

Tema 2.Canales físicos y codificación.

2.CANALES FISICOS Y CODIFICACION.

2.1 Transmision de datos.

2.1.1 . Conceptos y terminología

2.1.1.1 Terminología utilizada en transmisión de datos

2.1.1.2. Frecuencia , espectro y ancho de banda

2.1.2. Transmisión de datos analógicos y digitales

2.1.3. Perturbaciones en la transmisión

2.1.3.1. Atenuación

2.1.3.2. Distorsión de retardo

2.1.3.3. Ruido

2.1.3.4. Capacidad del canal

2.2.Canales fisicos

2.2.1.medios guiados.

2.2.1.1.Lineas de hilo.

2.2.1.2.Pares trenzados.UTP(Unshield Twisted Pair)

2.2.1.3.Cable Coaxial.

1.2.1.4.Fibra Optica.

1.2.1.4.1.Fibra Optica Como Portadora de Información.

1.2.1.4.2.Concepto de Transmision en Fibras Opticas.

2.2.2.Medios no guiados.

2.2.2.1.Transmisión por radio

2.2.2.2 Transmisión por microondas

2.2.2.3.Transmisión infraroja

2.2.2.4.Transmisión láser

2.2.2.5. Bluetooth

2.2.2.6. Transmisión vía satélite nivel físico

2.2.2.7. Enlaces opticos al aire libre.

2.3 .Codificación de datos.

2.3.1. Transmisión analógica y digital de datos.

2.3.2. Datos digitales , señales digitales

2.3.3. Métodos de codificación.

2.3.1.1. Retorno a cero(RZ)

2.3.1.2. No retorno a cero (NRZ)

2.3.1.3. No retorno a cero invertido (NRZI)

2.3.1.4. Binario multinivel

2.3.1.5.Bifase.

2.3.1.6.Técnicas de Altibajos.

APENDICE A:Bluetooth.(Diente Azul).

APENDICE B.Calculo de la densidad espectral, ancho de banda.

2.CANALES FISICOS Y CODIFICACION.

2 .1 TRANSMISION DE DATOS

2 .1.1 . Conceptos y terminología

2.1.1.1 Terminología utilizada en transmisión de datos

Los medios de transmisión pueden ser :

Guiados si las ondas electromagnéticas van encaminadas a lo largo de un camino físico ; no guiados si el medio es sin encauzar (aire , agua , etc..) .

Simplex si la señal es unidireccional ; *half-duplex* si ambas estaciones pueden transmitir pero no a la vez ; *full-duplex* si ambas estaciones pueden transmitir a la vez .

2.1.1.2. Frecuencia , espectro y ancho de banda

1. *Conceptos en el dominio temporal* . Una señal , en el ámbito temporal , puede ser continua o discreta . Puede ser periódica o no periódica . Una señal es periódica si se repite en intervalos de tiempo fijos llamados periodo . La onda seno es la más conocida y utilizada de las señales periódicas . En el ámbito del tiempo , la onda seno se caracteriza por la amplitud , la frecuencia y la fase .

$$S(t) = A \times \text{Sen} (2 \times \pi \times f \times t + \text{fase})$$

La longitud de onda se define como el producto de la velocidad de propagación de la onda por su fase .

2. *Conceptos del dominio de la frecuencia* . En la práctica , una señal electromagnética está compuesta por muchas frecuencias . Si todas las frecuencias son múltiplos de una dada , esa frecuencia se llama frecuencia fundamental . El periodo (o inversa de la frecuencia) de la señal suma de componentes es el periodo de la frecuencia fundamental . Se puede demostrar que cualquier señal está constituida por diversas frecuencias de una señal seno .

El espectro de una señal es el conjunto de frecuencias que constituyen la señal .

El ancho de banda es la anchura del espectro . Muchas señales tienen un ancho de banda infinito , pero la mayoría de la energía está concentrada en un ancho de banda pequeño .

Si una señal tiene una componente de frecuencia 0 , es una componente continua .

3. *Relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda* . El medio de transmisión de las señales limita mucho las componentes de frecuencia a las que puede ir la señal , por lo que el medio sólo permite la transmisión de cierto ancho de banda .

En el caso de ondas cuadradas (binarias) , estas se pueden simular con ondas senoidales en las que la señal sólo contenga múltiplos impares de la frecuencia fundamental . Cuanto más ancho de banda , más se asemeja la función seno (multifrecuencia) a la onda cuadrada .

Pero generalmente es suficiente con las tres primeras componentes .

Se puede demostrar que al duplicar el ancho de banda , se duplica la velocidad de

transmisión a la que puede ir la señal .

Al considerar que el ancho de banda de una señal está concentrado sobre una frecuencia central , al aumentar esta , aumenta la velocidad potencial de transmitir la señal .

Pero al aumentar el ancho de banda , aumenta el coste de transmisión de la señal aunque disminuye la distorsión y la posibilidad de ocurrencia de errores .

2.1.2. Transmisión de datos analógicos y digitales

Los datos analógicos toman valores continuos y los digitales , valores discretos .

Una señal analógica es una señal continua que se propaga por ciertos medios .

Una señal digital es una serie de pulsos que se transmiten a través de un cable ya que son pulsos eléctricos .

Los datos analógicos se pueden representar por una señal electromagnética con el mismo espectro que los datos .

Los datos digitales se suelen representar por una serie de pulsos de tensión que representan los valores binarios de la señal .

La transmisión analógica es una forma de transmitir señales analógicas (que pueden contener datos analógicos o datos digitales). El problema de la transmisión analógica es que la señal se debilita con la distancia , por lo que hay que utilizar amplificadores de señal cada cierta distancia .

La transmisión digital tiene el problema de que la señal se atenúa y distorsiona con la distancia, por lo que cada cierta distancia hay que introducir repetidores de señal .

Ultimamente se utiliza mucho la transmisión digital debido a que :

- La tecnología digital se ha abaratado mucho .
- Al usar repetidores en vez de amplificadores , el ruido y otras distorsiones no es acumulativo .
- La utilización de banda ancha es más aprovechada por la tecnología digital .
- Los datos transportados se pueden encriptar y por tanto hay más seguridad en la información .
- Al tratar digitalmente todas las señales , se pueden integrar servicios de datos analógicos (voz , vídeo, etc..) con digitales como texto y otros .

2.1.3. Perturbaciones en la transmisión

2.1.3.1. Atenuación

La energía de una señal decae con la distancia , por lo que hay que asegurarse que llegue con la suficiente energía como para ser captada por la circuitería del receptor y además , el ruido debe ser sensiblemente menor que la señal original (para mantener la energía de la señal se utilizan amplificadores o repetidores) .

Debido a que la atenuación varía en función de la frecuencia , las señales analógicas llegan distorsionadas , por lo que hay que utilizar sistemas que le devuelvan a la señal sus características iniciales (usando bobinas que cambian las características eléctricas o amplificando más las frecuencias más altas) .

2.1.3.2. Distorsión de retardo

Debido a que en medios guiados , la velocidad de propagación de una señal varía con la frecuencia , hay frecuencias que llegan antes que otras dentro de la misma señal y por tanto las diferentes componentes en frecuencia de la señal llegan en instantes diferentes al receptor .

Para atenuar este problema se usan técnicas de ecualización .

2.1.3.3. Ruido

El ruido es toda aquella señal que se inserta entre el emisor y el receptor de una señal dada . Hay diferentes tipos de ruido : ruido térmico debido a la agitación térmica de electrones dentro del conductor , ruido de intermodulación cuando distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión , diafonía se produce cuando hay un acoplamiento entre las líneas que transportan las señales y el ruido impulsivo se trata de pulsos discontinuos de poca duración y de gran amplitud que afectan a la señal .

2.1.3.4. Capacidad del canal

Se llama capacidad del canal a la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicación de datos .

La velocidad de los datos es la velocidad expresada en bits por segundo a la que se pueden transmitir los datos .

El ancho de banda es aquel ancho de banda de la señal transmitida y que está limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión (en hertzios).

La tasa de errores es la razón a la que ocurren errores .

Para un ancho de banda determinado es aconsejable la mayor velocidad de transmisión posible pero de forma que no se supere la tasa de errores aconsejable . Para conseguir esto , el mayor inconveniente es el ruido .

Para un ancho de banda dado W , la mayor velocidad de transmisión posible es $2W$, pero si se permite (con señales digitales) codificar más de un bit en cada ciclo , es posible transmitir más cantidad de información .

La formulación de Nyquist nos dice que aumentando los niveles de tensión diferenciables en la señal , es posible incrementar la cantidad de información transmitida .

$$C = 2W \log_2 M$$

El problema de esta técnica es que el receptor debe de ser capaz de diferenciar más niveles de tensión en la señal recibida , cosa que es dificultada por el ruido .

Cuanto mayor es la velocidad de transmisión , mayor es el daño que puede ocasionar el ruido .

Shannon propuso la fórmula que relaciona la potencia de la señal (S) , la potencia del ruido (N) , la capacidad del canal (C) y el ancho de banda (W) .

$$C = W \log_2 (1 + S/N)$$

Esta capacidad es la capacidad máxima teórica de cantidad de transmisión , pero en la realidad, es menor debido a que no se ha tenido en cuenta nada más que el ruido térmico .

2.2.Canales físicos

El canal es el medio físico a través del cual viaja la información de un punto a otro, es decir es el soporte mediante el cual el emisor y el receptor pueden comunicarse.

Sus características son importantes para una comunicación efectiva, ya que de ellas depende en gran medida la calidad de las señales recibidas o en los nodos intermedios en una ruta. Los canales pueden pertenecer a una de dos clases:

Guiados y no guiados, los canales guiados soportan las señales que contienen información desde la fuente hasta el destino, por ejemplo: cables de cobre, cables coaxiales y fibras ópticas; los no guiados difunden la señal sin una guía, a los cuales pertenecen los canales de radio, que incluyen también microondas y enlaces satelitales.

La calidad de la transmisión depende de la naturaleza del medio y de la señal que se transmite a través de este. Para los medios guiados, es este el que establece las limitaciones para la transmisión, tales como la velocidad de transmisión de la información, el ancho de banda que puede soportar, etc. Pero para los medios no guiados, resulta más importante en la transmisión el espectro de frecuencia de la señal que emite la antena, más que el medio de transmisión.

2.2.1.MEDIOS GUIADOS

Por estos tipos de canales pueden ser transmitidas las siguientes tasas:

30-300 KHz cable de cobre (par trenzado)	Hasta 4 Mbps (4 millones de bits por segundo)
cable coaxial	Hasta 500 Mbps (5000 millones de bits por segundo)
fibra óptica	Hasta 2000 Mbps (2000 millones de bits por segundo; o bien 2 "giga"bps: 2 Gbps)

Ahora vamos a ver los medios guiados más usuales:

2.2.1.1.Lineas de hilo.

Este es el medio más simple para la transmisión, la información se transmite mediante cables conductores sin recubrimiento dieléctrico, con lo cual deben de ir separados. La señal a transmitir se aplica a un cable, mientras que el otro se mantiene a tierra.

No se usa casi, ya que es muy sensible a los ruidos eléctricos que provoca el acoplamiento capacitivo entre los dos hilos, además de atenuar bastante la señal.

2.2.1.2.Pares trenzados.UTP(Unshield Twisted Pair)

Es el tipo de cable más común y se originó como solución para conectar teléfonos, terminales y ordenadores sobre el mismo cableado, ya que está habilitado para comunicación de datos permitiendo frecuencias más altas transmisión. Con anterioridad, en Europa, los sistemas de telefonía empleaban cables de pares no trenzados.

Cada cable de este tipo está compuesto por una serie de pares de cables trenzados. Los pares se trenzan para reducir la interferencia entre pares adyacentes (dos pares paralelos constituyen una antena simple, en tanto que un par trenzado no).

Se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende de la sección de cobre utilizado y de la distancia que tenga que recorrer.

Se trata del cableado más económico y la mayoría del cableado telefónico es de este tipo. Presenta una velocidad de transmisión que depende del tipo de cable de par trenzado que se esté utilizando. Normalmente una serie de pares se agrupan en una única funda de color codificado para reducir el número de cables físicos que se introducen en un conducto. El número de pares por cable son 4, 25, 50, 100, 200 y 300. Cuando el número de pares es superior a 4 se habla de cables multipar.

Tipos de cables de par trenzado:

No blindado. Es el cable de par trenzado normal y se le referencia por sus siglas en inglés UTP (Unshield Twisted Pair; Par Trenzado no Blindado). Las mayores ventajas de este tipo de cable son su bajo costo y su facilidad de manejo. Sus mayores desventajas son su mayor tasa de error respecto a otros tipos de cable, así como sus limitaciones para trabajar a distancias elevadas sin regeneración.

Para las distintas tecnologías de red local, el cable de pares de cobre no blindado se ha convertido en el sistema de cableado más ampliamente utilizado.

Está dividido en categorías por el EIA/TIA :

- **Categoría 1:** Hilo telefónico trenzado de calidad de voz no adecuado para las transmisiones de datos. Velocidad de transmisión inferior a 1 Mbits/seg
- **Categoría 2 :** Cable de par trenzado sin apantallar. Su velocidad de transmisión es de hasta 4 Mbits/seg.
- **Categoría 3 :** Velocidad de transmisión de 10 Mbits/seg. Con este tipo de cables se implementa las redes Ethernet 10-Base-T
- **Categoría 4 :** La velocidad de transmisión llega a 16 bits/seg.
- **Categoría 5 :** Puede transmitir datos hasta 100 Mbits/seg.

Existen varios niveles, el más recomendable ahora es el nivel 5.

Desde el nivel 5 soporta la transmisión de audio, video y datos de alta calidad

Tiene una longitud máxima limitada y, a pesar de los aspectos negativos, es una opción a tener en cuenta debido a que ya se encuentra instalado en muchos edificios como cable telefónico y esto permite utilizarlo sin necesidad de obra. La mayoría de las mangueras de cable de par trenzado contiene más de un par de hilos por lo que es posible encontrar mangueras ya instaladas con algún par de hilos sin utilizarse. Además resulta fácil de combinar con otros tipos de cables para la extensión de redes.

Las características generales del cable no blindado son:

- **Tamaño:** El menor diámetro de los cables de par trenzado no blindado permite aprovechar más eficientemente las canalizaciones y los armarios de distribución. El diámetro típico de estos cables es de 0'52 m
- **Peso:** El poco peso de este tipo de cable con respecto a los otros tipos de cable facilita el tendido.
- **Flexibilidad:** La facilidad para curvar y doblar este tipo de cables permite un tendido más rápido así como el conexiónado de las rosetas y las regletas.
- **Instalación:** Debido a la amplia difusión de este tipo de cables, existen una gran variedad de suministradores, instaladores y herramientas que abaratan la instalación y puesta en marcha.

- Integración: Los servicios soportados por este tipo de cable incluyen:
- Red de Area Local ISO 8802.3 (Ethernet) y ISO 8802.5 (Token Ring)
- Telefonía analógica
- Telefonía digital
- Terminales síncronos
- Terminales asíncronos
- Líneas de control y alarmas

Blindado. Cada par se cubre con una malla metálica, de la misma forma que los cables coaxiales, y el conjunto de pares se recubre con una lámina blindada. Se referencia frecuentemente con sus siglas en inglés STP (Shield Twisted Pair, Par Trenzado blindado).

El empleo de una malla blindada reduce la tasa de error, pero incrementa el coste al requerirse un proceso de fabricación más costoso.

· Uniforme. Cada uno de los pares es trenzado uniformemente durante su creación. Esto elimina la mayoría de las interferencias entre cables y además protege al conjunto de los cables de interferencias exteriores. Se realiza un blindaje global de todos los pares mediante una lámina externa blindada. Esta técnica permite tener características similares al cable blindado con unos costes por metro ligeramente inferior.

La limitacion de estas lineas de par trenzado tiene que ver por el “efecto piel”, es decir, al aumentar la velocidad de transmision. Y por consiguiente la frecuencia, la corriente tiende a fluir sólo por la superficie del cable, con lo cual aumenta la resistencia de los hilos para las deñales de alta frecuencia, provocando una atenuacion mayor de la señal a transmitir. Además a altas frecuencia, perdemos potencia de la señal que queremos transmitir por radiacion. Un medio guiado que se comporta mejor ante estos efectos es el cable coaxial.

2.2.1.3.Cable Coaxial.

Consiste en un núcleo de cobre rodeado por una capa aislante. A su vez, esta capa está rodeada por una malla metálica que ayuda a bloquear las interferencias; este conjunto de cables está envuelto en una capa protectora. Le pueden afectar las interferencias externas, por lo que ha de estar apantallado para reducirlas. Emite señales que pueden detectarse fuera de la red.

Es utilizado generalmente para señales de televisión y para transmisiones de datos a alta velocidad a distancias de varios kilómetros.



Sistemas de Telecomunicacion .Tema 2: Canales físicos y codificación

La velocidad de transmisión suele ser alta, de hasta 100 Mbts/seg. La nomenclatura de los cables Ethernet tiene 3 partes :

La primera indica la velocidad en Mbts/seg.

La segunda indica si la transmisión es en Banda Base (BASE) o en Banda Ancha (BROAD).

La tercera los metros de segmento multiplicados por 100.

CABLE	CARACTERÍSTICAS
10-BASE-5	Cable coaxial grueso (Ethernet grueso). Velocidad de transmisión : 10 Mb/seg. Segmentos : máximo de 500 metros.
10-BASE-2	Cable coaxial fino (Ethernet fino). Velocidad de transmisión : 10 Mb/seg. Segmentos : máximo de 185 metros.
10-BROAD-36	Cable coaxial Segmentos : máximo de 3600 metros. Velocidad de transmisión : 10 Mb/seg.
100-BASE-X	Fast Ethernet. Velocidad de transmisión : 100 Mb/seg.

Este tipo de cable está dejándose de usar para la transmisión de datos debido a las conexiones cuasimecánicas que necesita. El cable coaxial más usado para la transmisión de datos cuenta con las siguientes características:

- Impedancia de 50 Ohms
- Longitud máxima de un segmento de cable coaxial delgado 160 mts.
- Longitud máxima cable coaxial grueso 500 mts.
- Para conectar un nodo al cable coaxial grueso se requiere un "transceiver" intrusivo.
- Distancia mínima entre dos nodos con cable coaxial delgado de 1 mt.
- El cable coaxial delgado permite conectar estaciones en cadena usando conectores "T".
- Todo segmento debe estar debidamente terminado.

El cable coaxial se clasifica como "baseband" si se utiliza para transmitir señales digitales y como "bradband" si se usa para señales analógicas.

Existen dos tipos de cable coaxial:

- *Thick* (grueso). Este cable se conoce normalmente como "cable amarillo", fue el cable coaxial utilizado en la mayoría de las redes. Su capacidad en términos de velocidad y distancia es grande, pero el coste del cableado es alto y su grosor no permite su utilización en canalizaciones con demasiados cables. Este cable es empleado en las redes de área local conformando con la norma 10 Base 2.
- *Thin* (fino). Este cable se empezó a utilizar para reducir el coste de cableado de la redes. Su limitación está en la distancia máxima que puede alcanzar un tramo de red sin regeneración de la señal. Sin embargo el cable es mucho más barato y fino que el thick y, por lo tanto, solventa algunas de las desventajas del cable grueso. Este cable es empleado en las redes de área local conformando con la norma 10 Base 5.

Sus inconvenientes principales son : atenuación , ruido térmico , ruido de intermodulación .

Para señales analógicas , se necesita un amplificador cada pocos kilómetros y para señales

digitales un repetidor cada kilómetro .

1.2.1.4.Fibra Óptica.

Los avances en el campo de la tecnología óptica han hecho posible la transmisión de información mediante pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse para indicar un bit de valor 1 y su ausencia un bit de valor 0. La luz visible tiene una frecuencia de alrededor de 10^8 MHz, por lo que el ancho de banda de un sistema de este tipo tiene un potencial enorme. El cable de **fibra óptica** utiliza fotones en la transmisión de señales digitales. Un cable de fibra óptica se fabrica con vidrio puro, que no impone resistencia alguna al paso de los fotones por ella.

Un sistema de transmisión óptica tiene 3 **componentes**: el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector. El medio de transmisión es una fibra ultradelgada de vidrio o silicio fundido. También existen fibras fabricadas con polímeros plásticos de calidad inferior a las de vidrio. La fuente de luz puede ser un LED o un diodo láser; cualquiera de los dos emite luz cuando se le aplica una corriente eléctrica. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento en el que recibe un rayo de luz. La transmisión de datos que se obtiene es unidireccional.

El sistema se basa en el principio físico de la reflexión. Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, el rayo se refracta en la frontera entre ambos medios. En general, la cantidad de refracción depende de las propiedades de los medios en contacto, en particular de sus índices de refracción. Si el ángulo de incidencia se encuentra por encima de un determinado valor crítico, la luz se refleja y no sale del medio.

La fibra óptica esta compuesta por dos medios transparentes de distinto índice de refracción, un nucleo y un revestimiento que lo envuelve. Finalmente se envuelve el conjunto con una cubierta opaca. Así, los rayos que incidan por encima del ángulo crítico seran atrapados dentro del núcleo de la fibra y los que no pueden propagarse a lo largo de varios kilómetros sin apenas tener pérdidas.

Dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, existirá una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A este medio de transmisión se le denomina **fibra multimodo**. Si el indice de refracción es uniforme en todo el núcleo, la fibra se conoce como de **índice de escala** y los haces rebotarán bruscamente en el punto de contacto del núcleo con el

revestimiento, que tiene un índice de refracción diferente. Si el índice de valor del núcleo varia gradualmente, aumentando poco a poco hacia el centro del mismo, se le conoce como de **índice gradual** y los haces de luz son conducidos de forma mas suave hacia el interior de la fibra, sin que reboten bruscamente reduciendo así las perdidas en la propagación del haz de luz.

Si el diámetro se reduce hasta que sea semejante al valor de la longitud de onda de la luz, la fibra actúa como una guía de ondas, y la luz se propaga en línea recta sin rebotar, produciendo así una **fibra monomodo**. Estas fibras necesitan diodos laser para su excitación, son muy eficientes y pueden usarse en distancias muy largas. Otro concepto clave es la **apertura numérica** de una fibra optica que es el parámetro que define el ángulo crítico para que la luz se propague a través de la fibra óptica. Este parámetro esta intimamente relacionado con los diámetros del núcleo y el revestimiento; cuanto mas grandes sean estos, mayor será la apertura numérica y resultará mas fácil el acoplamiento de dos segmentos de fibra óptica o de esta con los dispositivos emisor y receptor. Sin embargo, crecieran a la vez las pérdidas en la propagación de la luz.

Los enlaces de fibra óptica se estan usando en la sustitución de enlaces telefonicos de larga distancia que eran de cable coaxial de banda ancha. También se usan en el montaje de redes LAN, aunque requieren una tecnología mas compleja que el cable coaxial. El problema fundamental es la realización de conexiones intermedias ya que son complicadas y suponen pérdida de luz. Una red en forma de anillo es la solución al problema ya que es en realidad una colección de enlaces punto a punto. La interfaz que existe en cada ordenador permite el paso del flujo de los pulsos de luz al siguiente enlace y como unión en T por medio de la cual el ordenador envía y acepta mensajes.

Hay 2 tipos de Interfaz: 1) Pasivo. formado por 2 conectores fusionados con la fibra principal, uno tiene un LED en su extremo (para la transmisión) y el otro lado posee un fotodiodo (para recepción). La conexión es completamente pasiva y por tanto muy confiable. 2) Activo. La luz incidente se convierte en señal eléctrica y se regenera a su máximo valor, retransmitiéndose de nuevo como luz; como en cada enlace se regenera la señal, cada línea puede tener varios kilómetros de longitud. En cambio en un anillo pasivo, se pierde luz en cada enlace; por lo que esta limitado el número de estaciones y la longitud total del anillo.

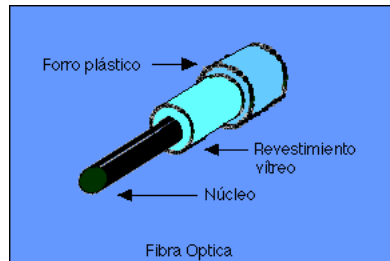
Las ventajas de utilizar fibra óptica son :

- Mayor velocidad de propagación de la señal (Velocidad de la luz)
- Mayor capacidad de transmisión (Hasta 1 Gbps en 1 Km)
- Inmunidad ante interferencias electromagnéticas
- Menor atenuación (disminución de la señal) de 5 a 20 dB/Km a 400 Mhz
- Mayor ancho de banda
- Menores tasas de error : 1 error por cada 10^9 bits frente a 1 por cada 10^6 de los cables electricos
- No hay riesgos de corto circuito y daño de origen eléctrico
- Menor diámetro y peso
- Se pueden emplear varios canales empleando diferentes longitudes de onda simultaneamente sobre la misma fibra
- Su vida media es mucho mas larga que la de un cable eléctrico

Sin embargo, también presentan inconvenientes : La unión de fibras ópticas es complicada y mas aún su derivación, son inherentemente unidireccionales y el costo de las interfases es mucho mayor que en el caso eléctrico. La desventaja de la fibra es que si llega a trozarse, se tiene que hacer un arreglo relativamente caro que puede ser un alineamiento mecánico fijo con pérdida del 10% de luz, pueden ajustárseles conectores y los conectores unirlos con una guía con pérdida del 10 al 20% de luz o pueden

fundirse en un arreglo térmico con pérdida mínima. El otro problema ante daño físico es la identificación de los pares correctos.

En el emisor se puede usar un diodo emisor de luz o un láser de semiconductor. En el destino puede estar un fotodiodo, cuya característica es que emite un pulso eléctrico cuando es impactado por la luz. Los fotodiodos responden hasta en un nanosegundo, lo cual limita la velocidad de la fibra a un gigabit por segundo.



1.2.1.4.1.Fibra Optica Como Portadora de Información.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señas, (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin que haya necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación,

sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros

1.2.1.4.2. Concepto de Transmisión en Fibras Ópticas.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo) empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y lasers.

Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

Algunos autores comparan el crecimiento de la velocidad de los procesadores contra el de las comunicaciones por red, y se dice que las redes han crecido su velocidad en un factor de 100 mientras que el cómputo lo ha hecho en uno de 10, sin embargo, podría ser más significativo comparar la velocidad del "bus" de un nodo contra la velocidad de la red, y en ese rubro encontramos que el bus interno puede transferir hasta 80 Megabytes por segundo mientras que las redes más avanzadas hablan de 622 Megabits por segundo.

Considerando lo anterior, todavía tenemos un déficit en la comunicación CPU-CPU de los nodos de una red, lo cual es una traba enorme, por ejemplo, en la construcción de sistemas distribuidos.

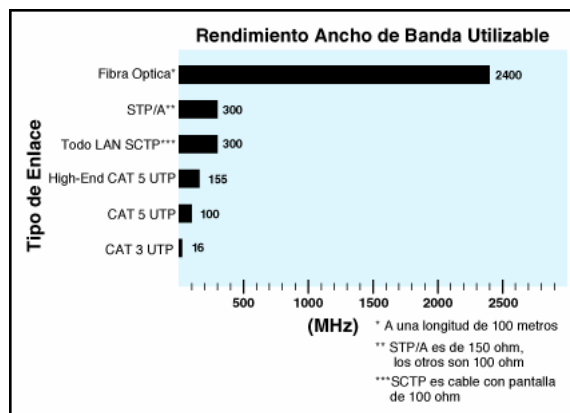
La traba principal para lograr mayores velocidades en las redes es la incapacidad para convertir señales de luz a señales eléctricas, aunque se esperan velocidades de 1 Terabit por segundo en pocos años.

Sistemas de Telecomunicacion .Tema 2: Canales físicos y codificación

En el siguiente cuadro se presenta una comparativa de los distintos tipos de cables descritos:

	Par Trenzado	Par Trenzado Blindado	Coaxial	Fibra Óptica
Tecnología ampliamente probada	Si	Si	Si	Si
Ancho de banda	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Hasta 1 Mhz	Si	Si	Si	Si
Hasta 10 Mhz	Si	Si	Si	Si
Hasta 20 Mhz	Si	Si	Si	Si
Hasta 100 Mhz	Si (*)	Si	Si	Si
27 Canales video	No	No	Si	Si
Canal Full Duplex	Si	Si	Si	Si
Distancias medias	100 m 65 Mhz	100 m 67 Mhz	500 (Ethernet)	2 km(Multi.) 100km(Mono.)
Inmunidad Electromagnética	Limitada	Media	Media	Alta
Seguridad	Baja	Baja	Media	Alta
Coste	Bajo	Medio	Medio	Alto

A continuacion vemos un gráfico de el rendimiento de los cables en funcion del ancho de banda:



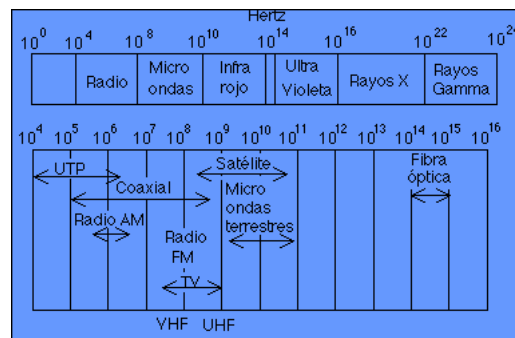
2.2.2.MEDIOS NO GUIADOS.

Se utilizan medios no guiados , principalmente el aire . Se radia energía electromagnética por medio de una antena y luego se recibe esta energía con otra antena.

Hay dos configuraciones para la emisión y recepción de esta energía : direccional y omnidireccional . En la direccional , toda la energía se concentra en un haz que es emitido en una cierta dirección , por lo que tanto el emisor como el receptor deben estar alineados . En el método omnidireccional , la energía es dispersada en múltiples direcciones , por lo que varias antenas pueden captarla . Cuanto mayor es la frecuencia de la señal a transmitir , más factible es la transmisión unidireccional .

Por tanto , para enlaces punto a punto se suelen utilizar microondas (altas frecuencias) Para enlaces con varios receptores posibles se utilizan las ondas de radio (bajas frecuencias).

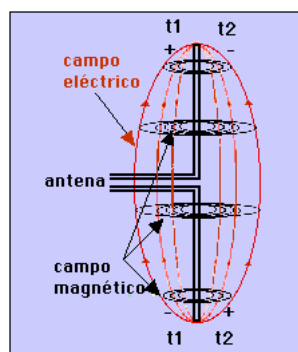
Los infrarrojos se utilizan para transmisiones a muy corta distancia (en una misma habitación). .



Espectro Electromagnetico.

2.2.2.1.Transmisión por radio

Como ya vimos, una carga eléctrica en movimiento genera un campo magnético y un campo eléctrico. Si en una antena (que pueden ser un par de cables paralelos) se producen corrientes eléctricas que oscilan de t1 en positivo a t2 en negativo, se producen campos eléctricos y magnéticos que se propagan, en teoría, hasta el infinito. El campo magnético rodea a la antena como una piedra arrojada al agua y el campo eléctrico es perpendicular.



Sistemas de Telecomunicacion .Tema 2:Canales físicos y codificación

A la unión de los dos campos constituyen las ondas electromagnéticas y su velocidad en el aire es ligeramente inferior a 300,000 Km./s.

Cuando estas ondas llegan a otro par de cables paralelos unidos a un circuito eléctrico completo, producirá una fuerza electromotriz (fem) a la vez que obligan a los electrones a moverse generando una corriente eléctrica muy pequeña, pero suficiente para que los circuitos electrónicos la transformen en una señal de alta energía que representa la transmisión radiofónica.

Las frecuencias usadas para la transmisión de radio van más allá de los 100 Kilociclos o Kiloherztz. Observe la carátula de su receptor de radio para ver los límites usados en la radio comercial.

Las ondas de radio pierden potencial inversamente proporcional al cubo de la distancia recorrida en el aire. Pueden pasar obstáculos más fácilmente mientras menor es su frecuencia, a mayor frecuencia viajan cada vez más en línea recta y son absorbidas por la lluvia o el agua. En todas las frecuencias sufren interferencia por campos eléctricos o magnéticos. Las ondas de radio de muy baja, baja y mediana frecuencia (10^4 - 10^7) viajan siguiendo la curvatura terrestre, mientras que las de alta frecuencia (10^7 - 10^8 Hz) pueden enviarse hacia la ionósfera en donde rebotan como si hubiera una repetidora (sin regenerar la señal) y tomar el rebote en una retransmisora. Las frecuencias altas y muy altas son usadas para transmisiones militares.

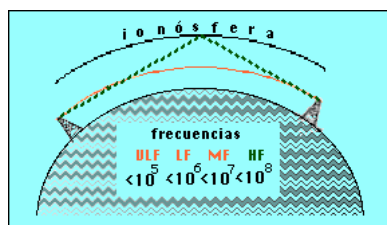
Dentro del enlace via radio según la banda empleada, existen diferentes tipos:

Radioenlaces Ondas cortas(SW)

La onda corta es una banda de radio que se encuentra entre los 2-15 Mhz. Tienen un alcance de miles de kilometros, ya que la señal se refleja en la ionosfera y es omnidireccional, aunque solo permiten reducidas velocidades de transmisión, por debajo de 1200 bps.

Radioenlaces de VHF y UHF.

Estas bandas se encuentran desde 55 a 550 Mhz en el espectro electromagnetico. También son omnidireccionales, pero no se reflejan en la ionosfera, sino que la traspasan. Llegan a alcanzar un centenar de Km, y las velocidades son del orden de los 9600 bps.



2.2.2.2 Transmisión por microondas

Las ondas de frecuencias mayores a 100 Mhz viajan en línea recta y necesitan alinearse el transmisor y el receptor. Este tipo de señales son absorbidas por la lluvia y la tierra, por lo cual necesitan repetidoras terrestres o satélites. Para unas torres de 100 Mts. de altura la distancia de separación es 80 Km.

La mayor parte del espectro arriba de los 100 Mhz. está estandarizado por la ITU-R, aunque hay algunas bandas que no necesitan licencia. Las bandas de 2.4 a 2.484 Ghz se usa para transmisiones médicas, científicas e industriales. Las bandas de 902 a 928 Mhz y 5.725 a 5.850 Ghz se usan para teléfonos inalámbricos y controles remotos.

Entre más alta la frecuencia, más cara es la electrónica para manejarla y más interferencia se puede tener de hornos de microondas y radares. En comparación con la fibra óptica, las microondas son más baratas porque no necesitan un cable.

Microondas terrestres.

Suelen utilizarse antenas parabólicas. Para conexiones a larga distancia, se utilizan conexiones intermedias punto a punto entre antenas parabólicas.

Se suelen utilizar en sustitución del cable coaxial o las fibras ópticas ya que se necesitan menos repetidores y amplificadores, aunque se necesitan antenas alineadas. Se usan para transmisión de televisión y voz.

La principal causa de pérdidas es la atenuación debido a que las pérdidas aumentan con el cuadrado de la distancia (con cable coaxial y par trenzado son logarítmicas).

La atenuación aumenta con las lluvias.

Las interferencias es otro inconveniente de las microondas ya que al proliferar estos sistemas, puede haber más solapamientos de señales.

Microondas por satélite.

El satélite recibe las señales y las amplifica o retransmite en la dirección adecuada.

Para mantener la alineación del satélite con los receptores y emisores de la tierra, el satélite debe ser geoestacionario.

Se suele utilizar este sistema para:

- Difusión de televisión.
- Transmisión telefónica a larga distancia.
- Redes privadas.

El rango de frecuencias para la recepción del satélite debe ser diferente del rango al que este emite, para que no haya interferencias entre las señales que ascienden y las que descienden.

Debido a que la señal tarda un pequeño intervalo de tiempo desde que sale del emisor en la Tierra hasta que es devuelta al receptor o receptores, ha de tenerse cuidado con el control de errores y de flujo de la señal.

Las diferencias entre las ondas de radio y las microondas son:

- Las microondas son unidireccionales y las ondas de radio omnidireccionales.
- Las microondas son más sensibles a la atenuación producida por la lluvia.
- En las ondas de radio, al poder reflejarse estas ondas en el mar u otros objetos, pueden aparecer múltiples señales "hermanas".

2.2.2.3. Transmisión infraroja

Los controles remotos de nuestros televisores trabajan con una pequeña luz infraroja que es muy útil en las transmisiones en distancias cortas, la desventaja es que no debe haber ningún obstáculo entre el emisor y el receptor. Mientras las frecuencias de radio se acercan a las frecuencias de la luz visible se comportan menos como radio y más como luz. La luz infraroja no se puede usar en exteriores porque el sol las anula.

2.2.2.4. Transmisión láser

Para resolver el problema de que la brillantez del sol anula la luz infraroja, se usan rayos láser en pequeñas distancias. El rayo láser es una luz muy potente y coherente (que no se dispersa fácilmente con la distancia). El rayo láser es unidireccional y para hacer LANs se necesitan dos rayos por cada nodo.

2.2.2.5. Bluetooth

Ver apendice A.

2.2.2.6. Transmisión vía satélite nivel físico

Un satélite artificial puede ubicarse a 36 mil Km. en órbita sobre la tierra y a esa distancia tiene la propiedad de mantenerse sobre una misma área, lo cual es muy útil para enviarle señales. Con la tecnología actual, se pueden colocar satélites cada dos grados, lo cual permite poner sobre una misma línea hasta 180 satélites alrededor de la tierra. Se pueden poner dos o más satélites más cerca de dos grados si trabajan en frecuencias diferentes.

Las partes más importantes del satélite son sus "transponders", que se encargan de recibir la señal que viene de la tierra y de repetir la señal de regreso con una frecuencia diferente y sobre un área preprogramada.

Se han destinado ciertas frecuencias para las transmisiones comerciales. La banda C fue la primera y ya está saturada, la banda Ku no está saturada pero por su frecuencia es fácilmente interferida por la lluvia, por lo cual se instalan estaciones terrestres extras para darle la vuelta a las tormentas. La banda Ka es la más cara y menos usada y también se perjudica con la lluvia. Existen otras bandas pero son para uso militar.

Banda	Frecuencias Ghz			Problemas
		Arriba	Abajo	
C	4/6	3.7-4.2	5.925-6.425	Interferencia Terrestre
Ku	11/14	11.7-12.2	14.0-14.5	Lluvia
Ka	20/30	17.7-21.7	27.5-30.5	Lluvia y equipo caro

Una desventaja de los satélites es el retraso inherente al viaje de ida y vuelta, el cual puede variar de 250 a 540 milisegundos, y este valor no se puede evitar y afecta, sobre todo, a la puesta a punto inicial de una conexión, ya que una vez establecida el flujo de datos se considera secuencial.

Medio	Retraso/Km	Retraso 36 mil Km.
Fibra	5 microseg	180 mseg
Cobre	5 microseg	180 mseg
Microondas	3 microseg	108 mseg
Satélite	3 microseg	108 mseg
El satélite conviene para nodos alejados más de 72 mil Km. El diámetro de la tierra es 12800 Km. La circunferencia de la tierra es de 40,000 Km		

2.2.2.7. Enlaces ópticos al aire libre.

El principio de funcionamiento de un enlace óptico al aire libre es similar al de un enlace de fibra óptica, sin embargo el medio de transmisión no es un polímero o fibra de vidrio sino el aire.

El emisor óptico produce un haz estrecho que se detecta en un sensor que puede estar situado a varios kilómetros en la línea de visión. Las aplicaciones típicas para estos enlaces se encuentran en los campus de la universidades, donde las carreteras no permiten tender cables, o entre los edificios de una compañía en una ciudad en la que resulte caro utilizar los cables telefónicos.

Las comunicaciones ópticas al aire libre son una alternativa de gran ancho de banda a los enlaces de fibra óptica o a los cables eléctricos. Las prestaciones de este tipo de enlace pueden verse empobrecidas por la lluvia fuerte o niebla intensa, pero son inmunes a las interferencias eléctricas y no necesitan permiso de las autoridades responsables de las telecomunicaciones.

Las mejoras en los emisores y detectores ópticos han incrementado el rango y el ancho de banda de los enlaces ópticos al aire libre, al tiempo que reducen los costos. Se puede permitir voz o datos sobre estos enlaces a velocidades de hasta 45 Mbits/s . El límite para comunicaciones fiables se encuentra sobre los dos kilómetros. Para distancias de más de dos kilómetros son preferibles los enlaces de microondas.

Existen dos efectos atmosféricos importantes a tener en cuenta con los enlaces ópticos al aire libre :

La dispersión de la luz que atenúa la señal óptica en proporción al número y al tamaño de las partículas en suspensión en la atmósfera. Las partículas pequeñas, como la niebla, polvo o humo, tienen un efecto que es función de su densidad y de la relación existente entre su tamaño y de la longitud de onda de la radiación infrarroja utilizada. La niebla, con una elevada densidad de partículas, de 1 a 10 m de diámetro, tienen un efecto más acusado sobre el haz de luz. Las partículas de humo, más grandes, tienen menor densidad y, por tanto, menor efecto.

Las brisas ascensionales (originadas por movimientos del aire como consecuencia de las variaciones en la temperatura) provocan variaciones en la densidad del aire y, por tanto, variaciones en el índice de refracción a lo largo del haz. Esto da lugar a la dispersión de parte de la luz a lo largo del haz. Este efecto puede reducirse elevando el haz de luz lo bastante con respecto a cualquier superficie caliente o utilizando emisores múltiples. La luz de cada emisor se ve afectada de diferente forma por las brisas, y los haces se promedian en el receptor.

Estos sistemas suelen emplearse para transmisiones digital de alta velocidad en banda base. En EE.UU, todos los fabricantes de productos láser deben tener una certificación que garantiza la seguridad de sus productos.

2.3 . CODIFICACION DE DATOS

2.3.1. Transmisión analógica y digital de datos.

Para transmitir datos es preciso transformarlos en una señal temporal que los represente y que pueda atravesar un determinado medio de transmisión para llegar al receptor en las mejores condiciones posibles.

En las redes de computadores, los datos a intercambiar siempre están disponibles en forma de señal digital. Sin embargo para su transmisión podemos optar por la utilización de señales digitales o analógicas. La elección vendrá determinada por el medio de transmisión a emplear.

No todos los medios de transmisión permiten señales analógicas, ni todos permiten señales digitales. Si la naturaleza de nuestros datos es digital, será necesario un proceso previo que adecúe estos datos a la señal a transmitir.

2.3.2. Datos digitales , señales digitales

Si el medio de transmisión permite el empleo de señales digitales y los datos a enviar son también digitales, entonces resulta conveniente el empleo de señales digitales. Para obtener la secuencia que compone la señal digital a partir de los datos digitales se efectúa un proceso llamado codificación.

Una señal es digital si consiste en una serie de pulsos de tensión . Para datos digitales no hay más que codificar cada pulso como bit de datos . En una señal unipolar (tensión siempre del mismo signo) habrá que codificar un 0 como una tensión baja y un 1 como una tensión alta (o al revés) . En una señal bipolar (positiva y negativa) , se codifica un 1 como una tensión positiva y un 0 como negativa (o al revés) . La razón de datos de una señal es la velocidad de transmisión expresada en bits por segundo , a la que se transmiten los datos . La razón de modulación es la velocidad con la que cambia el nivel de la señal , y depende del esquema de codificación elegido

- Un aumento de la razón de datos aumentará la razón de error por bit .
- Un aumento de la relación señal-ruido (S/N) reduce la tasa de error por bit .
- Un aumento del ancho de banda permite un aumento en la razón de datos .

Para mejorar las prestaciones del sistema de transmisión , se debe utilizar un buen esquema de codificación , que establece una correspondencia entre los bits de los datos y los elementos de señal . Factores a tener en cuenta para utilizar un buen sistema de codificación :

1. ***Espectro de la señal*** : La ausencia de componentes de altas frecuencias , disminuye el ancho de banda . La presencia de componente continua en la señal obliga a mantener una conexión física directa (propensa a algunas interferencias) . Se debe concentrar la energía de la señal en el centro de la banda para que las interferencias sean las menores posibles .

2. **Sincronización** : para separar un bit de otro , se puede utilizar una señal separada de reloj (lo cuál es muy costoso y lento) o bien que la propia señal porte la sincronización , lo cuál implica un sistema de codificación adecuado .
3. **Detección de errores** : es necesaria la detección de errores ya en la capa física .
4. **Inmunidad al ruido e interferencias** : hay códigos más robustos al ruido que otros .
5. **Coste y complejidad** : el coste aumenta con el aumento de la razón de elementos de señal .
6. **Capacida auto-reloj(self-clocking)** : Algunas de las señales resultantes garantizan transiciones de nivel, con independencia del valor de los datos, que pueden servir para determinar el reloj de transmisión y la posición de la celda de bit. En otro caso, es necesario transmitir la señal de reloj por separado.

2.3.3. Métodos de codificación.

2.3.1.1. Retorno a cero(RZ)

Si el bit es un uno, la primera mitad de la celda de bit estará a uno. La señal vale cero en cualquier otro caso.

2.3.1.2. No retorno a cero (NRZ)

Es el esquema más sencillo ya que se codifica un nivel de tensión como un 1 y una ausencia de tensión como un 0 (o al revés) .

Ventajas : sencillez , fácil de implementar , uso eficaz del ancho de banda .

Desventajas : presencia de componente en continua , ausencia de capacidad de sincronización . Se suelen utilizar en grabaciones magnéticas .

2.3.1.3. No retorno a cero invertido (NRZI)

Otra modalidad de codificación NRZ es la **NRZI** que consiste en codificar los bits cuando se producen cambios de tensión (sabiendo la duración de un bit , si hay un cambio de tensión , esto se codifica por ejemplo como 1 y si no hay cambio , se codifica como 0) . A esto se le llama codificación diferencial . Lo que se hace es comparar la polaridad de los elementos de señal adyacentes , y esto hace posible detectar mejor la presencia de ruido y es más difícil perder la polaridad de una señal cuando hay dificultades de transmisión .

2.3.1.4. Binario multinivel

Se diferencian de los NRZ en que utilizan más de dos niveles de señal, con lo que consiguen superar algunas de sus desventajas.

- **AMI Bipolar (Alternate Mark Inversion):**

Cero → No hay señal.

Uno → Pulso positivo o negativo de forma alterna.

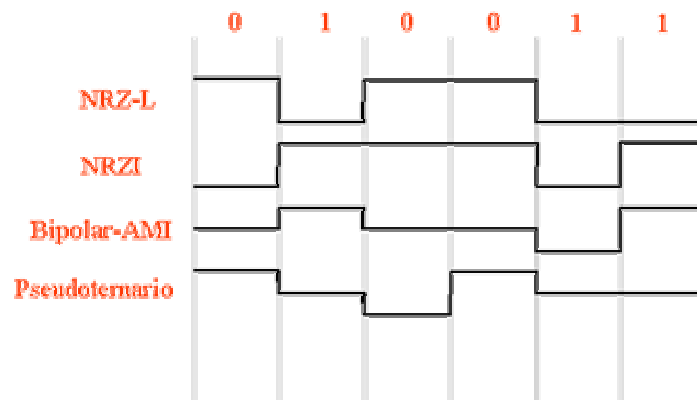
La transición que se produce cada vez que hay un 1 garantiza que no haya componente continua, y también constituye un medio para que emisor y receptor permanezcan sincronizados a pesar de que se produzcan largas cadenas de 1. Además el ancho de banda necesario se reduce significativamente con respecto al que empleaba NRZ. Finalmente la alternancia entre pulsos positivos y negativos simplifica la

detección de errores (habrá un error cuando se incumpla la condición de alternancia).

- **PSEUDOTERNARIO:**

- Cero → Pulso positivo o negativo de forma alterna.
- Uno → No hay señal.

Tiene las mismas propiedades que el AMI.



2.3.1.5. Bifase.

Estas técnicas fuerzan una transición por cada bit, pudiendo haber hasta dos. Como consecuencia la velocidad de transmisión será el doble que en NRZ y el ancho de banda necesario mayor.

1. **Manchester:**

Cero → Existirá una transición de + a - (o al revés) en la mitad del intervalo.

Uno → Transición de - a + (o al revés) en la mitad del intervalo.

Ventajas:

- Mejor comportamiento frente al ruido.
- Mejores propiedades de sincronización.

2. **Manchester Diferencial:**

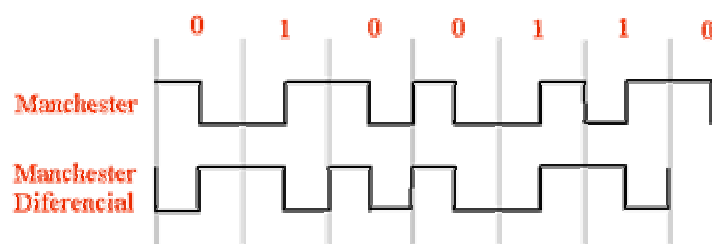
- Cero → Existirá una transición de + a - (o al revés) tanto al principio como a la mitad del intervalo.
- Uno → Transición de - a + (o al revés) en la mitad del intervalo.

Ventaja: Se detectan muy fácilmente errores de transición.

Propiedades de los códigos Bifase:

- *Autosincronizado*: el receptor se sincroniza utilizando la transición obligatoria de todo bit.
- *No DC*.
- *Detección de Errores*: la no transición en mitad de un intervalo supone un error fácil de detectar.

Los códigos bifase son muy populares en redes de distancias cortas, como por ejemplo en transmisión de datos con C.Manchester en Ethernet, pero no es así en largas distancias debido a la alta velocidad de elementos de señal que requiere comparada con la velocidad de los datos que ofrece.



2.3.1.6. Técnicas de Altibajos.

Consisten en sustituir secuencias de bits que provocan niveles de tensión constantes por otras que garantizan la anulación de la componente continua y la sincronización del receptor. La longitud de la secuencia queda inalterada, por lo que la velocidad de transmisión de datos es la misma; además el receptor debe ser capaz de reconocer estas secuencias de datos especiales.

Existen dos técnicas, ambas basadas en AMI Bipolar:

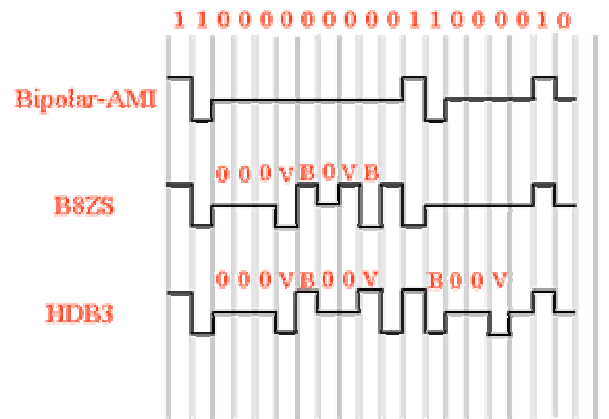
B8ZS ("Bipolar with 8-Zeros Substitution"): es la más generalizada en Estados Unidos:

Valor de tensión anterior a los ocho ceros	
Positivo	000 + - 0 - +
Negativo	000 - + 0 + -

HDB3 ("High Density Bipolar-3 Zeros"):

Número de 1's desde la última sustitución	PAR	IMPAR
Pulso anterior positivo	+ 00 +	000 +
Pulso anterior negativo	- 00 -	000 -

Estos códigos son muy adecuados para la transmisión de datos a altas velocidades, ya que su espectro es muy estrecho y se concentra en torno a la frecuencia correspondiente a la mitad de la razón de datos.



Velocidad de modulación

Hay que diferenciar entre la razón de datos (bits por unidad de tiempo) y la velocidad de modulación (elementos de señal por unidad de tiempo) . Cuanto mejor sea el sistema de codificación , mayor velocidad de modulación se podrá obtener .

APENDICE A:Bluetooth.(Diente Azul).

El sobrenombre Bluetooth de la tecnología que discutiremos en esta investigación es un nombre tomado de un Rey Danés del siglo 10, llamado Harald Blåtand (Bluetooth), que fue famoso por sus habilidades comunicativas, y por haber logrado el comienzo cristianización en su cerrada sociedad Vikinga. La iniciativa Bluetooth tiene como objetivo aumentar la efectividad de las comunicaciones entre cortas distancias, tanto en el área de trabajo como en los espacios públicos.

Las bases de ésta investigación estarán en orientar al lector para darle una idea concreta de qué se trata la tecnología, cómo funciona, cómo está diseñada y cómo se está usando ahora y a futuro. Haremos cierto énfasis en las tecnologías competentes para dar una mejor perspectiva del campo de acción de Bluetooth y de cómo compite o se complementa con ellas. Para terminar, daremos una impresión general del estado de Bluetooth y en sus posibilidades a futuro.

Qué es Bluetooth?

Bluetooth es una tecnología que provee un camino fácil para la computación móvil, para la comunicación entre dispositivos y conectarse a Internet a altas velocidades, sin el uso de cables. Además, se busca facilitar la sincronización de datos de computadoras móviles, teléfonos celulares y manejadores de dispositivos.

La Tecnología Bluetooth es de pequeña escala, bajo costo y se caracteriza por usar enlaces de radio de corto alcance entre móviles y otros dispositivos, como teléfonos celulares, puntos de accesos de red (access points) y computadoras. Esta tecnología opera en la banda de 2.4 GHz. Tiene la capacidad de atravesar paredes y maletines, por lo cual es ideal tanto para el trabajo móvil, como el trabajo en oficinas.

¿Cómo surgió el estándar?

Durante 1994, surgió la idea de investigar la posibilidad de crear un dispositivo de bajo costo que sirviera para comunicar diversos dispositivos, la idea era hacerlo basado en un estándar estricto para que su uso se popularizara y diversos fabricantes pudieran desarrollar dispositivos que lo utilizaran. En 1998, un grupo de industrias líderes en computadoras y telecomunicaciones, incluyendo Intel, IBM, Toshiba, Ericsson y Nokia, estuvieron desarrollando dicho dispositivo. Para asegurar, que esta tecnología esta implementada con un empalme perfecto en un diverso rango de dispositivos, esos líderes formaron un grupo de intereses especiales (Special Interests Group - SIG). El SIG fue rápidamente ganando miembros, como las compañías 3Com, Axis Communication, Compaq, Dell, Lucent Technologies UK Limited, Motorola, Qualcomm y Xircom.

Especificaciones

La Tecnología

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720Kb/seg con rango optimo de 10m (opcionalmente 100m).

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2.4 a 2.48Ghz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en full duplex con un máximo de 1600 saltos/seg. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz; esto permite brindar seguridad y robustez. La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10m es de 0dBm (1 mW), mientras que la versión de largo alcance transmite entre -30 y 20dBm (100 mW).

Para lograr alcanzar el objetivo de bajo consumo y bajo costo, se ideó una solución que se puede implementar en un solo chip utilizando circuitos CMOS. De esta manera, se logró crear una solución de 9x9mm y que consume aproximadamente 97% menos energía que un teléfono celular común.

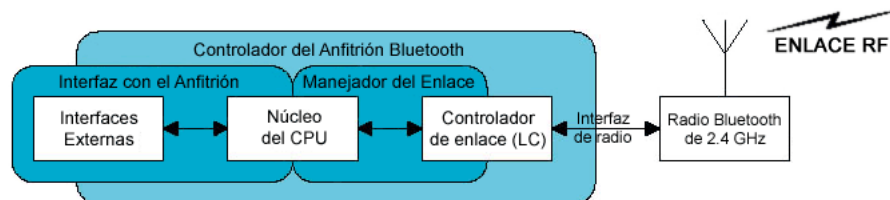
El protocolo de banda base (canales simples por línea) combina switching de circuitos y paquetes. Para asegurar que los paquetes no lleguen fuera de orden, los slots pueden ser reservados por paquetes síncronos, un salto diferente de señal es usado para cada paquete. Por otro lado, el switching de circuitos puede ser asíncrono o síncrono. Tres canales de datos síncronos (voz), o un canal de datos síncrono y uno asíncrono, pueden ser soportados en un solo canal. Cada canal de voz puede soportar una tasa de transferencia de 64 Kb/s en cada sentido, la cual es suficientemente adecuada para la transmisión de voz. Un canal asíncrono puede transmitir como mucho 721 Kb/s en una dirección y 56 Kb/s en la dirección opuesta, sin embargo, para una conexión asíncrona es posible soportar 432,6 Kb/s en ambas direcciones si el enlace es simétrico.

Arquitectura de Hardware

El hardware que compone el dispositivo Bluetooth está compuesto por dos partes. Un dispositivo de radio, en cargado de modular y transmitir la señal; y un controlador digital. El controlador digital está compuesto por un CPU, por un procesador de señales digitales (DSP - Digital Signal Processor) llamado Link Controller (o controlador de Enlace) y de los interfaces con el dispositivo anfitrión.

El LC o Link Controller está encargado de hacer el procesamiento de la banda base y del manejo de los protocolos ARQ y FEC de capa física. Además, se encarga de las funciones de transferencia (tanto asíncrona como síncrona), codificación de Audio y encriptación de datos.

El CPU del dispositivo se encarga de atender las instrucciones relacionadas con Bluetooth del dispositivo anfitrión, para así simplificar su operación. Para ello, sobre el CPU corre un software denominado Link Manager que tiene la función de comunicarse con otros dispositivos por medio del protocolo LMP.

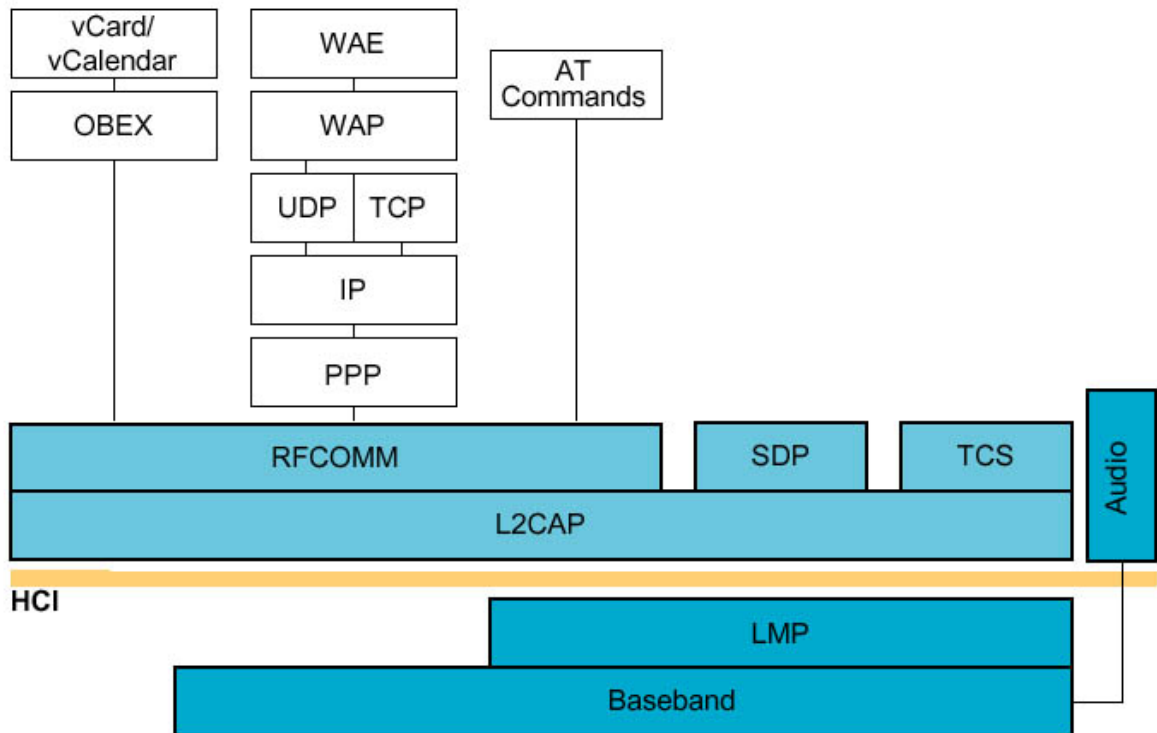


Entre las tareas realizadas por el LC y el Link Manager, destacan las siguientes:

- Envío y Recepción de Datos.
- Empaginamiento y Peticiones.
- Determinación de Conexiones.
- Autenticación.
- Negociación y determinación de tipos de enlace, por ejemplo SCO o ACL
- Determinación del tipo de cuerpo de cada paquete.
- Ubicación del dispositivo en modo sniff o hold.

Arquitectura de Software

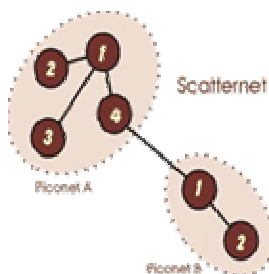
Buscando ampliar la compatibilidad de los dispositivos Bluetooth, los dispositivos que se apegan al estándar utilizan como interfaz entre el dispositivo anfitrión (laptop, teléfono celular, etc) y el dispositivo Bluetooth como tal (chip Bluetooth) una interfaz denominada HCI (Host Controller Interface).



Los protocolos de alto nivel como el SDP (Protocolo utilizado para encontrar otros dispositivos Bluetooth dentro del rango de comunicación, encargado, también, de detectar la función de los dispositivos en rango), RFCOMM (Protocolo utilizado para emular conexiones de puerto serial) y TCS (Protocolo de control de telefonía) interactúan con el controlador de banda base a través del Protocolo L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol). El protocolo L2CAP se encarga de la segmentación y reensamblaje de los paquetes para poder enviar paquetes de mayor tamaño a través de la conexión Bluetooth.

Redes Bluetooth

Las topología de las redes Bluetooth puede ser punto-a-punto o punto-a-multipunto.



Los dispositivos, se comunican en redes denominadas piconets. Estas redes tienen posibilidad de crecer hasta tener 8 conexiones punto a punto. Además, se puede extender la red mediante la formación de scatternets. Una scatternet es la red producida cuando dos dispositivos pertenecientes a dos piconets diferentes, se conectan.

En una piconet, un dispositivo debe actuar como master, enviando la información del reloj (para sincronizarse) y la información de los saltos de frecuencia. El resto de los dispositivos actúan como slaves.

Transmisión

Bluetooth está diseñado para usar acuses de recibos (acknowledgement) y saltos de frecuencias (frequency hopping), lo cual hará conexiones robustas. Esto está basado en paquetes, y saltarán a una nueva frecuencia después de que cada paquete es recibido, lo cual no solo ayuda a los problemas de interferencia, sino que añade seguridad. La tasa de datos es un megabyte/segundo, incluyendo el encabezado. Una transmisión "full duplex" (ambas direcciones al mismo tiempo) es realizada por multiplexaje de división de tiempo.

Como se especificó previamente, la transmisión de datos puede ser realizada de manera síncrona o asíncrona. El método Síncrono Orientado a Conexión (SCO) es usado principalmente para voz, y el Asíncrono No Orientado a Conexión (ACL) es principalmente usado para transmitir datos. Dentro de un "piconet" cada par master-slave pueden usar un modo de transmisión distinto, y los modos pueden ser cambiados en algún momento. La división de tiempo "Duplex", es usado para SCO y ACL, y ambos soportan 16 tipos de paquetes, cuatro de los cuales son paquetes de control, que son los mismos en cada tipo. Debido a la necesidad de tranquilidad en la transmisión de datos, los paquetes SCO son entregados en intervalos reservados, esto es, los paquetes son enviados en grupos sin permitir la interrupción de otras transmisiones. Los enlaces ACL soportan tanto transmisión simétrica como transmisión asimétrica.

Protocolo de Conexión

Las conexiones Bluetooth, son establecidas a través de la siguiente técnica:

- **Standby:** Los dispositivos en un "piconet" que no están conectados, están en modo standby, ellos escuchan mensajes cada 1,28 segundos, sobre 32 saltos de frecuencias.
- **Page/Inquiry:** Si un dispositivo desea hacer una conexión con otro dispositivo, éste le envía un mensaje de tipo page, si la dirección es conocida; o una petición a través de un mensaje de page, si éste no es conocido. La unidad "master" envía 16 page message idénticos, en 16 saltos de frecuencias, a la unidad "slave". Si no hay respuesta, el "master" retransmite en los otros 16 saltos de frecuencia. El método de Petición (inquiry) requiere una respuesta extra por parte de la unidad "slave", desde la dirección MAC, que no es conocida por la unidad "master".
- **Active:** Ocurre la transmisión de datos.
- **Hold:** Cuando el "master" o el "slave" desean, puede ser establecido un modo en el cual no son transmitidos datos. El objetivo de esto es conservar el poder.
- **Sniff:** El modo sniff, es aplicable solo para las unidades "slaves", es para conservar el poder. Durante este modo, el "slave", no toma un rol activo en la "piconet", pero escucha a un reducido nivel.
- **Park:** El modo park es un nivel más reducido, que el modo hold. Durante este, el "slave" es sincronizado a la "piconet", por eso no requiere una reactivación completa, pero no es parte del tráfico. En este estado, ellos no tienen direcciones

MAC y solo escuchan para mantener su sincronización con el "master" y chequear los mensajes de broadcast.

Seguridad y Corrección de Errores

Tres técnicas de corrección de error han sido definidas:

- 1/3 rate forward error correction code (FEC), este método es diseñado para reducir el número de retransmisión.
- 2/3 rate forward error correction code FEC.
- Automatic Repeat Request (ARQ).

En cuanto a la Seguridad, ésta es provista en tres caminos:

- A través de saltos de frecuencia pseudo-aleatorios que dificultan que dispositivos ajenos a la red puedan interceptar o ver el tráfico de información.
- Autenticación, permite a un usuario controlar la conectividad para solo dispositivos especificados.
- Encriptación, se usan claves secretas con longitudes de 1, 40 o 64 bits.

Modelos de Uso

Algunas de las aplicaciones que se pueden dar a los dispositivos Bluetooth han sido mencionadas en la especificación del estándar (versión 1). Entre otras, destacan las siguientes:

- **El Teléfono 3-en-1:** Se ofrece la posibilidad de utilizar un mismo teléfono sin importar donde se encuentra. Puede funcionar como el teléfono en su casa, si el dispositivo está en el rango de las bases Bluetooth ubicadas en su casa, como teléfono celular-portátil si no se encuentra cerca de las bases de su casa, y como medio de acceso a sus contactos, números de teléfono, email, etc.
- **Conexión a Internet:** El dispositivo Bluetooth puede conectarse con cualquier medio que esté conectado a Internet y que a la vez, posea una interfaz Bluetooth, para así mantenerlo siempre conectado, ya sea a través de su celular, de su conexión dial-up o a través de una red cableada a Internet.
- **Dispositivo Manos libres:** El uso de este dispositivo permite acceder la información de los contactos, enviar correo electrónico y realizar llamadas sin ocupar las manos. Esta funcionalidad está controlada por voz.
- **Laptop como teléfono:** Se tiene la posibilidad de utilizar el laptop para realizar llamadas de voz tal cuál se haría con un teléfono..
- **Sincronización automática:** Constantemente, todos sus dispositivos Bluetooth mantienen sincronizada la información, de manera que si modifica alguna información en su laptop, y la misma estaba también almacenada en su PDA o en su celular, el cambio se refleje allí también.
- **Escritorio Inalámbrico:** Bluetooth ofrece la posibilidad de eliminar todos los cables (excepto los de poder) que suelen invadir los escritorios, tanto en los hogares como en las oficinas.

Problemas y Desventajas

Como todo, la tecnología Bluetooth, también presenta algunos problemas que solucionar. Los microchips no son baratos aún, se espera que dentro de unos años disminuyan los costos, de lo contrario, el objetivo de esta tecnología no sería alcanzado. Por su parte, la velocidad de transmisión, aunque considerable, pronto quedará empujada por la capacidad de los móviles de tercera generación. Y a pesar de que los prototipos de dispositivos Bluetooth se reproducen rápidamente, no sucede lo mismo con los programas informáticos que deben regular su funcionamiento.

Además, el espectro de radiofrecuencia en el que opera no está abierto al público en todos los países. En lugares como Francia o España el uso del espectro está restringido y se requiere la aprobación explícita del gobierno para poder operar en la banda ISM.

La interoperabilidad, pilar sobre el que se sustenta Bluetooth, es uno de los factores que se someterán a tensiones en el largo plazo. Con miles de compañías diseñando productos y aplicaciones Bluetooth, será difícil mantenerlas a todas bajo el mismo manto.

Aun así, las desventajas son mínimas cuando se comparan con los beneficios de disfrutar de un mundo sin cables y con las flexibilidades que ofrecería un mundo interconectado de manera inalámbrica y sin altos costos de conexión.

Aplicaciones de Bluetooth

El futuro de Bluetooth está fuertemente cargado por expectativas de las 2000 compañías pertenecientes al Bluetooth SIG. Cada desarrollador ha colaborado en la visión conjunta que se tiene para la tecnología, y los casos de uso que están planeados son altamente diversos.

Por el lado de la IEEE, se espera que Bluetooth conforme a la norma 802.15.2 de coexistencia con las redes WLAN y que surjan versiones de alta y baja velocidad, para aplicaciones de multimedia y de dispositivos de baja complejidad respectivamente. Al crearse estos estándares, se ampliarían aún más las posibilidades para el uso de Bluetooth, por ejemplo, para el modelo de baja velocidad y baja complejidad (802.15 TG 4) se esperan las siguientes aplicaciones:

- Sensores
- Juguetes interactivos
- Carnets inteligentes
- Controles remotos
- Dispositivos para la automatización del hogar

En general, dispositivos que deben tener un alto grado de simplicidad, bajo costo, bajos requerimientos de tasa de transferencia y que deben mantener una vida de batería de varios meses o varios años.

Por el otro lado, los dispositivos de alto desempeño, cuyo estándar está siendo desarrollado por el grupo IEEE 802.15 TG 3, definirán un nuevo nivel de alto rendimiento y bajo consumo eléctrico en aplicaciones de procesamiento de imágenes digitales y en el campo de multimedia.

Por el lado del Bluetooth SIG y sus compañías patrocinantes se ha creado ya una buena cantidad de soluciones propuestas y han implementado una buena cantidad de escenarios de prueba, algunos de los más interesantes los explicaremos a continuación:

- **Automatización Hotelera:** la cadena de hoteles Holiday Inn, Axis Communications AB y Registry Magic han juntado sus esfuerzos para convertir el Holiday Inn de Wall Street en el primer hotel en prestar servicios inalámbricos . La tecnología permitirá a los huéspedes hacer su "check-in" y "check-out", entrar a sus habitaciones, utilizar Internet, recibir mensajes de voz, y pagar comidas en el restaurante del hotel.

Paralelamente, hay iniciativas como la de la compañía i-Wap para simplificar tareas de la administración hotelera, como por ejemplo el monitoreo de consumo de mini-bar, y el manejo de órdenes de "Room-Service".

Todavía está por verse el impacto que pueda tener Bluetooth sobre la operación hotelera y si podrá influir positivamente en el TCO y en la captación de nuevos clientes. Sin embargo se trata de una tecnología que muy fácilmente puede significar un punto clave en la historia de esta industria si se juegan correctamente las cartas.

- **Acceso a Internet en aeropuertos:** muchos ejecutivos que viajan regularmente se ven cada vez más en necesidad de tener acceso continuo a su correo electrónico y al Web. Hasta ahora la solución adoptada por muchos suele ser una llamada telefónica a un número de acceso de su proveedor o una complicada y costosa conexión a través de un teléfono celular. Actualmente, compañías como American Airlines y TWA están implementando el servicio de Internet Inalámbrico en sus salas de espera de primera clase. A pesar de los esfuerzos de ambas compañías, han encontrado un gran número de obstáculos para la implantación del servicio. El hecho que principalmente ha retardado la implantación de Bluetooth dentro de ésta área es que se trata de una tecnología en vías de desarrollo. Adicionalmente las operadoras de los aeropuertos y las compañías de telefonía de larga distancia, al ver sus intereses en peligro, han comenzado a dificultar deliberadamente la entrada de las WPANs en las instalaciones de los aeropuertos.

- **Acceso a información en trenes:** BT Syncordia y Midland Mainline han comenzado pruebas para verificar la factibilidad de utilizar intranets basados en Bluetooth dentro de sus vagones. Dentro de los trenes, los usuarios tendrán acceso a ciertas páginas Web de noticias obtenidas con antelación y almacenadas en un "Cache" del tren. Posiblemente se contempla la posibilidad de que los pasajeros adquieran sus tickets a través de este medio. Una conexión "en vivo" en los trenes haría mucho más interesante la implantación de ésta propuesta.

- **Uso de dispositivos Bluetooth para optimizar operaciones industriales:** ABB, una compañía de investigación corporativa y ha comprobado el impacto que tiene el colocar la tecnología Bluetooth dentro de un escenario industrial. ABB midió el desempeño de una solución basada en Bluetooth en el escenario de la fábrica Varöbruk Chemical Pulp. Luego del estudio se concluyó que aunque las condiciones de un ambiente industrial son muy fuertes sobre los equipos Bluetooth

- **Uso de dispositivos BLIP :** Ericsson, compañía creadora del movimiento Bluetooth, ha lanzado un nuevo concepto para empujar la utilización de dispositivos de ésta tecnología en la calle, como manera de fomentar su uso para

finés comerciales y alimentar su desarrollo. La unidad Blip, que contiene un pequeño sistema corriendo una versión especial de Linux, permite montar aplicaciones interactivas de entretenimiento e información en establecimientos comerciales y lugares públicos.

Conclusiones

Como toda nueva tecnología, vemos que Bluetooth está pasando por las etapas tradicionales de pruebas, conflictos y correcciones. Una importante ventaja en el caso de Bluetooth, es la fuerza de más de 2000 empresas que integran el SIG, las cuales dan aportes importantes tanto en los campos técnicos, como en los campos de mercadeo y publicidad. El haber tomado en cuenta los problemas de otras tecnologías similares, al momento de planificar el desarrollo del estándar, ha sido muy provechoso, ya que se ha logrado minimizar las dificultades habituales.

El estándar Bluetooth tiene por detrás una fuerte maquinaria creativa y una clara visión de futuro, requerimientos mínimos de todo movimiento exitoso. Aunque siempre hay puntos dispares en el camino, como los problemas de interferencia con otras tecnologías, siempre ha sido posible encontrar acuerdos de cooperación.

Para el nicho de mercado que persigue la tecnología Bluetooth vemos una buena posibilidad de que en algunos años se incorpore transparentemente a nuestra vida diaria, tal como lo hicieron el teléfono, la televisión, la computadora y el Internet.

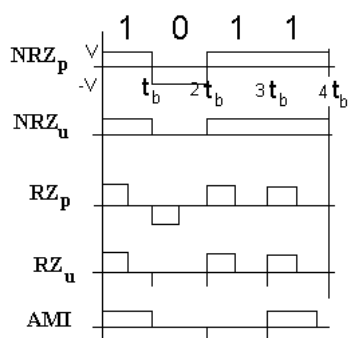
APENDICE B.Calculo de la densidad espectral, ancho de banda.

Teniendo ya la señal discretizada en tiempo(muestreo) y discretizada en amplitud(cuantificación). Se dispone de una señal de M símbolos cuya tasa de transmisión se mide en baudios. Para convertir la señal a digital faltaría convertir los símbolos a bits. Esto implica que los unos y ceros resultantes deben ser representados con formas de onda específicas que influirán en: Potencia de transmisión, ancho de banda, facilidad de recuperación del reloj en el receptor, detección y corrección de errores, etc.

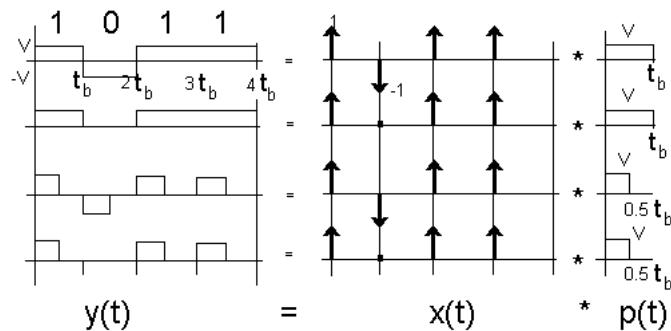
A la asignación de formas de ondas arbitrarias para los unos y ceros se le llama Codificación de línea.

Como uno de los efectos mas importantes de la codificación de línea es el ancho de banda, a continuación deduciremos el espectro de la señal aleatoria que resulta al aplicar sobre la señal muestreada y cuantificada un proceso de codificación de línea.

Observe las siguientes formas de representar los unos y ceros:



Para conseguir la densidad espectral de los diferentes códigos de línea la representaremos como sigue:



Representaremos cada código de línea por una señal $y(t)$ la cual se puede representar matemáticamente como la convolucion de una señal aleatoria impulsiva($x(t)$) con una señal determinística que para NRZ es un pulso de ancho t_b y para RZ es uno de ancho $0.5t_b$

$$y(t) = x(t) * p(t) = \left(\sum_{k=-\infty}^{k=\infty} a_k \delta(t - kt_b) \right) * p(t)$$

$$G_y(f) = G_x(f) |P(f)|^2$$

Necesitamos por lo tanto determinar $G_x(f)$, ya que $p(t)$ es determinístico y por tanto su DEP es fácil de determinar. Determinaremos primero R_x (●) y luego al transformar según Fourier tendremos $G_x(f)$.

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t-\tau)dt$$

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \sum_k a_k \delta(t - kt_b) \sum_j a_j \delta(t - \tau - jt_b) dt$$

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_k a_k \sum_j a_j \delta(kt_b - \tau - jt_b) =$$

Sistemas de Telecomunicación .Tema 2: Canales físicos y codificación

Se hace el cambio de variable

$$j-k=n \quad j=n+k$$

$$R_x(\tau) = \sum_n \left(\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_k a_k a_{n+k} \right) \delta(\tau + nt_b) =$$

$$R_n = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t_b}{T} \sum_k a_k a_{n+k} \quad R_x(\tau) = \sum_n \frac{R_n}{t_b} \delta(\tau + nt_b)$$

Vamos a aplicar este resultado para los códigos polares (NRZ y RZ) y luego para los unipolares

Códigos polares:

Como

$$R_n = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t_b}{T} \sum_k a_k a_{n+k}$$

Comenzamos con R_0 el cual es ;

$$R_0 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t_b}{T} \sum_k a_k a_k$$

Uno divide el tiempo T en intervalos de tamaño t_b .

Para el cálculo de R_0 el producto $a_k \cdot a_k$ siempre es igual a 1; por lo tanto la sumatoria dará T/t_b y así $R_0=1$

En cuanto a R_n los posibles valores de a_k y a_{n+k} son :

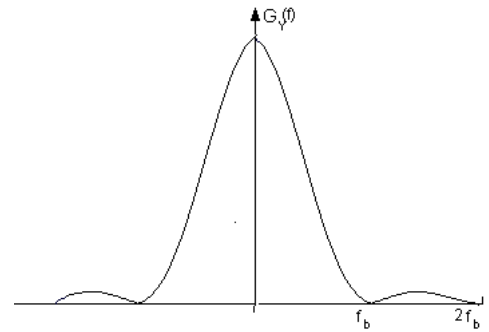
a_k	a_{n+k}	$a_{n+k} a_k$	Probabilidad de ocurrencia
1	-1	-1	$1/4$
-1	1	-1	$1/4$
1	1	1	$1/4$
-1	-1	1	$1/4$

$$R_x(\tau) = \frac{1}{t_b} \delta(\tau)$$

$$G_x(f) = \frac{1}{t_b}$$

La sumatoria da cero ya que la mitad del tiempo el producto da 1 y la otra mitad da -1 .
Por lo tanto R_n da cero. Para NRZ:

$$G_y(f) = \frac{1}{t_b} |P(f)|^2 = \frac{1}{t_b} A^2 t_b^2 \text{Sinc}^2 f t_b = A^2 t_b \text{Sinc}^2 f t_b$$



Para RZ:

$$G_y(f) = \frac{1}{t_b} |P(f)|^2 = \frac{1}{t_b} \frac{A^2 t_b^2}{4} \text{Sinc}^2 f \frac{t_b}{2} = \frac{A^2 t_b}{4} \text{Sinc}^2 f \frac{t_b}{2}$$

(El ancho de banda es el doble que para NRZ)

Para los casos unipolares:

Para el cálculo de R_0 , la mitad de las veces el producto $a_k \cdot a_k$ será uno la otra mitad será cero Por lo tanto

$$R_0 = 1/2$$

En cuanto a R_n los posibles valores de a_k y a_{n+k} son

a_k	a_{n+k}	$a_{n+k} a_k$	Probabilidad de ocurrencia
1	1	1	$1/4$
0	1	0	$1/4$
0	0	0	$1/4$
1	0	0	$1/4$

Por lo tanto el producto valdrá cero tres cuartas partes del tiempo y valdrá uno una cuarta parte del tiempo. Finalmente $R_n = 1/4$.

$$\begin{aligned}
 R_x(\tau) &= \frac{1}{2t_b} \delta(\tau) + \sum_{n \neq 0} \frac{1}{4t_b} \delta(\tau + nt_b) = \\
 &= \frac{1}{2t_b} \delta(\tau) + \sum_{\forall n} \frac{1}{4t_b} \delta(\tau + nt_b) - \frac{1}{4t_b} \delta(\tau) = \\
 &= \frac{1}{4t_b} \delta(\tau) + \sum_{\forall n} \frac{1}{4t_b} \delta(\tau + nt_b) \\
 G_x(f) &= \frac{1}{4t_b} + \sum_{\forall n} \frac{1}{4t_b^2} \delta(f + nf_b)
 \end{aligned}$$

NRZ unipolar

$$\begin{aligned}
 G_x(f) &= \frac{A^2}{4} t_b \text{Sinc}^2 f t_b + \sum_{\forall n} \frac{A^2 t_b^2}{4t_b^2} \text{Sinc}^2 f t_b \delta(f + nf_b) = \\
 &= \frac{A^2}{4} t_b \text{Sinc}^2 f t_b + \sum_{\forall n} \frac{A^2}{4} \delta(f)
 \end{aligned}$$

RZ unipolar

$$\begin{aligned}
 G_x(f) &= \frac{A^2}{16} t_b \text{Sinc}^2 f \frac{t_b}{2} + \sum_{\forall n} \frac{A^2 t_b^2}{16t_b^2} \text{Sinc}^2 f \frac{t_b}{2} \delta(f + nf_b) = \\
 &= \frac{A^2}{16} t_b \text{Sinc}^2 f \frac{t_b}{2} + \sum_{\forall n} \frac{A^2}{16} \text{Sinc}^2 \frac{n}{2} \delta(f + nf_b)
 \end{aligned}$$