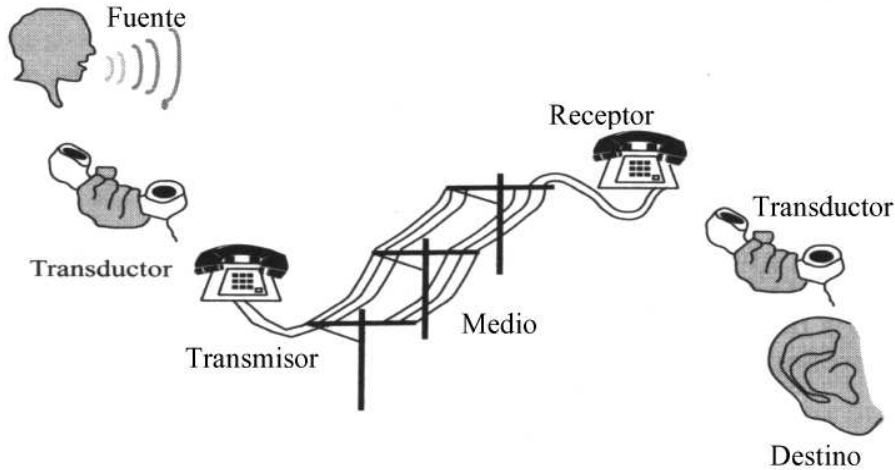
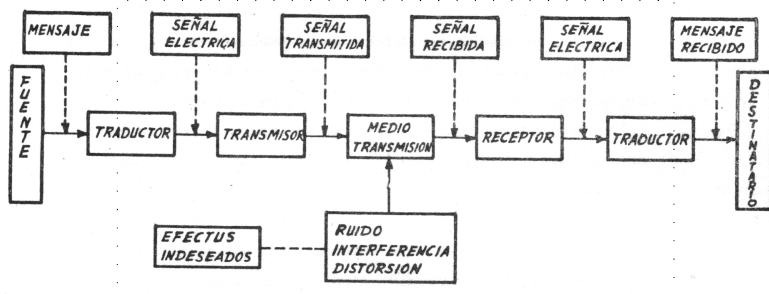


Ejemplo de comunicación



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

TELECOMUNICACIONES

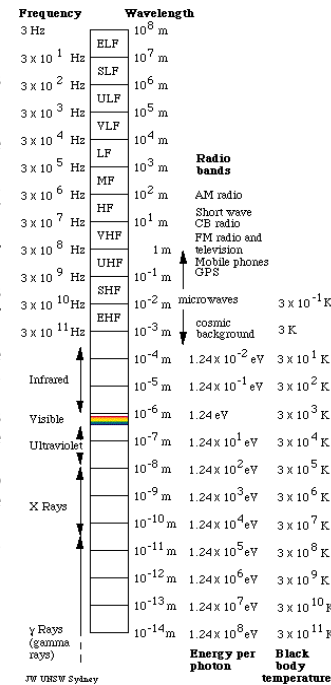
- 1835-1844 Samuel F. B. Morse: invención del telégrafo
- 1858 tendido del cable trasatlántico
- 1874 Emile Baudot: invención del telégrafo múltiple (varios mensajes simultáneos por la misma línea)
- 1876 Alexander Graham Bell: invención del teléfono.
- 1895 telégrafo sin hilos de Marconi (precursor) 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

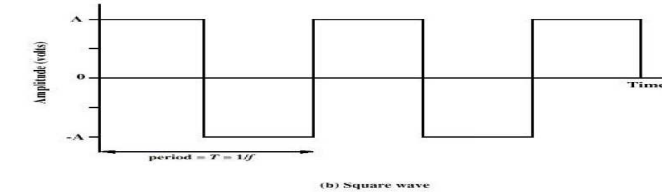
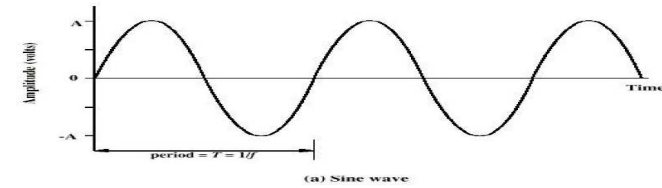
- Normalización
 - ITU (Unión internacional de Telecomunicaciones)
 - CCITT (Comité Consultivo Internacional de Teléfonos y Telégrafos)
 - CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones)
 - ECMA (Asociación de Fabricantes Europeos de Ordenadores)
 - ANSI (American National Standards Institute)
 - 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)

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.



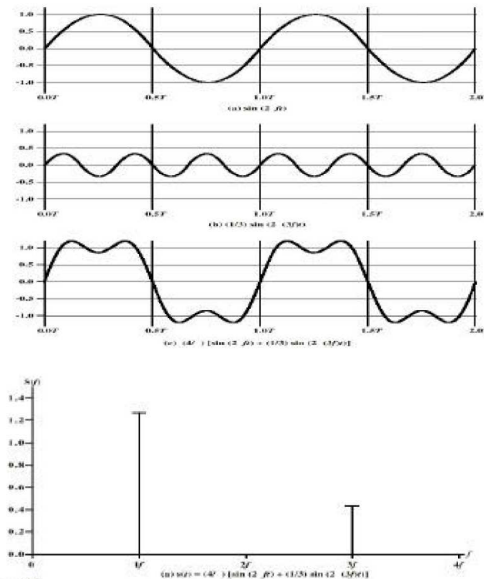
Características de las señales



- Señal -> variación de una magnitud física (tensión/corriente) en el tiempo
- Señales periódicas:
 - Periodo (T) = tiempo que tarda en completar un ciclo (segundos)
 - Frecuencia (f) = número de ciclos por segundo -> $f = 1/T$ (Hz = Hertcios)
 - 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)

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



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

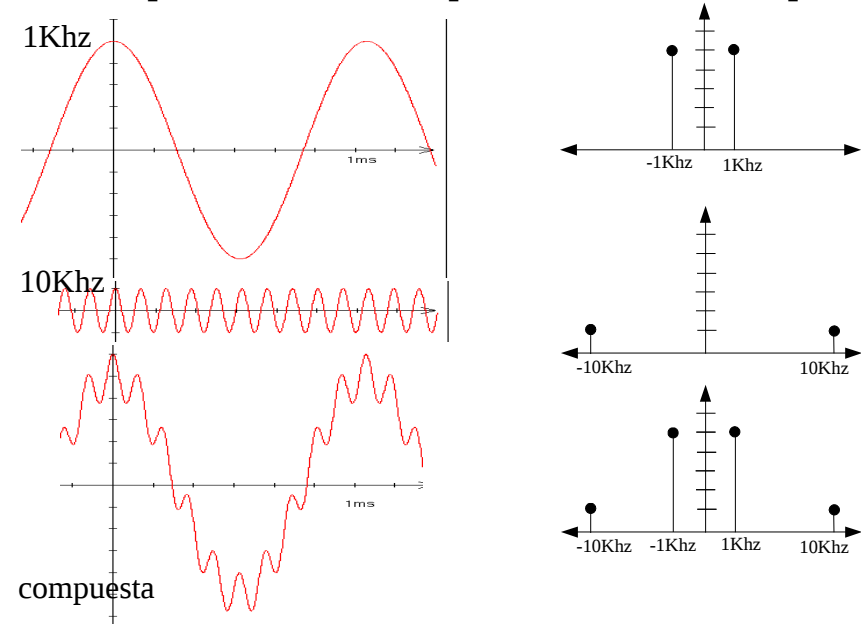
tiempo\amplitud	Continua	Discreta
Continua	ANALÓGICA	Discreta
Discreta	Muestreada	DIGITAL

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

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 tiempo-frecuencia. El espectro



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

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

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

Parámetros de la comunicación

- Atenuación

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

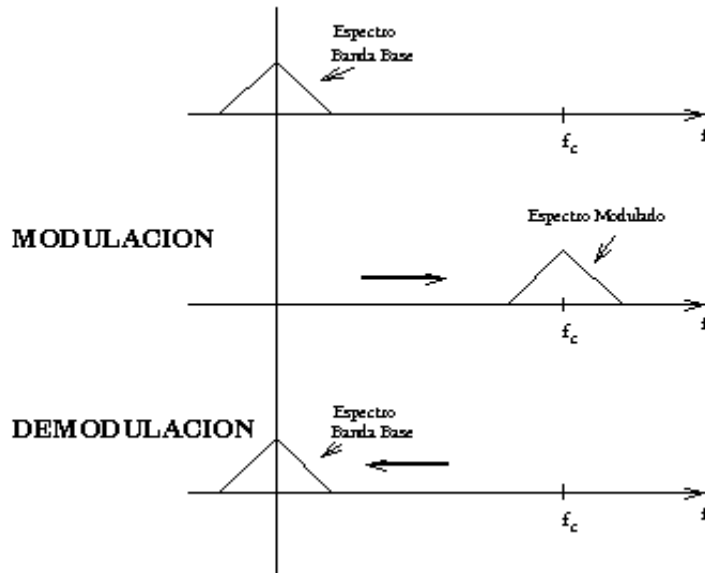
La atenuación es función de la frecuencia

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

Modulación



SE UTILIZA UNA PORTADORA SENOIDAL (SEÑAL MODULADA):

$$a_c = A_c \sin(2\pi f_c t + \theta_c)$$

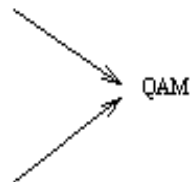
MODULACION ANALOGICA: SEÑAL ANALOGICA COMO MODULADORA

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)



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

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

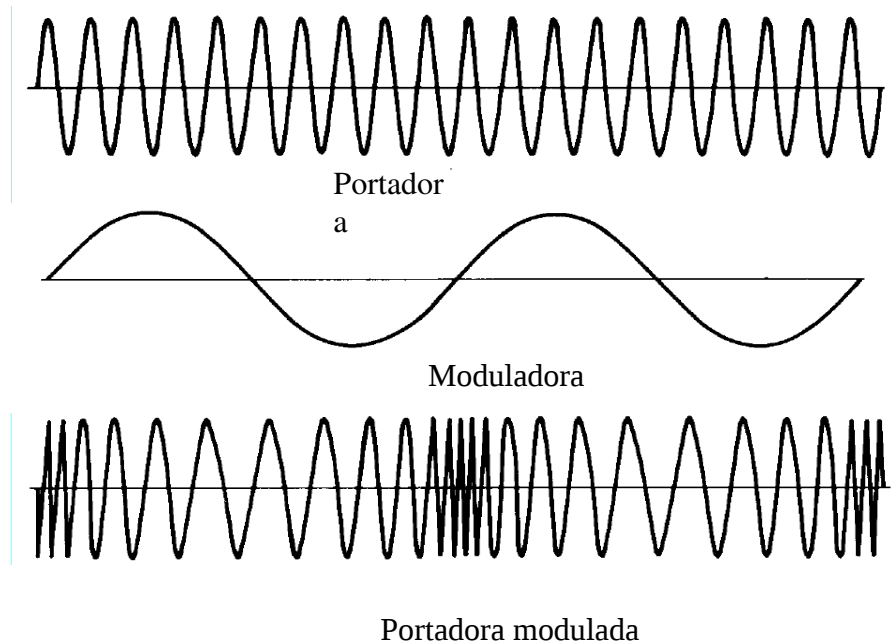
Reflexión nula para adaptación de impedancias

Modulación

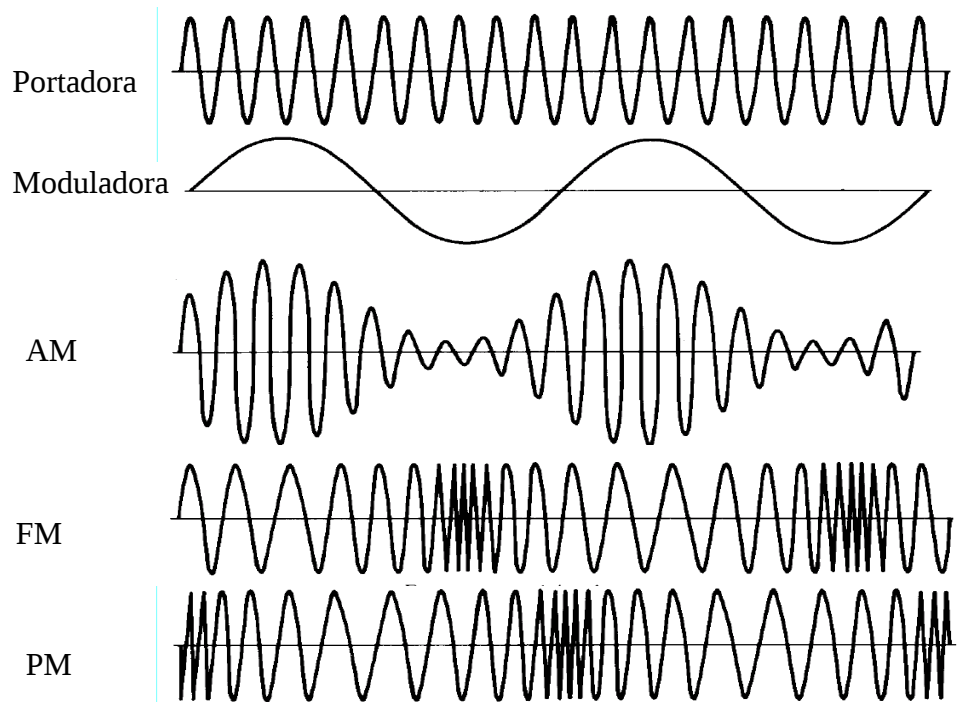
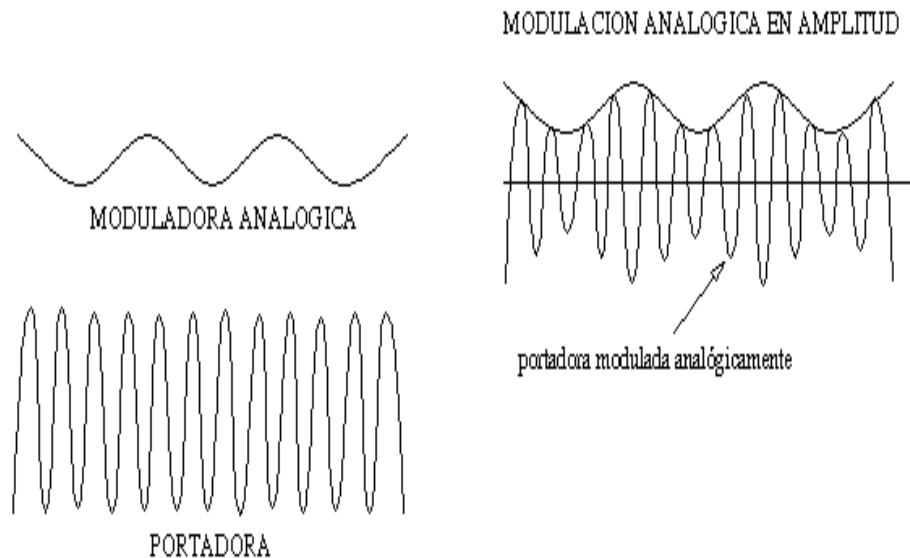
- Modulación = variación de la frecuencia de la señal para permitir su transmisión por el medio
 - Facilidad de radiación => longitud antena $\sim \lambda$
 - Reducción del ruido e interferencias
 - Posibilidad de multiplexación
 - Superar limitaciones de los equipos -> funcionamiento óptimo a determinadas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

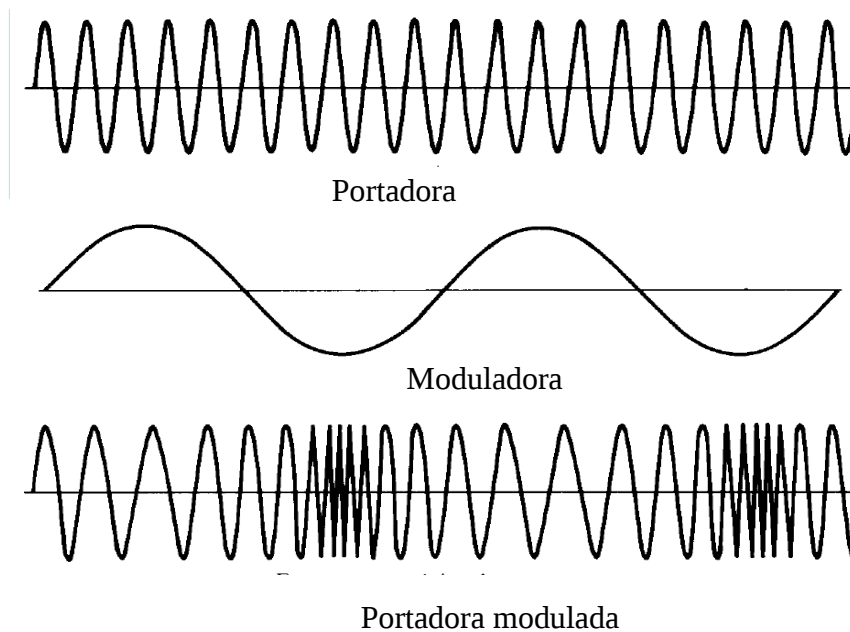
Modulación en fase (PM)



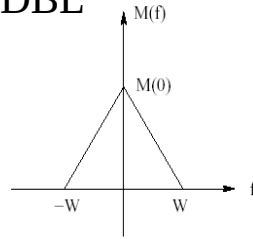
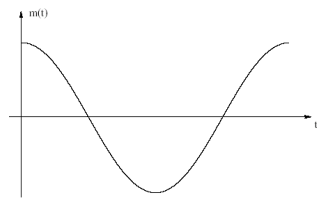
Modulación analógica



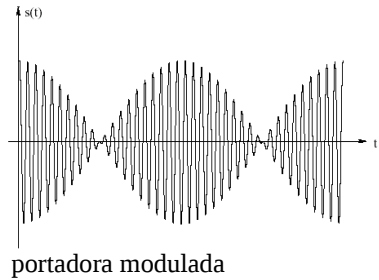
Modulación en frecuencia (FM)



Modulación DBL



Espectro de la señal moduladora.

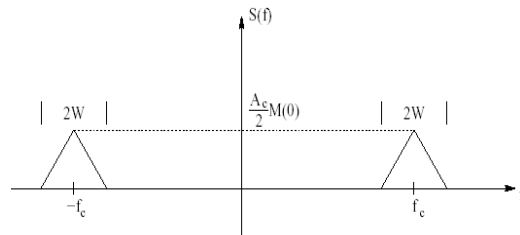


portadora modulada

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

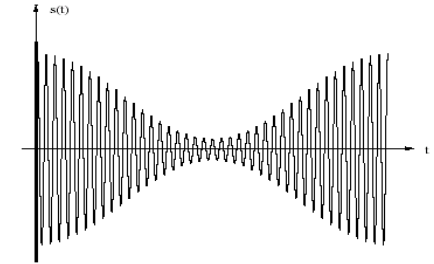
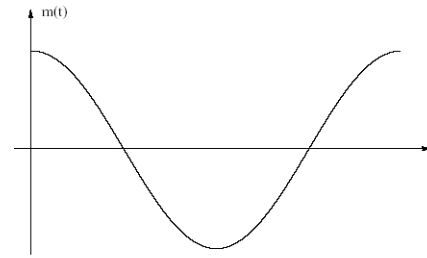
Rendimiento máximo = 50% $B_T = 2W$

Receptores más complejos



Espectro de la señal modulada DSB.

Modulación de AM



Señal modulada sin sobremodulación.

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

- portadora sin modular $S_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$

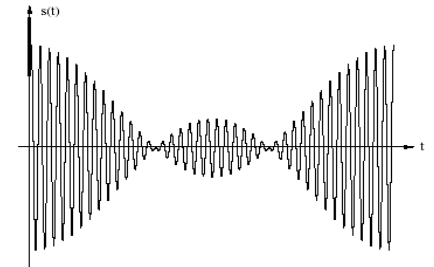
- portadora modulada

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

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

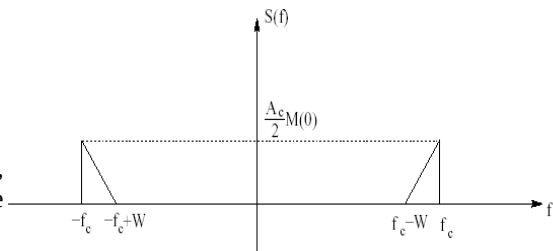
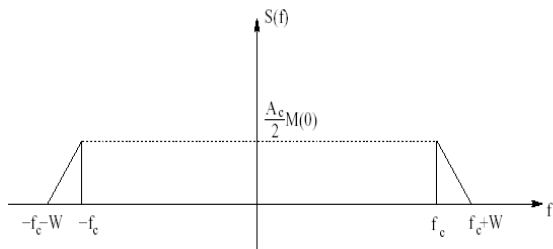
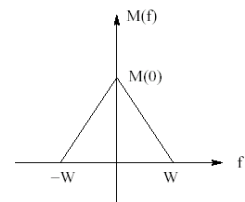
$$|k_a \cdot m(t)| < 1 \quad \text{con sobremodulación}$$

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



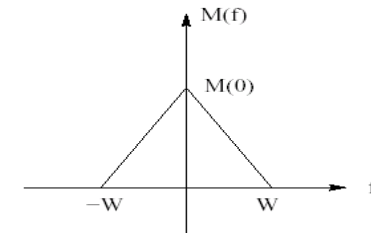
Señal modulada con sobremodulación.

Modulación BLU

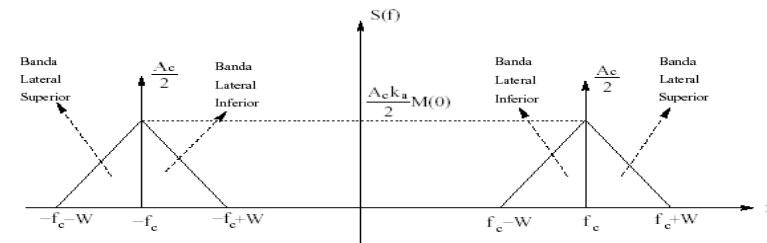


- Rendimiento máximo = 100
- $B_T = W$
- Circuitos muy complejos, con filtros muy difíciles de hacer.

Modulación de AM vista en frecuencia



Espectro de la señal moduladora.

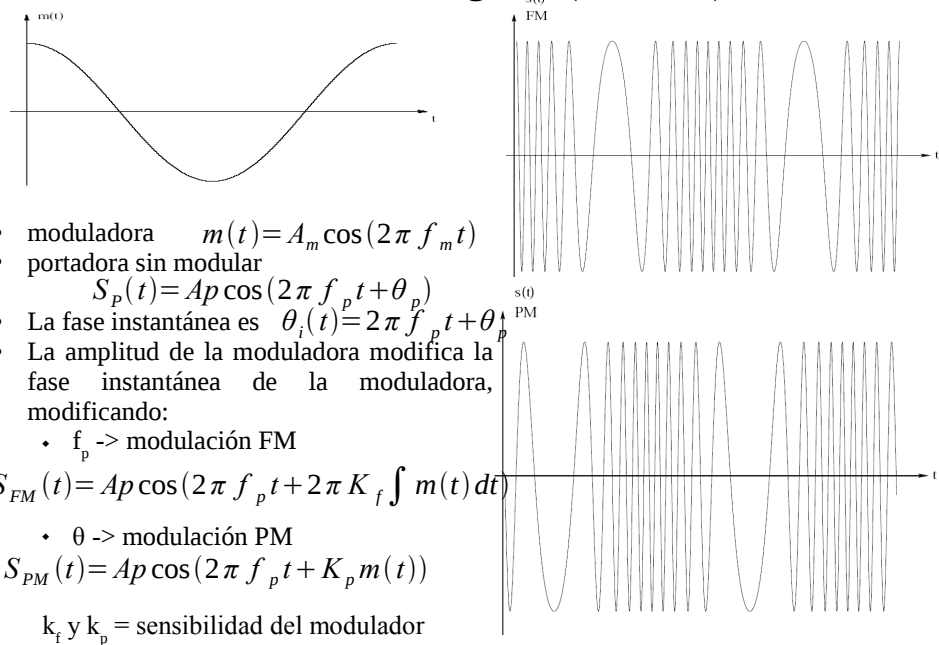


Espectro de la señal modulada.

$$B_T = 2W$$

$$\text{Rendimiento máximo potencia} = 17\%$$

Modulación angular (FM/PM)



Modulación de FM vista en frecuencia

- Modulación en FM de un tono puro:

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

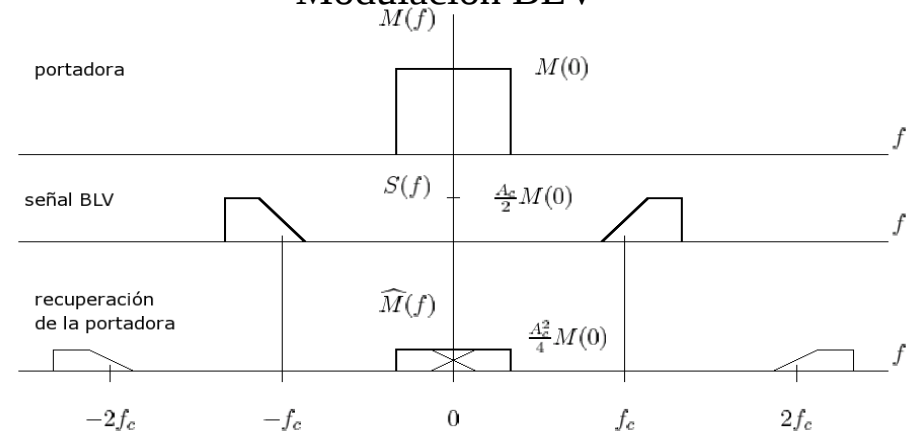
$$S_{FM}(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

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

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

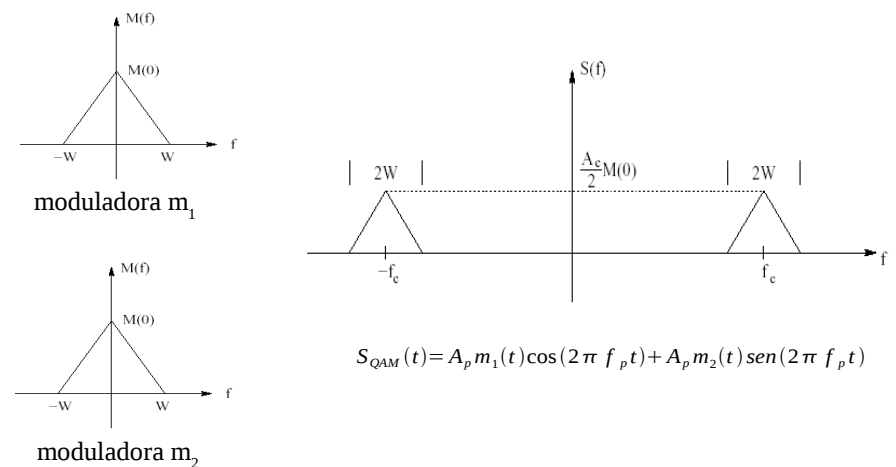
- β pequeño ($< 0,3$) $\rightarrow$ FM de banda estrecha
 - Baja calidad (válido para telefonía inalámbrica, radioafinonado..)
 - Poco ancho de banda (aprox $2W$, como AM)
 - Espectro similar a AM pero BLI cambia fase 180°
- β grande $\rightarrow$ FM de banda ancha
 - Alta calidad (radiodifusión comercial)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

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



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

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:

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

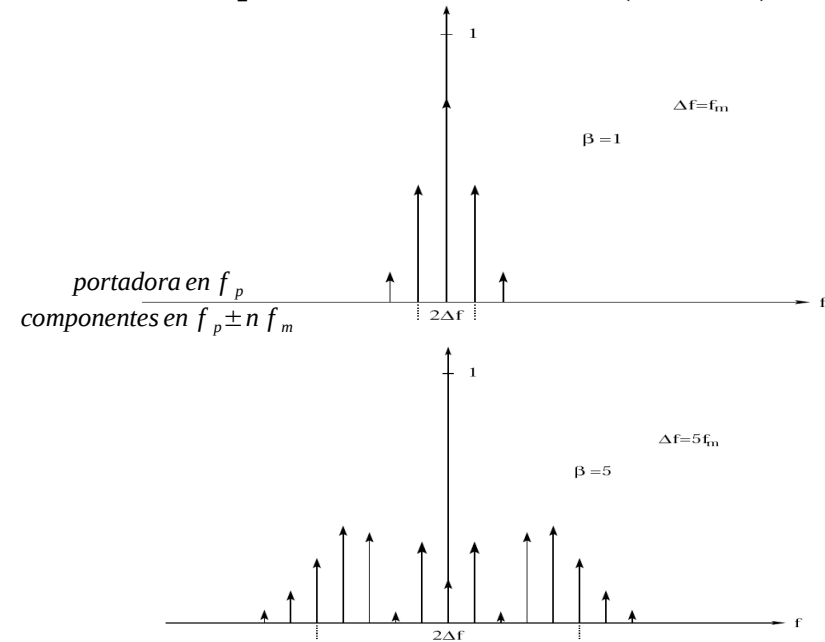
- Radiodifusión comercial

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

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

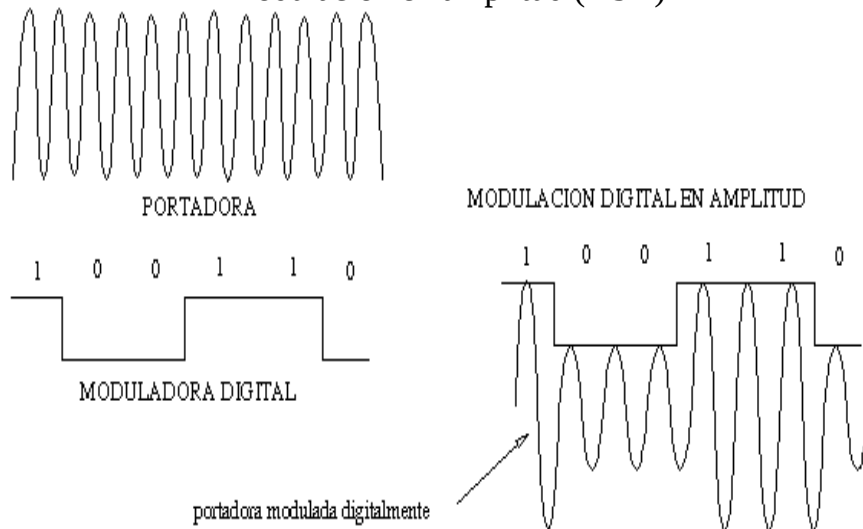
Ancho de banda (FM mono) $B_T = 2(75\text{Khz} + 15\text{Khz}) = 180\text{Khz}$

Espectro de la señal FM (un tono)

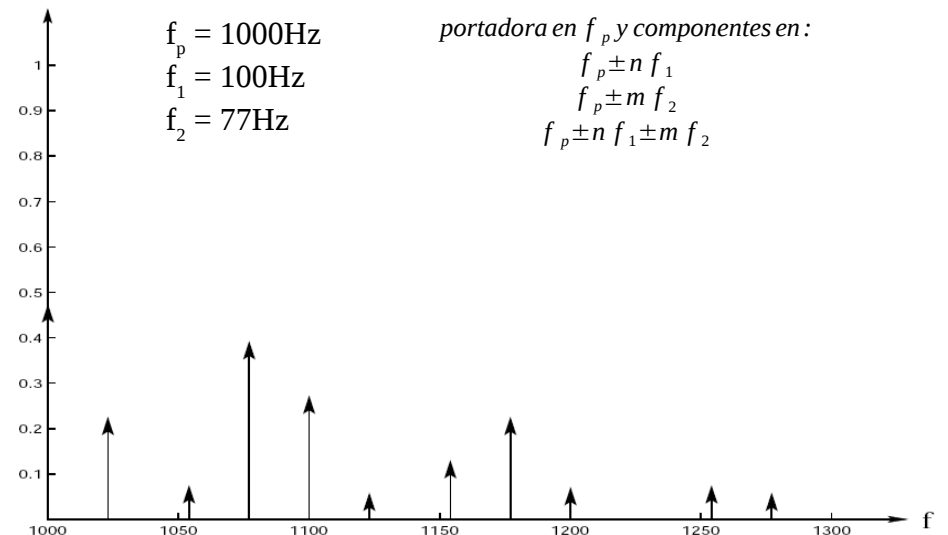


Modulación digital con portadora analógica

Modulación en amplitud (ASK)



Espectro de la señal FM (dos tonos)

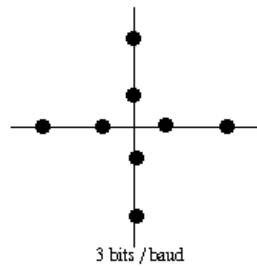


MODULACION HIBRIDA

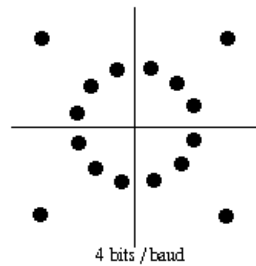
QAM

(QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

8 COMBINACIONES



16 COMBINACIONES



9600 bps SOBRE LINEA DE 2400

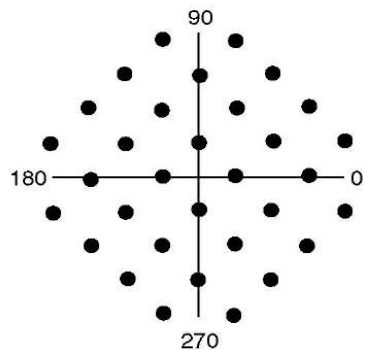
BAUD: NUMERO DE VECES QUE LA SEÑAL CAMBIA SU VALOR (VOLTAJE, FRECUENCIA, FASE)

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

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

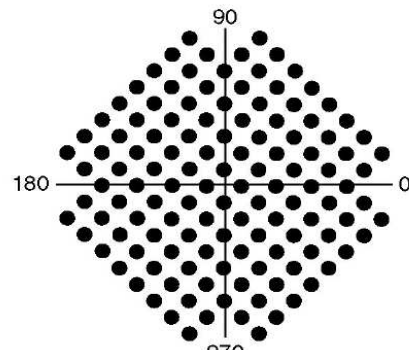
T : INTERVALO DE LA SEÑAL

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



(a)

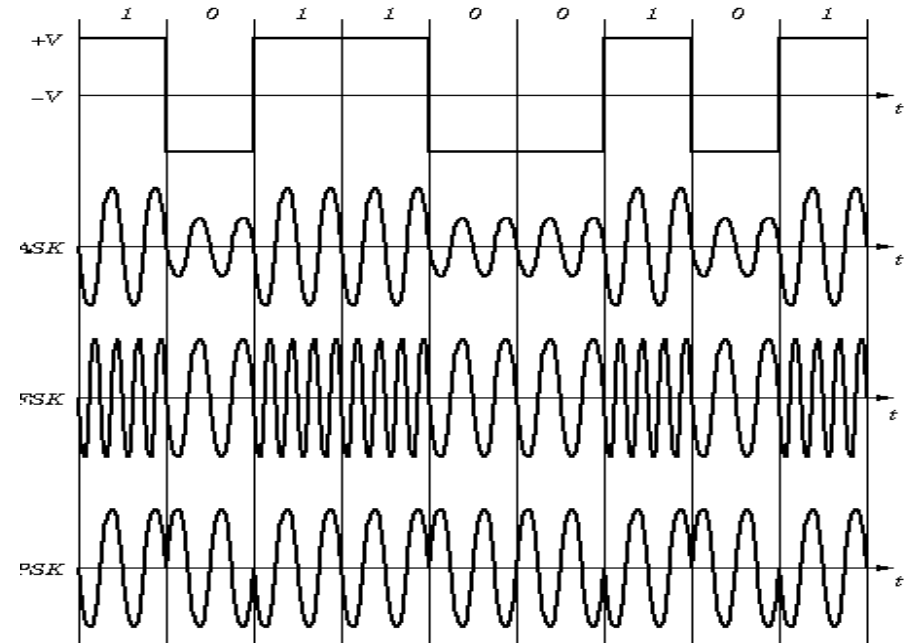
(a) V.32 para 9600 bps



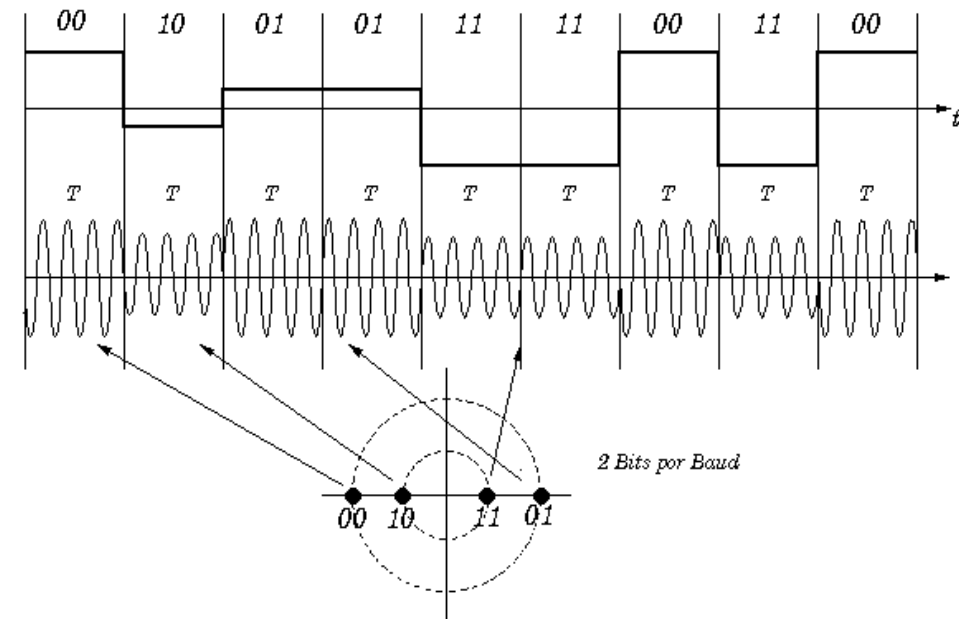
(b)

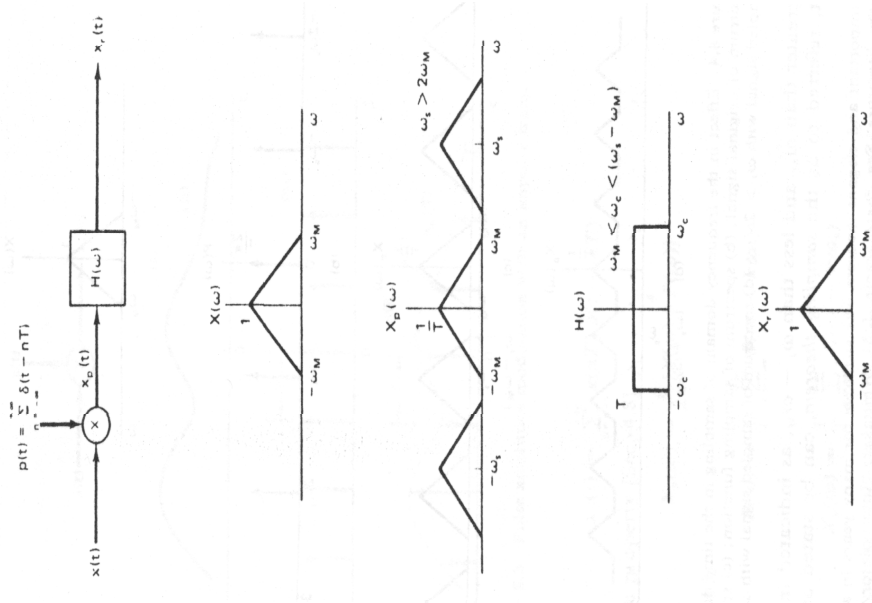
(b) V32 bis para 14.400 bps

Modulación en frecuencia y fase (FSK y PSK)

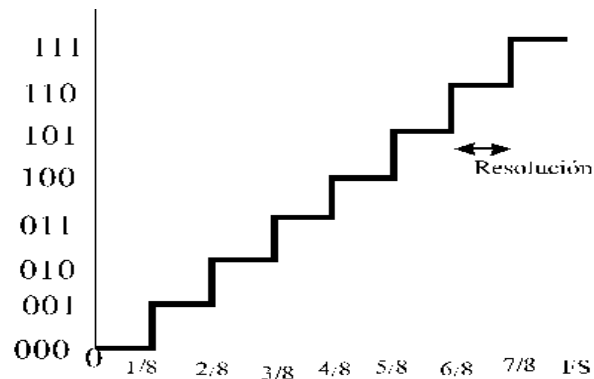


MODULACIÓN HÍBRIDA FASE-AMPLITUD





La cuantificación



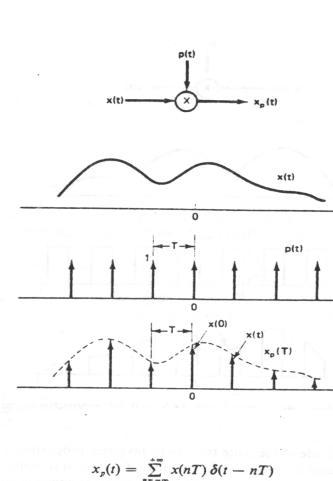
- Muestra -> cualquier amplitud
- N valores normalizados de amplitud => aproximación
 - Redondeo -> error = $\pm \frac{1}{2}\Delta$
 - Truncamiento -> error = Δ
- Codificación -> n bits, siendo $N = 2^n$

Codificación

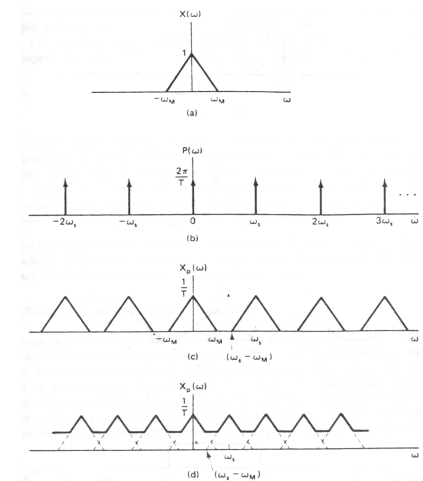
- Moduladora analógica => modulación por impulsos
 - Objetivo: Transmisión digital de señales analógicas
 - Proceso (conversión Analógico-Digital):
 - Muestreo -> discretización en amplitud => señal discreta en el tiempo. No hay pérdida de información
 - Cuantificación -> discretización en amplitud =>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

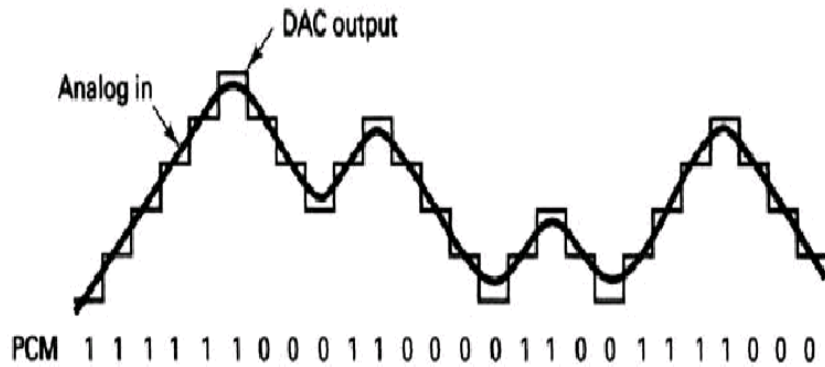


Muestreo visto en el tiempo



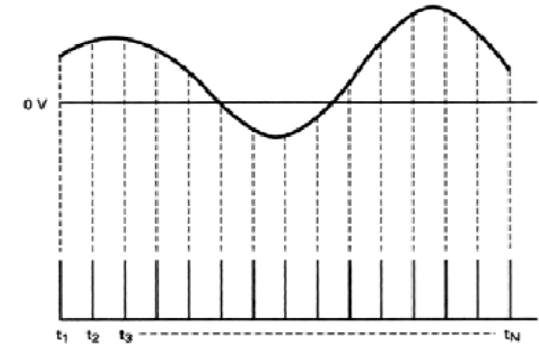
Muestreo visto en la frecuencia

Modulación delta (diferencial)



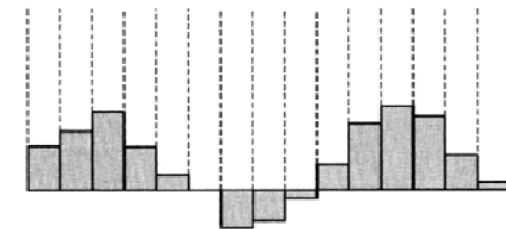
Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

(a) input signal;



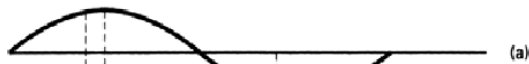
(b) Sampling signal

(c) PAM signal



Modulaciones PWM y PPM

(a) analog signal;



(b) sampling signal;



(c) PWM;



(d) PPM;



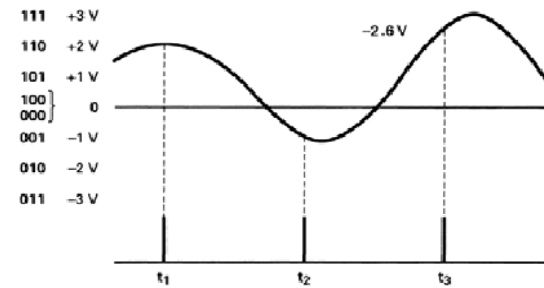
(e) PAM;



(f) PCM



Modulación por pulsos codificados (MIC o PCM)

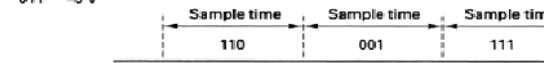
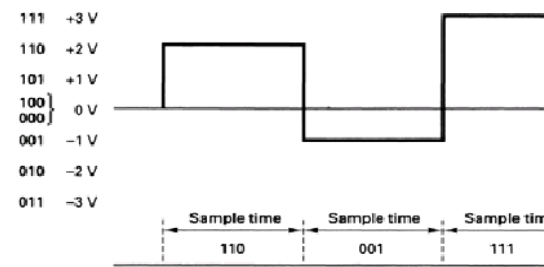


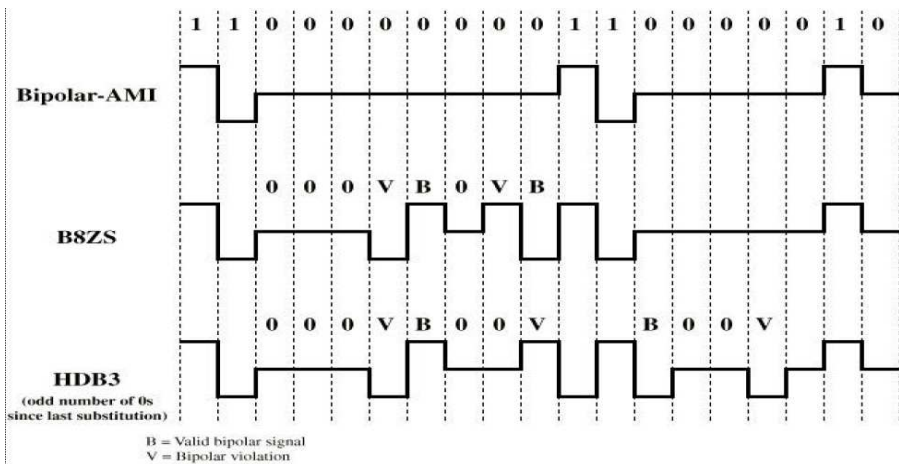
Analog input signal

Sampling signal

PAM signal

PCM code





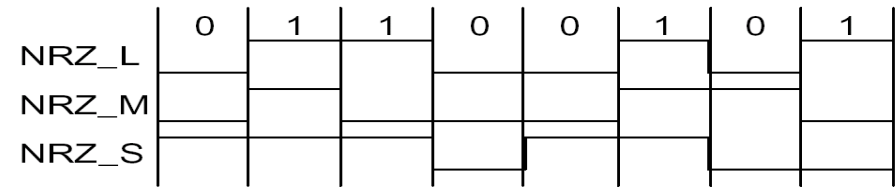
- AMI -> “0” = ausencia de señal. “1” = pulso positivo o negativo (alternados)
- B8ZS (EEUU)
 - no permite 8 “0” seguidos -> genera dos violaciones de AMI (invierte polaridad)
- HDB3 (UE y Japón)
 - No permite 4 “0” seguidos -> genera una violación de AMI

Codificación de la información

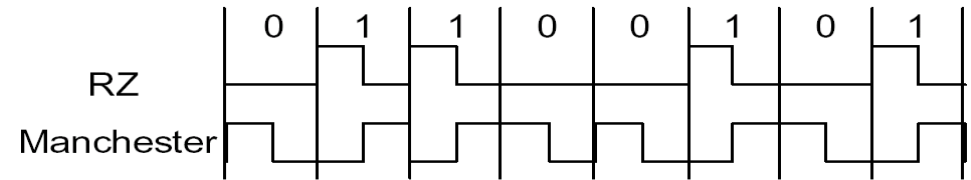
- Representación de un dígito binario (“0” o “1”) -> bit
- Representación de un rango mayor de símbolos => código:
 - Símbolos mensaje = cada uno de los símbolos representados
 - Palabras del código = cada una de las combinaciones de bits que representa a un símbolo.
 - N mensajes => como mínimo código 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

Datos digitales – señales digitales

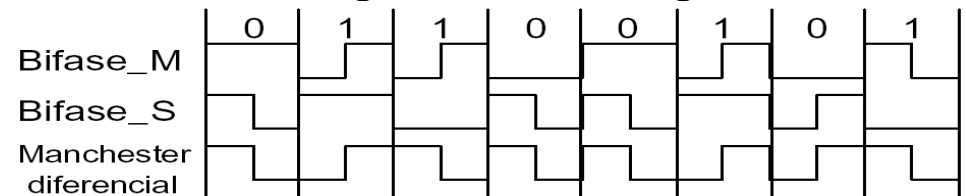


- NRZ_L = bipolar “normal”
- NRZ_M -> “1” = transición al principio del intervalo
- NRZ_S -> “0” = transición al principio del intervalo

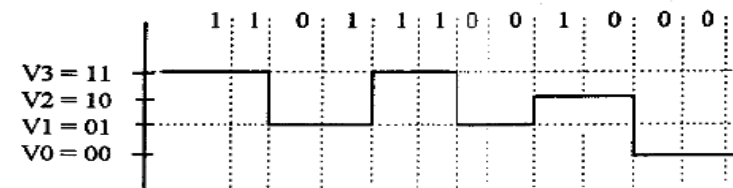


- RZ -> valor del bit en ½ periodo + retorno a cero en el otro medio
- Manchester -> flancos en el centro del bit: “1” = flanco subida, “0” = flanco bajada. Garantiza reloj. Duplica ancho de banda.

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.

- 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

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

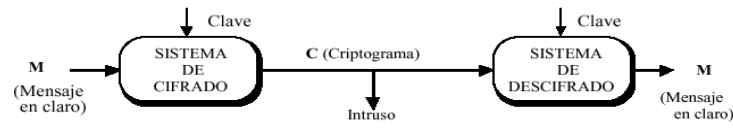
Source: www.asciitable.com

- 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

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 = 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 => 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

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”

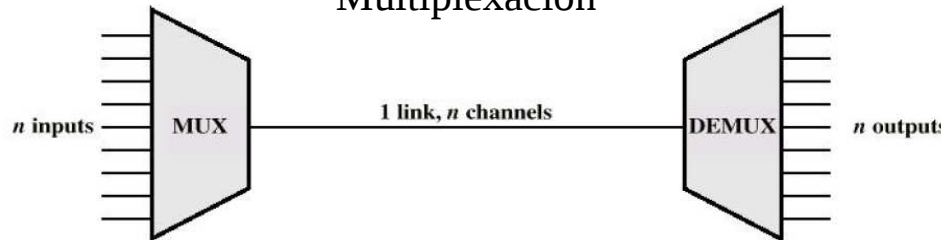
Compresión de datos

- Dos tipos de técnicas:
 - Sin pérdidas -> información almacenada = original
 - Con pérdidas -> información comprimida ≠ 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 PARAGUAS PORQUE ESTA LLOVIENDO”
 - 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, LZW (compress), GIF, V42bis
 - Familia LZ77 (Lempel-Ziv 77): ZIP, LZH
 - Con pérdidas: MPEG (audio), JPEG (imagen), MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (video)

Sistemas de doble clave

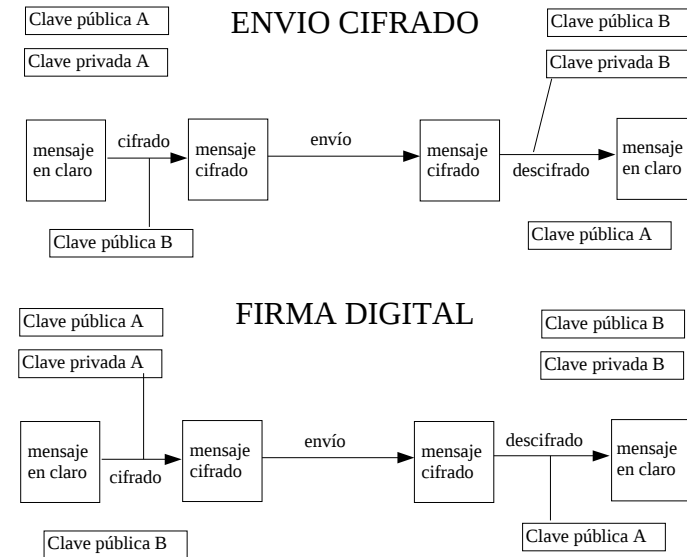
- Diffie-Hellman
 - Algoritmo histórico (1976)
 - Precursor de RSA
 - Es vulnerable en algunos supuestos
- PKCS (Public-key Cryptography Standards)
 - 15 estándares basados en RSA.
- Funciones de hash
 - Son funciones unidireccionales de resumen -> generan una cadena de resumen de un documento ("no puede 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).

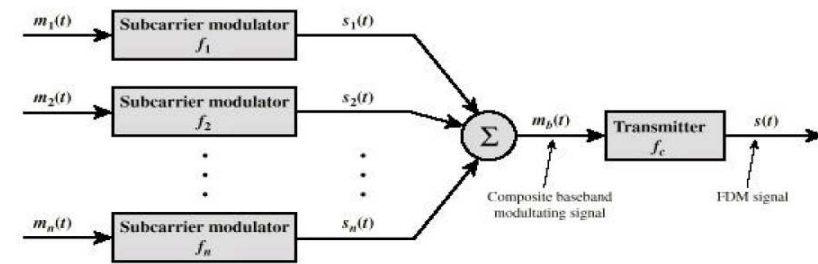
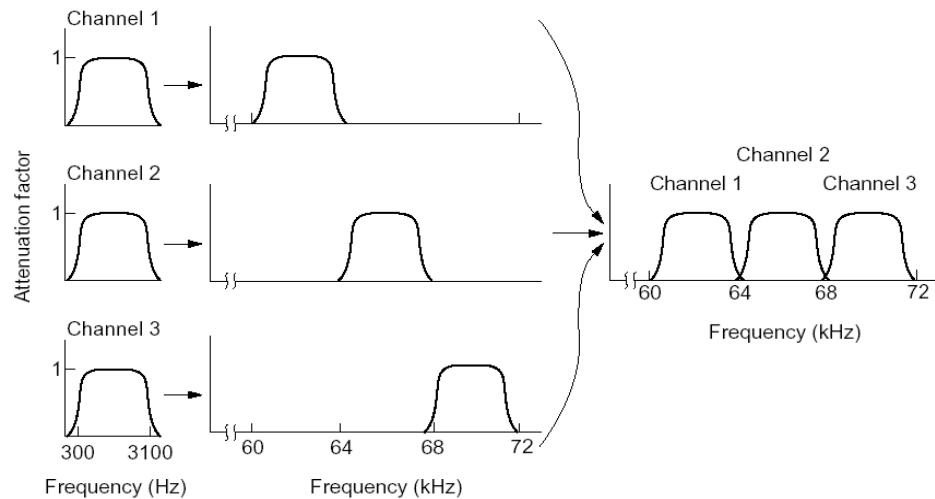
Funcionamiento de un sistema de doble clave



Sistemas de doble clave

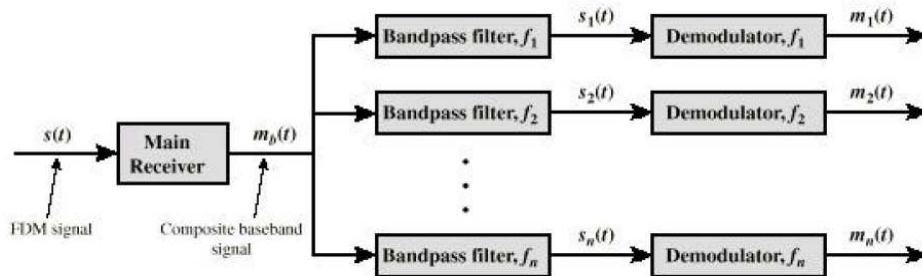
- Propiedades
 - Algoritmos asimétricos
 - Válidos para encriptar y firmar
 - Tiempos de cálculo muy altos => sólo se firma un extracto.
 - Necesidad de autoridades certificadoras para las firmas:
 - Fábrica Nacional de Moneda y Timbre
 - Agencia de Certificación Electrónica
 - Verisign
 -
- Algoritmos 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

Modulación por división en frecuencia (MDF)

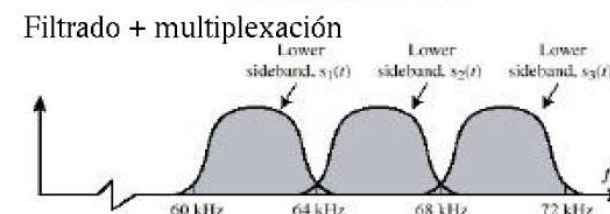
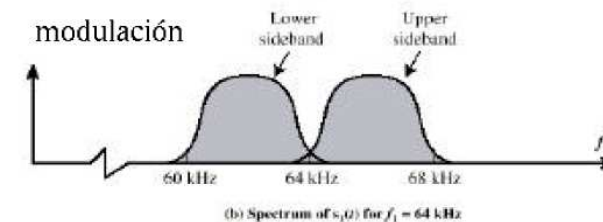


- Modulación -> desplazamiento de la señal a frecuencias altas
- Multiplexación -> suma de varias señales moduladas a frecuencias distintas
- Señales limitadas en banda => no hay solapamiento
- Válido para transmisión analógica y digital
- Ancho de banda total = suman anchos de banda

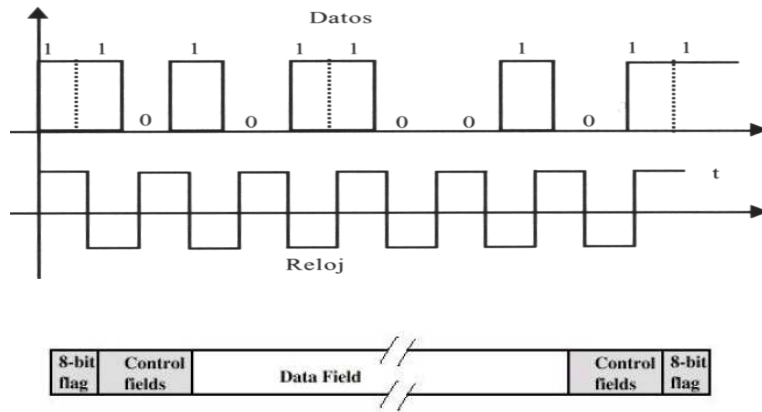
Recuperación de la señal



- Filtro P.Banda-> elimina todo menos un canal
- Demodulador -> desplaza a frecuencia baja => 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.

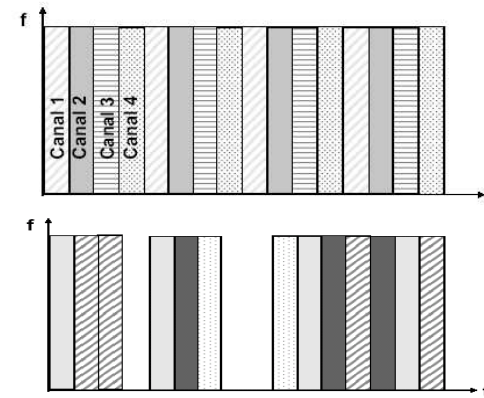


Transmisión síncrona



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

Multiplexación por división en el tiempo (MDT)

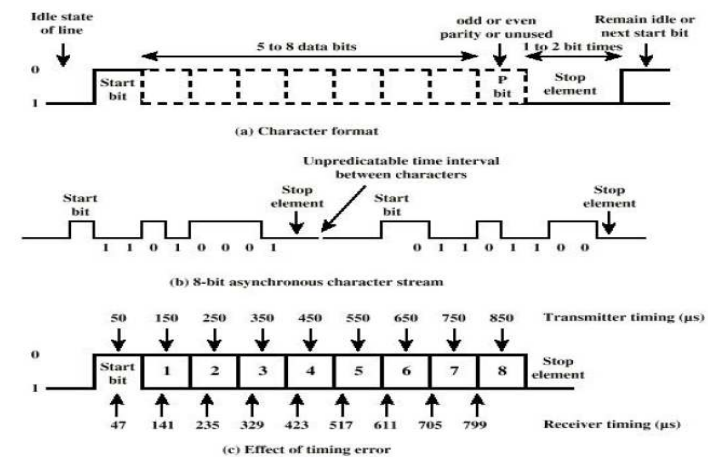


- Asignación de intervalos de canal (slots) a los distintos canales.
- MDT síncrona -> asignación fija de intervalos de canal => desperdicio de ancho de banda
- MDT asíncrona -> asignación variable según las necesidades => hay que identificar canales

Transmisión serie/paralelo

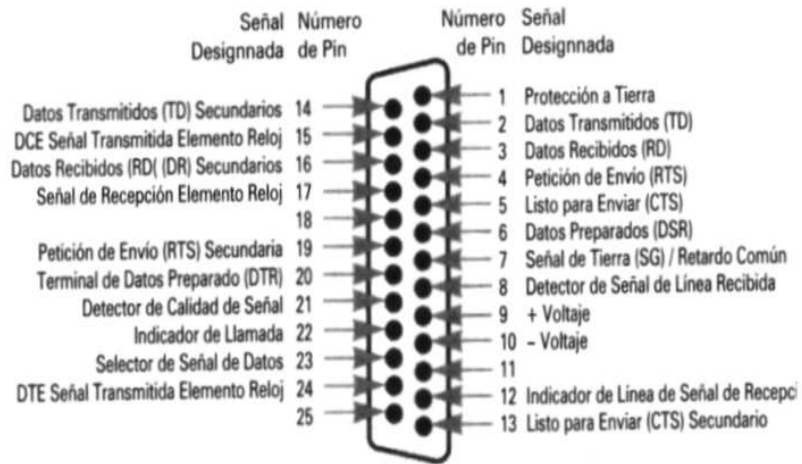
- Transmisión serie
 - Bit a bit
 - Menos hilos
 - Mayor complejidad: necesidad de una protocolo
 - Transmisión a larga distancia
- Transmisión paralelo
 - Varios bits a la vez
 - Mayor número de hilos
 - Más simple, sin protocolo o protocolo más sencillo
 - Transmisión a corta distancia

Transmisión asíncrona

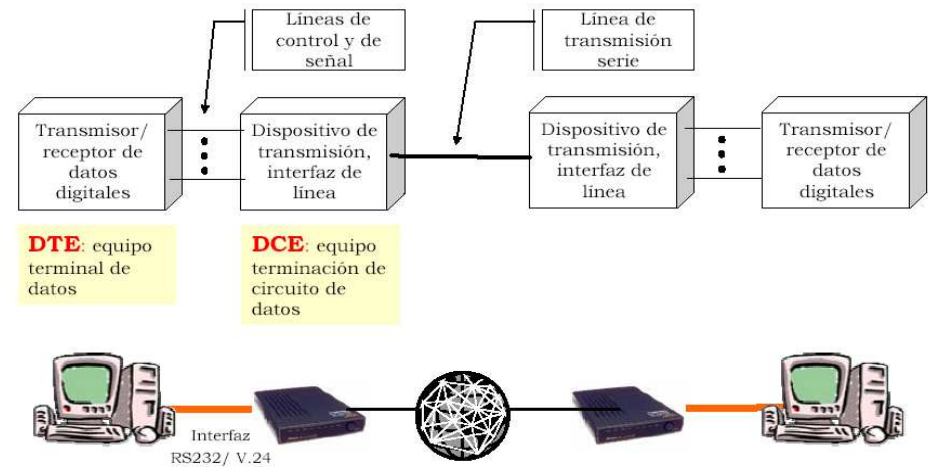


- Relojes distintos
- Errores de sincronización -> cadenas cortas.

Interfaz RS-232



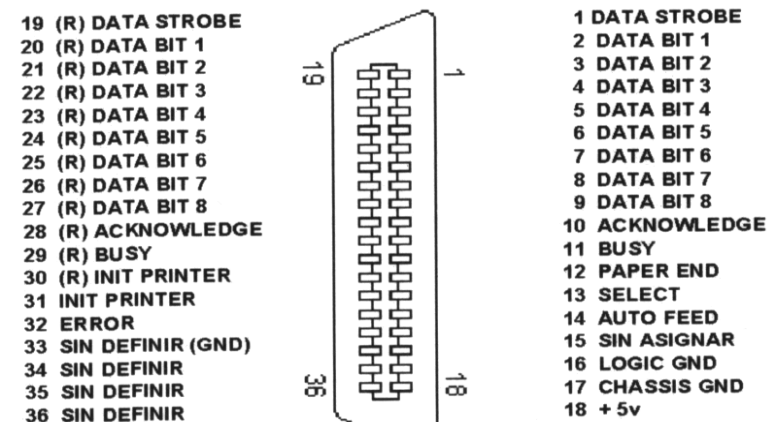
Interfaces para las comunicaciones de datos



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

Interfaz Centronics

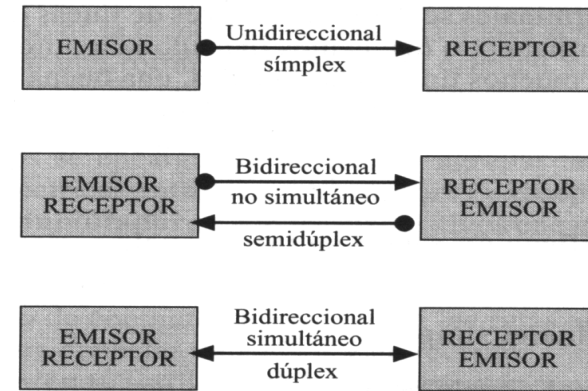


(R) Retorno de la Señal

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 o 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

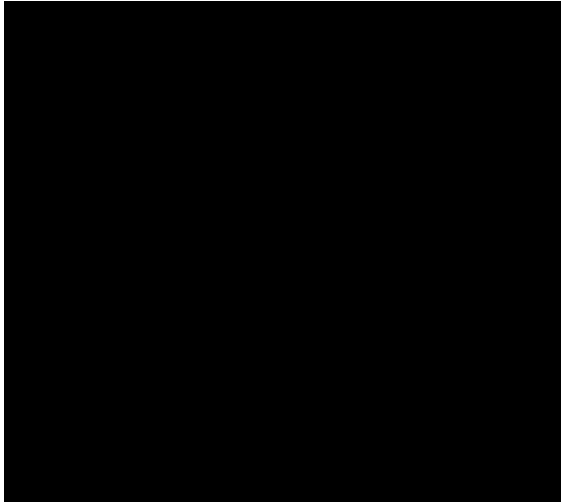
Modos de diálogo



Protocolos de comunicación

- 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
- 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.
 - Direccinamiento -> 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.

Desperdicio de tiempo de canal en protocolos de parada y espera



- 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

Protocolos con ventana deslizante



- 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

- 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

- 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 kermiit

- 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	Long	no	Tipo	DATOS	Check
------	------	----	------	-------	-------

- mark (1 byte) = cabecera (secuencia irrepitable)
- 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

Protocolo XMODEM

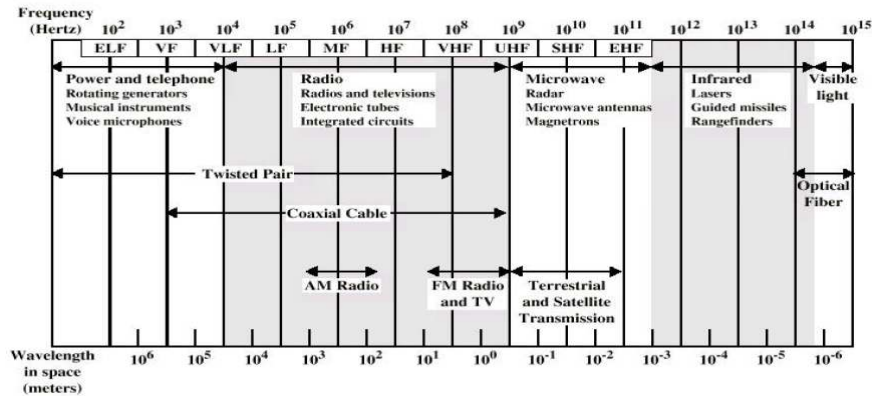
- Protocolo para transferencia de archivos entre PC's a través del módem
- Protocolo de parada y espera, serie, asíncrono
- Tramas de longitud fija:

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

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



- 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

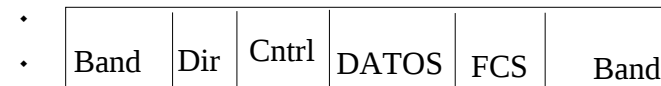
Par trenzado

- 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.



Protocolo HDLC

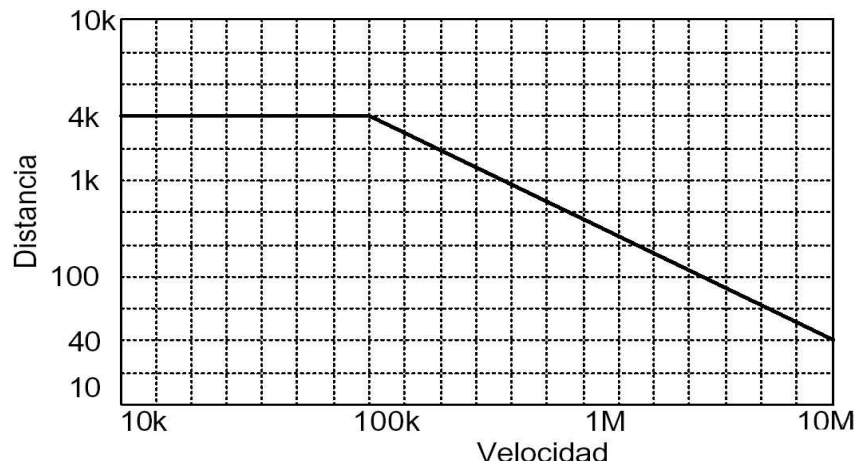
- Protocolo orientado a bit, síncrono, punto a punto o multipunto, de ventana deslizante.
- Estandar ISO.
- Permite explotación duplex del enlace.
- Permite la transmisión de cualquier tipo de datos.
- Permite enlaces equilibrados y no equilibrados.
- Trama:



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

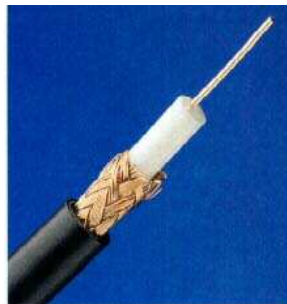
Calibre (AWG)	19	22	24	26	28
Diámetro (mm)	0.912	0.644	0.511	0.405	0.320

- Distancia máxima -> inversamente proporcional a la velocidad.

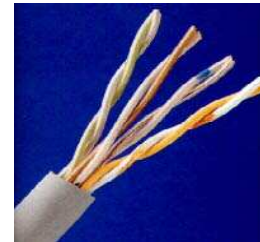


Cable coaxial

- 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)



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



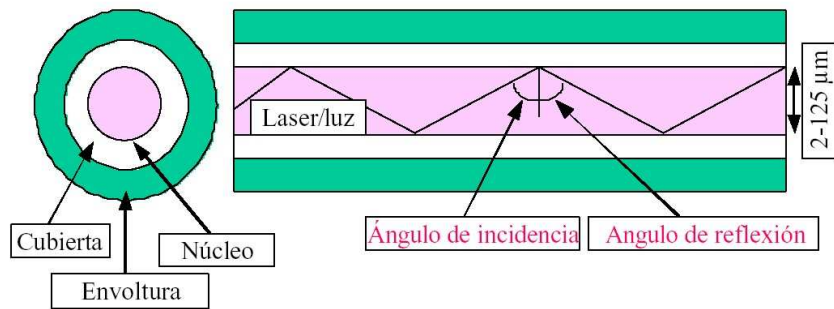
No apantallado UTP.



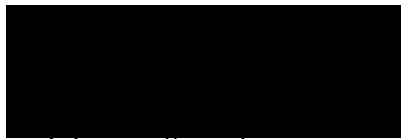
Apantallado STP.

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

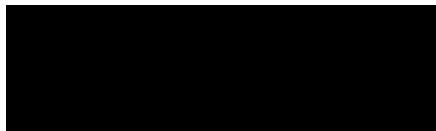
- Cables UTP
 - Categoría 1: Telefonía, transporte de voz (< 1Mbps)
 - Categoría 2: Datos hasta 4 Mbps. Token Ring a 4 Mbps.
 - Categoría 3: Datos hasta 10 Mbps. Ethernet 10base-T. 3-4 vueltas/pie.
 - Categoría 4: Token-Ring, Token-bus y 10base-T, 20MHz.
 - Categoría 5: Datos hasta 100 Mbps (Fast-Ethernet).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



- Ángulo 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

- Coaxial fino: RG 58 C/U
 - Impedancia: $Z=50\Omega$.
 - 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

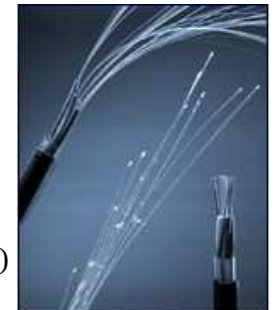
Coaxial tipo	Capacidad (pF/m)	Velocidad propag. (%)	Vmáx (KV)	ATENUACIÓN (dB/100m) a Mhz.					
				10	50	100	200	400	1000
RG 174A/U		66	1'5	12'8	23	29'2	39'4	61	98'4
RG 122/U	101	66	1'9	5'9	14'2	23	36'1	56	95'2
RG 58 C/U	101	66	1'9	4'9	12	17	26	38	65
RFA 223/U	101	66	1'9	4'3	10	14	30	29	45
RG 223/U	101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

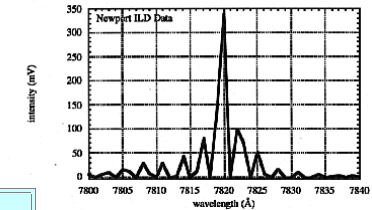
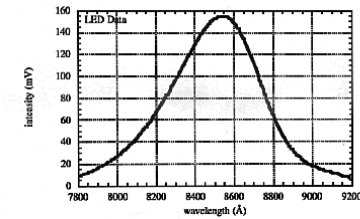


Transmisión por radio

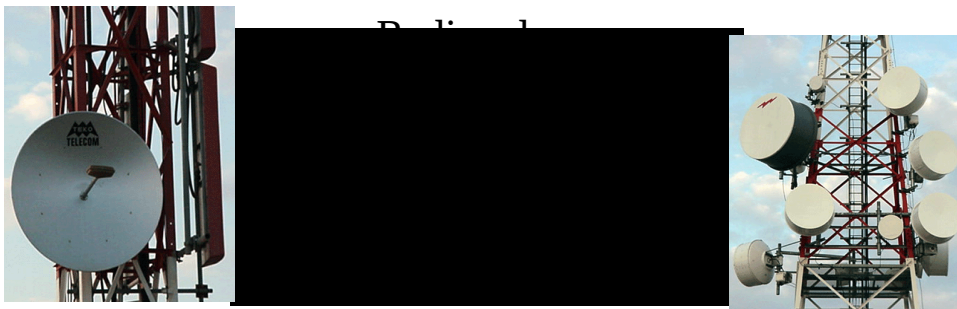
- Bandas de frecuencia VLF-UHF (aprox 50Khz – 3Ghz)
- Transmisión omnidireccional
- Antenas monopolares o dipolares $\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{4}\lambda$
- Transmisión
 - Bajas frecuencias
 - Ondas terrestres -> poca atenuación por obstáculos (larga distancia)
 - Poco ancho de banda
 - Altas frecuencias
 - 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.)

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

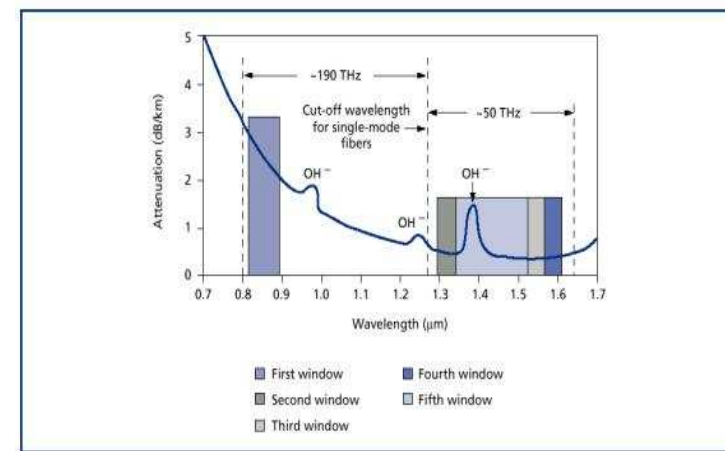


Características	LED	Laser
Ancho espectral	20-60 nm	0.5-6 nm
Corriente	50 mA	150 mA
Potencia de salida	5 mW	100 mW
Velocidad	100 MHz	2 GHz
Tiempo de vida	10,000 hrs.	50,000 hrs.
Costo	\$1.00- \$1500	\$100 - \$10000



- 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)

Pérdidas en la fibra



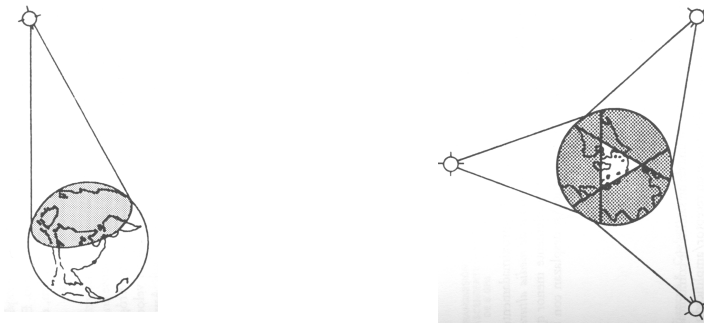
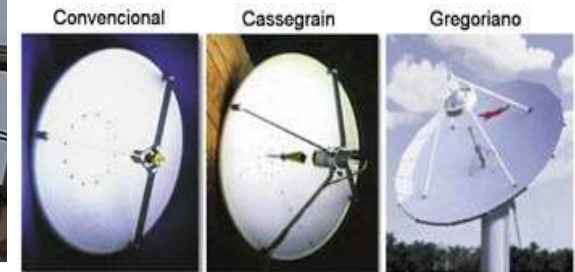
- Pérdidas -> dependen de la frecuencia de la portadora
- Segunda y tercera ventana -> menos pérdidas => transmisión a larga distancia.

- 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

Antenas usadas en los radioenlaces

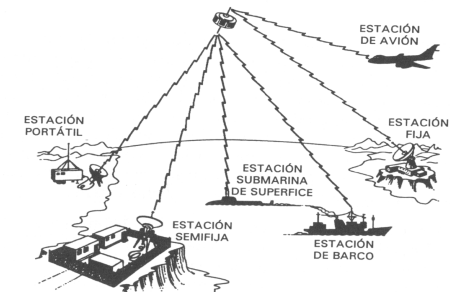
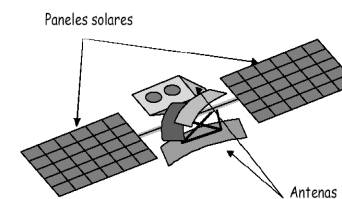


Pantalla para reducir lóbulos laterales



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

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