

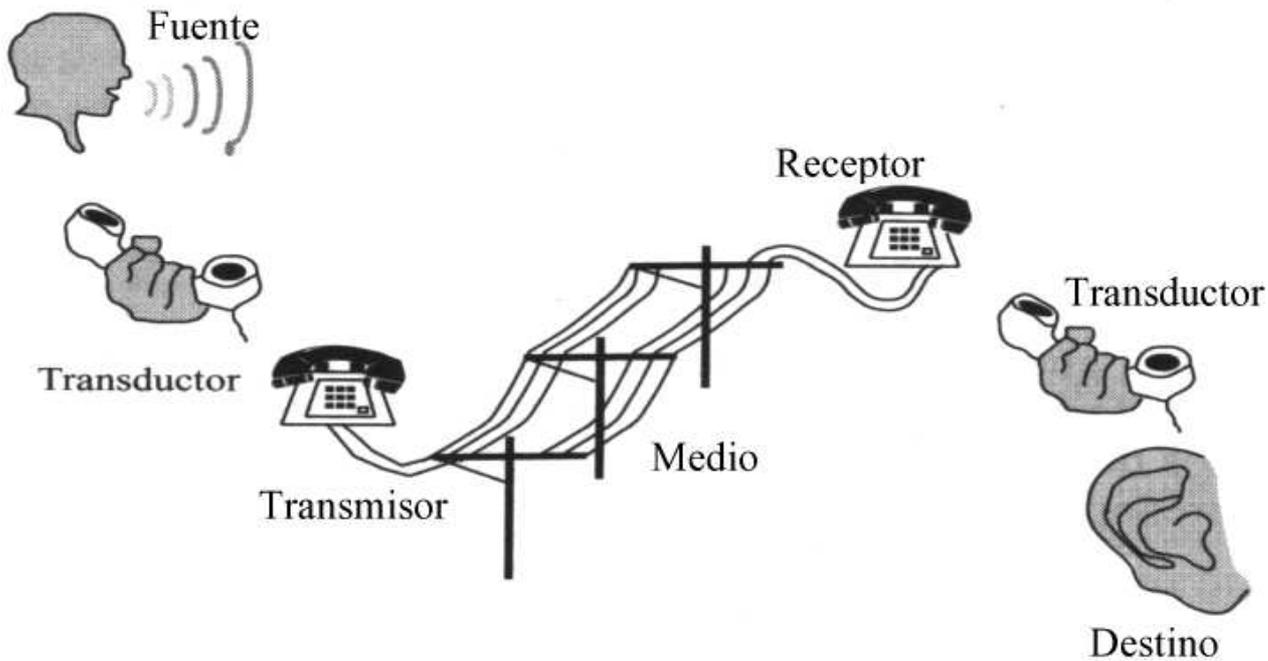
# TELECOMUNICACIONES

- 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

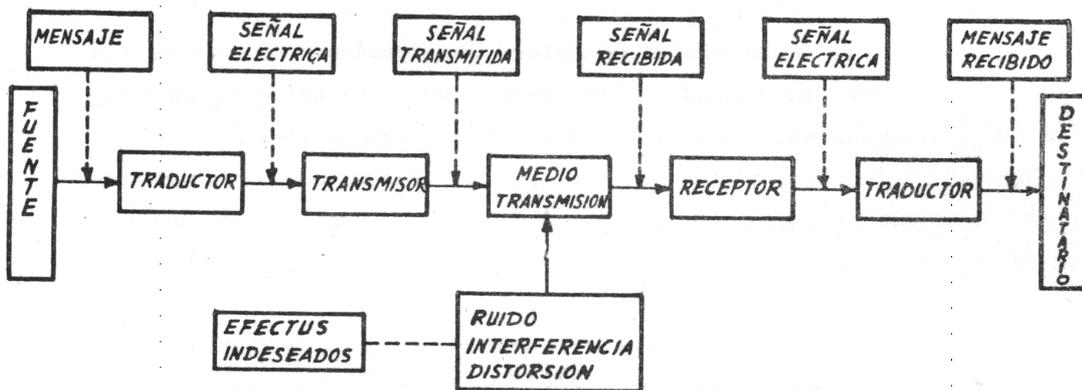
# TELECOMUNICACIONES

- 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

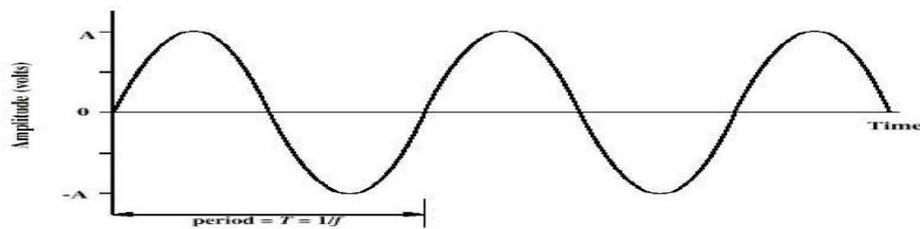


## Concepto de comunicación

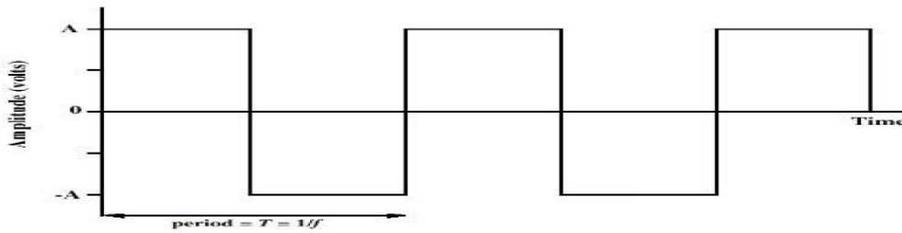


- **Comunicación** = transvase de información entre dos o más entes a través de un medio físico, mediante signos entendibles por todas las partes y siguiendo unos procedimientos establecidos por todas las partes
- Transductores -> conversión entre magnitudes físicas/electricas
- Transmisor -> adaptación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

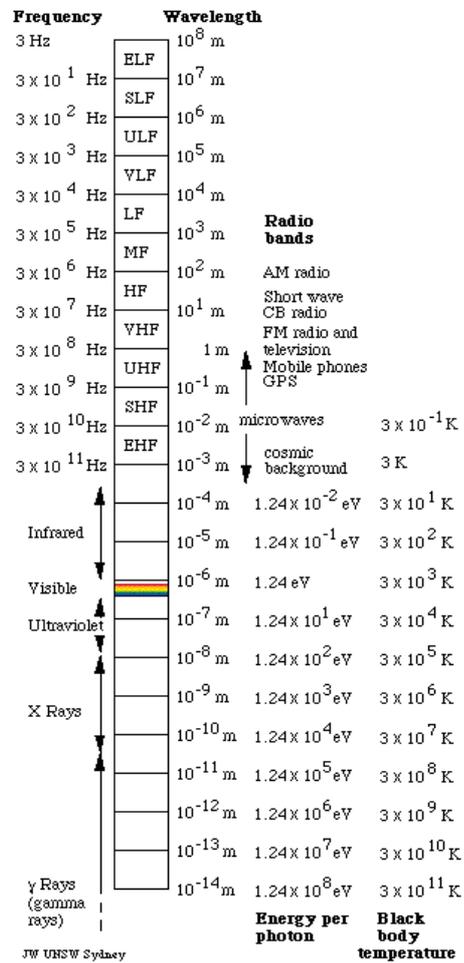
tiempo\amplitud	Continua	Discreta
Continua	ANALÓGICA	Discreta
Discreta	Muestreada	DIGITAL

- Periodicidad

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

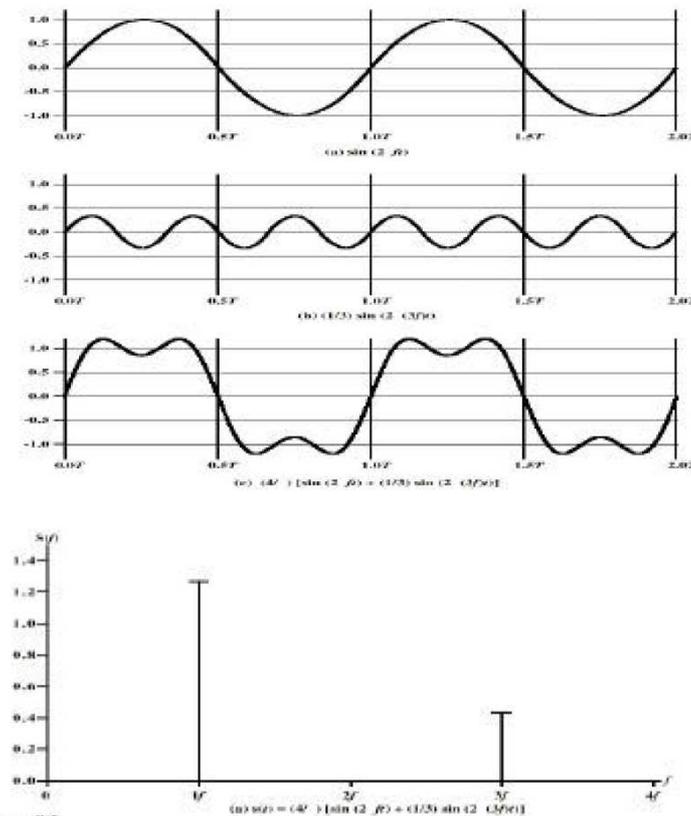
# Señales en la frecuencia

- 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 1/2 o 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.

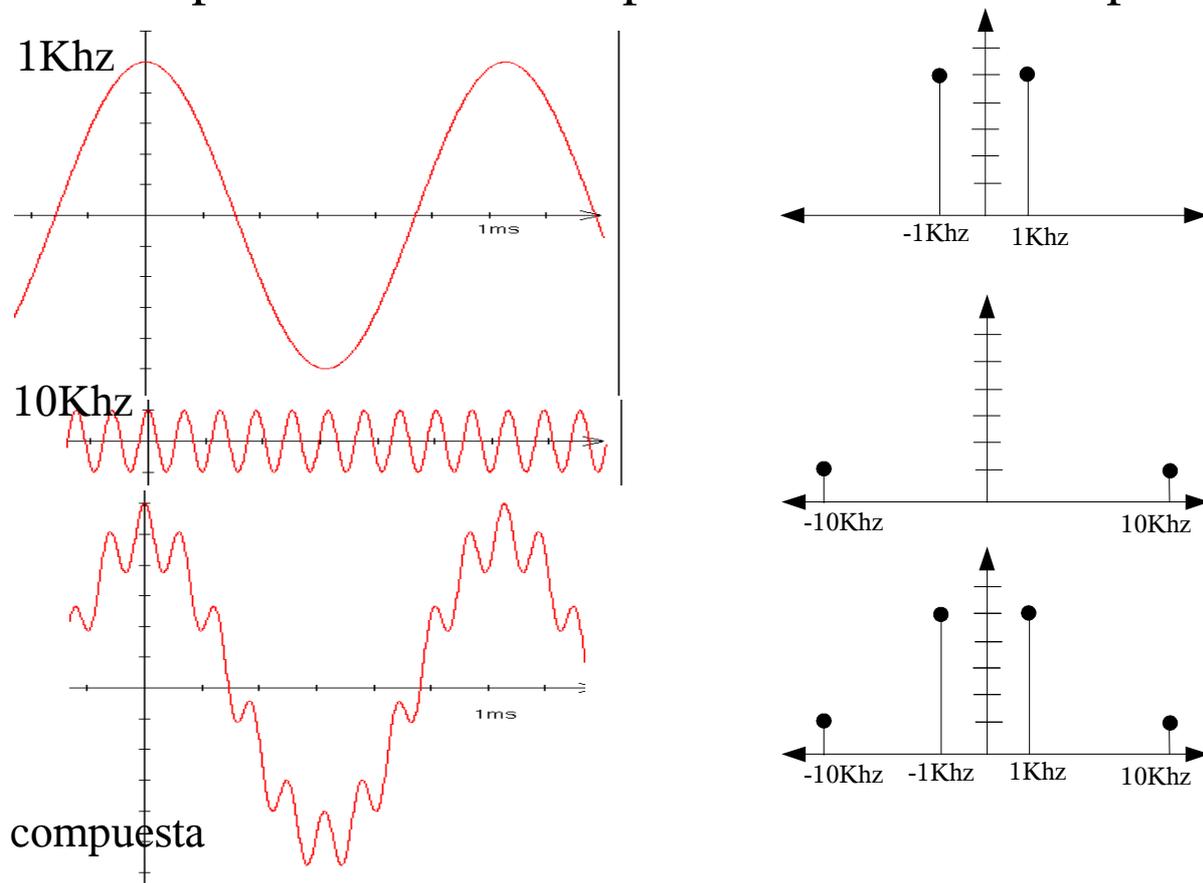


## Dualidad tiempo-frecuencia

- Señal sinusoidal = tono puro
- Señal compuesta -> formada por muchos tonos (Fourier)
- Espectro de la señal -> frecuencias contenidas en la señal y su amplitud
- Ancho de banda de la señal -> margen de frecuencias del espectro
- Señales con ancho de banda ilimitado -> 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

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

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

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

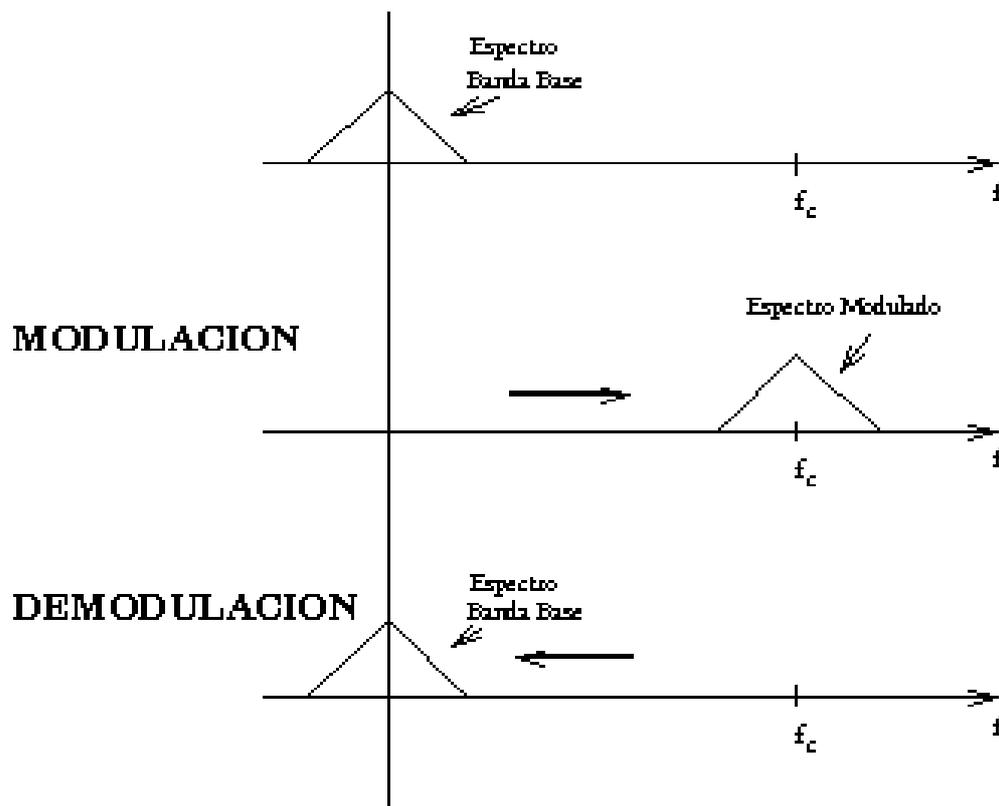
Reflexión nula para adaptación de impedancias

## 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



SE UTILIZA UNA PORTADORA SENOIDAL (SEÑAL MODULADA):

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

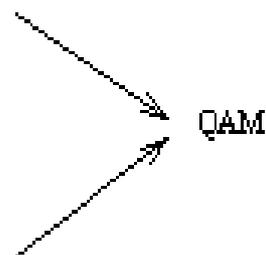
MODULACION ANALOGICA: SENAL ANALOGICA COMO MODULADORA

MODULACION DIGITAL : SENAL DIGITAL COMO MODULADORA

$A_c$  : MODULACION EN AMPLITUD (AM, ASK)

$f_c$  : MODULACION EN FRECUENCIA (FM, FSK)

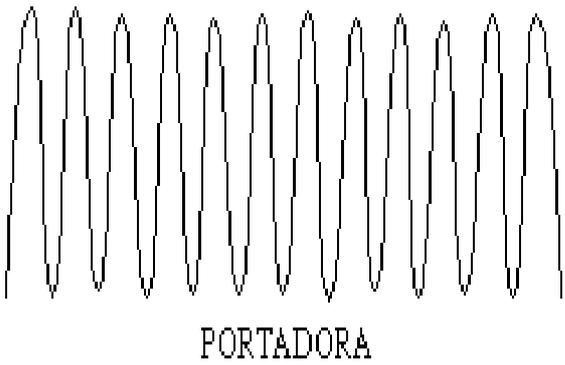
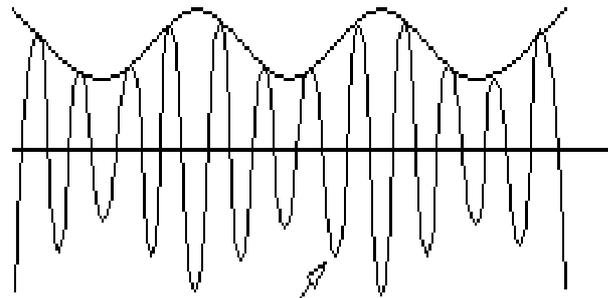
$\theta_c$  : MODULACION EN FASE (PM, PSK)



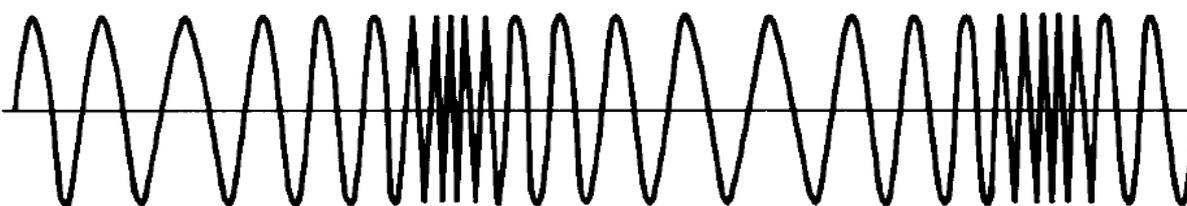
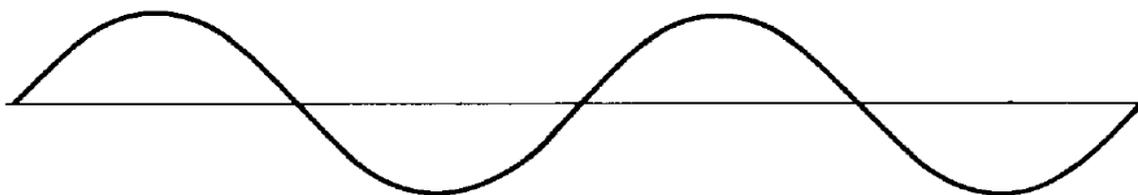
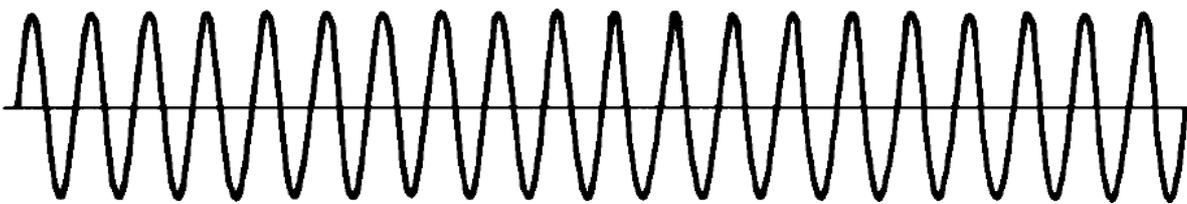
QAM

# Modulación analógica

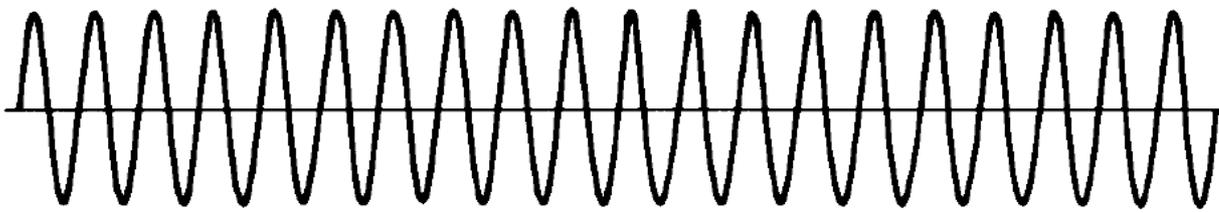
## MODULACION ANALOGICA EN AMPLITUD



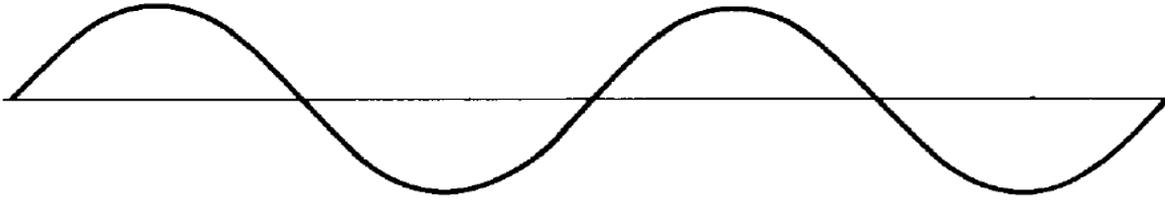
## Modulación en frecuencia (FM)



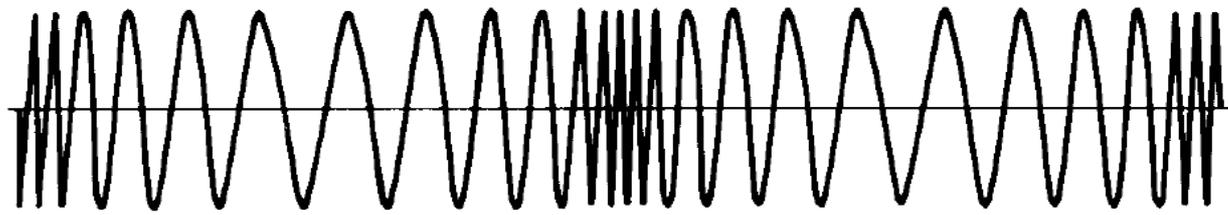
# Modulación en fase (PM)



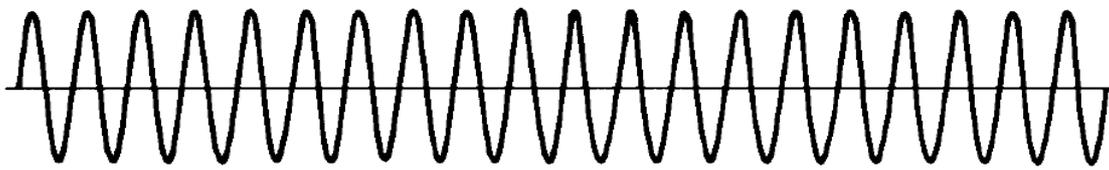
Portadora



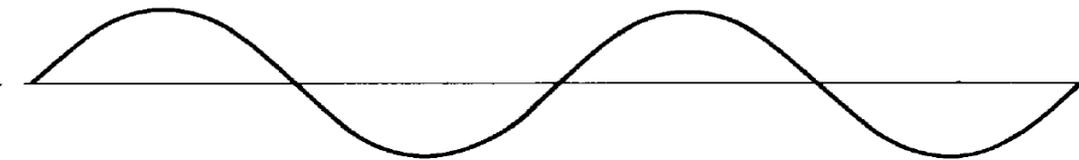
Moduladora



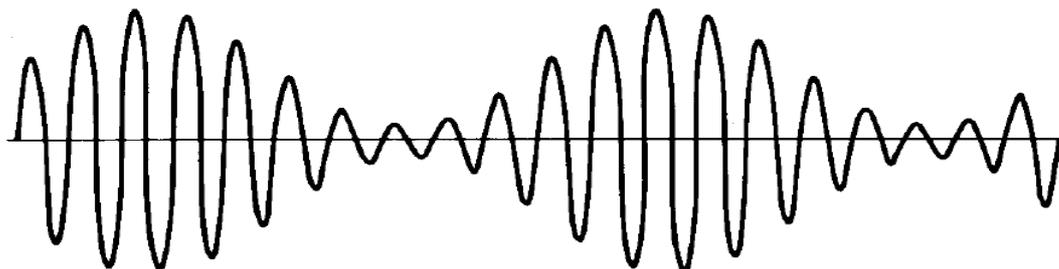
Portadora modulada



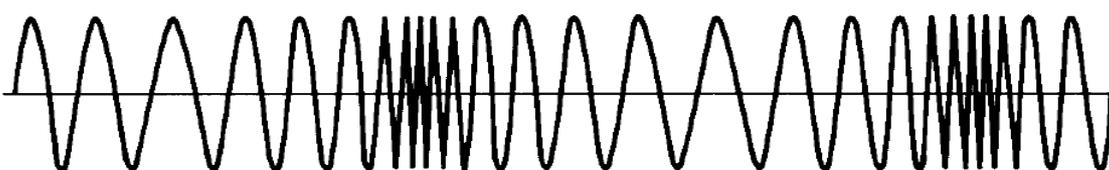
Portadora



Moduladora



AM

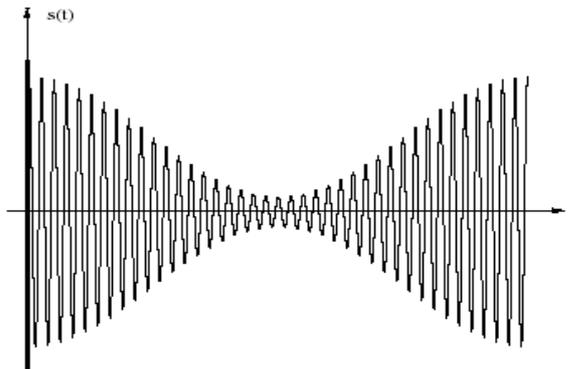
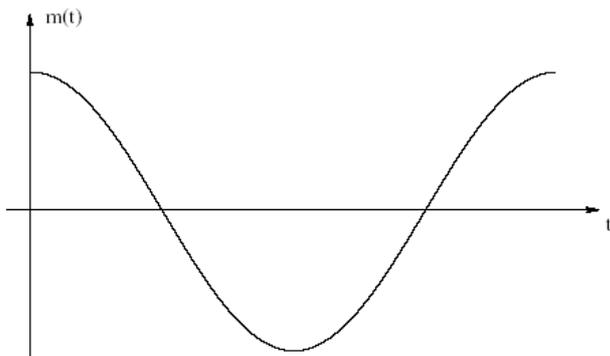


FM



PM

# Modulación de AM



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

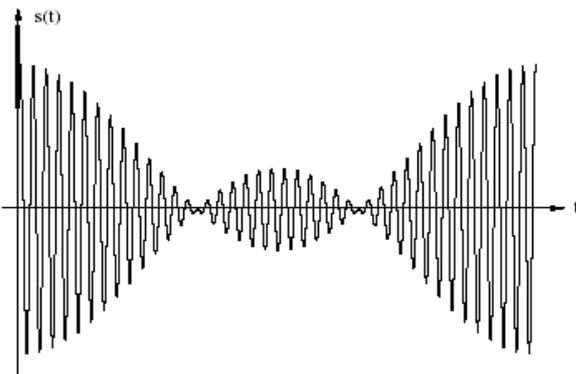
$$S_{AM}(t) = Ap [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(2\pi f_p t)$$

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

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

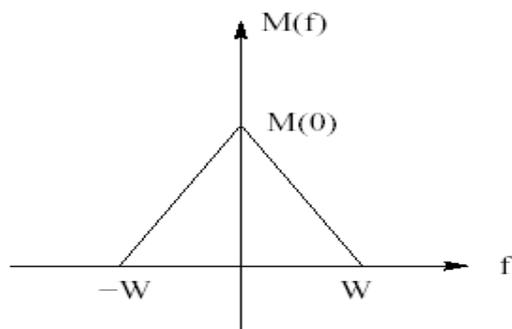
índice de modulación  $u = k_a \cdot A_m$

Señal modulada sin sobremodulación.

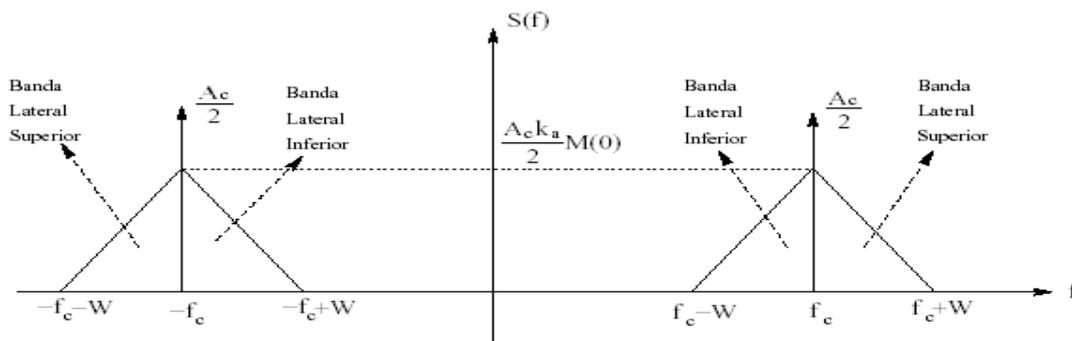


Señal modulada con sobremodulación.

## Modulación de AM vista en frecuencia



Espectro de la señal moduladora.

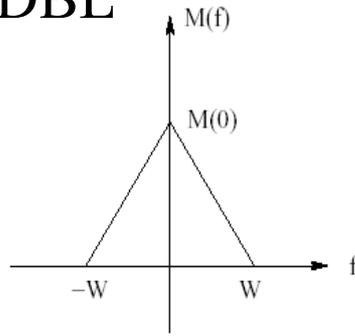
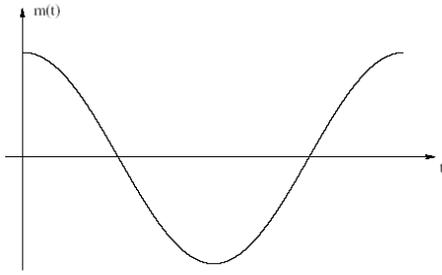


Espectro de la señal modulada.

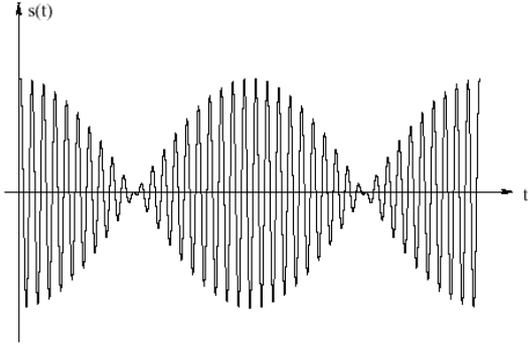
$$B_T = 2W$$

Rendimiento máximo potencia = 17%

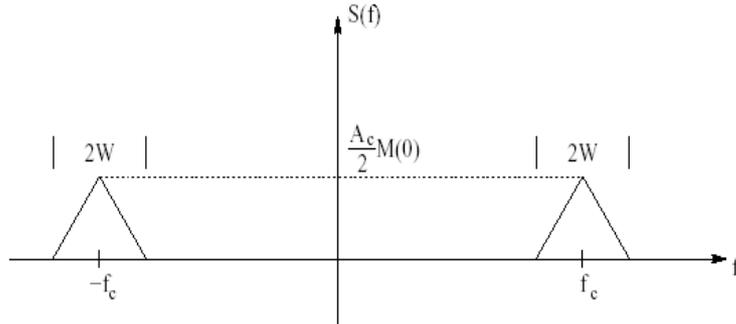
# Modulación DBL



Espectro de la señal moduladora.



portadora modulada



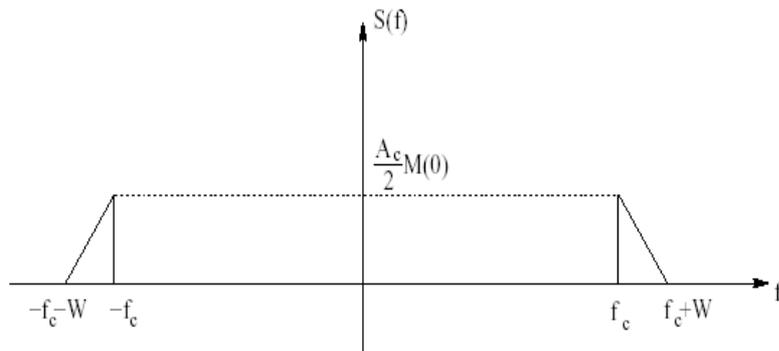
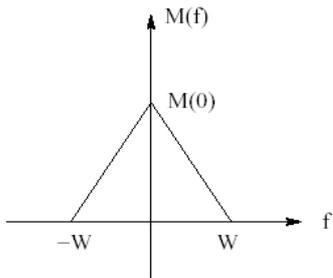
Espectro de la señal modulada DSB.

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

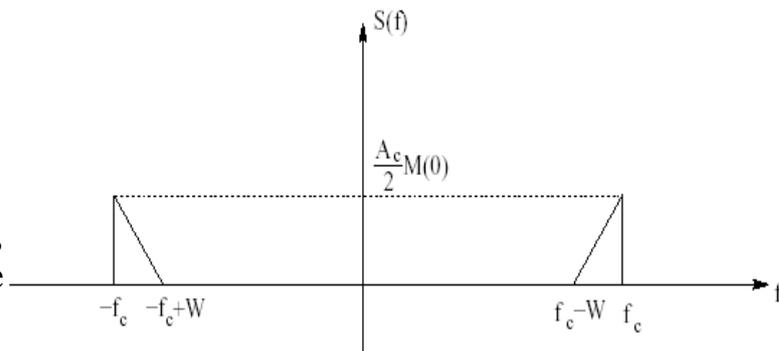
Rendimiento máximo = 50%  $B_T = 2W$

Receptores más complejos

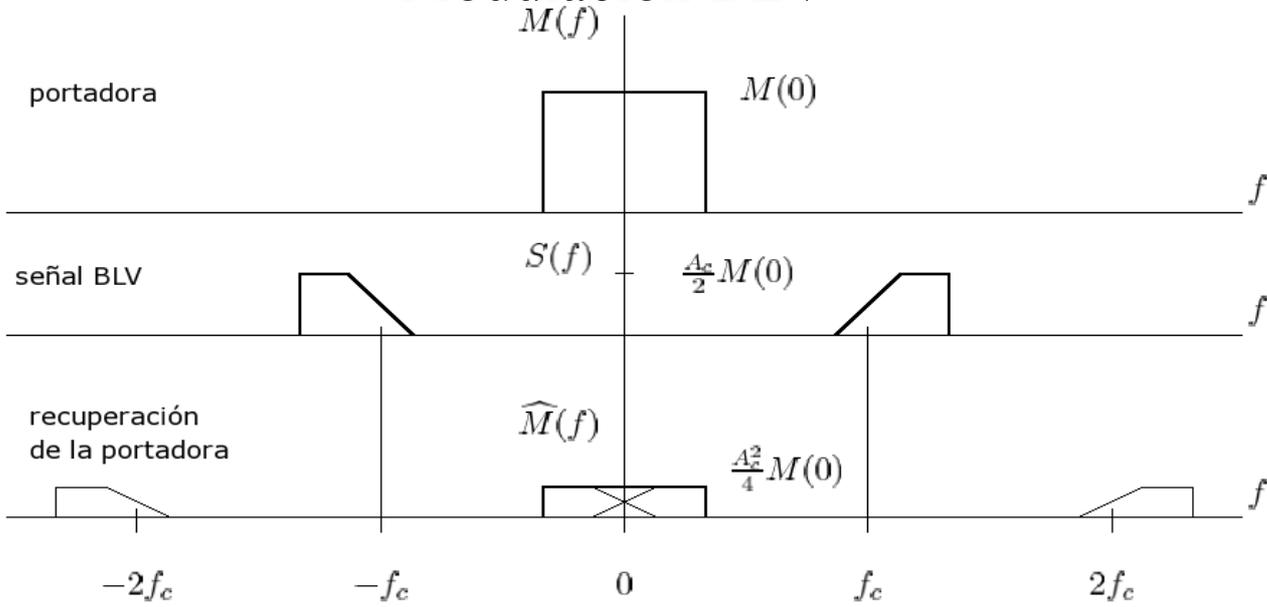
# Modulación BLU



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

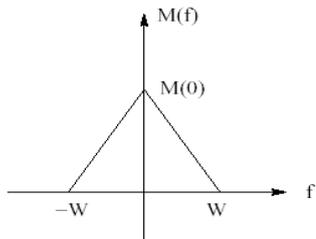


# Modulación BLV

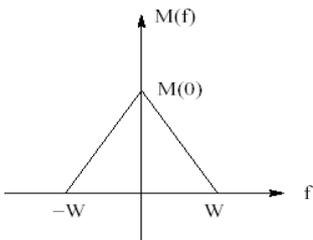


- A partir de DBL, por filtrado -> una banda y parte de la otra
- Rendimiento máximo cercano a 100%
- $B_T$  cercano a  $W$
- Circuitos más sencillos que en BLU -> filtro más sencillo
- La señal “que falta” en una banda se compensa con “la que sobra” en la otra. Aparece algo de distorsión

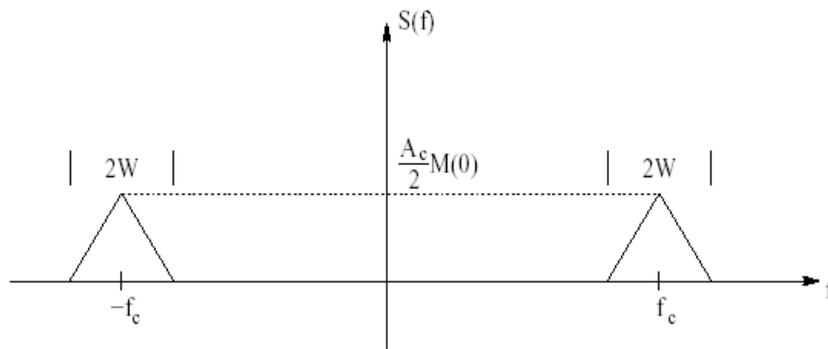
# Modulación en cuadratura QAM



moduladora  $m_1$



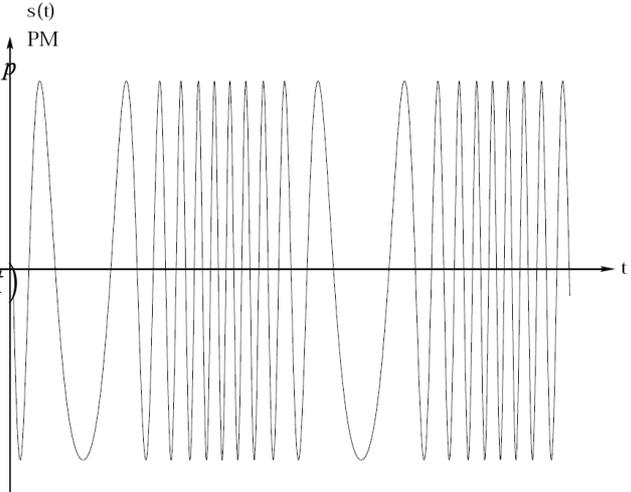
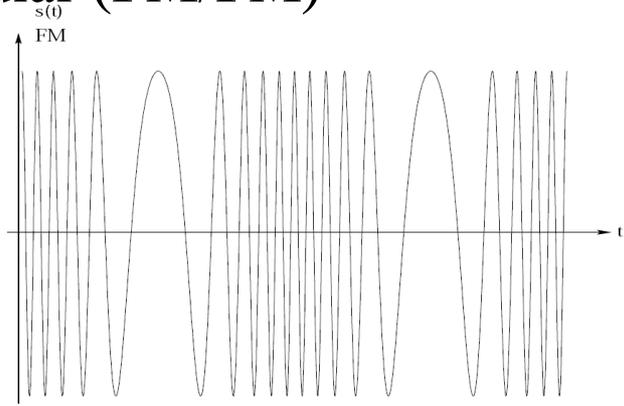
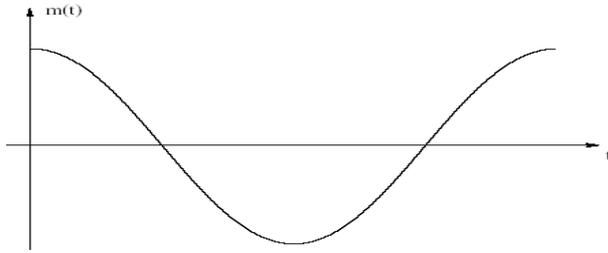
moduladora  $m_2$



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

- Modulación de dos señales  $W$
- Transmisión de las señales desfasadas  $90^\circ$
- $B_T = 2W$

# 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

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

- $\theta \rightarrow$  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:

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

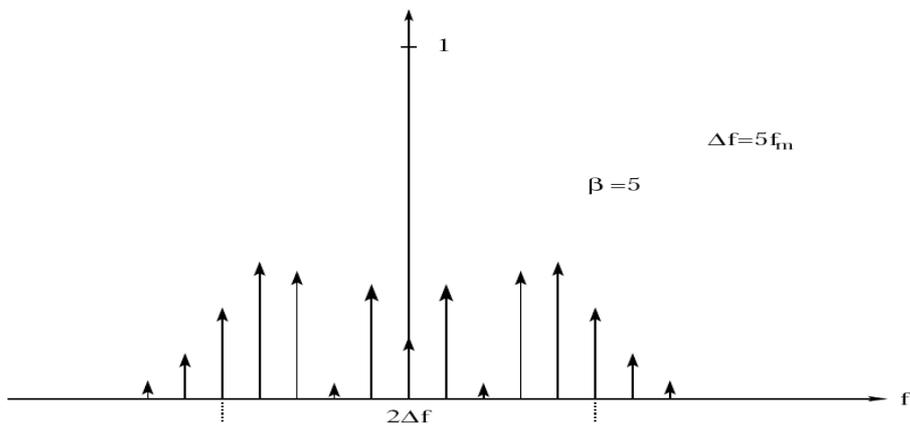
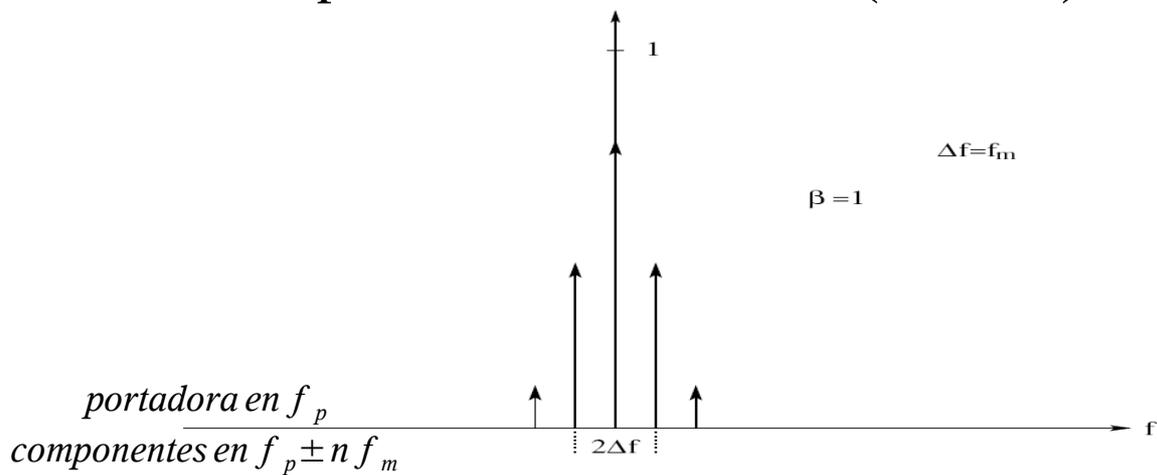
$$S_{FM}(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

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

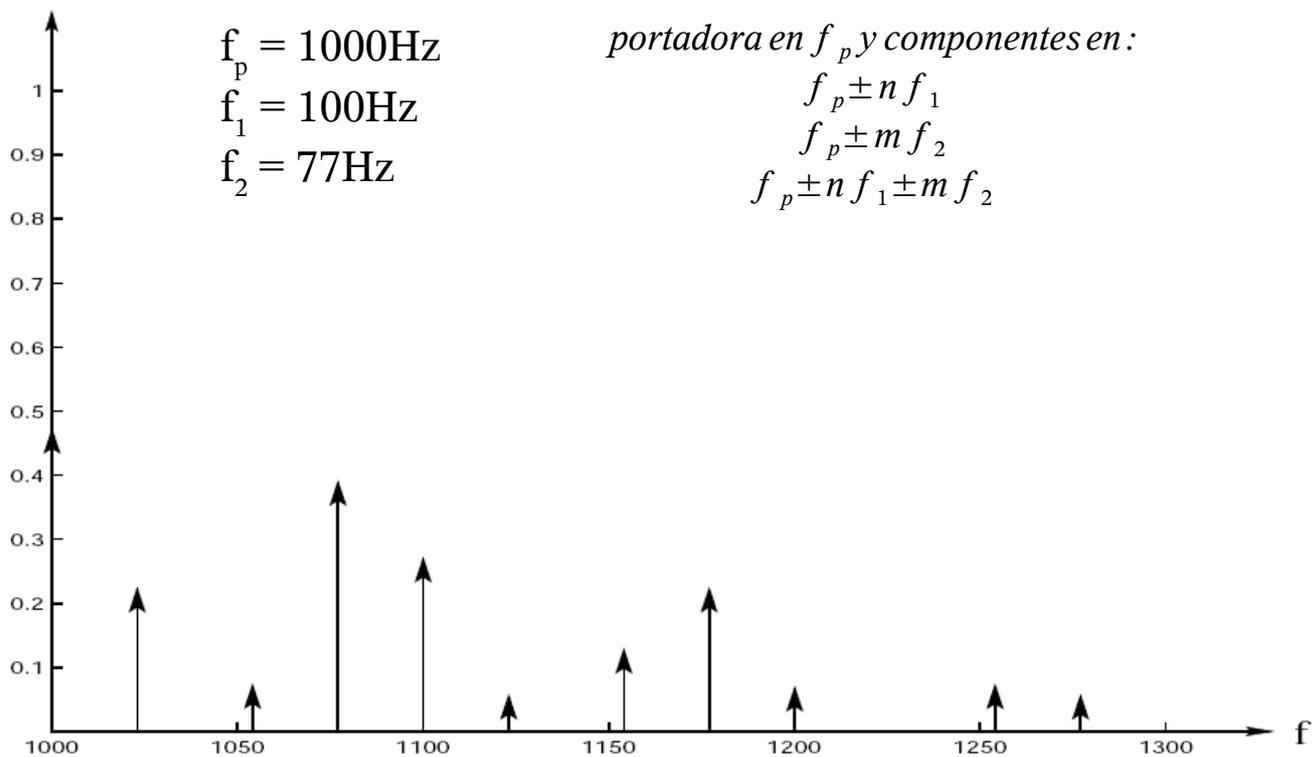
$$\Delta f = K_f A_m = \text{máxima desviación en frecuencia}$$

- $\beta$  pequeño ( $< 0,3$ )  $\rightarrow$  FM de banda estrecha
  - Baja calidad (válido para telefonía inalámbrica, radioafinonado..)
  - Poco ancho de banda (aprox 2W, como AM)
  - Espectro similar a AM pero BLI cambia fase 180°
- $\beta$  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)



# 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

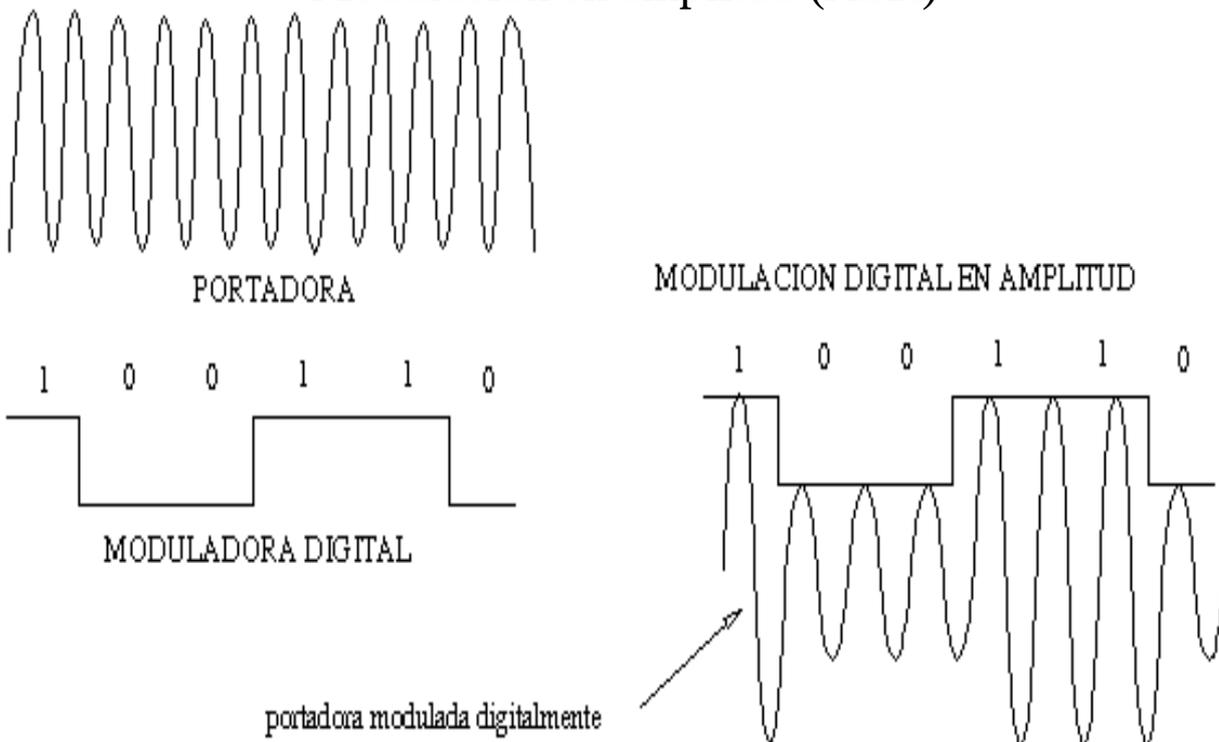
Desviación de frecuencia  $\rightarrow \Delta f_m = 75\text{Khz}$

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

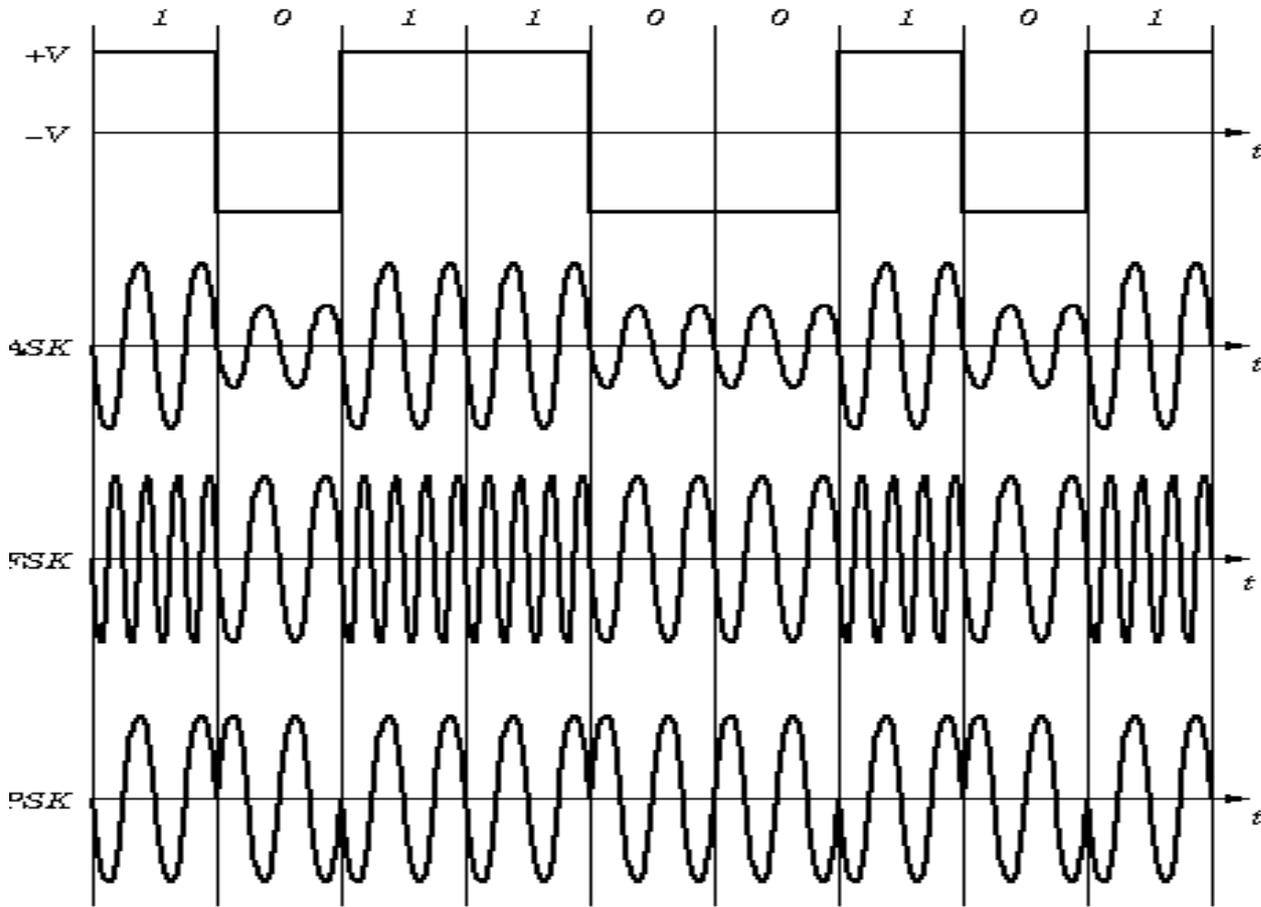
Ancho de banda (FM mono)  $B_T = 2(75\text{Khz} + 15\text{Khz}) = 180\text{Khz}$

## Modulación digital con portadora analógica

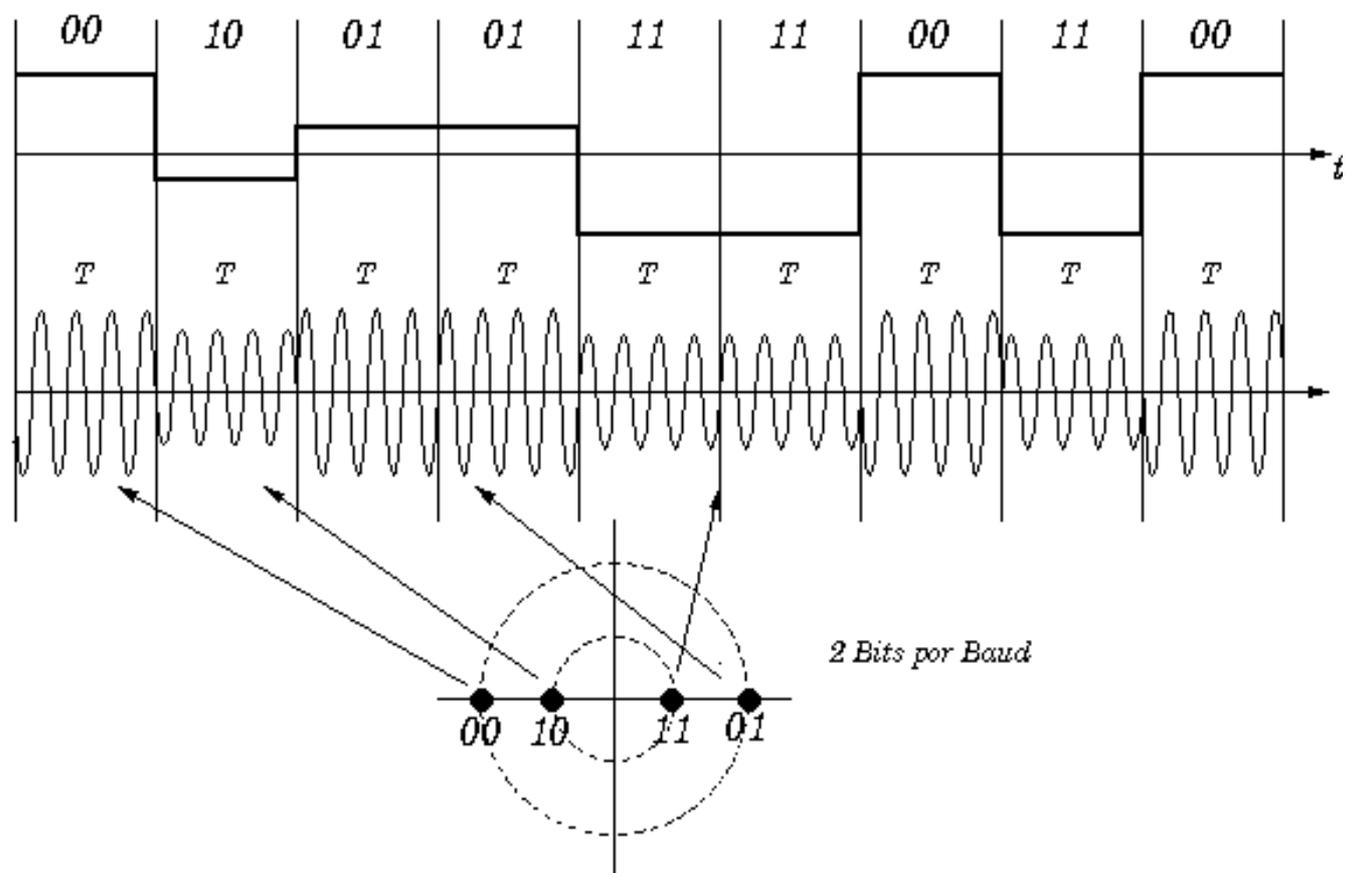
### Modulación en amplitud (ASK)



# Modulación en frecuencia y fase (FSK y PSK)

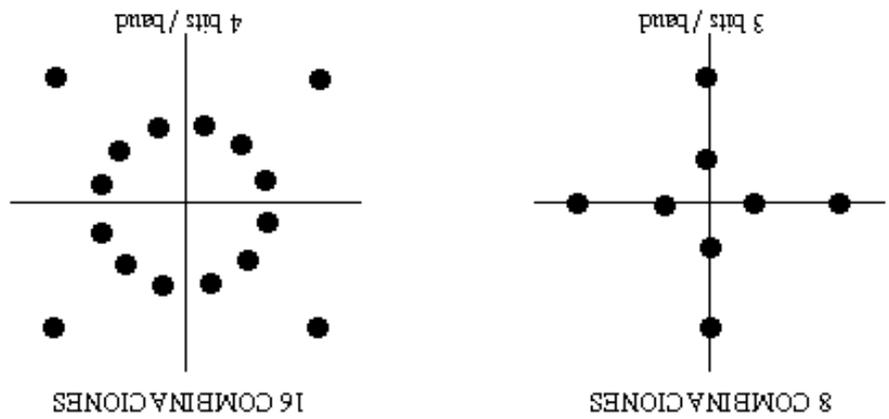


## MODULACIÓN HÍBRIDA FASE-AMPLITUD



# MODULACION HIBRIDA QAM

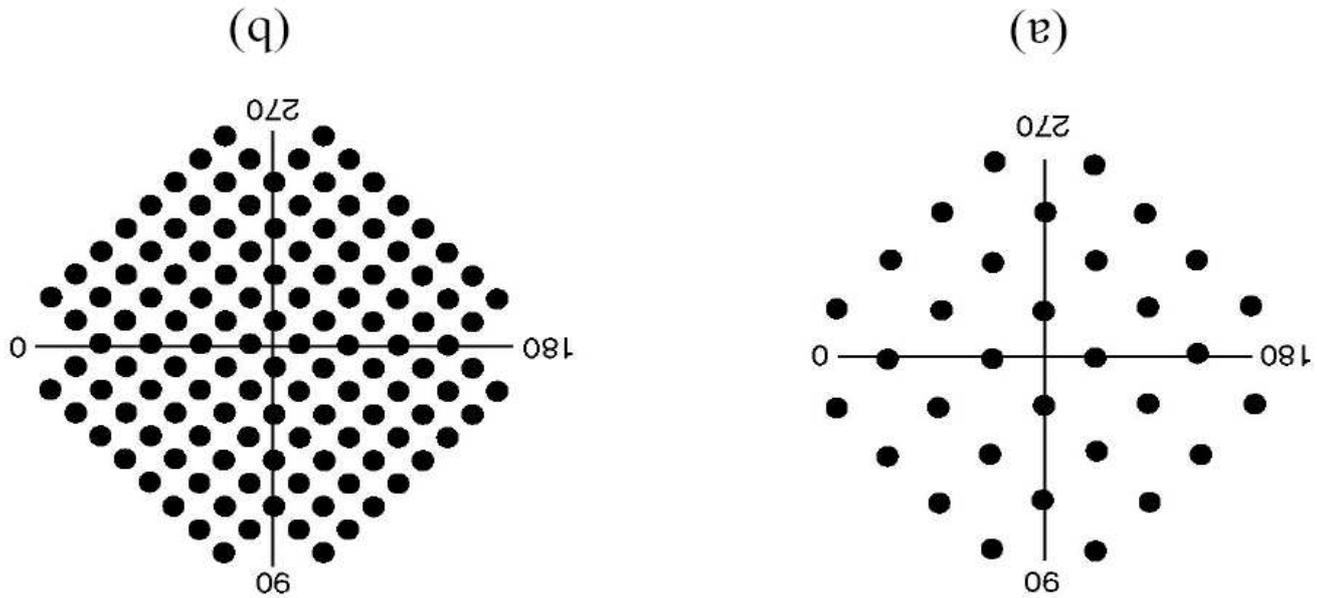
(QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)



BAUD: NUMERO DE VECES QUE LA SEÑAL CAMBIA SU VALOR (VOLTAJE, FRECUENCIA, FASE)  
 POR SEGUNDO:  $\frac{1}{T}$

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

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



(a) V.32 para 9600 bps

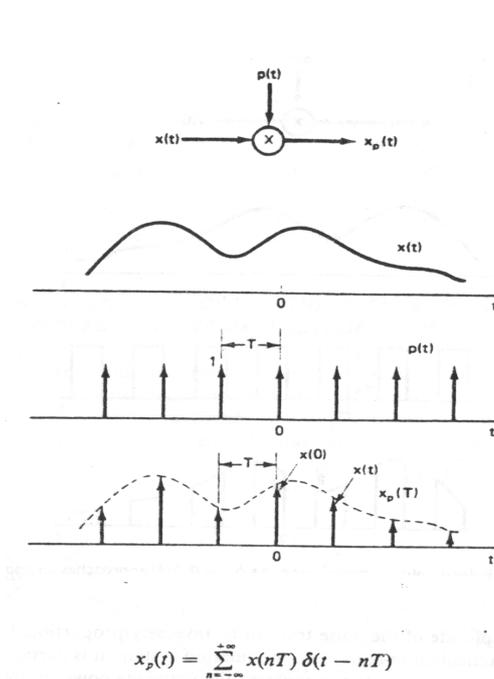
(b) V.32 bis para 14.400 bps

# Codificación

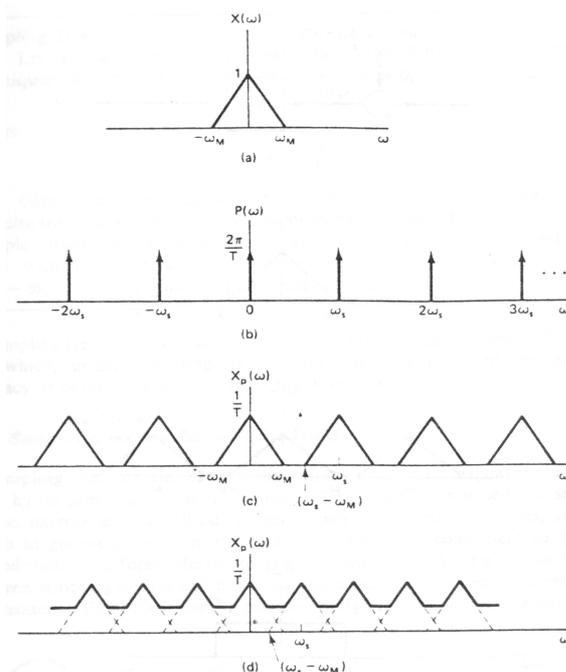
- Moduladora analógica => modulación por impulsos
  - Objetivo: Transmisión digital de señales analógicas
  - Proceso (conversión Analógico-Digital):
    - > Muestreo -> discretización en amplitud => señal discreta en el tiempo. No hay pérdida de información
    - > Cuantificación -> discretización en 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  $f_m \geq 2W$

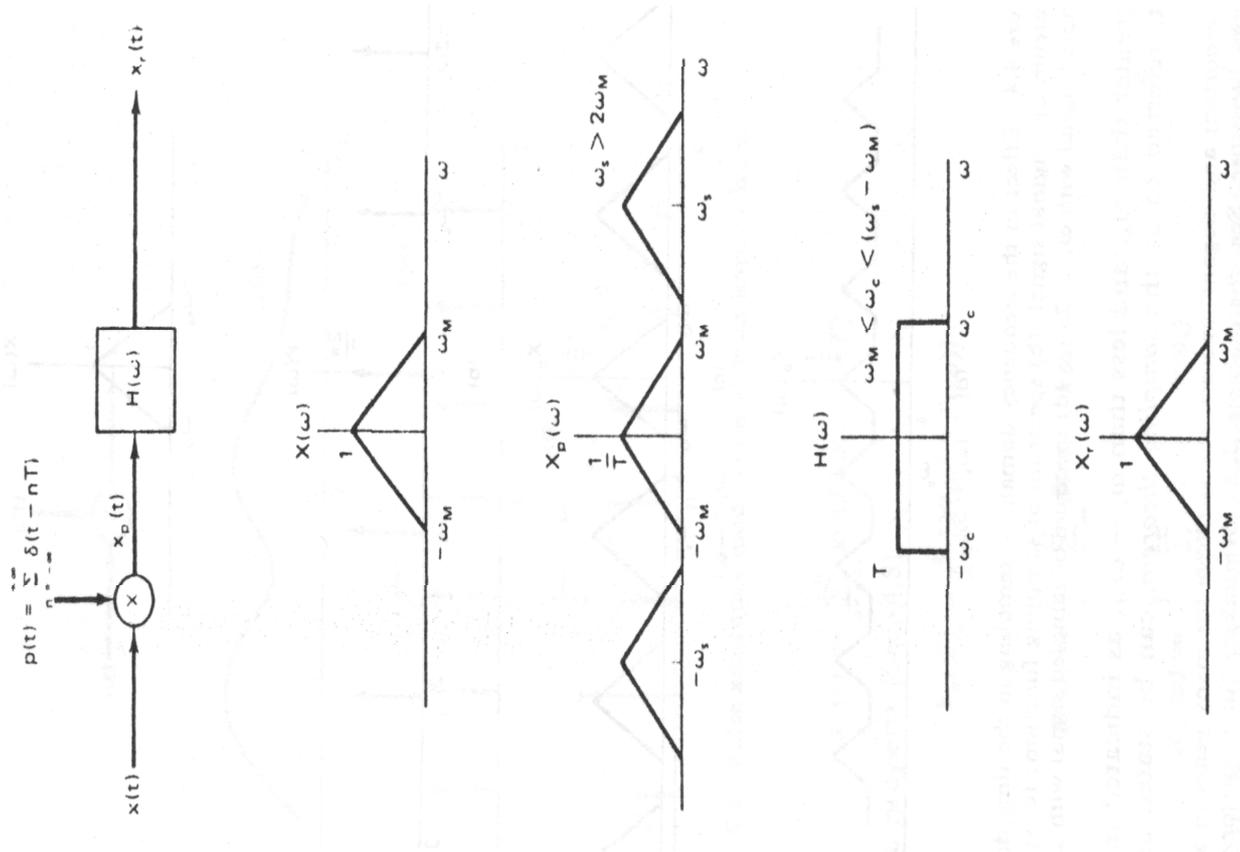


Muestreo visto en el tiempo

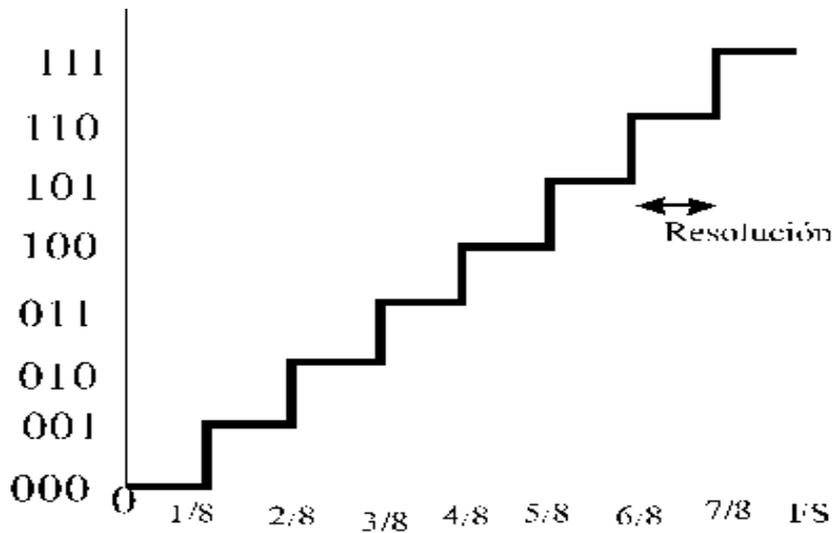


Muestreo visto en la frecuencia

# recuperación de la señal original con un filtro ideal



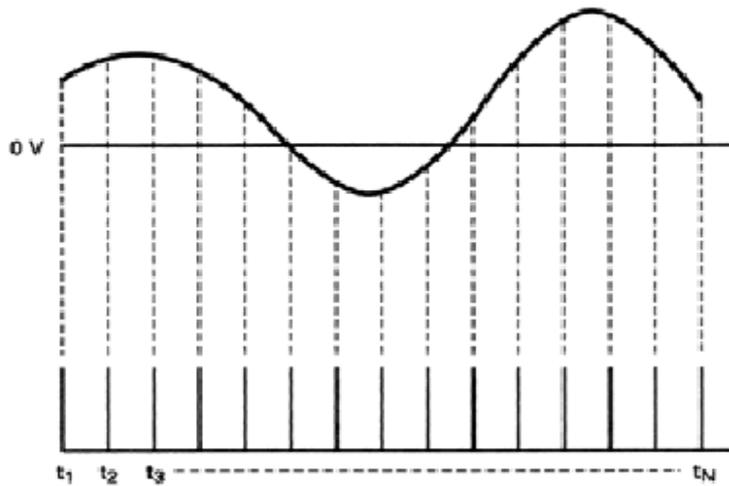
## La cuantificación



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

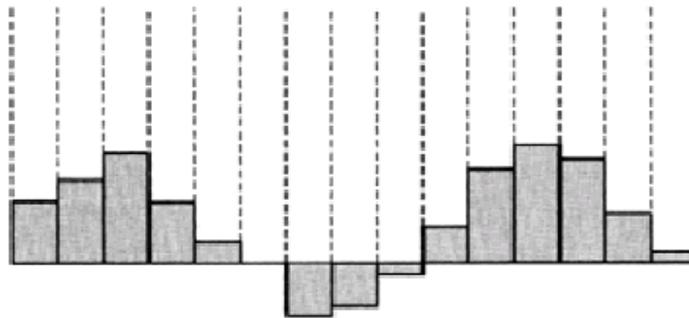
# Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

(a) input signal;

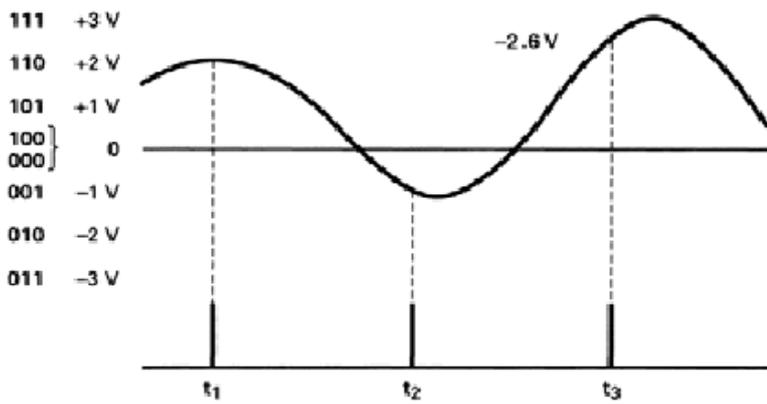


(b) Sampling signal

(c) PAM signal

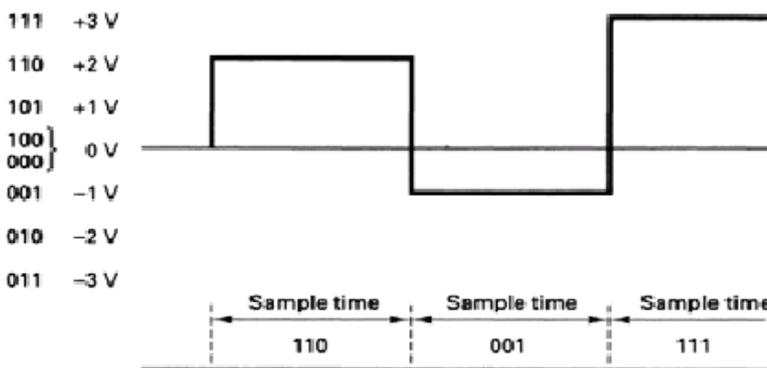


# Modulación por pulsos codificados (MIC o PCM)



Analog input signal

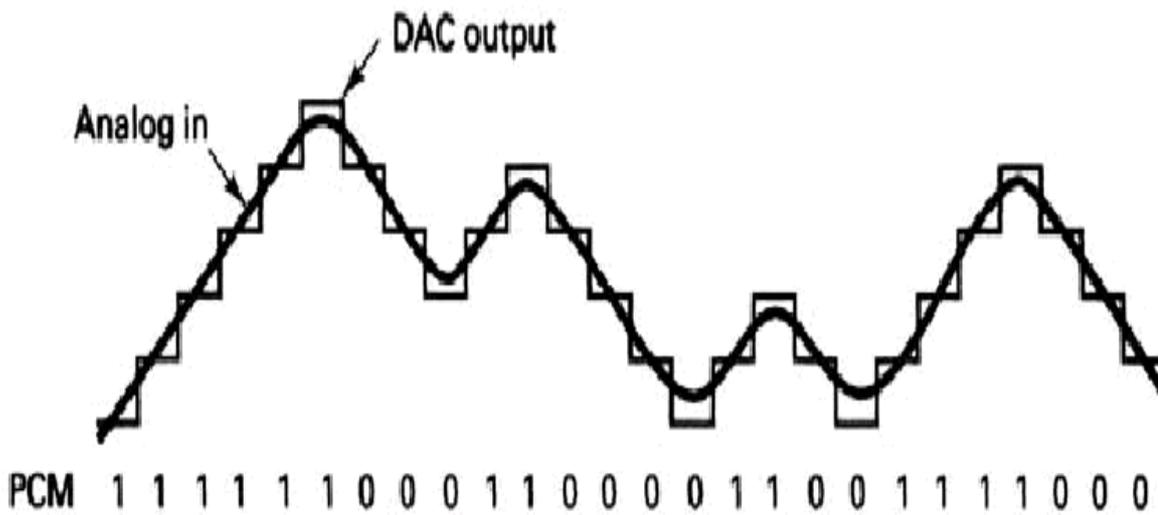
Sampling signal



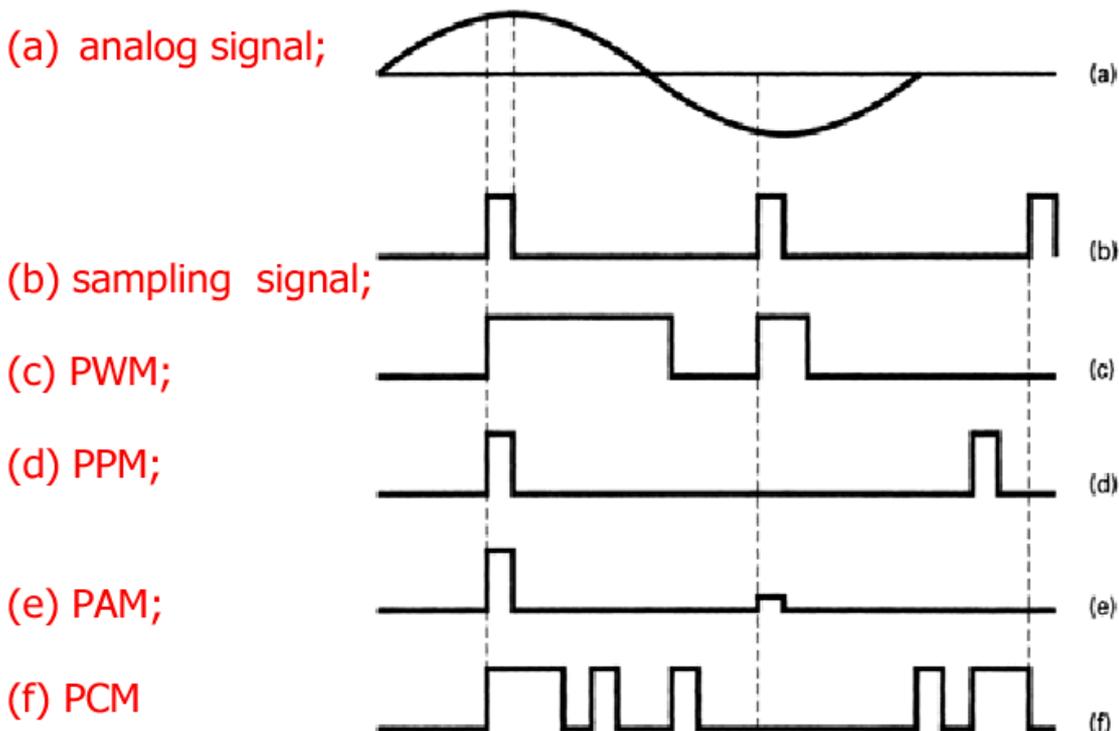
PAM signal

PCM code

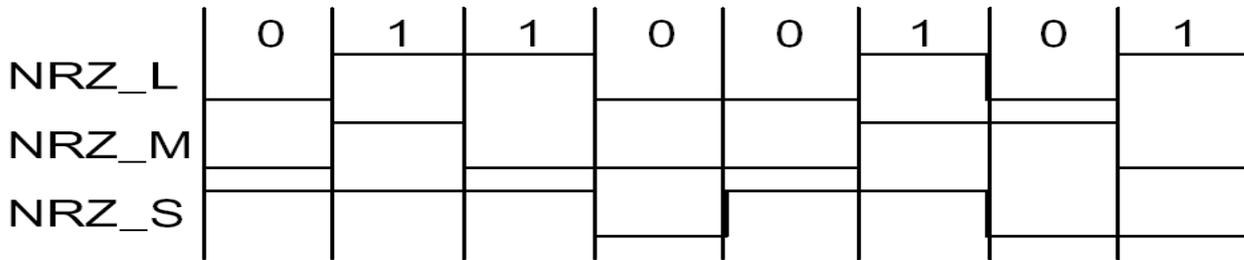
# Modulación delta (diferencial)



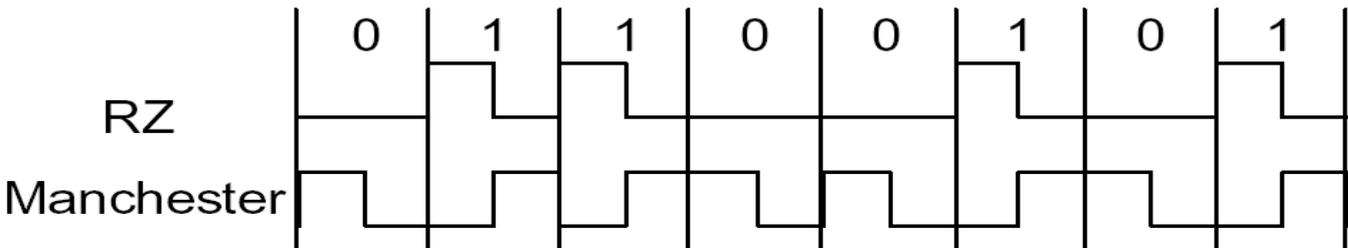
# Modulaciones PWM y PPM



## Datos digitales – señales digitales

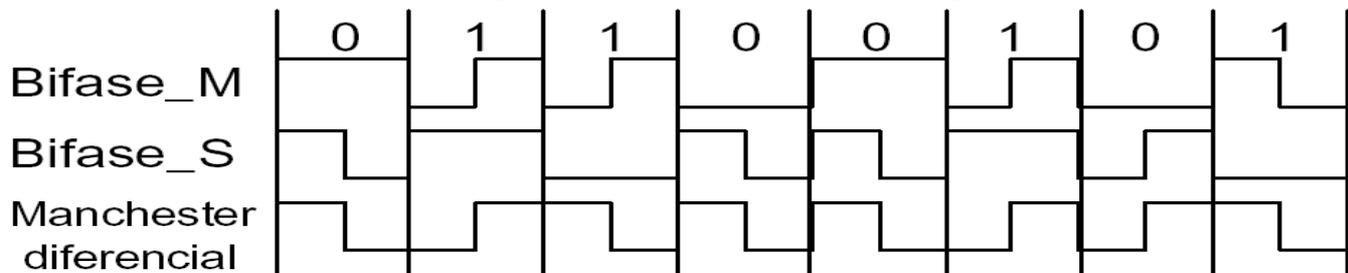


- NRZ\_L = bipolar “normal”
- NRZ\_M -> “1” = transición al principio del intervalo
- NRZ\_S -> “0” = transición al principio del intervalo

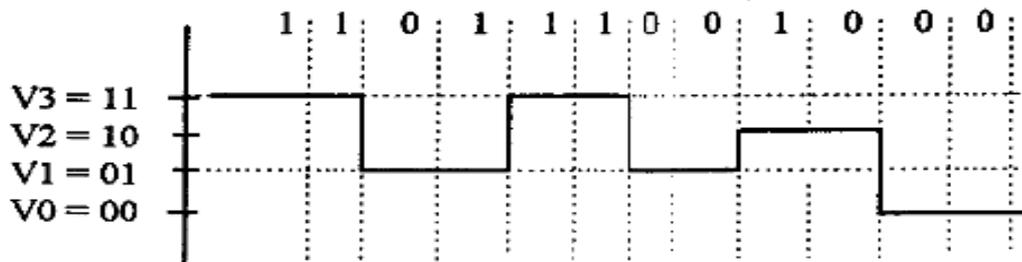


- RZ -> valor del bit en  $\frac{1}{2}$  periodo + retorno a cero en el otro medio
- Manchester -> flancos en el centro del bit: “1” = flanco subida, “0”=flanco bajada. Garantiza reloj. Duplica ancho de banda.

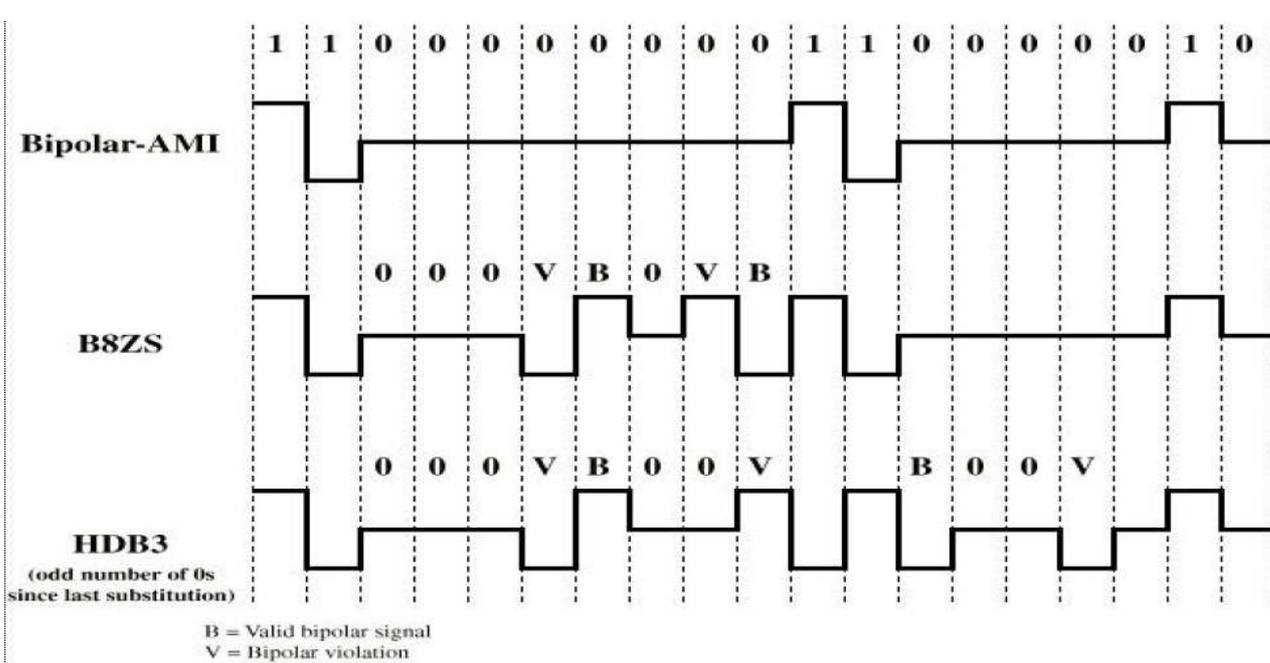
## Datos digitales – señales digitales



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

Source: [www.asciitable.com](http://www.asciitable.com)

## Códigos detectores y correctores de error

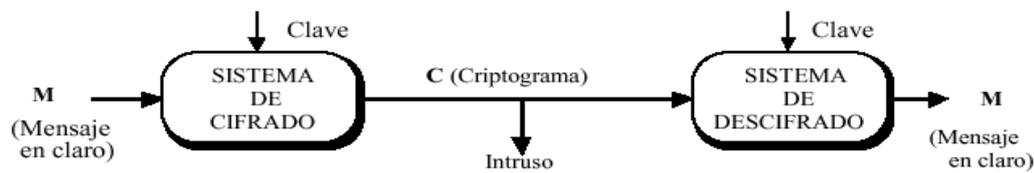
- Redundancia de un código
  - Redundancia = diferencia entre la información máxima que puede generar una fuente y la que realmente genera
  - Redundancia de un código -> uso de más bits de los “necesarios”
  - bits de código (cod. binario) > bits de información (Shannon)
  - Distancia de hamming
    - 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 => 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 PARAQUAS PORQUE ESTA LLOXENDO”
  - 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)

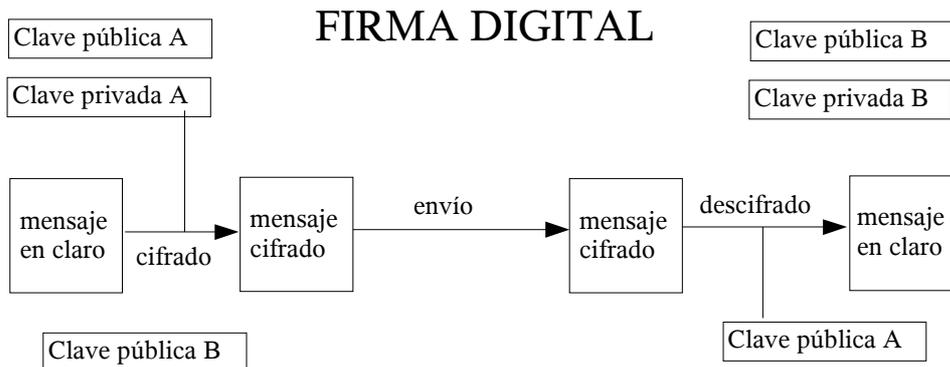
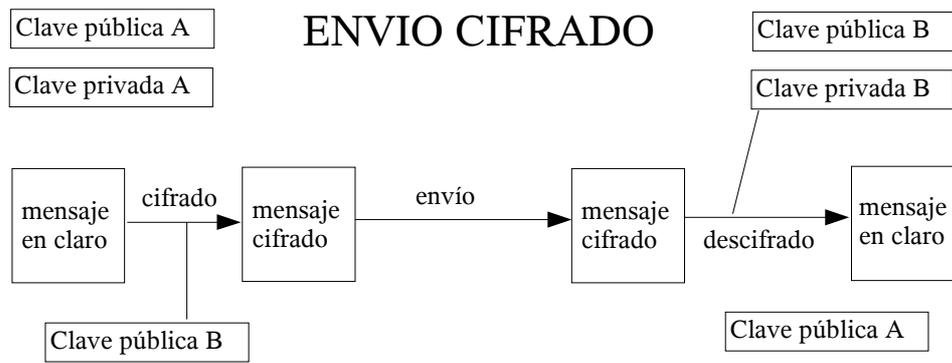
# Cifrado de datos



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

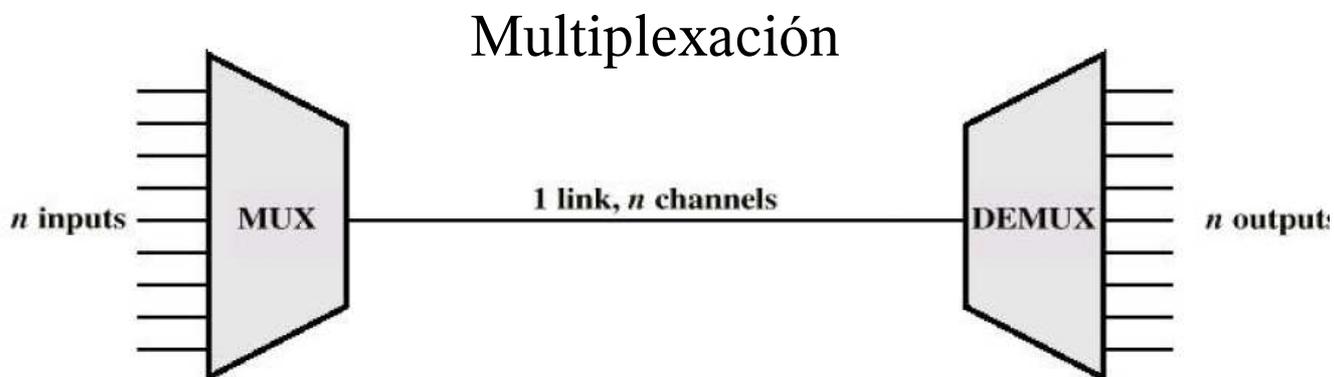


## Sistemas de doble clave

- 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

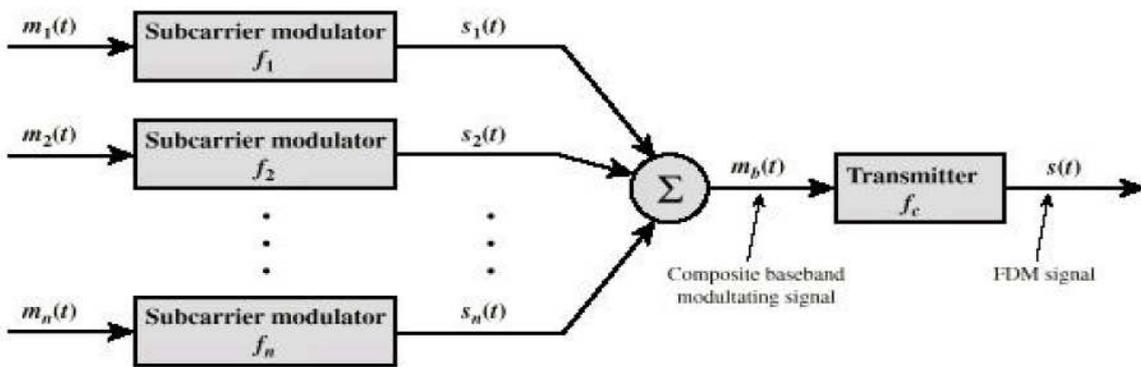
# Sistemas de doble clave

- 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.

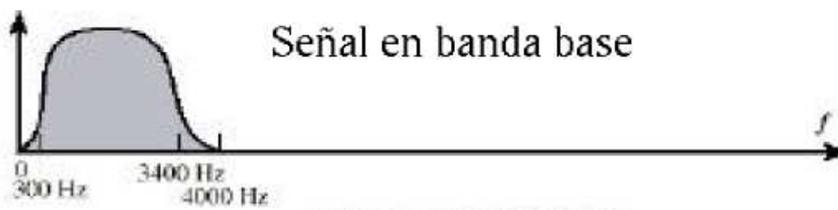


- Objetivos -> compartir el medio
  - Un solo cable frente a muchos cables
  - Posibilidad de transmisión de varias señales donde de otro forma no se podría (p.e. por el aire)
  - Aprovechamiento del ancho de banda
- Tipos
  - Multiplexación por división en frecuencias (FDM).
  - Multiplexación por división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

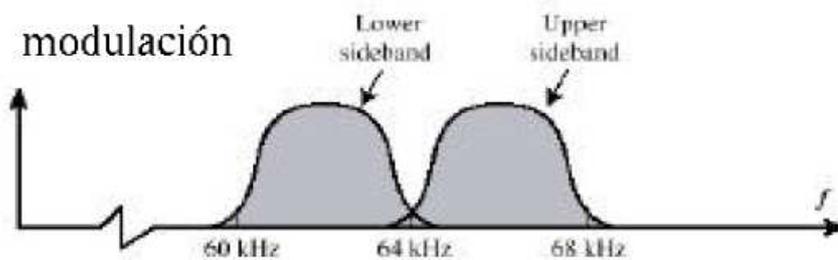
# Modulación por división en frecuencia (MDF)



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

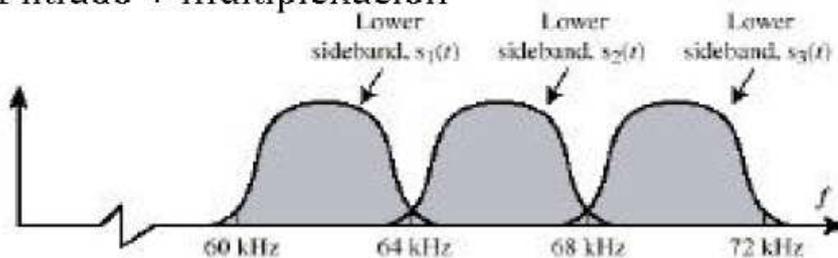


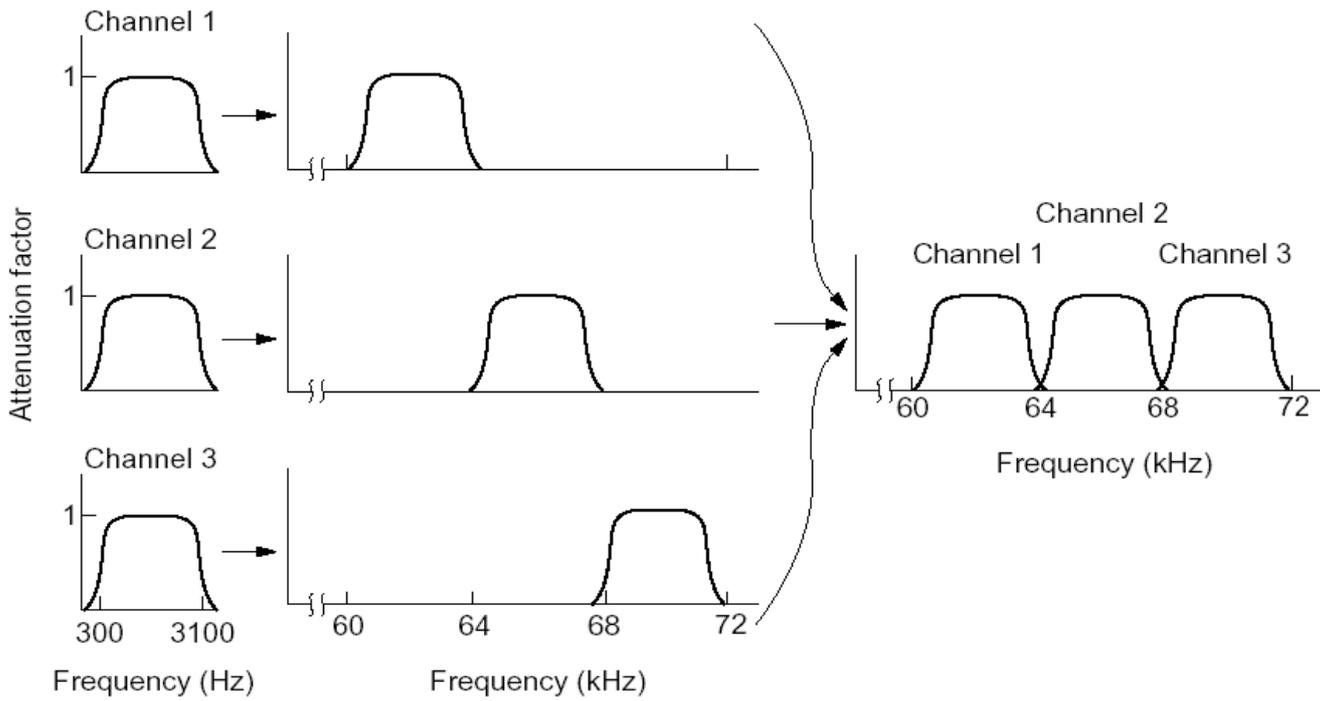
(a) Spectrum of  $m_1(t)$ , positive  $f$



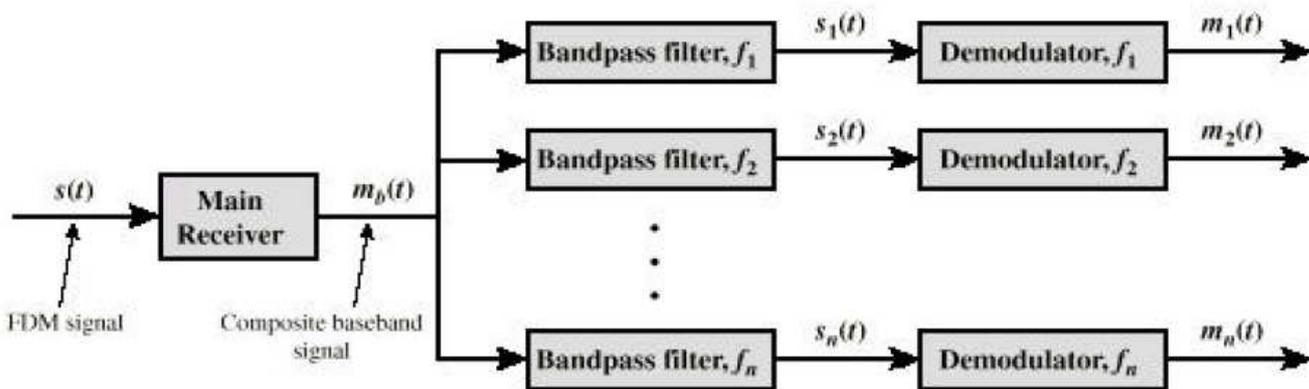
(b) Spectrum of  $s_1(t)$  for  $f_1 = 64$  kHz

## Filtrado + multiplexación



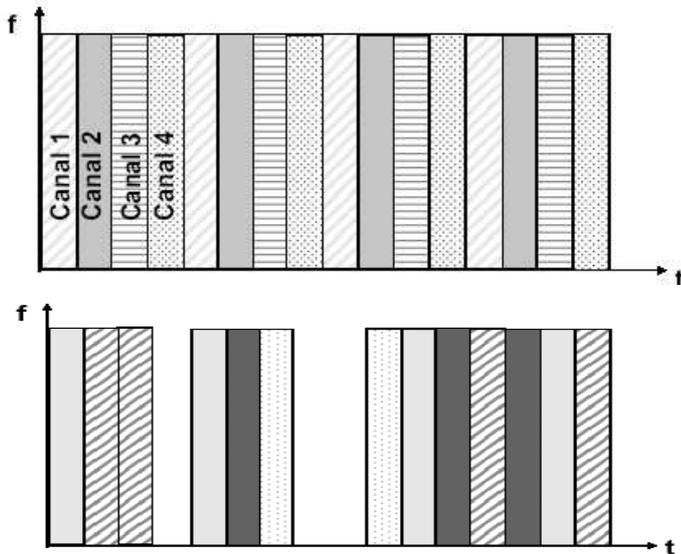


## Recuperación de la señal



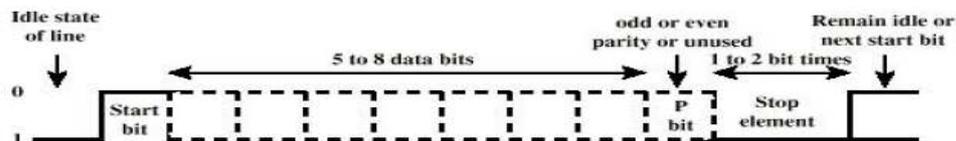
- Filtro P.Banda  $\rightarrow$  elimina todo menos un canal
- Demodulador  $\rightarrow$  desplaza a frecuencia baja  $\Rightarrow$  banda de base
- Problemas
  - Diafonía si los espectros de señales adyacentes se solapan demasiado.
  - Intermodulación en enlaces largos. Los amplificadores de un canal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

# Multiplexación por división en el tiempo (MDT)

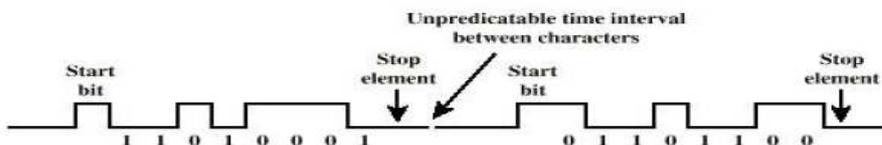


- Asignación de intervalos de canal (slots) a los distintos canales.
- MDT síncrona -> asignación fija de intervalos de canal => desperdicio de ancho de banda
- MDT asíncrona -> asignación variable según las necesidades => hay que identificar canales

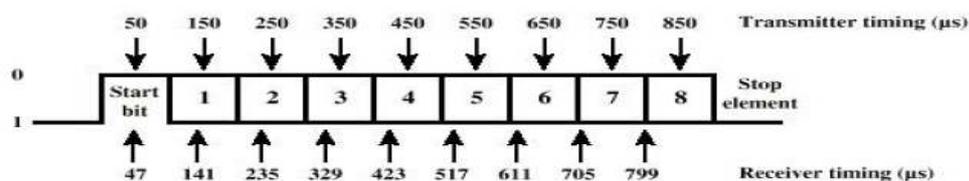
## Transmisión asíncrona



(a) Character format



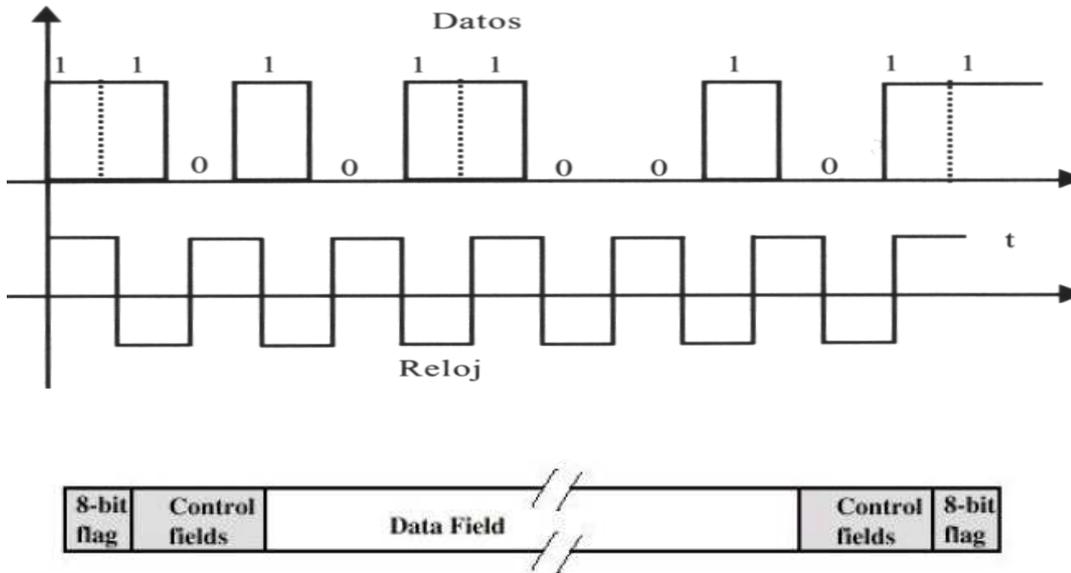
(b) 8-bit asynchronous character stream



(c) Effect of timing error

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

# Transmisión síncrona

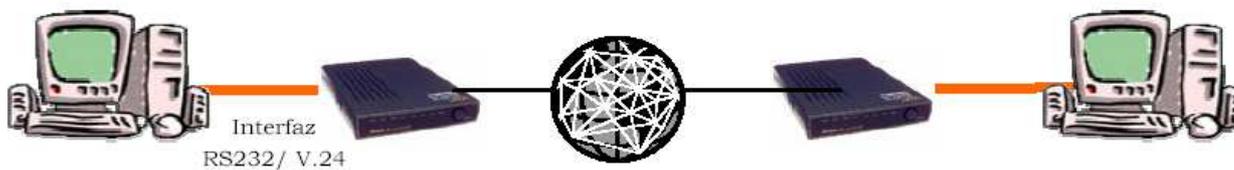
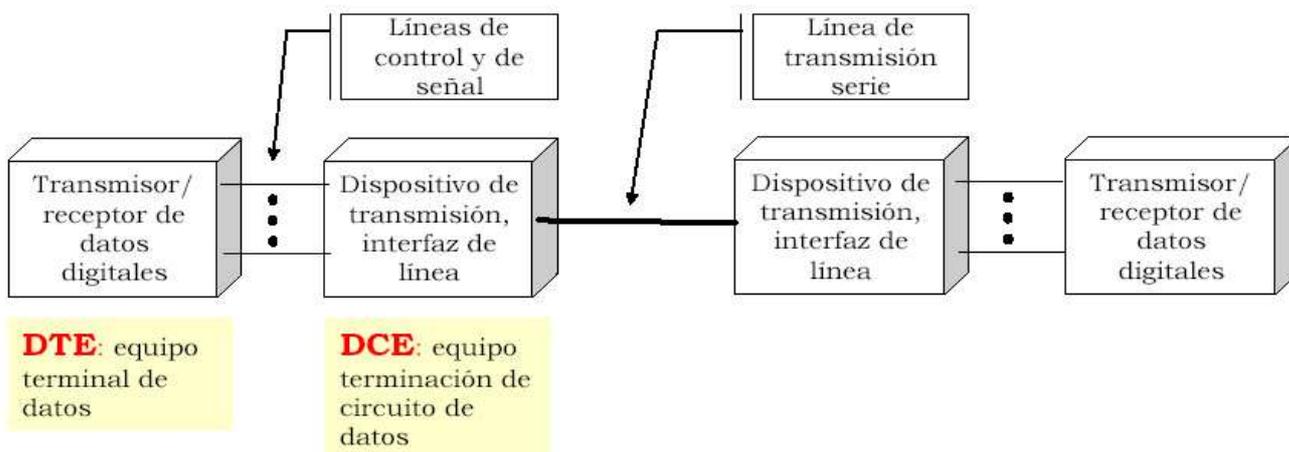


- Reloj
  - Por línea aparte
  - Incluido en la codificación (p.e. manchester)
- Menor sobrecarga de bits de control que en t. asíncrona.

# Transmisión serie/paralelo

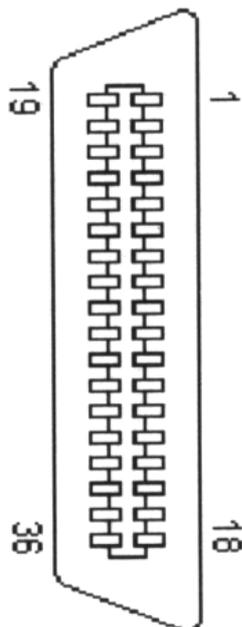
- Transmisión serie
  - Bit a bit
  - Menos hilos
  - Mayor complejidad: necesidad de una protocolo
  - Transmisión a larga distancia
- Transmisión paralelo
  - Varios bits a la vez
  - Mayor nmero de hilos
  - Más simple, sin protocolo o protocolo más sencillo
  - Transmisión a corta distancia

# Interfaces para las comunicaciones de datos



## Interfaz Centronics

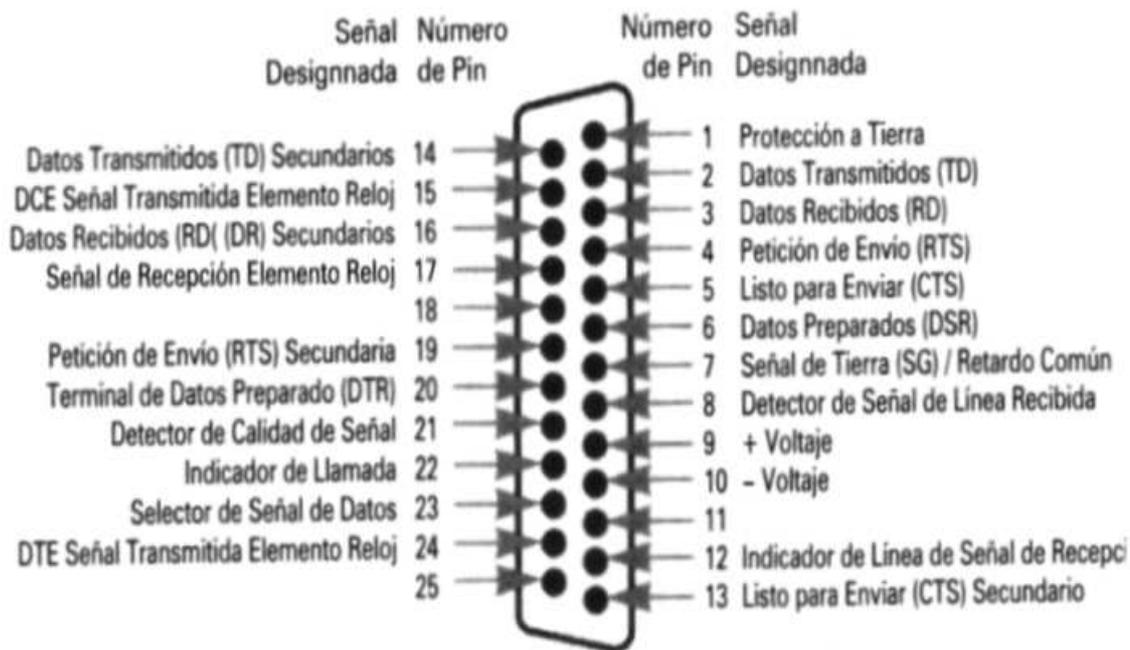
- 19 (R) DATA STROBE
- 20 (R) DATA BIT 1
- 21 (R) DATA BIT 2
- 22 (R) DATA BIT 3
- 23 (R) DATA BIT 4
- 24 (R) DATA BIT 5
- 25 (R) DATA BIT 6
- 26 (R) DATA BIT 7
- 27 (R) DATA BIT 8
- 28 (R) ACKNOWLEDGE
- 29 (R) BUSY
- 30 (R) INIT PRINTER
- 31 INIT PRINTER
- 32 ERROR
- 33 SIN DEFINIR (GND)
- 34 SIN DEFINIR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

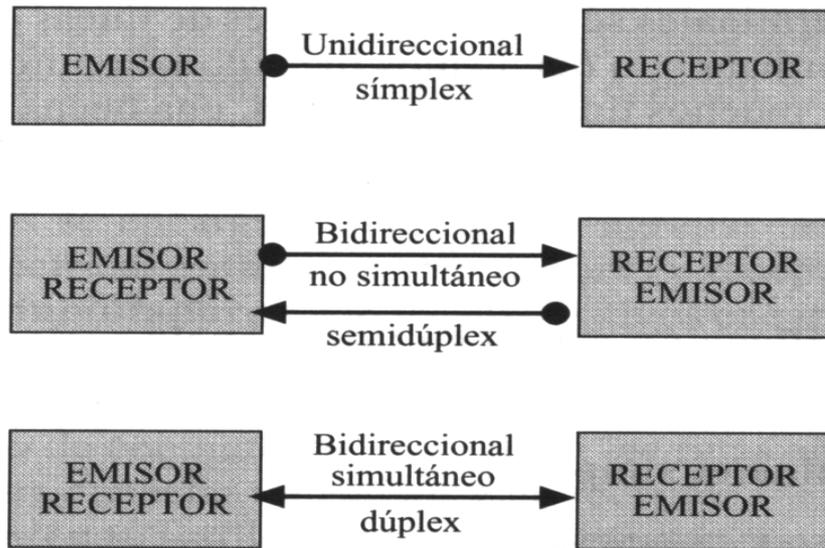
# Interfaz RS-232



## 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

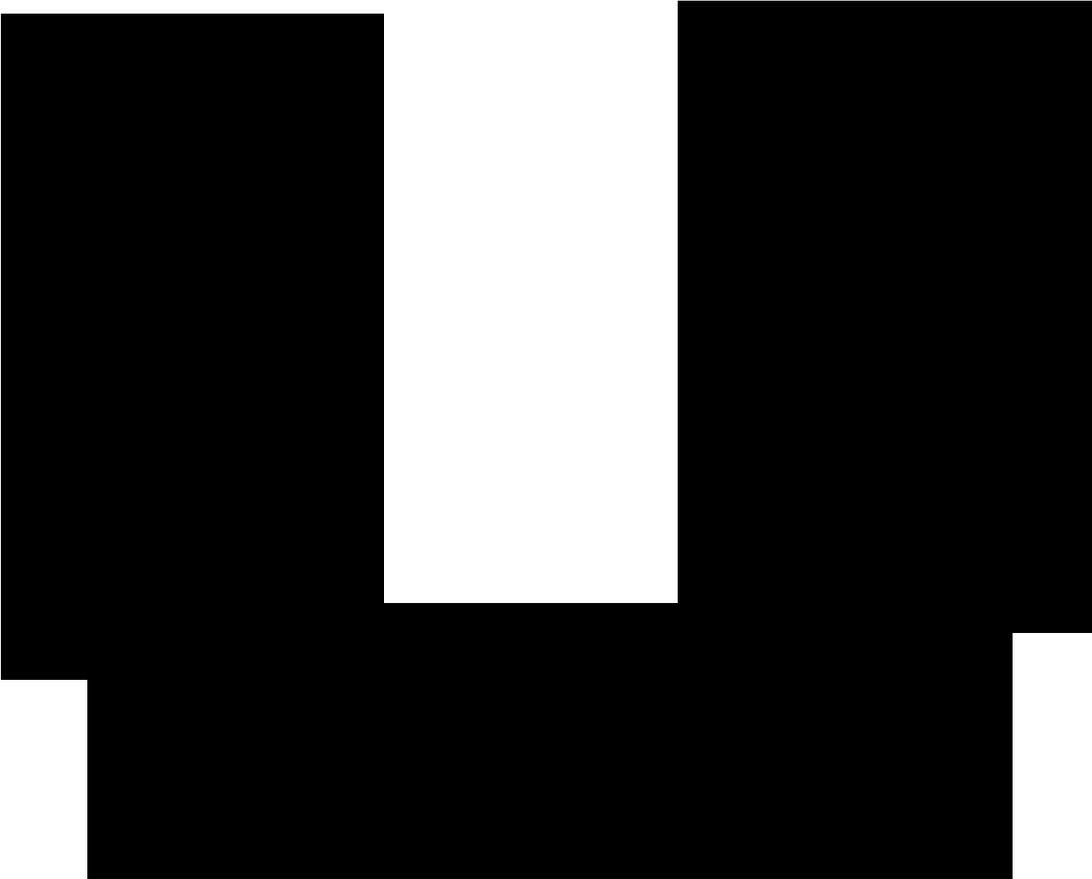
- Protocolos de ventana deslizante

- 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
- Fin 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

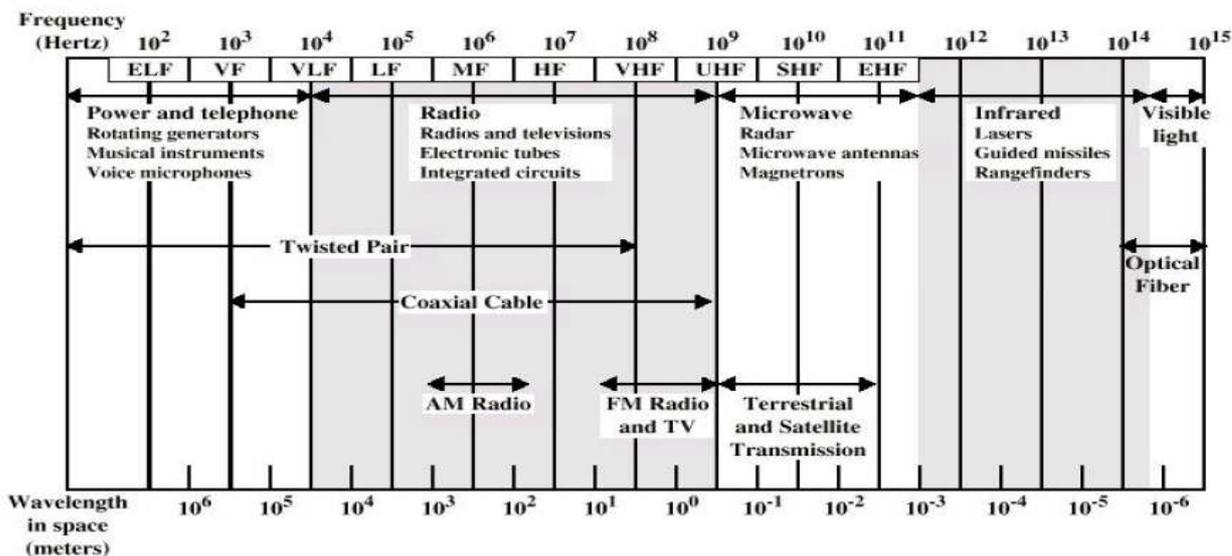
- Protocolo orientado a bit, síncrono, punto a punto o multipunto, de ventana deslizante.
- Estandar ISO.
- Permite explotación duplex del enlace.
- Permite la transmisión de cualquier tipo de datos.
- Permite enlaces equilibrados y no equilibrados.
- Trama:



- 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



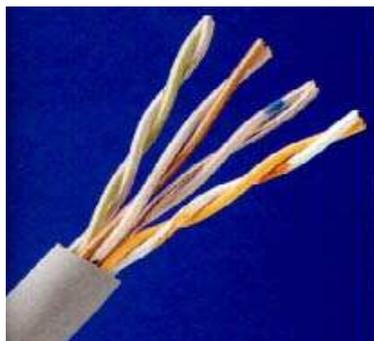
## Par trenzado

- 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 cua
  - Cables multipares -> de 6 a 2200 pares.
- Tipos
  - No apantallados (UTP)
  - Apantallados (STP)



No apantallado UTP.

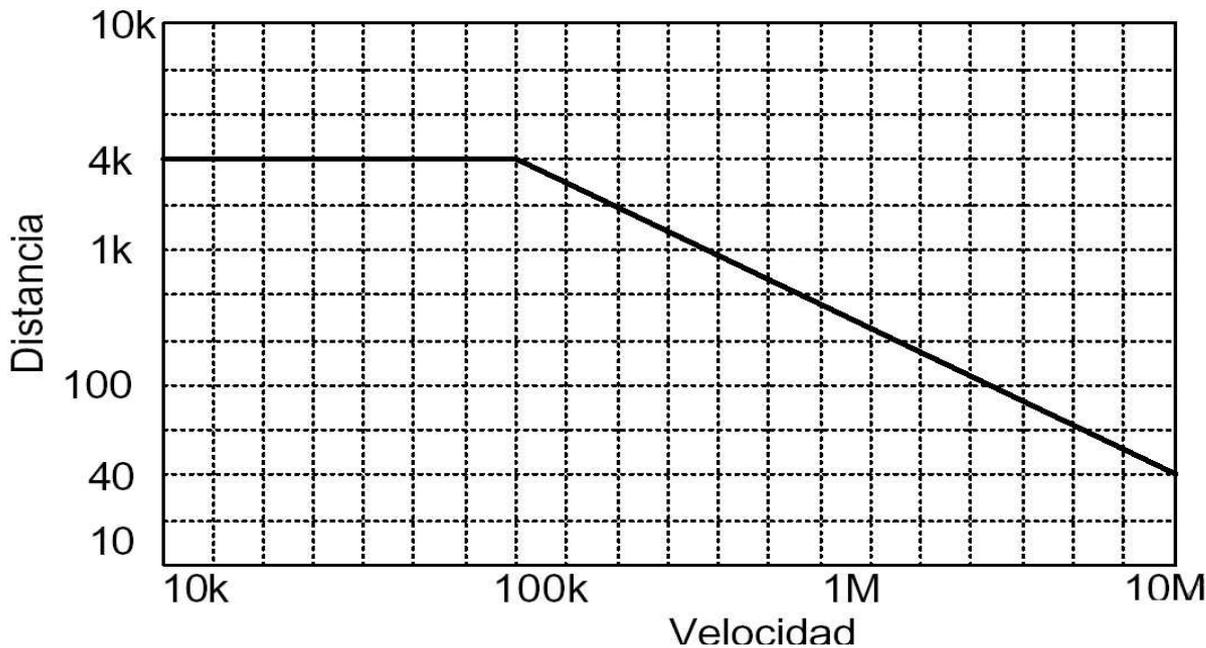


Apantallado STP.

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

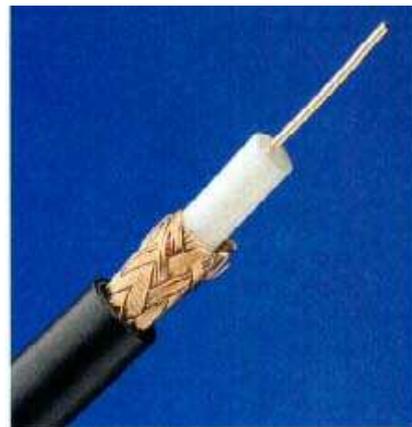
- Cables UTP
  - Categoría 1: Telefonía, transporte de voz (< 1Mbps)
  - Categoría 2: Datos hasta 4 Mbps. Token Ring a 4 Mbps.
  - Categoría 3: Datos hasta 10 Mbps. Ethernet 10base-T. 3-4 vueltas/pie.
  - Categoría 4: Token-Ring, Token-bus y 10base-T, 20MHz.
  - Categoría 5: Datos hasta 100 Mbps (Fast-Ethernet).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

- Distancia máxima -> 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)

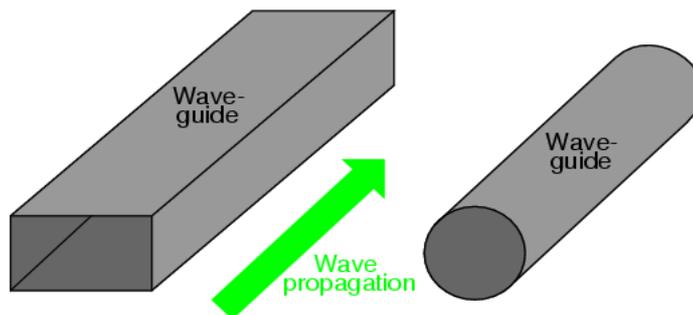


- Coaxial fino: RG 58 C/U
  - Impedancia:  $Z=50\text{ohm}$ .
  - Capacidad  $C=101\text{ pF/m}$
  - Veloc. Propagación = 66% (5ns/m)
  - Tensión máxima  $U=1.9\text{ KV}$
  - Atenuación (a 20°C)

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

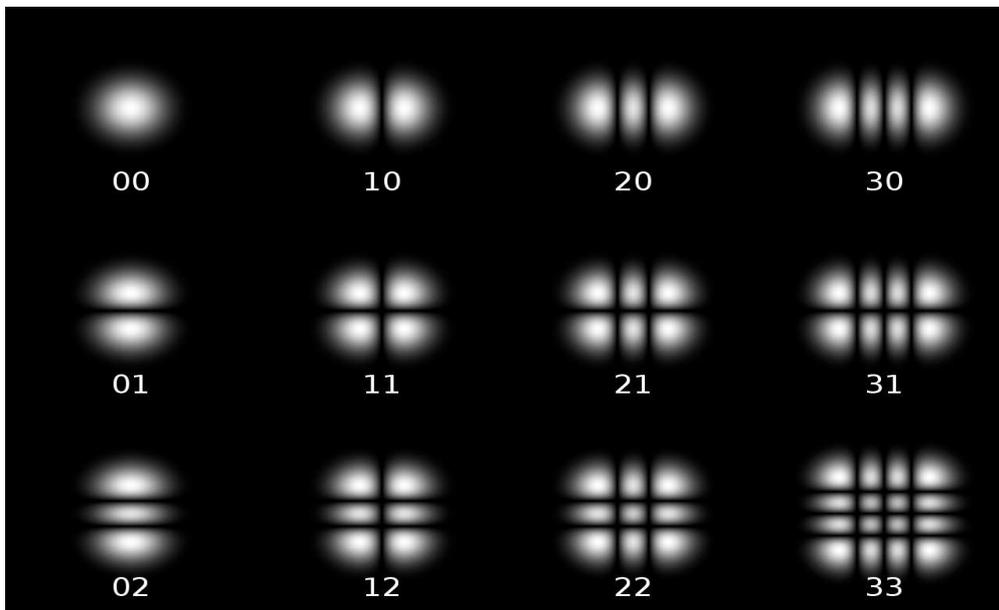
Coaxial tipo	Capacidad (pF/m)	Velocidad propag. (%)	Vmáx (KV)	ATENUACIÓN (dB/100m) a Mhz.					
				10	50	100	200	400	1000
RG 174A/U		66	1'5	12'8	23	29'2	39'4	61	98'4
RG 122/U	101	66	1'9	5'9	14'2	23	36'1	56	95'2
RG 58 C/U	101	66	1'9	4'9	12	17	26	38	65
RFA 223/U	101	66	1'9	4'3	10	14	30	29	45
RG 223/U	101	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 :  $\lambda$  debe “caber” en la guía -> sólo frecuencias mayores ( $\lambda$  menores)
- Transmisión con muy bajas pérdidas

# Modos de transmisión



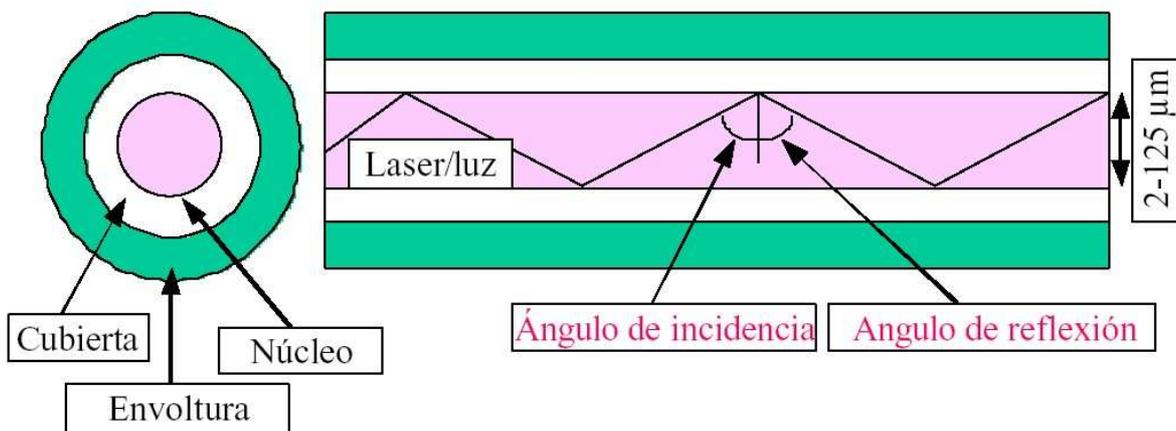
- Distintas formas de propagarse
- Interesa que sólo haya un modo -> modo fundamental: que sólo “quepa” un modo

## Ejemplos de guías de onda

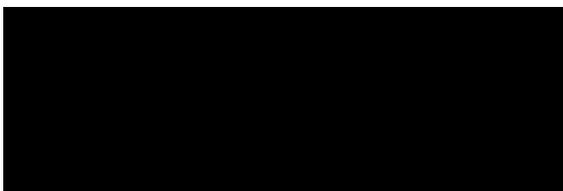


# Fibra óptica

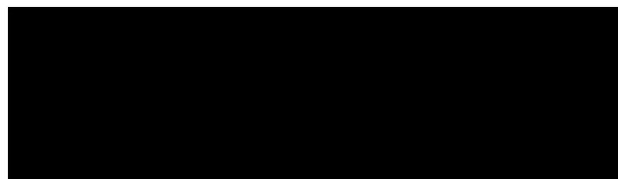
- Formado por una o varias hebras de cristal o plástico.
- Transmisión por luz infrarroja
  - Ventana de 850nm -> distancias cortas y medias
  - Ventana de 1300nm -> distancias largas, menor atenuación
  - Ventana de 1550 nm -> distancias largas, menor atenuación
- Reflexión de la luz
- Propiedades.
  - 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



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



Fibra multimodo



Fibra monomodo

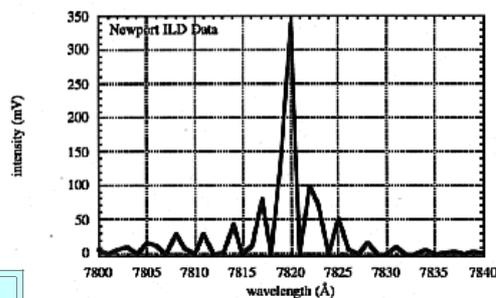
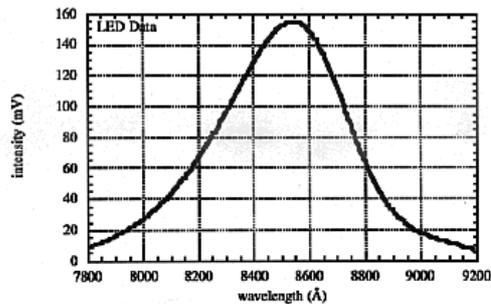
# Dispersión en la fibra



- 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

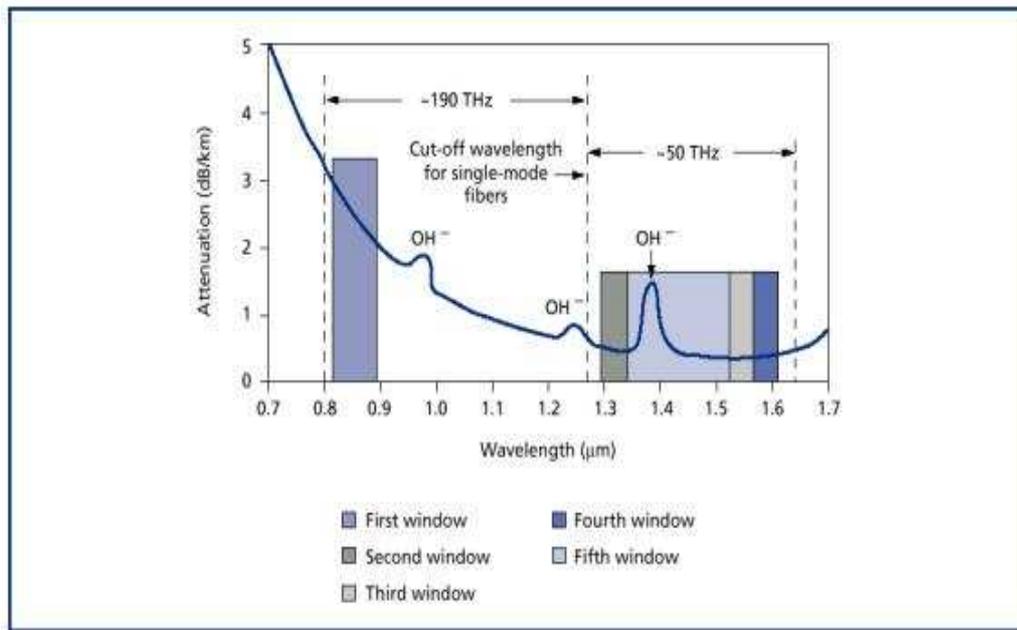
## Fuentes de luz

- 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

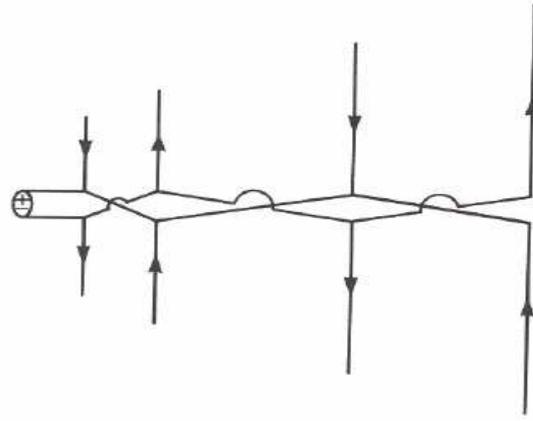


- Pérdidas -> dependen de la frecuencia de la portadora
- Segunda y tercera ventana -> menos pérdidas => transmisión a larga distancia.

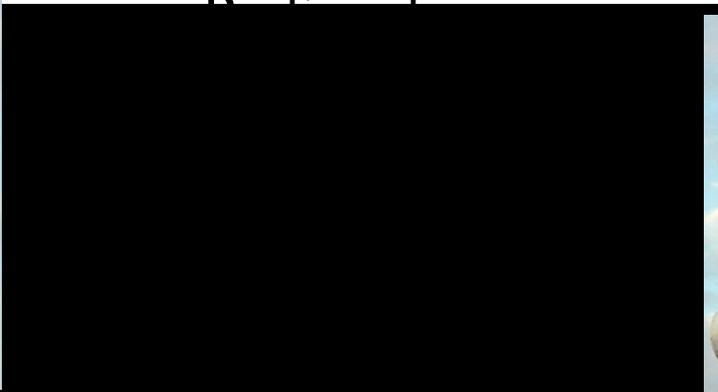
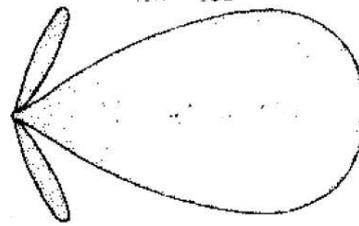
## Transmisión por radio

- Bandas de frecuencia VLF-UHF (aprox 50Khz – 3Ghz)
- Transmisión omnidireccional
- Antenas 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, telemida, servicio móvil marítimo, radiobalizas, RLAN/WiFi, etc.)

# Arrays de antenas

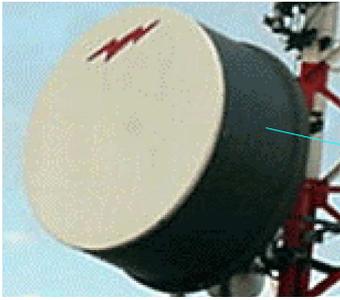


- Campo se suma a  $0^\circ$  -> direccional
- “trenzado” evita interferencias

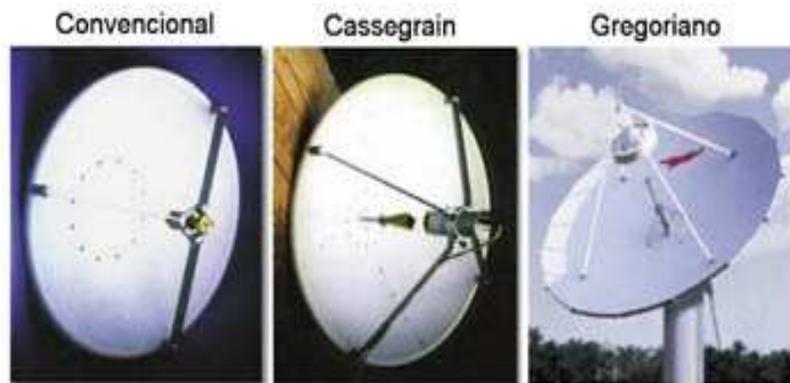
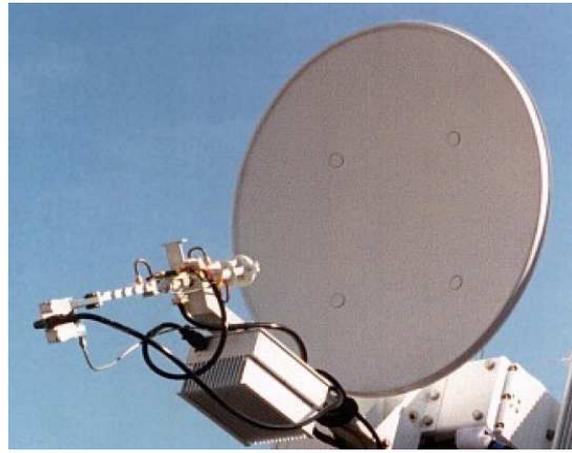


- Enlaces via radio -> microondas ( $1-40\text{GHz}$ ,  $\lambda=30\text{cm}-1\text{mm}$ )
- Propagación en línea recta hasta  $30-50\text{Km}$  (punto a punto)
- Mucha atenuación por obstáculos => visión directa
- Antenas de tamaño varias veces  $\lambda$
- Haz muy direccional: entre  $1^\circ$  y  $5^\circ$  -> 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)

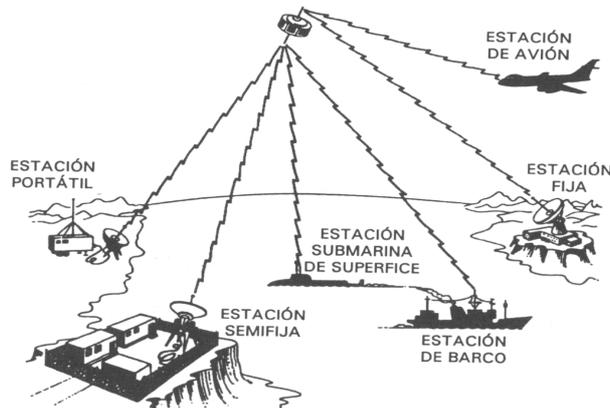
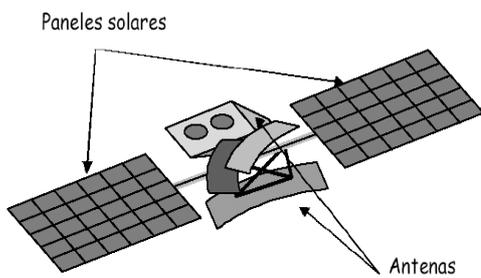
# Antenas usadas en los radioenlaces



Pantalla para reducir lóbulos laterales



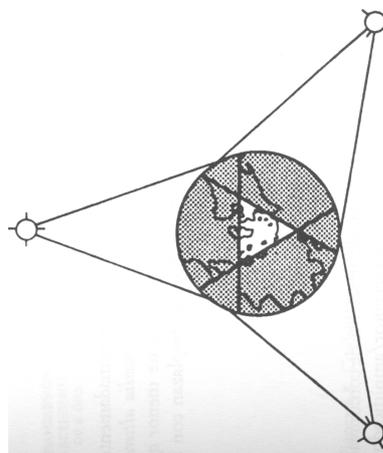
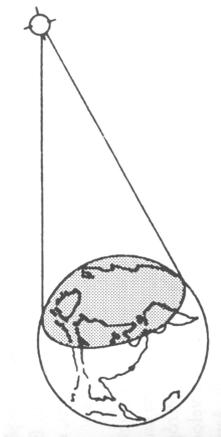
# Transmisión por satélite



- 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.