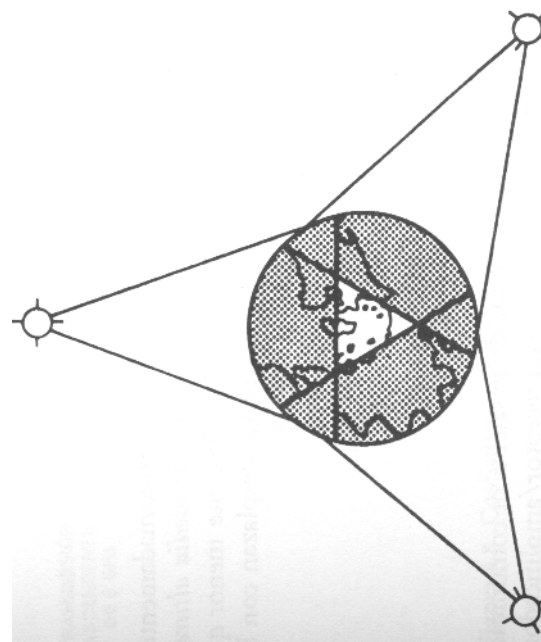
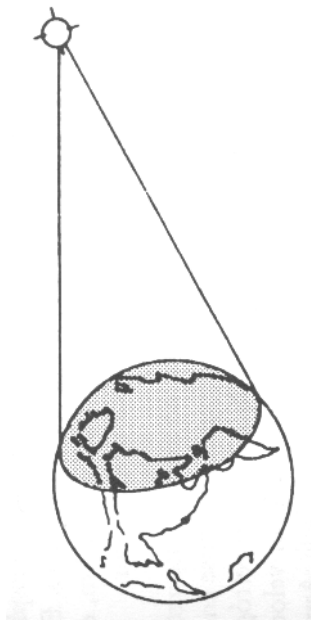
Transmisión por satélite



- 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.