

RESUMEN 2DO PARCIAL REDES

Type	RESUMEN
Author	Juan Pablo Frascino
Reviewed	<input type="checkbox"/>

TECNICAS DE TRANSMISION DE LA INFORMACION

ERRORES EN EL PROCESO DE TRANSMISION

Un error de transmision es toda alteracion o mutilacion en un mensaje recibido, que hace que no sea una replica fiel del mensaje originalmente enviado.

Un error puede afectar un mensaje de tal manera de volver invalido al ser imposible de interpretar o puede afectarlo pero aun asi permitir la interpretacion correcta del contenido a pesar del error.

Las causas de los errores pueden ser:

- Ruido(se suma a la señal)
- Atenuacion
- Distorsion
- Tasa de informacion(mayor a la capacidad del canal)
- Ancho de banda insuficiente

El ruido y la distorsión son fenómenos adversos para la propagación de señales.

Hay dos parámetros básicos :

- La relación señal a ruido en los sistemas analógicos.
- La tasa de error en los sistemas digitales

Como dijimos, el ruido de adiciona a la señal, un tipo de ruido comun es el ruido blanco, este es un ruido de fondo de bajo nivel, que puede llegar a producir

errores si los niveles de la señal útil son bajos.

TIPOS DE ERRORES

Los errores se pueden clasificar segun su distribucion en el tiempo:

- Errores aislados o simples.
Son aquellos que afectan a un solo bit por vez; asimismo, son independientes entre sí, en cuanto al momento en que se producen.
- Errores en ráfagas.
Son los que afectan a varios bits consecutivos y se presentan en períodos de tiempo indeterminados.
- Errores agrupados.
Son aquellos que se producen en tandas sucesivas de cierta duración, y que no afectan necesariamente a varios bits

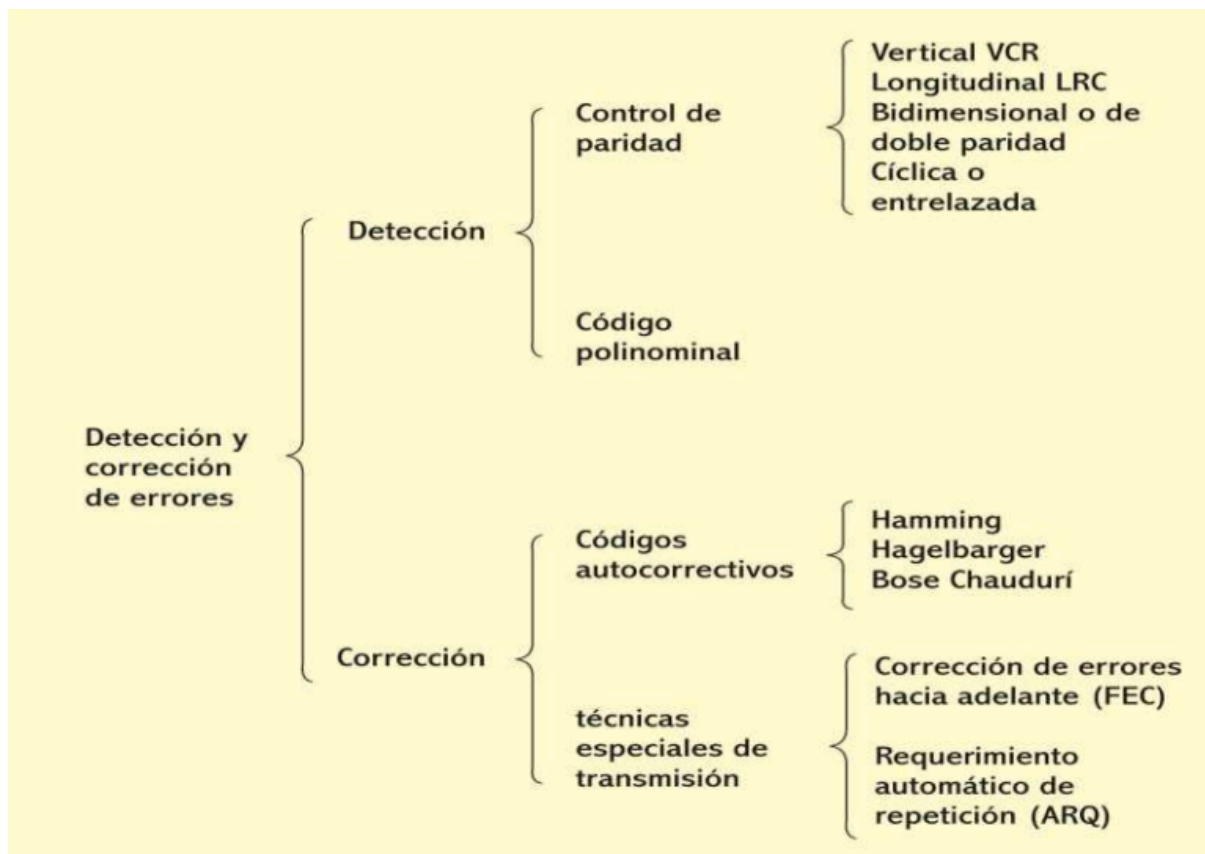
METODOS DE DETECCION Y CORRECCION DE ERRORES

Una forma de disminuir, detectar y corregir errores es mandar datos adicionales en el contenido del mensaje. Mientras mas bit adicionales mayor sera la proteccion contra errores, pero menor sera la tasa de eficiencia de nuestra transmision. Es asi como en la transmision sincronica mientras mas pequeños sean los bloques transmitidos, menos probable sera la necesidad de retransmitirlos pero menos eficiente sera la transmision.

El control de errores implica técnicas de diseño, fabricación de equipos y enlaces de transmisión de datos que reduzcan el porcentaje de errores. Además, incluye metodologías para detectarlos y corregirlos.

Una metodologia posible es no tomarlos en cuenta, parece trivial, pero para algunos tipos de comunicacion es lo mas sensato, debido al tipo de informacion que se transmite y el uso que recibira no es necesario tomarlos en cuenta. Esto reduce costos y aumenta el procesamiento total.

Pero si decidimos tomarlos en cuenta entonces tenemos los siguientes metodos de DETECCION Y CORECCION:



DETECCION

DETECCION POR CONTROL DE PARIDAD(Redundancy Check)

Se basa en agregar otros bits de control adicionales en la secuencia de bits de información transmitidos. Estos bits no llevan información alguna sino que son utilizados para la verificación de paridad de la secuencia de bits de datos.

Para la verificación de esta paridad existen 3 métodos posibles, la paridad en cualquiera de estos métodos puede ser par o impar. En la par, si el número de unos de la palabra es impar, el bit de control adicional se encargará de ponerse en uno para que la suma total de ellos resulte en un número par. En la impar, si el número de unos es par, el bit de control se encargará de ponerse en cero para que la suma total resulte en un número impar.

Los 3 métodos posibles son:

CONTROL DE PARIDAD VERTICAL(VRC)

Se aplica a cada carácter o byte y su uso se relaciona con el código ASCII.

Basicamente consiste en el agregado de un bit adicional de control al inicio del conjunto de 7 bits que constituyen a un caracter.

Dato transmitido	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad "par" se agregaría un bit "0"	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad "impar" se agregaría un bit "1"	0	1	1	0	1	0	1

CONTROL DE PARIDAD LONGITUDINAL O BIDIMENSIONAL (LRC)

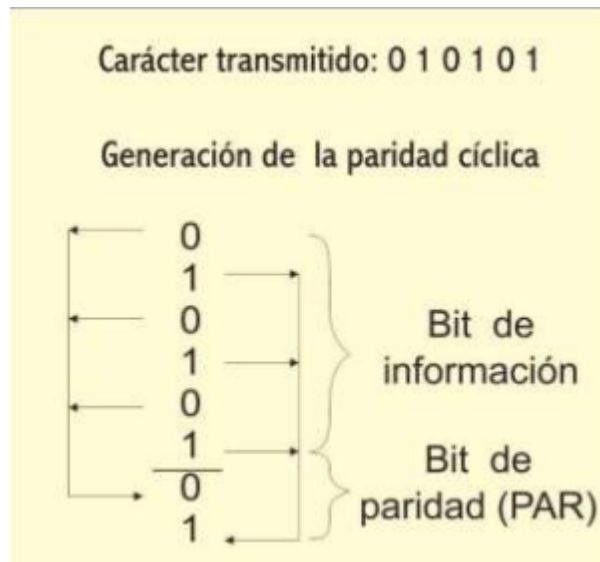
Se aplica a un conjunto compuesto por bloques de N caracteres de 7 bits cada uno, por lo que se termina creando un caracter adicional que contiene los bits de paridad de cada una de las filas de bits de los caracteres del conjunto.

	Dato	Dato	Dato	Dato	Dato	
	1	2	3	4	5	
Bit N° 1	1	1	0	1	0	1
Bit N° 2	1	1	0	1	1	0
Bit N° 3	1	1	0	1	0	1
Bit N° 4	0	0	0	0	1	1
Bit N° 5	0	0	0	1	0	1
Bit N° 6	1	0	1	1	1	0
Bit N° 7	0	0	1	1	0	0
Bit de paridad vertical	0	1	0	0	1	0

CONTROL DE PARIDAD ENTRELAZADA O CICLICA

Proporciona un nivel de detección de errores de calidad superior al de paridad vertical y menor al longitudinal.

Por cada caracter de 8 bits, el primer bit proporciona la paridad de los bits 1, 3 y 5, mientras que el segundo bit proporciona la paridad de los bits 2, 4 y 6



DETECCION POR ADICION DE INFORMACION REDUNDANTE

Cuando se deben transmitir en red WAN o LAN, para la detección de errores se utilizan esquemas que se basan en adicionar al mensaje o paquete información redundante que nos permita determinar si se produjo un error o no.

El proceso funciona así:

1. El transmisor le aplica un algoritmo definido al mensaje, esto nos da como resultado una cantidad K bits redundantes
2. El mensaje se envía junto a los K bits
3. El receptor recibe el mensaje y los K bits
4. Aplica el algoritmo nuevamente al mensaje, y compara el resultado con los K bits enviados junto al mensaje
5. Si los K bits coinciden acepta la información como válida, sino la rechaza debido a que hubo un error

DETECCION POR METODO DE SUMA DE VERIFICACION (Checksum)

Este método se utiliza en numerosos protocolos utilizados en redes de área extensa, en especial los utilizados en Internet con el protocolo TCP/IP

Se van sumando bits adyacentes o bien se ordenan de dos en dos formando palabras de 16 bits, con el resultado obtenido que serán 8 o 16 bits se calcula el complemento a 1 (los ceros pasan a uno y los uno a ceros). Este valor obtenido es enviado en el campo que el protocolo tiene asignado para los bits de verificación. Y cuando llega el receptor, este repite la suma y compara que el resultado sea el mismo que el enviado en el campo del protocolo.

Es utilizado por los siguientes protocolos:

- **TCP (Transmission Control Protocol):** TCP utiliza una suma de verificación para verificar la integridad de los segmentos de datos enviados entre un emisor y un receptor.
- **UDP (User Datagram Protocol):** UDP también utiliza una suma de verificación para garantizar la integridad de los datagramas transmitidos.
- **IPv4 (Internet Protocol versión 4):** El encabezado de los paquetes IPv4 incluye un campo de suma de verificación que se usa para detectar errores en el encabezado del paquete.
- **ICMP (Internet Control Message Protocol):** ICMP utiliza suma de verificación para asegurar que los mensajes de control, como los de eco (ping), lleguen sin errores

DETECCION POR METODO DE CONTROL POR REDUNDANCIA CICLICA(CRC/POLINOMIAL)

Utiliza un algoritmo matemático para verificar. Consiste en dividir en el equipo transmisor el mensaje de información por un polinomio (generador) conocido en ambos extremos de la comunicación. En ella no hay términos de acarreo para la suma, ni de préstamo para la resta; estas operaciones se conocen como de **OR exclusivo**.

- **Selecciona el Polinomio Generador (G):** Define el polinomio generador que se utilizará para calcular el CRC. Ambos el emisor y el receptor deben conocer este polinomio.
- **Extiende los Datos:** Toma el bloque de datos binarios y añade ceros al final. El número de ceros debe ser igual al grado del polinomio generador

(la cantidad de bits en el generador menos 1).

- **División Binaria (XOR):** Divide el bloque de datos extendido por el polinomio generador usando operaciones XOR para cada bit. Esta operación continúa hasta encontrar el resto abajo de los bits agregados.
- **Obtener el Resto (CRC):** El resto de esta división es el valor CRC. Este resto se añade al final de los datos originales antes de la transmisión.
- **Verificación en el Receptor:** En el receptor, se realiza la misma división de los datos recibidos (incluyendo el CRC). Si el resto de esta división es cero, los datos son válidos; de lo contrario, se ha detectado un error.

1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1		
1	0	0	1						1	0	1	0	1	1
	0	1	0	1										
	0	0	0	0										
		1	0	1	0									
		1	0	0	1									
			0	1	1	0								
			0	0	0	0								
				1	1	0	0							
				1	0	0	1							
					1	0	1	0						
					1	0	0	1						
						0	1	1						

Me muevo hasta el primer uno a la izquierda y divido hasta que quede el resto abajo de los ceros agregados por grado.

Es utilizado por los siguientes protocolos:

- ETHERNET
- USB(UNIVERSAL SERIAL BUS)
- ATM(ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE)
- BLUETOOTH

CORRECCION

Una vez que hemos utilizado algunas de las técnicas de detección y detectamos un error, debemos corregirlo.

En la mayoría de los sistemas teleinformáticos la corrección de los errores es un hecho casi imprescindible. Hay dos estrategias fundamentales para la corrección de errores:

CORRECCION HACIA ATRAS

Consiste en el uso de sistemas detectores de errores, una vez que el equipo detecta un error solicita al equipo transmisor la repetición del bloque que contenía el error, de allí la llamada corrección hacia atrás.

Este sistema implica la retransmisión de los datos tantas veces como sea necesario, hasta que se reciban libres de errores. De allí la importancia de una buena selección de la velocidad de modulación para el caso de las transmisiones por canales analógicos.

En esta técnica podemos utilizar un sistema llamado Automatic Retransmission Request (ARQ), que solo se utiliza entre dos estaciones. Este sistema se suele denominar control por medio del eco o echo checking.

Asumiendo que el enlace es posible, este método nos permite una transmisión libre de errores puesto a que el sistema se encargara de pedir la retransmisión automáticamente detecte un error.

CORRECCION HACIA ADELANTE

Esta técnica, denominada Forward Error Control (FEC), se basa en el uso de códigos autocorrectores diseñados sobre la base de sistemas de codificación redundante, que corrigen los errores detectados en la misma estación que recibió el bloque de datos.

Funciona en el modo denominado división de tiempo (time diversity) y permite que cada mensaje se envíe dos veces, intercalando los caracteres en diferentes instantes.

En consecuencia, la estación receptora tiene dos oportunidades de recibir cada carácter en forma correcta.

CORRECCION MEDIANTE EMPLEO DE CODIGOS AUTOCORRECTORES

Se basan en codigos con suficiente redundancia que en el caso de que se detecte un error se puede reconstruir sin la necesidad de la retransmision.

La redundancia se extiende desde unos pocos bits hasta llegar en algunos casos al doble o aun a una cantidad mucho mayor de los necesarios para transmitir un carácter.

Se define como distancia de Hamming al número de bits en que difieren dos secuencias binarias S1 y S2 de la misma longitud.

Conjunto	Representa	Secuencia binaria	Distancia de Hamming
S ₁	B	0100001	---
S ₂	C	1100001	1
S ₃	D	0010001	2
S ₄	E	1010001	3
S ₅	U	1010101	4

La distancia de Hamming nos permite inferir en la capacidad de deteccion y correccion de errores en funcion al valor de la misma .En la figura se indica la relación entre el valor de H y la capacidad de detección y corrección de errores.

Distancia de Hamming	Errores	
	Corrección	Corrección
1	no	no
2	uno	no
3	dos	uno
4	tres	uno

De aqui nace el CODIGO DE HAMMING que nos permite detectar y corregir errores mediante el empleo de bits de paridad con determinadas combinaciones únicas de bits de información, los pasos son los siguientes:

- **Determina el Número de Bits de Paridad (r):**

- Para un mensaje de m bits de datos, encuentra el número r de bits de paridad tal que $2^r \geq m+r+1$.
- **Coloca los Bits de Paridad en las Posiciones de Potencias de 2:**
 - Los bits de paridad se ubican en posiciones que son potencias de 2 (1, 2, 4, 8, etc.), y los bits de datos ocupan las posiciones restantes.
- **Calcula los Valores de los Bits de Paridad:**
 - Cada bit de paridad controla varias posiciones y asegura que la cantidad de bits con valor 1 en su grupo sea par. Se calculan de esta manera:
 - P1: verifica las posiciones 1, 3, 5, 7, etc.
 - P2: verifica las posiciones 2, 3, 6, 7, etc.
 - P4: verifica las posiciones 4, 5, 6, 7, etc.
- **Genera el Mensaje Final:**
 - El mensaje completo incluye tanto los bits de datos como los de paridad calculados.
- **Verificación en la Recepción:**
 - Cuando se recibe el mensaje, se calculan nuevamente los bits de paridad.
 - Si hay algún bit de paridad incorrecto, la suma de sus posiciones identifica la posición del bit erróneo, que se puede corregir cambiándolo

EJEMPLO

Ejemplo Hamming(11,7)

Dato a transmitir = 1000101

	0001 P1 1	0010 P2 2	0011 D1 3	0100 P3 4	0101 D2 5	0110 D3 6	0111 D4 7	1000 P4 8	1001 D5 9	1010 D6 10	1011 D7 11
DATA	X	X	1	X	0	0	0	X	1	0	1
P1	1		1		0		0		1		1

En este caso tengo un hamming (11, 7), eso quiere decir que de 11 bits 7 son de datos, para eso primero pongo los bits de paridad en las posiciones iguales a las potencias de 2, en este caso (1, 2, 4 y 8), y luego le voy calculando la paridad de cada posición que tenga un 1 en la posición donde está representada mi potencia de dos, ej: para el p1(0001) calculo la paridad para cualquier posición de bit de datos que tenga un uno en la última posición (0011, 0101, 0111, 1001, 1011)

Y así sucesivamente con las demás posiciones de paridad (0010, 0100, 1000)

MEDIOS DE COMUNICACION ALAMBRICOS

CABLES DE COBRE

Son conductores eléctricos de cobre usados ampliamente en redes de comunicación, especialmente en los últimos tramos (last mile) de redes de banda ancha.

- **Usos comunes:**
 - Redes de banda ancha con tecnología xDSL.
 - Comunicación telefónica y conexiones a Internet en áreas de acceso limitado a fibra óptica.
- **Ventajas:**
 - Bajo costo y amplia disponibilidad.
 - Flexibilidad en la instalación para redes locales y tramos finales de redes más grandes.
- **Desventajas:**
 - Alta susceptibilidad a interferencias electromagnéticas y ruido externo.
 - Limitaciones de ancho de banda y pérdida de señal con el aumento de distancia.

TIPOS DE CABLES DE COBRE

Líneas de Cobre Desnudas

- **Descripción:** Conductores sin recubrimiento, usualmente instalados en líneas abiertas con dos alambres en postes, protegidos solo por aisladores.
 - **Usos comunes:** Comunicación en áreas rurales y líneas de transmisión de bajo costo.
 - **Características:**
 - **Instalación:** Alambres sobre aisladores cerámicos en postes tratados para aumentar la durabilidad.
 - **Limitaciones:** Limitado en ancho de banda y expuesto a factores ambientales.
 - **Ventajas:**
 - Adecuado para largas distancias en áreas sin mucho acceso a infraestructura avanzada.
 - **Desventajas:**
 - Alto costo de mantenimiento.
 - Sensibilidad a condiciones meteorológicas, susceptibilidad al vandalismo y ruido.
 - Genera diafonía y otros ruidos debido a la falta de protección.
-

Cables de Par Trenzado

- **Descripción:** Dos cables trenzados en pares para reducir la interferencia externa, usados ampliamente en redes de telecomunicaciones.
- **Usos comunes:**
 - Redes telefónicas y de datos locales.
 - Conexiones Ethernet en LANs.
 - Circuito terminal de llegada a los usuarios.
- **Características:**
 - **Tipos:** Par trenzado sin blindaje (UTP) y blindado (STP), con normas de calibre (American Wire Gauge - AWG).
 - **Categorías:** Desde categoría 1 hasta 7, usadas según el ancho de banda necesario (Cat 5 para hasta 100 Mbps, Cat 6 y superiores para hasta 1 Gbps).

UTP - Categoría 1: (telefonía analógica, no apto para la transmisión de datos). Un solo par de cables de cobre trenzados.

UTP - Categoría 2: (telefonía analógica y digital hasta 4 Mbps).

Cuatro pares de cables de cobre trenzados.

UTP - Categoría 3: (voz y datos hasta 10 Mbps)

Redes de Área Local con tecnologías Token Ring de 4 Mbps o Ethernet. Cuatro pares de cables de cobre trenzados, con una trenza cada 10 cm. Atenuación cada 100 m: 13,1 dB a 10 Mbps.

UTP - Categoría 4: (telefonía digital hasta 20 Mbps)

Redes de Área Local con tecnologías Token Ring de 16 Mbps o Ethernet. Cuatro pares de cables de cobre trenzados.

UTP - Categoría 5 y 5e/Clase D: (voz y datos en Redes de Área Local 100BASE – T a 100 Mbps). Cuatro pares de cables de cobre trenzados.

UTP - Categoría 6 y 6A/Clase E y EA: (voz y datos hasta 1.000 Mbps)

Redes de Área Local con tecnología Ethernet.

Actualmente muy usado por rendimiento y relación de precio-calidad.

Categoría 7 y 7A/Clase F y FA:

Mínimo de atenuación/diafonía a la interferencia en valores de 600 MHz y 1.000 MHz.

Construcción blindada brinda una excelente compatibilidad electromagnética (disminuye los efectos del acoplamiento entre elementos eléctricos o electrónicos).

- **Ventajas:**

- Económicos y fáciles de instalar, especialmente los UTP.
- Uso flexible y amplio en redes locales.

- **Desventajas:**

- UTP es susceptible a interferencias y ruido.
- Ancho de banda limitado, especialmente en cables de baja categoría.
- Los cables STP, aunque ofrecen mayor inmunidad, tienen un costo más elevado.

Cables Multipares

- **Descripción:** Cables con múltiples pares trenzados, ideales para transportar múltiples señales a la vez, tienen un número variable de pares trenzados. Se instalan en forma subterránea, aérea o utilizando ductos.

- **Usos comunes:**

- Redes telefónicas, instalaciones subterráneas y aéreas.
- Distribución en áreas con múltiples conexiones como edificios y redes internas.

- **Características:**
 - **Configuración:** Número variable de pares (normalizados en grupos de 6 a 2200 pares).
 - **Instalación:** Subterráneos o en ductos para protección, o en tendido aéreo.
 - **Ventajas:**
 - Soportan múltiples conexiones simultáneas.
 - Flexibles en su aplicación para diversas necesidades de telecomunicaciones.
 - **Desventajas:**
 - Complejidad y costo elevado de mantenimiento en instalaciones subterráneas.
 - Limitaciones de ancho de banda en tramos largos y complejos.
-

Cables Coaxiales

- **Descripción:** Cables con un conductor central rodeado por un aislante y un conductor externo, generalmente usados para señales de televisión y redes locales antiguas.
- **Usos comunes:**
 - Distribución de televisión por cable (CATV).
 - Redes de datos antiguas, reemplazadas actualmente por cables UTP y fibra óptica.
 - En algunos lugares se le dio uso en electricidad, para tratar de evitar el fraude eléctrico al dificultar el que se enganchara a la red.
 - Existieron los cables coaxiales submarinos, pero fueron reemplazados por las fibras ópticas.
- **Características:**
 - **Construcción:** Conductor central y externo concéntricos, fabricados generalmente con cobre.
 - **Parámetros:** Impedancia característica, frecuencia operativa y atenuación calculada en base a la geometría del cable.

- **Ventajas:**
 - Alta inmunidad a interferencias externas.
 - Ancho de banda suficiente para transmisión de televisión y datos.
 - **Desventajas:**
 - Costo y dificultad de instalación.
 - Peso considerable y dificultad de manejo en largas distancias.
-

FIBRAS OPTICAS

Fibras de vidrio o plástico que transportan luz infrarroja para transmitir información a altas velocidades.

- **Usos comunes:**
 - Redes de Área Extendida (WAN), redes urbanas, televisión por cable, y cableado estructurado.
 - Instalaciones en ambientes de alta radiación electromagnética o condiciones climáticas difíciles.
 - Instalacion de cables submarinos
- **Características:**
 - Esta compuesta por dos capas: el nucleo o core y el recubrimiento o clad, cada capa tiene un indice de refraccion, y para que la luz no se escape del nucleo este indice debe ser siempre mayor en el nucleo que en el recubrimiento, para perdidas minimas la relacion entre estos 2 indices debe ser del 1%.
 - **Tipos:**

Fibra Óptica Monomodo

La fibra óptica monomodo, con un núcleo de aproximadamente 9 micrómetros, permite la transmisión de la luz en un solo modo, minimizando la dispersión y manteniendo la señal clara en largas distancias. Es ideal para telecomunicaciones y redes de alta capacidad, ya que soporta velocidades muy altas y puede cubrir kilómetros sin repetidores, aunque requiere fuentes de luz precisas como láseres y es más costosa.

Fibra Óptica Multimodo

La fibra óptica multimodo tiene un núcleo más amplio (50 o 62.5 micrómetros), lo que permite múltiples trayectorias de luz y facilita su uso en redes de corta distancia como LAN. Su mayor núcleo la hace más económica y compatible con fuentes de luz menos costosas, pero es más propensa a la dispersión modal, limitando su rendimiento en términos de alcance y ancho de banda comparado con la monomodo. Puede ser de índice GRADUAL o MODAL.

- **Parámetros:** Atenuación (pérdida de potencia óptica, Se mide en dB/km y es función de la longitud de onda)
ancho de banda (expresado en GHz/km)
dispersión modal y cromática.
- Pueden lograr velocidades de varios Tbps
- **Ventajas:**
 - Gran ancho de banda y baja tasa de errores.
 - Alta resistencia a interferencias y condiciones extremas.
- **Desventajas:**
 - Costo elevado en instalación y mantenimiento.
 - Fragilidad, requiere cuidados específicos durante la instalación y uso.

PERDIDAS EN LAS FIBRAS OPTICAS

Las pérdidas disminuyen la potencia de luz, originan reducción en el ancho de banda del sistema y se debe bajar la velocidad de transmisión.

De todos los medios físicos las fibras ópticas presentan las menores pérdidas a iguales distancias:

(Atenuaciones del orden de 0,2 dB/km para fibras monomodo).

Las causantes de estas pérdidas son las siguientes:

- **Atenuación:** Pérdida de potencia en decibelios (dB/km) que depende de la longitud de onda de la luz y puede aumentar con la temperatura.
- **Dispersión Modal:** Ocurre en fibras multimodo; los rayos de luz toman diferentes trayectorias, lo que provoca un ensanchamiento del pulso y disminuye la amplitud de la señal.

- **Dispersión Cromática:** Sucede si la luz emitida no es monocromática. Cada longitud de onda viaja a distinta velocidad, causando ensanchamiento del pulso.
- **Absorción y Radiación:** Pérdidas originadas por impurezas en el silicio o imperfecciones como dobleces en la fibra, que transforman la luz en calor o causan fugas de luz.
- **Pérdidas por Acoplamiento:** Desajustes entre partes del circuito óptico (transmisor/fibra, fibra/fibra o fibra/receptor) que reducen la potencia.
- **Dispersión de Rayleigh:** Irregularidades submicroscópicas en la fibra que difractan la luz, reduciendo la potencia transmitida.

Las fibras ópticas se utilizan principalmente en tres "ventanas" de transmisión, que corresponden a longitudes de onda donde la pérdida de señal es mínima. Estas ventanas están asociadas a ciertas longitudes de onda y se pueden obtener sus frecuencias al despejarla de la fórmula de longitud de onda, haciendo $f=c/\lambda$. Estas son:

Primera ventana:

- Longitud de onda: 850 nm (nanómetros)
- Frecuencia: 353,000GHz

Segunda ventana:

- Longitud de onda: 1310 nm (nanómetros)
- Frecuencia: 229,000GHz

Tercera ventana:

- Longitud de onda: 1550 nm (nanómetros)
- Frecuencia: 194,000GHz

Multiplexación en Fibra Óptica (WDM, DWDM, CWDM)

- **Descripción:** Permite la transmisión de múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una única fibra. Cada señal se modula en un único color dentro del espectro.

- **Usos comunes:**
 - Expansión de la capacidad de redes de fibra óptica.
 - Aplicaciones de telecomunicaciones de alta demanda donde se necesita alta capacidad de transmisión.
- **Características:**
 - **Tecnología:** WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda), DWDM (Densa WDM) y CWDM (Coarse WDM).
 - **Parámetros clave:** Incremento de capacidad sin añadir más fibras, crecimiento gradual según demanda.
- **Ventajas:**
 - Aumenta significativamente la capacidad sin necesidad de instalar más fibra.
 - Facilita el escalamiento de las redes de acuerdo con las necesidades de transmisión.
- **Desventajas:**
 - Costosa y compleja de implementar.
 - Necesita mantenimiento especializado para evitar interferencias en los canales multiplexados.

MEDIOS DE COMUNICACIONES INALAMBRICOS

Las comunicaciones inalámbricas o también llamadas radiocomunicaciones, intercambian información mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas en el AIRE o en el VACÍO como dieléctrico (aire o vacío, la velocidad es la misma). Esto sucede mediante ondas de radio que se propagan concéntricamente a la velocidad de la luz (circa 300.000 km/s) cuando se aplica una señal a una antena.

PROPAGACION DE LAS ONDAS DE RADIO

La propagación es el conjunto de fenómenos por los cuales las ondas conectan 2 puntos distantes geográficamente a través de medios dieléctricos. Las ondas se propagan en función de su frecuencia de emisión de acuerdo a los siguientes modos:

PROPAGACION POR ONDA TERRESTRE

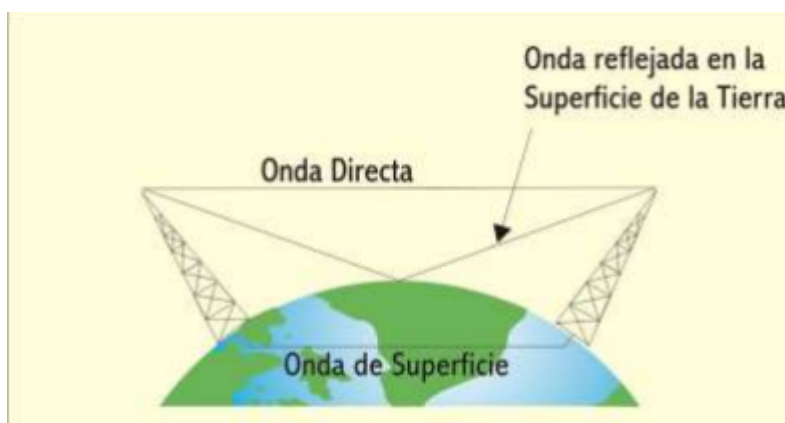
Es una combinación de la propagación por onda de superficie y por la onda espacial.

La onda espacial tiene dos componentes:

- Onda directa (o transmisión por línea de vista)
- Onda reflejada en la superficie de la Tierra.

Ambas parten simultáneamente de la antena emisora.

La onda reflejada llega más tarde por lo que puede generar interferencia. Y la diferencia entre las distancias determina la intensidad de la señal en el receptor.



PROPAGACION POR ONDA REFLEJADA ESPACIAL O IONOSFERICA

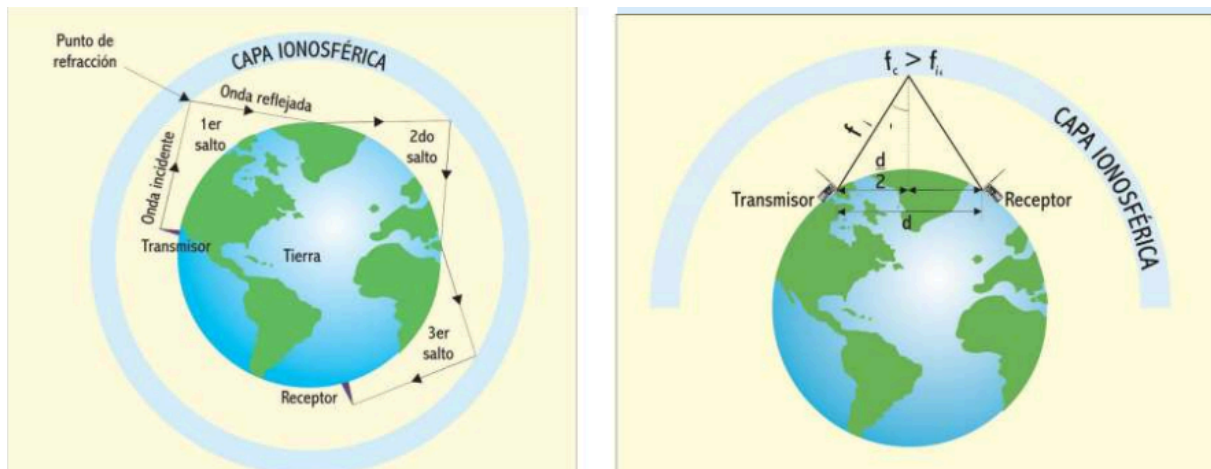
Las capas ionizadas por las ondas ultravioletas de la atmósfera (ionósfera) forman un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre que causan una propagación diferente.

Las antenas emiten radiación electromagnética que se dirige a la ionosfera con un ángulo incidente (α). La propagación depende de:

frecuencia, ángulo de emisión, altura y densidad de ionosfera.

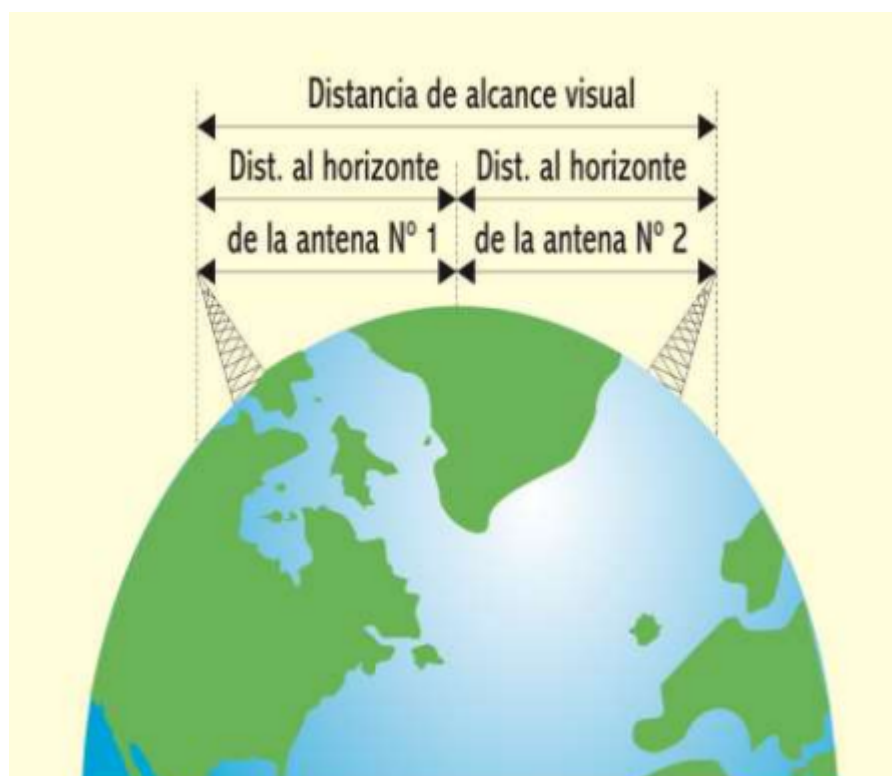
Luego de ser emitida la onda choca contra la ionosfera, donde puede ser reflejada directamente hacia el receptor o puede golpear contra la tierra y

nuevamente contra la ionosfera multiples veces como sea necesario para alcanzar al receptor. Esto va a depender de los parametros de propagacion.



PROPAGACION POR ONDA DIRECTA

Propagación en línea recta: la onda viaja sin tocar el terreno ni la ionosfera. Se usa en bandas de frecuencias muy elevadas, frecuencias ultra elevadas y superiores.



Para lograr esto debemos definir 2 parametros importantes

DISTANCIA AL HORIZONTE(D en km): Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra. Se calcula con la siguiente formula;

$$D = 3,61\sqrt{H}$$

Donde H es la altura de la antena en metros

AUNQUE SI TENGO EN CUENTA LA ACCION DE LA ATMOSFERA LA CONSTANTE PASA A 4,14

$$D = 4,14\sqrt{H}$$

DISTANCIA DE ALCANCE VISUAL: Es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas, sobre la superficie de la Tierra si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta

SATELITES

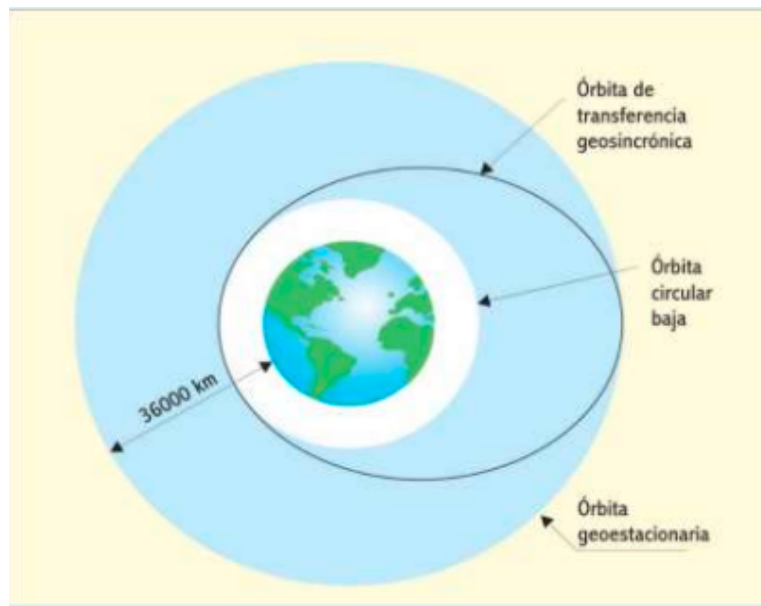
Se usan uno o más satélites como punto medio para lograr la reflexión de las ondas para llegar a un punto distantes sin alcance visual.

Para permanecer en orbita un satellite debe mantener un fuerza centrifuga que iguale a la fuerza de atraccion de la tierra.

Estos son repetidores desde y hacia la tierra, y su zona de cobertura depende de:

- La órbita
- La antenas
- La potencia de transmisión

Hay sistemas con satélites ubicados en otras orbitas, medias y bajas.



SATELITES DE ORBITA BAJA(LEOS)

A 800km de la tierra(órbita cada 90 minutos), para una estación terrestre permanece pocos minutos disponible, por lo que se necesitan de 50 a 100 satélites orbitando para mantener un servicio continuo. Son de menor consumo y costo pq requieren bajas potencias de transmisión y sus lanzamientos son de bajo costo debido a su baja altura. La recepción la pueden efectuar antenas omnidireccionales y tienen un bajo delay,(10 ms) por lo que los hacen aptos para comunicaciones móviles personales.

SATELITES DE ORBITA MEDIA

Permanece disponible entre una y dos horas(órbita de 6 a 8 horas), por lo que son necesarios 10 satélites a 45 grados respecto al ecuador para mantener un servicio continuo. Requieren mayores potencias de transmisión, los lanzamientos son de menor costo que los geoestacionarios pero mayores que los de baja órbita. Y tienen un delay de 70 ms.

SATELITES DE ORBITA GEOESTACIONARIA

Tienen una órbita igual a la de la tierra, por lo que permanecen fijos en un espacio dándole disponibilidad las 24 horas, para un servicio continuo basta con un solo satélite si ambos puntos se encuentran bajo él, o idealmente solamente 3 satélites para cubrir toda la tierra. Requieren altas potencias de transmisión,

antenas costosas del tipo parabólico, y amplificadores de bajo ruido (LNA). Los lanzamientos son muy costosos, la cantidad que pueden orbitar en este espacio es limitada por temas de interferencias(en telefonía obliga a uso de canceladores de eco) y el delay es muy alto(480 ms).

MICROONDAS

Trabajan en la banda de frecuencias ultra elevadas(UHF). Usan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto entre dos estaciones.

Si no están en la misma visual deben utilizar estaciones repetidoras intermedias para armar circuitos de varios miles de kilómetros. La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. La Tierra difracta las señales y pueden alcanzar distancias más allá del horizonte

Intervalo de frecuencias expresados en GHz	Longitud de salto expresados en km
1,5 a 2,5	60
4 a 6	50
7 a 8	45
11 a 13	25 a 35
15 a 20	10 a 20
30	5
40 a 60	2 a 0,5

La capacidad es elevada y multiplexando el ancho de banda se pueden transmitir, señales de velocidades muy elevadas.

Las estaciones intermedias reciben el nombre de estaciones repetidoras y pueden ser activas o pasivas encargandose de repetir/retransmitir y amplificar o regenerar.

La instalación requiere de la autorización de una entidad reguladora.

GUIAS DE ONDA

Son tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior.

Tienen menos pérdidas a mayor frecuencias de Ghz que a comparación de los cables de cobre.

Dentro tienen un gas dieléctrico por donde se propagan las ondas, cuanto menor sea la longitud de onda mayor las pérdidas.

No son prácticamente utilizadas hoy en día.

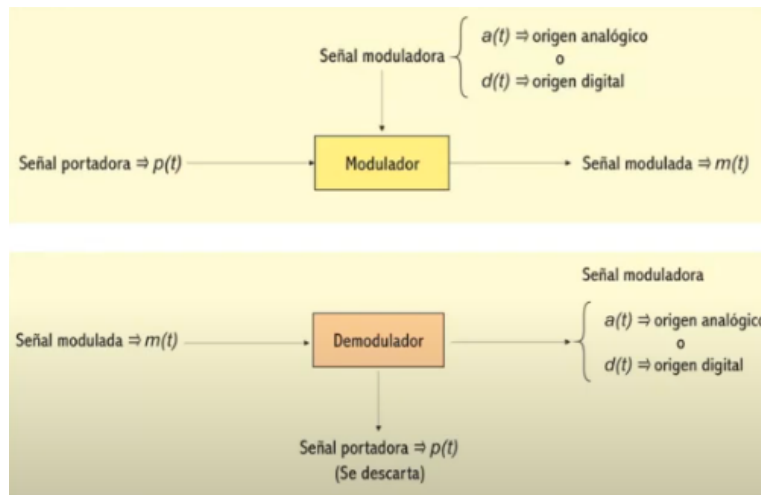
LASER

Son enlaces ópticos sin cables con emisores de un haz de luz coherente que permite transmitir señales. Está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz (decena de kilómetros). El láser permite comunicaciones con gran ancho de banda.

Hay limitaciones en la atmósfera por turbulencias, niebla, lluvia, humedad, etc. En el espacio puede ser un medio de muy alta eficacia.

MODULACION

La modulación es la operación mediante la cual uno modifica ciertas características de una onda/señal portadora mediante otra señal llamada moduladora que es la que contiene la información que queremos transmitir. La señal portadora es la que vamos a utilizar solo para transportar la información. Ambas entran al modulador y se transforman en la señal modulada que es la que viajara por los medios de transmisión.



En la demodulacion, un demodulador es capaz de recibir la señal modulada y extraer tanto la señal portadora(que se descarta puesto que ya no es necesario) y la señal moduladora original que nos permite obtener toda la informacion transmitida.

METODOS DE MODULACION

Se dividen en 2 grandes grupos. Modulacion por onda continua y Modulacion por pulsos. Y va a cambiar dependiendo de si la señal moduladora y portadora son analogicas o digitales(incluso pueden ser diferentes entre ellas, dando como resultado esta tabla).

	p(t) Portadora Analógica	p(t) Portadora Digital
s(t) Moduladora Analógica Información	AM FM PM m(t): Modulada Analógica	PAM PDM PPM m(t): Modulada Analógica
s(t) Moduladora Digital Información	ASK FSK PSK m(t): Modulada Analógica	PCM DELTA DELTA Adaptativa m(t): Modulada Digital

$s(t)$: Moduladora \rightarrow Información

$p(t)$: Portadora

$m(t)$: Modulada

MODULACION POR ONDA CONTINUA(portadora analogica)

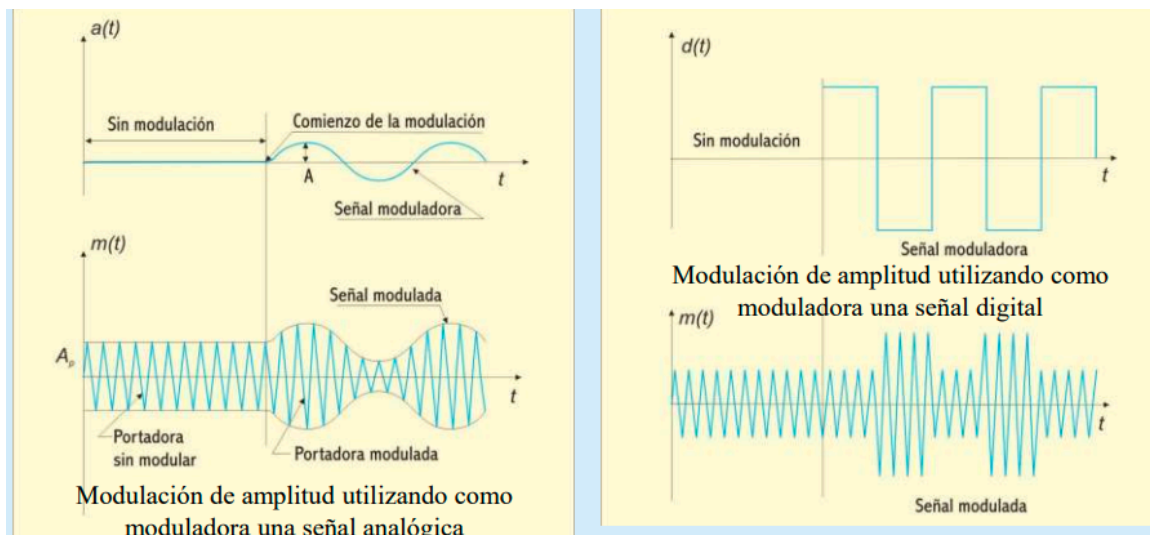
Se denomina modulación por onda continua al proceso por el cual una señal denominada portadora, cuya forma de onda es sinusoidal, modifica su amplitud, frecuencia o fase en función de la señal moduladora, la cual contiene la información a transmitir.

Dentro de la modulación por onda continua tenemos varios tipos:

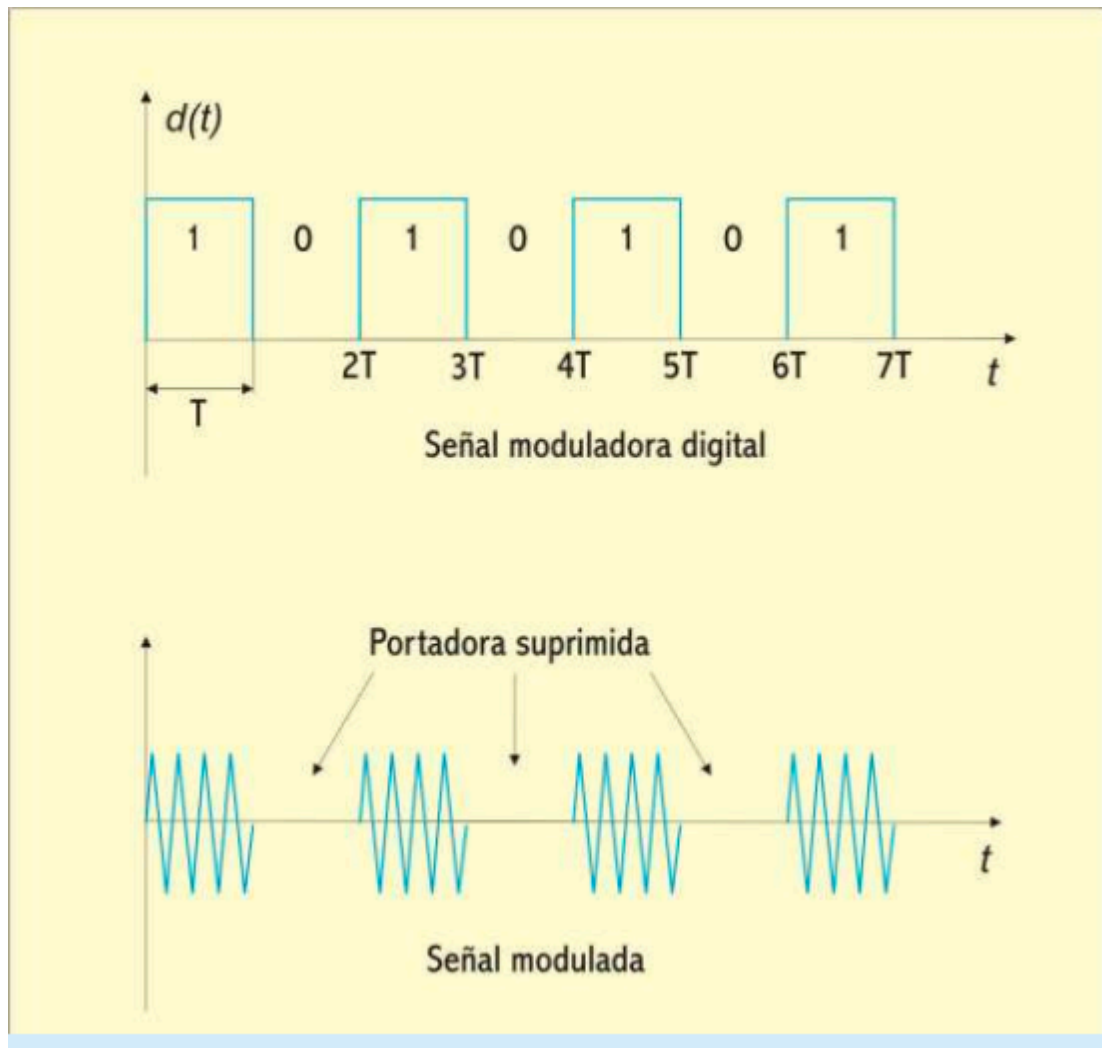
MODULACION DE AMPLITUD

Es aquella donde el parametro principal que de la señal sinoidal de la portadora que se hace variar es la amplitud. Cuando la señal moduladora es de origen analogico esta modulación se denomina AM. Cuando la señal moduladora es de origen digital se denomina ASK. Si bien hoy en día ya no se utiliza exclusivamente en la transmisión de datos se continua usando en radiocomunicaciones y telefonía. Existen dos tipos de modulación de amplitud:

- Por Variación del nivel de la onda portadora

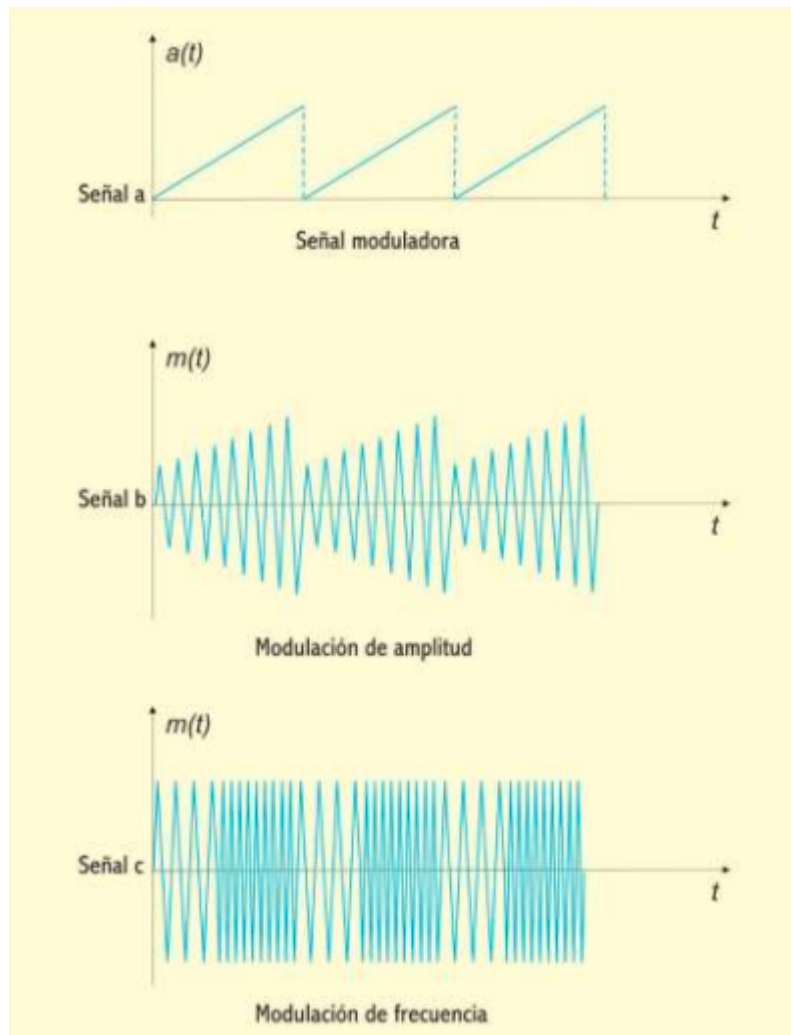


- Por Supresión de la onda



MODULACION DE FRECUENCIA

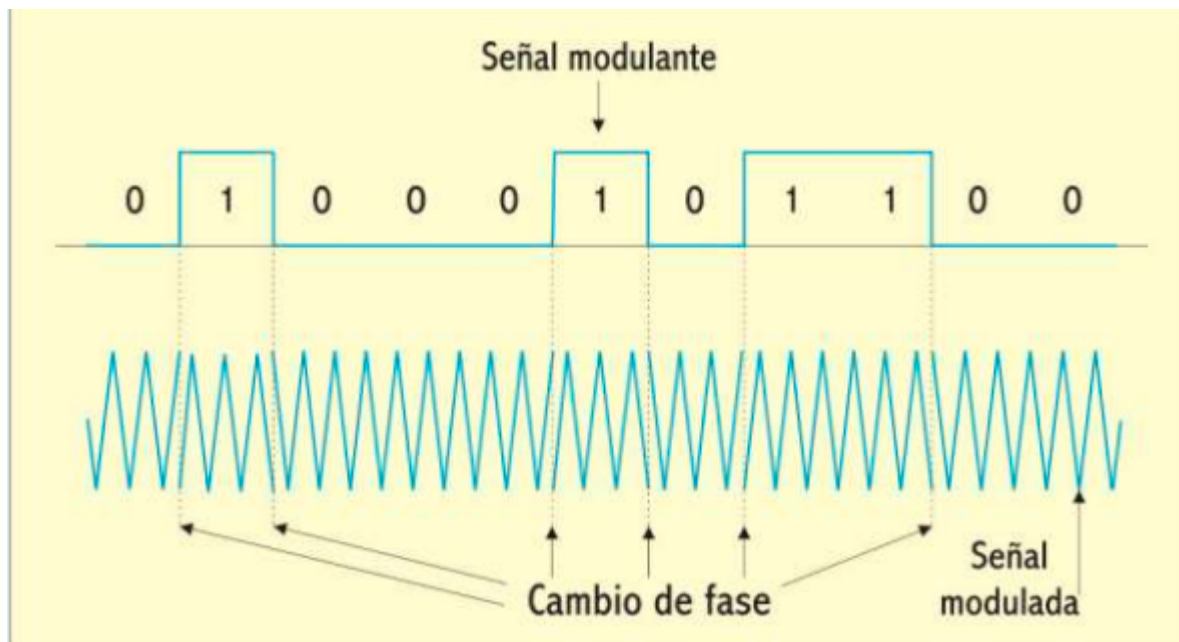
Es aquella en la cual el parametro de la onda sinoidal de la portadora que se hace variar segun la señal moduladora es la frecuencia. Cuando la señal moduladora es de analogica se denomina FM. Cuando es de origen digital se denomina FSK.



MODULACION DE FASE

Es aquella donde el parametro principal de la onda senoidal de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora se mantienen constantes. Hay dos tipos de alternativas para este tipo de modulación:

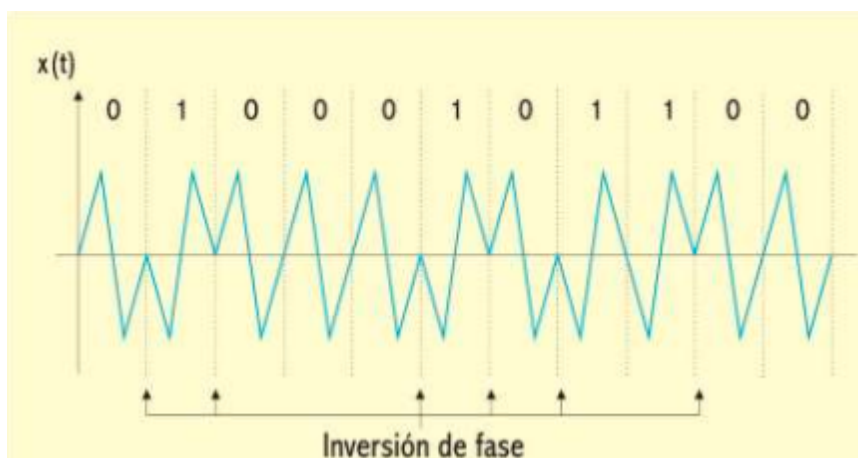
- PSK CONVENCIONAL: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora sin modular.
- PSK DIFERENCIAL: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora del estado inmediatamente anterior al considerado.



Podemos ver que cuando hay un cambio en la señal modulante se genera un cambio en la fase de la modulada.

Un sistema modulador que opera en 2 PSK se puede comparar con una llave electrónica que, controlada por la señal de datos (binaria), conmuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°)

Asimismo, para mayor claridad se representa la forma de onda de la portadora correspondiente al esquema anteriormente indicado y que pertenece a una sucesión binaria cualquiera donde exista por lo menos una transición entre 0 y 1 o 1 y 0, según se puede observar en la figura



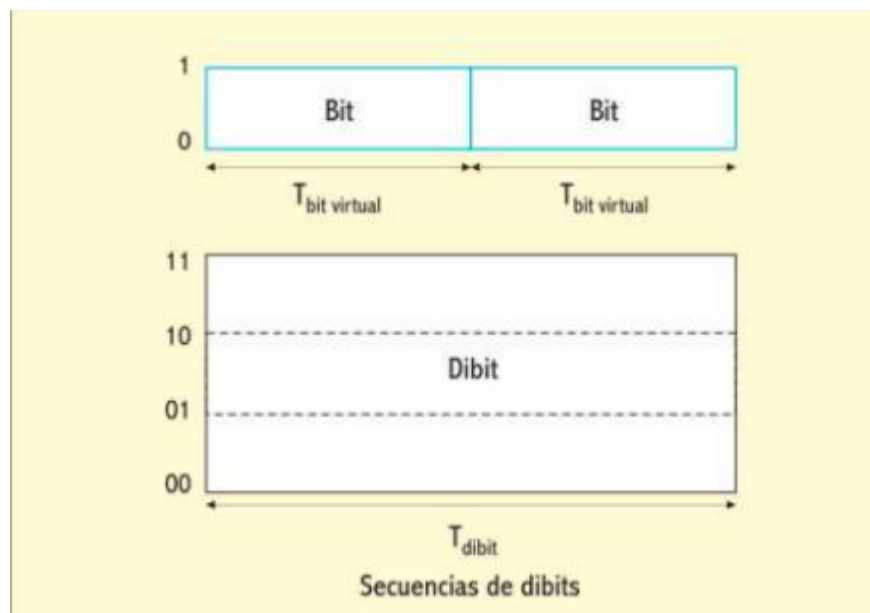
MODULACION MULTIFASE

En este sistema la fase de la onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre si por un angulo definido por la expresion:

$$\theta = \frac{2\pi}{M}$$

Donde M puede tomar los valores enteros de la cantidad de fases que queremos, por ejemplo con M=4 tenemos 4 PSK, por lo tanto la portadora puede tomar 4 valores diferentes de fase correspondientes a las 4 posibles combinaciones de una secuencia de 2 bits

Nº de Secuencia	Secuencia de bits	Fase asignada
1	00	0°
2	01	90°
3	11	180°
4	10	270°



En la figura se puede observar que en un periodo de transmisión de un dibit se están transmitiendo en realidad dos bits. Comparando el método 2 PSK con el 4 PSK se puede observar que el ancho de banda de este ultimo es la mitad que

el correspondiente al primer método. El sistema 4 PSK es mas sensible a los fenómenos denominados de interferencia, que aumentan la tasa de error (relación entre los bits con error sobre el total de bits transmitidos) en la transmisión.

Podemos llegar a tener 4 psk(dibit), 8 psk(tribit), 16 psk(cuatribit). En cada uno va variando la cantidad de bits que se transmiten a la vez y se van añadiendo mas fases que lo representan.

MODULACION POR PULSOS(portadora digital)

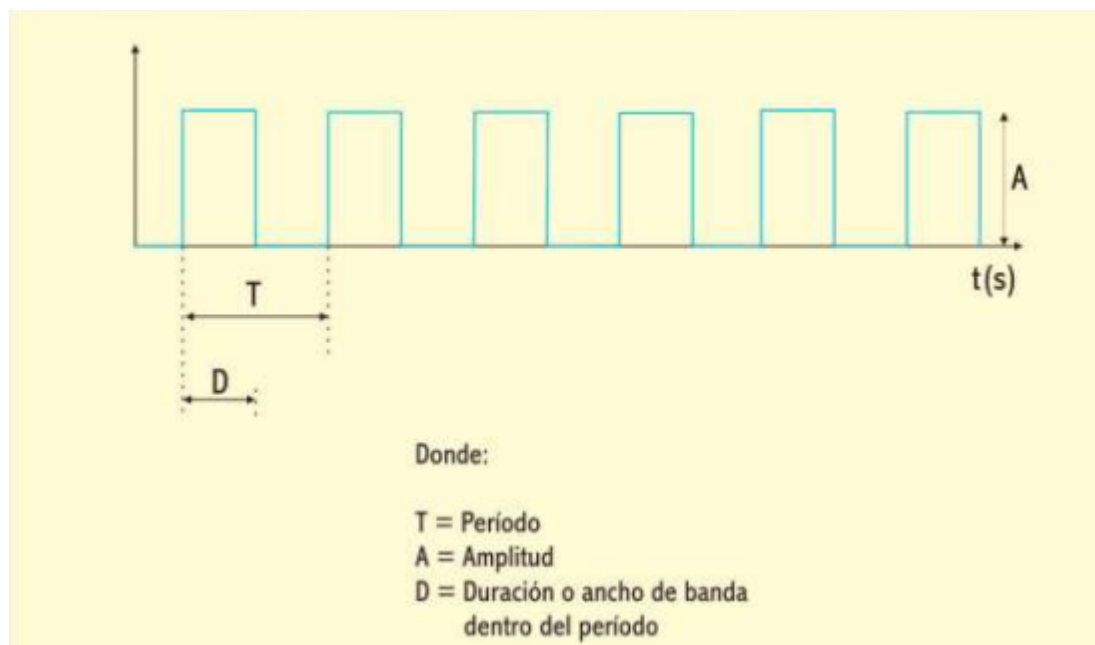
Se denomina modulación por pulsos a la modificación, por medio de una señal moduladora, de una señal portadora constituida por un tren de pulsos. Dicha modulación modifica alguno de los parámetros que caracteriza dicho tren de pulsos.

Los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

Amplitud.

Periodo.

Posición del pulso.

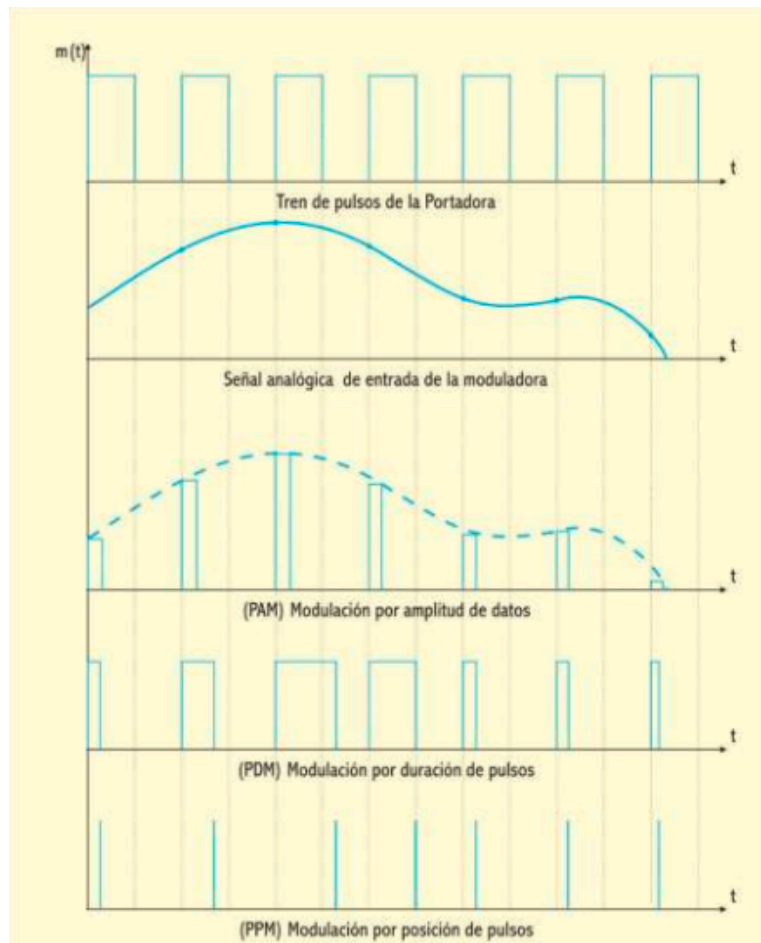


MODULACION POR PULSOS ANALOGICA

Se denomina modulación por pulsos analógica a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal

moduladora ANALOGICA. Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos llamados:

- Modulación de Amplitud de Pulso - PAM: la señal de salida aumenta o disminuye su amplitud siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso, la duración de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal.
- Modulación por Duración de Pulso - PDM: La señal de salida aumenta o disminuye la duración de su periodo siguiendo la forma de la señal analógica moduladora.
En este caso, la amplitud de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal y
el parámetro que se esta modulando es el tiempo. la ventaja de que la amplitud de los pulsos
es constante, pero el inconveniente de que el ancho de banda requerido es mucho mayor que el que utiliza la PAM
- Modulación por Posición de Pulso - PPM: la señal de salida se retarda o avanza (la ubicación del pulso se altera) en correspondencia con la variación de la señal analógica moduladora. En este caso, el ancho y la amplitud de los pulsos permanecen inalterados. Presenta una ventaja adicional a la modulación PDM pues la información reside en la posición del tiempo de los bordes de los pulsos, no en los mismos pulsos en si.



los ultimos 2 se utilizan para propositos militares

MODULACION POR PULSOS DIGITAL

Se denomina modulación por pulsos de tipo digital a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora DIGITAL.

Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos denominados:

- Modulación por Pulsos Codificados - PCM: La modulación por pulsos codificados, o PCM, es un método en el que la información analógica se transmite en forma digital a través de un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación. En un sistema PCM, el transmisor incluye etapas como filtros pasa bajos, muestreadores, cuantificadores y codificadores para procesar la señal de entrada, mientras que el receptor realiza una regeneración de la señal, la decodifica y la pasa por un filtro para reconstruir la señal original. Esta técnica es ampliamente utilizada en telecomunicaciones, ya que facilita el tratamiento y la transmisión de señales digitales en redes de datos.

- La modulación delta (DM) es una técnica en la que se genera una onda escalonada que sigue las variaciones de la señal de entrada. Para construir esta señal escalonada, se utilizan impulsos de polaridad constante o variable: cuando los impulsos tienen la misma polaridad, la señal aumenta, y cuando tienen polaridad opuesta, la señal disminuye. Esta modulación es útil en aplicaciones de transmisión de señales donde es suficiente representar los cambios de la señal en lugar de su valor absoluto en cada punto, como en ciertos sistemas de compresión de datos de voz. También existe la modificación de delta diferencial.

DIGITALIZACION: Antes todas las redes de comunicaciones eran analógicas pero con el tiempo y la tendencia es que se fueron transformando en digitales hasta el punto que algún día serán puramente digitales.

MUESTREO

Uno de los primeros sistemas que introdujo el concepto de muestreo en la transmisión de señales fue el "Teléfono de Reis," desarrollado en 1861. Este dispositivo, creado por Johann Philipp Reis, utilizaba un contacto de platino acoplado a un diafragma que abría o cerraba un circuito en respuesta a las vibraciones del sonido. Este mecanismo permitió una forma rudimentaria de transmisión de audio, sentando las bases para el desarrollo de tecnologías de muestreo más avanzadas que se utilizan hoy en día en telecomunicaciones y procesamiento de señales.

Aplicación del Teorema de Nyquist (Teorema del Muestreo)

El Teorema de Nyquist establece que una señal analógica puede ser completamente reconstruida a partir de sus muestras si se muestrea a una frecuencia al menos igual al doble de su frecuencia máxima ($2 \times f_{\text{max}}$). Esta frecuencia mínima de muestreo es conocida como la Frecuencia de Nyquist. Este principio es fundamental en sistemas de transmisión de datos y comunicaciones digitales, ya que asegura que la señal original pueda ser recuperada sin pérdidas significativas si se cumplen las condiciones de muestreo.

Cuantificación

La cuantificación es el proceso que convierte los valores continuos de amplitud de una señal previamente muestreada en un conjunto de niveles discretos predeterminados. En términos prácticos, cada muestra de la señal toma un valor que corresponde a un número natural dentro de un conjunto específico, conocido como niveles cuánticos. Usualmente, estos niveles se establecen en potencias de 2, como 64, 128 o 256, para facilitar el procesamiento digital. Este paso es esencial en sistemas de transmisión digital, ya que convierte una señal analógica en una forma que puede ser codificada en formato binario y transmitida a través de medios digitales.

Error de cuantificación

El proceso de cuantificación introduce una diferencia inevitable entre la señal original y su versión cuantificada, conocida como el "error de cuantificación". Dado que la cuantificación implica asignar valores discretos a muestras continuas, esta diferencia genera una leve distorsión de la señal original, un efecto también denominado "ruido de cuantificación".

Tipos de cuantificación

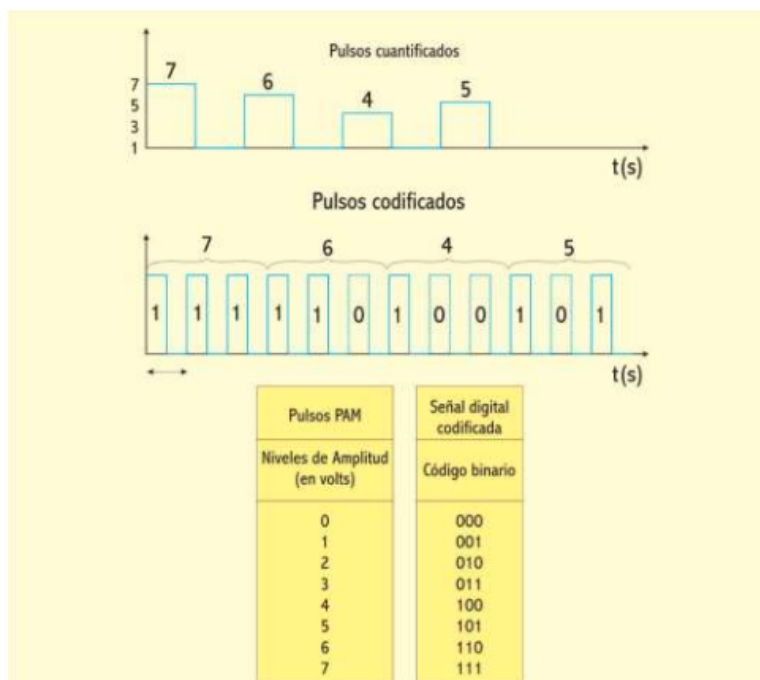
Existen dos tipos principales de cuantificación: uniforme y no uniforme. En la cuantificación uniforme, todos los niveles cuánticos tienen la misma medida, manteniendo constante el error de cuantificación en toda la señal. Este método es ideal para sistemas que requieren bajos niveles de error, ya que el error de cuantificación es independiente del valor de entrada. Sin embargo, en situaciones donde la señal de entrada tiene niveles bajos (como en la telefonía, donde la intensidad de la voz puede variar considerablemente), se utiliza la cuantificación no uniforme. Este método comprime los niveles cuánticos cerca de cero y los expande hacia los valores extremos, mejorando la precisión en señales de baja amplitud.

Leyes de Cuantificación (Ley μ y Ley A)

Las leyes de cuantificación, como la Ley μ y la Ley A, aplican características logarítmicas para ajustar la relación entre señal y ruido en la cuantificación. Su objetivo es mantener una relación señal/ruido constante sin importar el nivel de la señal. En la práctica, estas leyes no se implementan de manera exacta, sino que se dividen en segmentos lineales (13 para la Ley A y 15 para la Ley μ) para reducir los costos de implementación. La cuantificación no uniforme, que estas leyes ayudan a definir, permite asignar más niveles cuánticos a señales de baja amplitud para reducir el ruido, mientras que para señales de alta amplitud, se utilizan menos niveles cuánticos para mantener la relación señal/ruido.

Codificación

El proceso de codificación lo definiremos como aquel que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante.



MULTIPLEXACION

La multiplexación del ancho de banda disponible es una solución que permite agrupar, en un mismo medio de comunicaciones, canales diferentes que inclusive podrían prestar servicios diversos, de manera que permita aprovechar la totalidad del ancho de banda disponible, haciendo mas rentables y eficientes las comunicaciones.

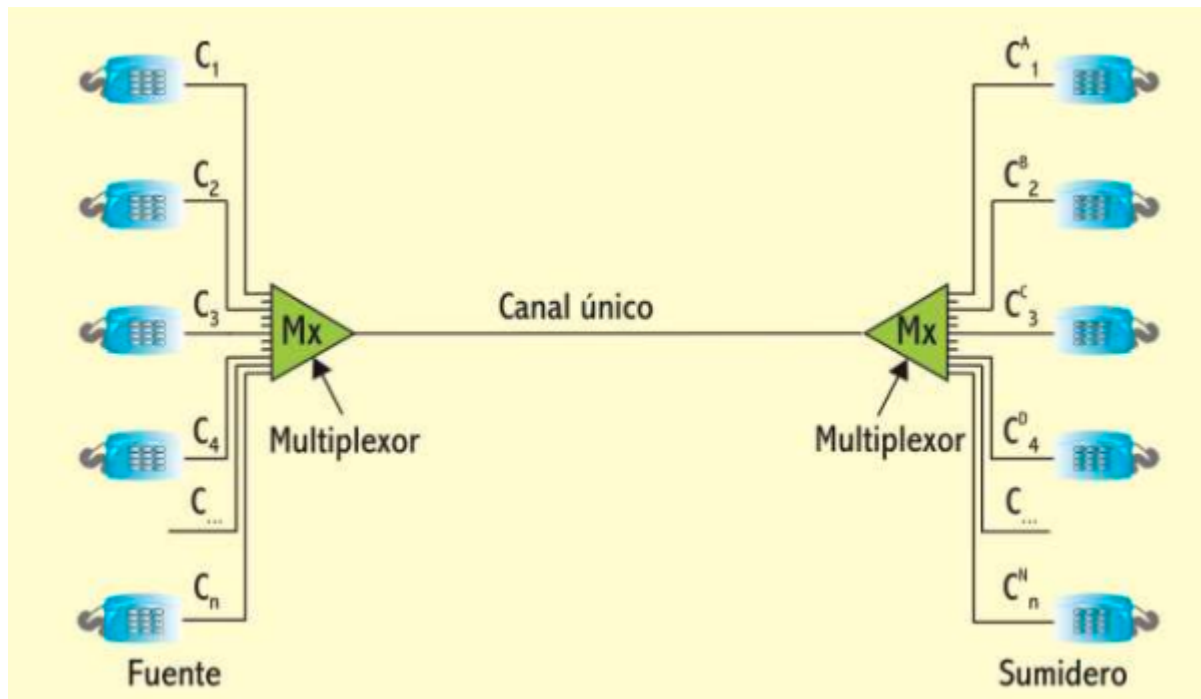
La MULTIPLEXACION es la técnica que permite que por un único canal físico de comunicaciones puedan cursarse varias comunicaciones simultáneas, sin que estas interfieran entre sí.

Los equipos que realizan estas funciones reciben el nombre de multiplexores, ellos multiplexarán o demultiplexarán según estén conectados en una u otra parte del circuito de datos.

Se denomina multiplexar a la función de repartir, según una ley fija en el tiempo, un único canal de comunicaciones de capacidad C entre n_i sub

canales de entrada de capacidades

C_i , cuya suma de velocidades no puede superar el valor C .



USO DE LAS TECNICAS DE MULTIPLEXACION

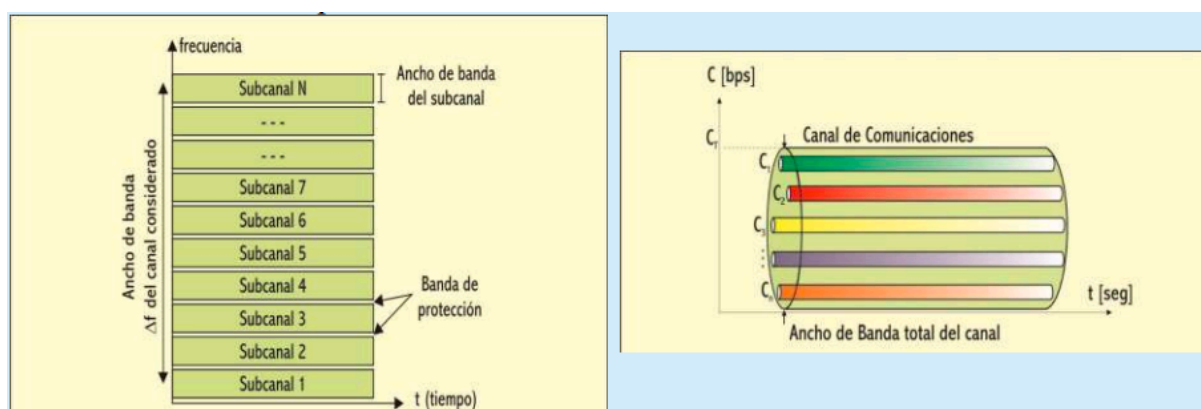
- Proporcionar una solución rápida a los problemas derivados de la crisis de ancho de banda debido al gran incremento de el uso de las redes de comunicaciones
- Utilización plena del ancho de banda disponible de cada medio de comunicaciones
- Suplir la capacidad de circuitos con canales con capacidades múltiples
- Proporcionar bifurcaciones normales sobre los circuitos de transmisión
- Permite mandar múltiples mensajes paralelos y simultáneamente
- Nos permite generar un genuino ahorro de costos en cuanto empresas de servicios

TECNICAS DE MULTIPLEXACION

Las funciones de multiplexación y demultiplexación se pueden realizar usando tres procedimientos o técnicas básicas. Estos son:

MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA

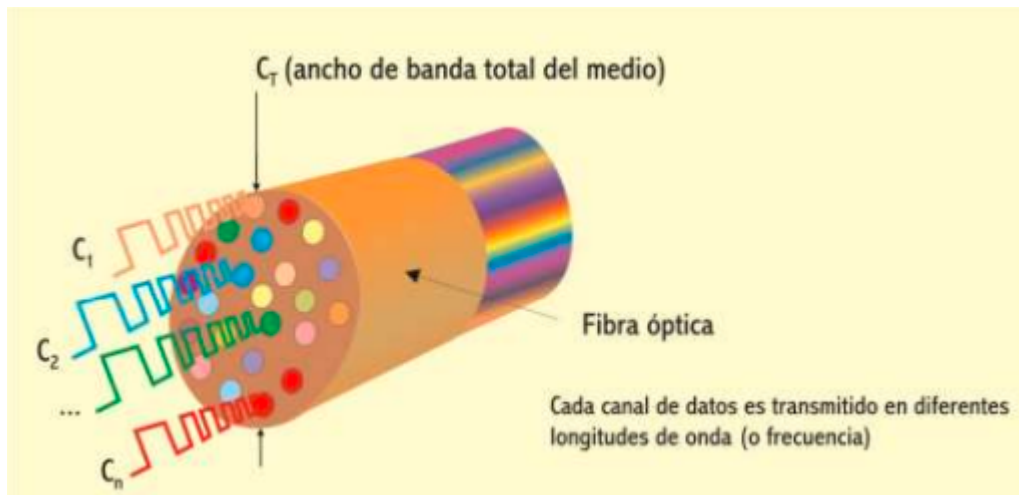
Consiste en dividir el ancho de banda usado para la transmisión por un único canal de comunicaciones en sub canales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada sub canal se le asigna un rango de frecuencias diferente, pero comprendido en el ancho de banda total disponible en el canal, de forma tal que el ancho de banda del canal debe ser mayor a la suma del ancho de banda de cada uno de los sub canales. Cada sub canal está separado del anterior y del posterior por una denominada banda de protección



Podemos utilizar el concepto de multiplexación por división de frecuencia en otras aplicaciones como por ejemplo el procedimiento denominado Acceso Múltiple por División de Frecuencia es una técnica de multiplexación que manejan varios protocolos de comunicaciones utilizados en radiocomunicaciones, como por ejemplo los que son utilizados en las redes de telefonía móvil.

MULTIPLEXACION POR LONGITUD DE ONDA

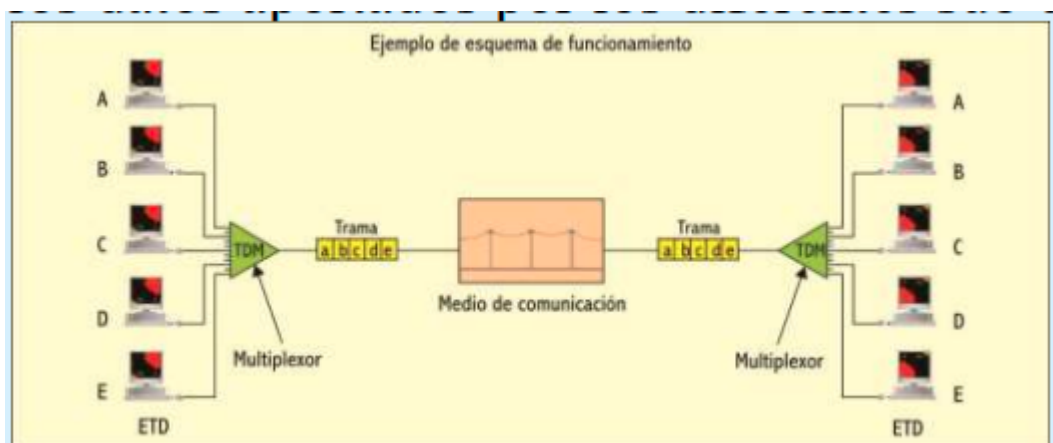
Este tipo de multiplexación se denomina por longitud de onda, por cuanto las frecuencias muy elevadas, como las utilizadas para los rayos de luz, se caracterizan más a menudo por su longitud de onda que por su frecuencia. Estas tecnologías han permitido aumentar aún más el ancho de banda disponible en los enlaces de fibra óptica al permitir que por una única fibra puedan transmitirse n canales diferentes. Cada canal utilizará una longitud de onda diferente.



MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPOS

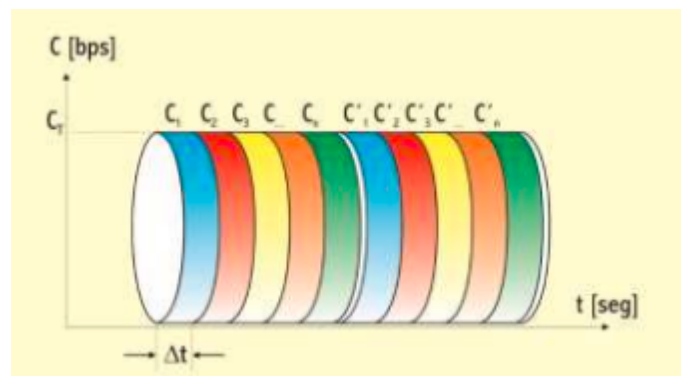
Definiremos como multiplexación por división de tiempo a la técnica que consiste en dividir el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en sub canales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada sub canal se le asigna un segmento de dicho tiempo. Cada uno de dichos sub canales de comunicaciones recibe la señal de un equipo terminal diferente que denominaremos A, B, C, etc.

El multiplexor procederá a armar una trama con todos los datos aportados por los diferentes sub canales



Para que pueda suceder debe existir un conmutador rotativo electrónico ubicado en el transmisor, que toma secuencialmente muestras de cada señal correspondientes a cada sub canal. En el receptor existirá otro conmutador rotativo similar, sincronizado con el del transmisor. Los equipos terminales que

utilizan cada sub canal toman todo el ancho de banda del canal, parte del tiempo.



La técnica de modulación por pulsos codificados ha permitido el desarrollo de las técnicas de

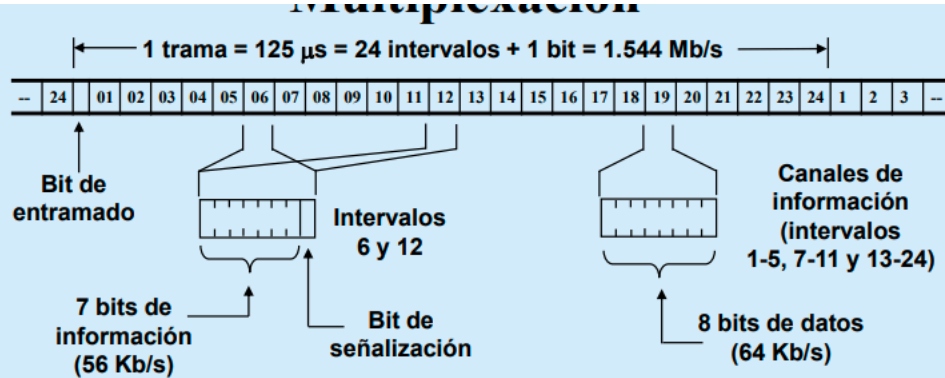
multiplexación por división de tiempo. Al ser utilizado en sistemas digitales presenta numerosas ventajas frente a los analógicos puesto a que podemos utilizar repetidores regenerativos, los cuales evitan que los fenómenos asociados con las señales tales como el ruido, la atenuación y la distorsión no pasen a la sección siguiente de estos equipos.

La multiplexación por división de tiempo, requiere una implementación más compleja que la que se utiliza en los sistemas por división de frecuencia, ya que el multiplexor y el demultiplexor deben tener los relojes de tiempo sincronizados para evitar que los bits transmitidos no lleguen en el orden adecuado y así puedan ser entregados al canal de salida al que pertenecen.

Por tal motivo es necesario agregar bits de sincronismo para evitar errores en la transmisión de las tramas. Estos bits permiten sincronizar el flujo que ingresa al demultiplexor para separar correctamente los distintos bits que forman cada muestra y de esta manera entregarla al canal correspondiente

EJEMPLO DE UNA TRAMA EN UNA MULTIPLEXACION DE DIVISION POR TIEMPO

T1:



- Frecuencia de muestreo: 8.000 Hz
- Número de bit por muestra: 7
- Número de canales telefónicos: 24
- Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 1,544 Mbps
- Duración de la trama: 125 μs
- Número de bits por trama: 193
- Número de intervalos de tiempo por trama: 24
- Formato de la trama 193 bits, organizados en 24 conjuntos de 8 bits por canal, 7 de datos y 1 de señalización, lo que hace un conjunto de 192 bits, más 1 bits al comienzo de la trama denominado bit de entramado

Existe una llamada formación de órdenes superiores de multiplexación de la jerarquía digital plesiócrona, y es que en particular, se usan tres tipos de jerarquías de multiplexación que se suelen conocer como norma europea, norma americana y norma japonesa

Orden	Velocidad de transmisión	Cantidad de bits por trama	Duración de la trama μs	Nº de Canales
1	2,048 Mbps	256	125,00	30
2	8,448 Mbps	848	100,38	120
3	34,368 Mbps	1536	44,69	480
4	139,264 Mbps	2904	20,85	1920
5	564,992 Mbps	2688	4,70	7680

MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO ESTADISTICA

Luego tambien existe la multiplexación por división de tiempo estadística, conocida como Statistical Time Division Multiplexing – STDM, es una variante de la Multiplexación por División de Tiempo - TDM. Trata de aprovechar los tiempos muertos de transmisión en las líneas de comunicaciones

Se denominan estadísticos por asignar un régimen de tiempo de transmisión a los terminales según una base estadística y no igual valor temporal para cada equipo terminal.

Como ventaja se pueden aprovechar todos los segmentos de transmisión y, además, se obtiene una reducción apreciable del número de caracteres de sincronismo mediante la utilización de tramas suficientemente largas

