

Capítulo 2. TRANSMISIÓN DE SEÑALES

En este capítulo se describen distintos aspectos relativos a las señales que se envían habitualmente por un sistema de comunicación. El capítulo, que se enmarca dentro del nivel físico del modelo OSI, muestra un estudio de distintas propiedades de los medios de transmisión y que afectan directamente a las prestaciones de las redes de computadores tales como la velocidad máxima de transmisión, tipo de información a enviar, etc. Se describirán características de los medios de transmisión tales como ancho de banda o perturbaciones que limitarán y condicionarán el resto de niveles superiores del modelo OSI.

2.1. Introducción. Funciones de la capa física

Un aspecto fundamental y del cual depende directamente la calidad de la red es el medio de transmisión empleado. El medio de comunicación limita y condiciona propiedades básicas del sistema de transmisión tales como la velocidad máxima, tipo de señales que pueden transmitirse, condiciones de funcionamiento etc. Es por tanto, necesario realizar un estudio no solo de las propiedades del medio de transmisión sino también del tipo de señal que se está introduciendo por el medio. Así, se considerará como señal a la entidad física que se transmite a través de una canal para unir dos elementos independientes. Dicha señal ha de transportar la información en forma de bits generada por las capas de nivel superior de la arquitectura de red utilizada. A lo largo de este tema se van a describir las funciones del nivel físico definido por el OSI. Este nivel físico, que también es empleado por otras arquitecturas como TCP/IP, se encarga de realizar la transmisión de una serie de bits por el canal de comunicación en forma de señales físicas.

El nivel físico recibe una trama binaria que se debe convertir a una señal eléctrica, electromagnética u otra dependiendo del medio de transmisión, de tal forma que, a pesar de la degradación que pueda sufrir en el medio, vuelva a ser interpretable correctamente en el receptor. El nivel físico será, por lo tanto, la capa encargada de coordinar las acciones necesarias para la transmisión de un flujo de bits a través de un medio físico, de manera que dentro de las especificaciones propias al nivel físico cabría citar algunas como:

- Definir el tipo de medio. Por ejemplo, si se va a transmitir por fibra óptica, par trenzado o si se trata de una comunicación inalámbrica.
- Velocidad de transmisión. Es decir, la cantidad de información que es capaz de transmitir un sistema de comunicación por unidad de tiempo
- Configuración de la línea (punto a punto o multipunto).
- Señalización / Modulación. Se encargará de adecuar las señales al medio físico por el que se desea realizar la transmisión.
- Sincronización emisor-receptor. Define los protocolos para el envío de datos por parte del emisor y confirmación por parte del receptor.
- Topología. Estructura física de la red empleada.
- Interconexiones mecánicas. Dispositivos que aparecen en cualquier sistema de comunicación tales como conectores, concentradores así como sus características eléctricas y mecánicas.

En la Figura 2.1 se muestran los elementos básicos implicados en una comunicación. En esta figura se representa un esquema en el que dos ordenadores desean comunicarse entre sí empleando la RTC (Red Telefónica Conmutada). Los elementos básicos que conforman una comunicación son los siguientes:

- DTE (Equipo Terminal de Datos). Se trata del dispositivo que quiere enviar y recibir información a través de la red. En el caso de la Figura 2.1 los dos ordenadores que desean comunicarse.
- DCE (Equipo Comunicador de Datos). Este es el dispositivo que adapta o transforma la información generada por el DTE para hacerla adecuada a la soportada por el medio físico (p. ej. modem, tarjeta de red, etc.).
- Medio Físico. Lugar por donde se encamina la señal para llegar a su destino (p. ej. cable, espectro de radio, etc.).
- Canal de datos. Define una transmisión unidireccional en el medio físico.

- Circuito de datos. Define la comunicación entre los dos DCE (puede comportar más de un canal de datos).
- Enlace de datos. Define la comunicación entre los dos DTE.

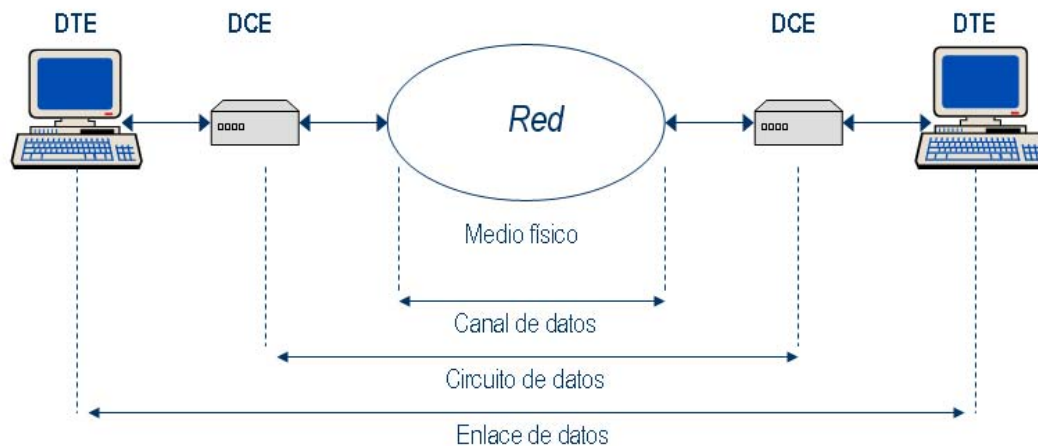


Figura 2-1: Modelo simplificado de comunicaciones.

2.2. Fundamentos de la transmisión de datos

2.2.1. Tipos de señales y parámetros de una señal

Como se ha indicado anteriormente, se considera como señal a la variación en el tiempo de una magnitud física (p. ej. señal electromagnética, óptica, etc.). Es posible clasificar las señales atendiendo a distintos criterios como los mostrados en la Figura 2-2 atendiendo a su naturaleza:

- Analógica. Señal continua que varía suavemente en el medio.
- Digital. Señal discreta que sólo puede tener un número definido de valores en instantes de tiempo determinados.
- Periódica: formada por un patrón que se repite continuamente.
- Aperiódica: no posee patrón repetitivo.
- Simples: seno, coseno...
- Compuestas: basadas en una composición de señales simples.

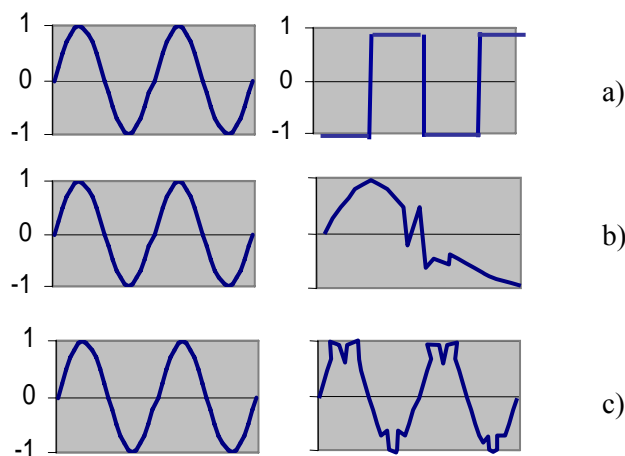


Figura 2-2: a) Señal Analógica – Digital. b) Señal periódica-aperiódica. c) Señal simple-compuesta.

Además las señales pueden clasificarse atendiendo a la magnitud física de la señal en: señales eléctricas que son aquellas en las que su magnitud hace referencia a voltaje o amperaje, señales ópticas en las que su magnitud es intensidad luminosa y señales electromagnéticas en las que varía con el tiempo la fase, amplitud y/o la frecuencia.

Como se ha descrito anteriormente, las señales periódicas presentan un determinado patrón que se repite cada cierto tiempo. Una típica señal periódica es la onda senoidal:

$$s(t) = A \sin\left(2\pi \frac{1}{T} t + \phi\right) \quad (2.1)$$

La onda senoidal anterior y, en general, cualquier señal periódica, $s(t)$, puede ser caracterizada por los siguientes parámetros (véase Figura 2.3):

- Amplitud, A : Valor de la señal en un instante t .
- Periodo, T : Cantidad de tiempo que tarda la señal en completar un ciclo, de forma que se cumple que: $s(t+T)=s(t)$.
- Frecuencia: Inversa del periodo $f=1/T$. La frecuencia se mide en Hertzios o Ciclos por segundo.

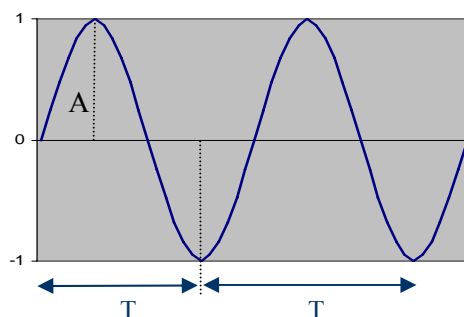


Figura 2-3: Parámetros que definen una señal.

Adicionalmente, otro parámetro que define una señal periódica es la fase, ϕ . La fase es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un periodo de la misma. En la Figura 2.4 se observa el efecto de variar cada uno de estos parámetros en una señal senoidal. En la Figura 2.4a se ha representado una señal con periodo $T=50$ mseg., amplitud $A=0.5$ y fase $=0$; en la Figura 2.4b se aumenta la amplitud $A=1$; en la Figura 2.4c el periodo se ha aumentado a 100 mseg. y, finalmente, en la Figura 2.4d la fase vale $\pi/2$.

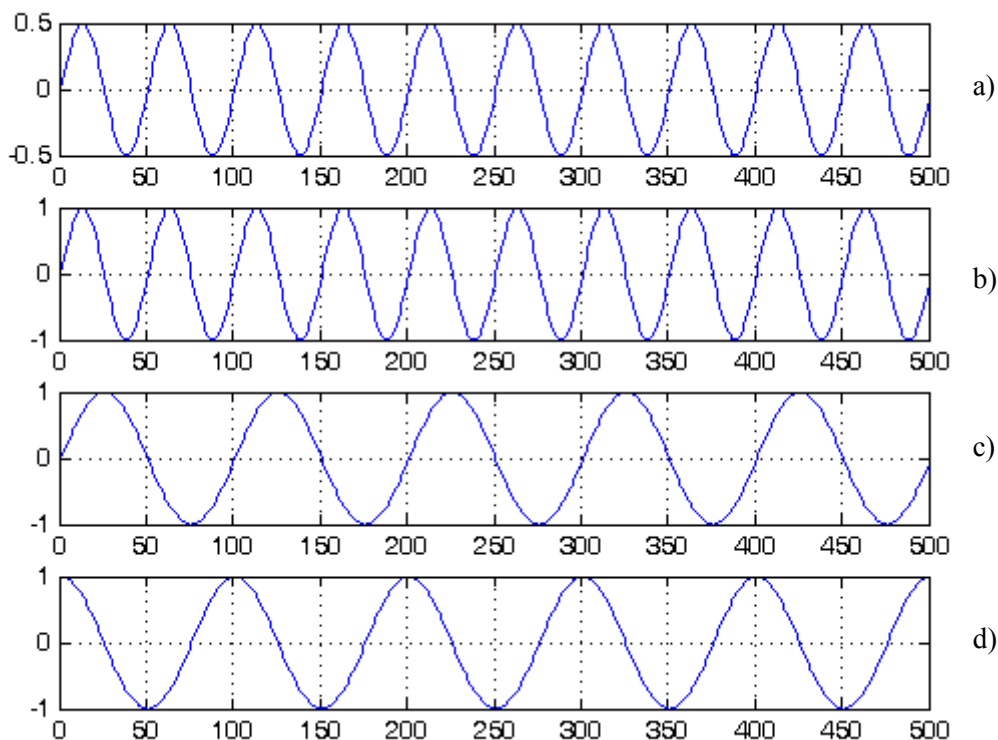


Figura 2-4: Efecto de variar los parámetros de una onda senoidal.

2.2.2. Desarrollo en serie de Fourier

Cualquier señal, por compleja que sea puede ser descompuesta en partes más sencillas. En concreto, las ondas electromagnéticas típicas empleadas para la transmisión de información en redes de computadores pueden ser descompuestas en señales de distinta frecuencia. Esto se puede conseguir aplicando el desarrollo en series de Fourier. De esta manera, como se verá posteriormente, será más sencillo realizar la descomposición de una señal compleja en muchas señales senoidales cada una de ellas con una frecuencia dada, y estudiar la distorsión en el medio de las mismas, que estudiar la distorsión directamente de la señal compuesta.

Dada una señal compuesta periódica cualquiera, el matemático *Fourier* demostró que es posible descomponerla en una serie infinita de funciones simples (senos y cosenos) de diferente amplitud y frecuencia.

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi n f_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi n f_0 t) \quad (2.2)$$

donde:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cdot \cos(2\pi n f_0 t) dt \quad n=0 \dots \infty \quad (2.3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cdot \sin(2\pi n f_0 t) dt \quad n=1 \dots \infty \quad (2.4)$$

Los valores a_n y b_n se denominan amplitud del seno y coseno del n -ésimo armónico respectivamente. De manera que al par $(a_n \cos(2\pi n f_0 t), b_n \sin(2\pi n f_0 t))$ se le denomina armónico de orden n . Además, la frecuencia $f_0=1/T$ será la frecuencia fundamental. Cada armónico en el que se descompone la señal original presenta una frecuencia que será múltiplo de la frecuencia fundamental.

2.2.3. Espectro de potencia

Como se observa de la ecuación correspondiente al desarrollo en serie de Fourier para obtener la descomposición de una señal compleja $s(t)$ es necesario sumar infinitos armónicos. Sin embargo, los primeros armónicos (los de menor orden) tienen mayor importancia ya que las ondas senoidales correspondientes tienen mayor amplitud. Esto último implica que no es necesario disponer de los infinitos armónicos para poder posteriormente reconstruir una señal sino que bastará con los n primeros armónicos ya que la mayor parte de la información se encuentra almacenada en ellos. Esto último se puede estudiar analizando el denominado espectro de potencias que mide la contribución de cada término armónico a la reconstrucción de la señal original:

$$P_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.5)$$

2.2.4. Ancho de banda

Otro concepto importante a la hora de analizar el proceso de transmisión de señales es el de ancho de banda, B . El ancho de banda es una característica natural de todos los medios y se define como el rango de frecuencias de las señales que se pueden transmitir por el medio físico.

En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de espectro de potencia de una señal electro magnética en el que se ha representado el valor del ancho de banda, B , del medio por el cual se está realizando la transmisión. Como se ha indicado anteriormente cuanto menor es el orden del armónico la potencia correspondiente tiende a ser mayor. Además, debido al ancho de banda limitado del medio, únicamente se podrán transmitir los armónicos con frecuencia menor o igual a B .

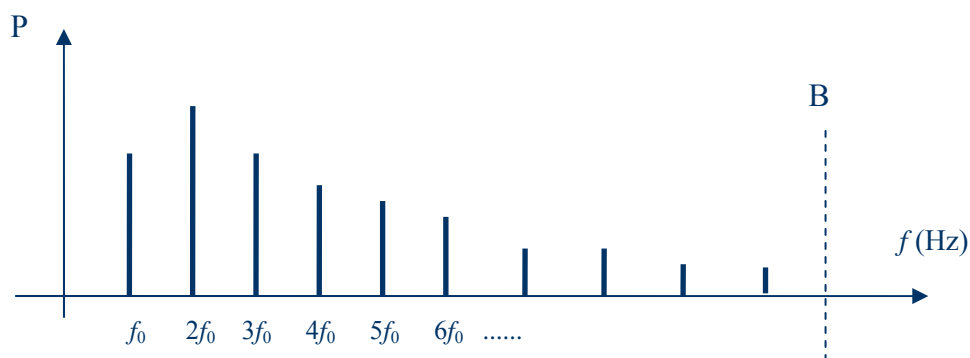


Figura 2-5: Espectro de potencia y ancho de banda.

Como ejemplo de descomposición de una señal compleja en armónicos simples, en la Figura 2.6 se muestra el proceso seguido para descomponer la señal de pulsos correspondiente al carácter ascii 'b' en armónicos simples. La señal de pulsos es analógica y en principio aperiódica. Sin embargo, y como se ha indicado con anterioridad, el desarrollo en serie de Fourier se aplica únicamente a señales periódicas. Para soslayar este problema se considera la transmisión del byte correspondiente de forma continua, por lo que el periodo de la señal se considera como el tiempo que se tarda en transmitir 8 bits.

En la parte izquierda de la Figura 2.6 se representa la señal de pulso original junto con su espectro de potencias. En la parte derecha se muestra cuál sería la señal reconstruida al considerar 1, 2, 4 y 8 armónicos respectivamente. Como se observa en esta figura, al aumentar el número de armónicos en el medio la señal posee mejor definición. Así, cuanto mayor sea el ancho de banda más armónicos admitirá el medio y, por lo tanto, más fácil será realizar la reconstrucción de la señal original en el otro extremo de la comunicación.

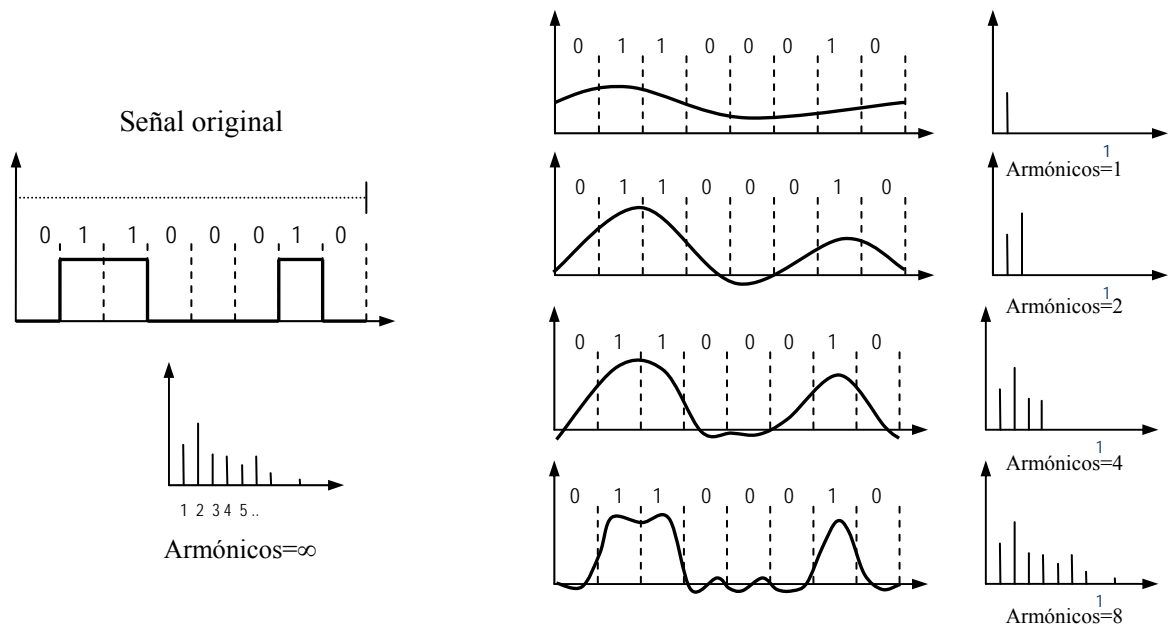


Figura 2-6: Espectro de potencia y ancho de banda.

2.2.5. Ganancia

Dado un determinado medio de transmisión, se define la ganancia del mismo como la relación entre la amplitud de la entrada y la de la salida. El comportamiento ideal es que la ganancia del medio sea de 1 para todo el rango de frecuencias, sin embargo, a menudo la evolución de la ganancia con respecto a la frecuencia de los medios de transmisión es similar al mostrado en la Figura 2.7. En dicho esquema se ha representado con f_i la frecuencia inicial, es decir, para que un determinado armónico pueda transmitirse por el medio es necesario que como mínimo presente esta frecuencia. De forma similar con f_c se indica la frecuencia superior de corte, de forma que los armónicos de mayor frecuencia no serán transmitidos por el medio.

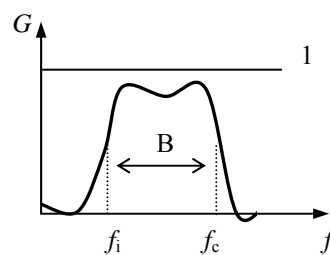


Figura 2-7: Ganancia de un medio de transmisión.

Ejercicio 2.1

Considérese que se tarda 1 mseg. en transmitir la señal correspondiente al carácter 'b' representada en la Figura 2.6 por un medio de transmisión telefónico. Se pide determinar cuántos armónicos se transmitirán por el citado medio. Para resolver este ejercicio es necesario tener en cuenta que el ancho de banda telefónico es de 4 KHz. Además en este caso se considera que $f_i=400$ Hz y $f_c=4400$ Hz.

El primer paso para resolver el problema consiste en determinar el valor de la frecuencia fundamental que nos indicará cuanto estarán separados en frecuencia los armónicos.

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-3} \text{ seg}} = 1000 \text{ Hz}.$$

Esto quiere decir que se transmitirá el primer armónico que presenta una frecuencia de 1KHz, el segundo a 2 KHz, el tercero a 3 KHz y el cuarto a 4KHz. El quinto no se enviará ya que presentaría una frecuencia mayor a la frecuencia superior de corte f_c .

2.2.6. Prestaciones del medio físico

La velocidad de modulación V_m se define como la cantidad de veces por segundo que una señal puede cambiar su valor. Este parámetro indica lo rápido que puede cambiar la información y se mide en baudios.

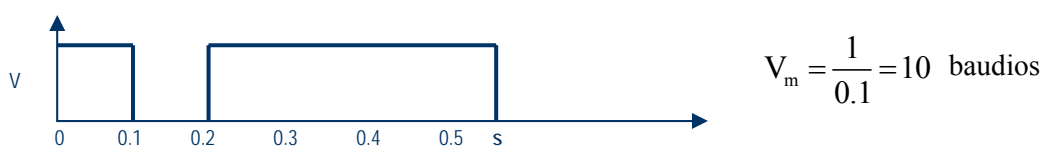


Figura 2-8: Velocidad de modulación.

Un medio de transmisión de b baudios podría transportar varios bits en cada instante. En este caso, la velocidad de transmisión (en bits por segundo) es igual a: $V_t(\text{bps}) = V_m \log_2 N$ donde N es el número de estados significativos de la señal. En la Figura 2.9 se muestra una comparativa entre velocidad de transmisión y de modulación.

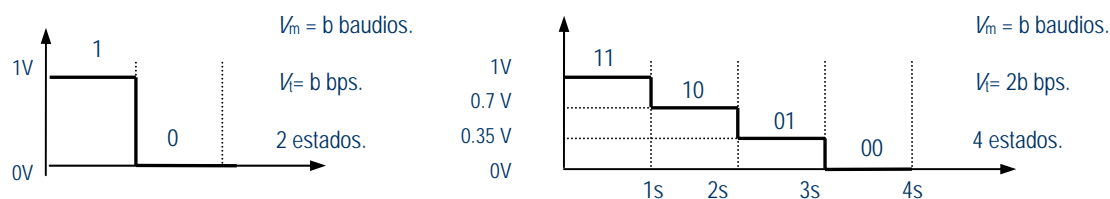


Figura 2-9: Velocidad de transmisión y de modulación

Si se aumenta el número de estados posibles de la señal, aumenta la velocidad de transmisión (la de modulación no varía):

- 2 estados: 1 bit en cada estado (0,1).
- 4 estados: 2 bits en cada estado (00, 01, 10, 11) → se duplica la velocidad inicial.
- 8 estados: 3 bits en cada estado (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111) → se triplica la velocidad inicial.
- 16 estados: 4 bits en cada estado (0000, 0001, ..., 1110, 1111) → se cuadruplica la velocidad inicial.

Existe una relación entre la velocidad de transmisión y el número de armónicos que pueden transmitirse. Para obtener esta relación considérese, como se hizo en la Figura 2.6, que se transmite un total de λ bits en T segundos. Por lo tanto, la velocidad de transmisión será de:

$$V_t = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f_0 \rightarrow f_0 = \frac{V_t}{\lambda} \quad (2.6)$$

Por lo tanto, si aumenta la velocidad de transmisión, también aumentará la frecuencia fundamental y, consecuentemente, la separación entre los armónicos. Considerando un medio de transmisión con un ancho de banda B y una frecuencia inicial, $f_i=0$, se cumplirá lo siguiente:

$$n \cdot f_0 \leq B \rightarrow n \frac{V_t}{\lambda} \leq B \rightarrow n \leq \frac{\lambda B}{V_t} \quad (2.7)$$

Según esta expresión al aumentar la velocidad de transmisión menor será la cantidad de armónicos transmitidos para un ancho de banda, B , dado. Por lo tanto, el ancho de banda limita la velocidad de transmisión máxima que puede alcanzarse ya que si se aumenta excesivamente puede ocurrir que el número de armónicos transmitidos no sean suficientes para la posterior reconstrucción de la señal como se mostró en el Apartado 2.2.4. En la Tabla 2.1 se muestra para el carácter 'b' de la Figura 2.6 cuantos armónicos se transmitirían por un medio de ancho de banda de 1KHz según se aumenta la velocidad de transmisión.

Bps	Frecuencia fundamental	Armónicos en canal B	Frecuencia del último armónico (Hz)
100	12,5	80	1000
300	37,5	26	975
600	75	13	975
1200	150	6	900
2400	300	3	600
4800	600	1	600
9600	1200	0	0

Tabla 2-1: Armónicos transmitidos dependiendo de la velocidad de transmisión. B= 1KHz.

2.3. Perturbaciones en la transmisión

A la hora de caracterizar un medio de transmisión no sólo hay que tener en cuenta su ancho de banda que limita la calidad de la información reconstruida, sino que existen otras fuentes de error que son las denominadas perturbaciones. Como se ha indicado anteriormente, la energía de la señal recibida debe ser suficiente para que la electrónica en el receptor pueda detectar la señal adecuadamente. Dicho de otro modo, los armónicos que lleguen al receptor deben contener suficiente información como para poder reconstruir la señal. Además, la señal recibida debe conservar un nivel suficiente mayor que el ruido. Es necesario, por lo tanto, analizar qué perturbaciones pueden aparecer en el medio y que de alguna forma van a limitar y distorsionar los armónicos que lleguen al receptor.

Las perturbaciones que aparecen a menudo en cualquier medio de transmisión, son las siguientes:

- **Atenuación.** Se trata de un decremento en la amplitud de los diferentes armónicos transmitidos. La atenuación depende de la frecuencia a la que es transmitido un determinado armónico, por lo tanto, algunos armónicos sufrirán mayor atenuación que otros. En general la energía de la señal transmitida decae con la distancia y la atenuación es habitualmente una función creciente de la frecuencia. La atenuación se mide en decibelios y se cumple que:

$$A(\text{db}) = 10 \log_{10} \frac{P_e}{P_s} \quad (2.8)$$

- **Distorsión de retardo.** Se trata de un retraso en la llegada de algunos armónicos al otro lado de la línea. Para una señal que se transmite por un medio con ancho de banda limitado, la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y disminuye al acercarse a los extremos f_i y f_c . Por lo tanto, los distintos armónicos llegarán al receptor en

instantes de tiempo diferentes, dando lugar a desplazamientos de fase entre las diferentes frecuencias.

- **Ruido.** Se trata de una perturbación aleatoria que se encuentra que cualquier medio de transmisión. Esta perturbación se mide mediante la denominada relación señal-ruido en decibelios. Un valor alto de esta relación implicará una buena transmisión ya que el medio se verá afectado en menor medida por el ruido.

$$S/N(\text{db}) = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n} \quad (2.9)$$

2.4. Velocidades máximas de envío de datos

En este apartado se va a describir la manera de obtener la velocidad máxima que puede alcanzarse en un medio físico según dos criterios distintos: el teorema de muestreo y la relación señal/ruido en el medio.

2.4.1. Teorema de muestreo

El teorema de muestreo o teorema de Nyquist afirma que al hacer pasar una señal por un medio con ancho de banda B , dicha señal puede reconstruirse con muestras tomadas a una frecuencia $f_m = 2B$.

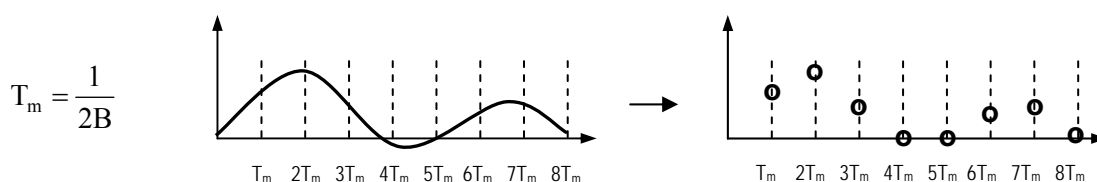


Figura 2-10: Proceso de muestreo

A mayor frecuencia de muestreo f_m se capturan más muestras de la señal original por unidad de tiempo. Esto implica que las muestras detectan variaciones más pequeñas, por lo tanto, en principio a mayor frecuencia de muestreo, más información se dispondrá de la señal original y más fácil será su posterior reconstrucción. Sin embargo, a partir de $f_m = 2B$ no se conseguirá mayor calidad porque el medio elimina las componentes de alta frecuencia (es decir, frecuencias por encima de B).

2.4.2. Velocidad máxima según el teorema de muestreo

De lo dicho en el Apartado 2.4.1 se puede concluir que la variación de señal más pequeña detectable dura $T_m=1/2B$, de manera que la velocidad de modulación máxima es de $V_{mMAX}=1/T_m=2B$. En general cuando se utilizan N niveles y considerando un medio sin ruido, la velocidad máxima teórica a la que es posible transmitir cualquier carácter en un medio de ancho de banda B es:

$$V_t \text{ (bps)} = 2B \log_2 N \quad (2.10)$$

2.4.3. Velocidad máxima según la relación señal/ruido

En el caso de un medio con ruido, *Shannon* estimó que la velocidad de envío de datos máxima en un canal ruidoso con relación de potencias señal/ruido (PS/PN) y cuyo ancho de banda es B Hertzios es:

$$V_t \text{ (bps)} = B \log_2 \left(1 + \frac{PS}{PN} \right) \quad (2.11)$$

donde PS/PN no se expresa en decibelios ya que:

$$\left(\frac{PS}{PN} \right)_{db} = 10 \log_{10} \left(\frac{PS}{PN} \right) \quad (2.12)$$

El límite establecido por Shannon es un límite físico de los medios de comunicación debido al efecto del ruido. Como se observa de la Ecuación (2.12), la velocidad máxima establecida por el teorema de Nyquist puede incrementarse aumentando progresivamente el número de niveles. Sin embargo, la velocidad máxima obtenida por el teorema de Nyquist no podría alcanzarse si supera el límite máximo establecido por Shannon. Esto es debido a que el efecto del ruido provocaría que los niveles de señal serían irreconocibles.

Ejercicio 2.2

Una empresa tiene la sede central en Alicante y varias sedes localizadas en otras ciudades: Elche, Alcoy, Denia, Villena y Orihuela. En cada sede se dispone de una red IEEE 802.3, que conectan varias computadoras, un servidor y un router que proporciona conectividad con el exterior. Si además se sabe que los routers disponen de un MODEM que funciona a 3200 baudios, y la relación señal/ruido de la línea telefónica es de 60dB. Calcula la máxima velocidad a la que puede transmitir el router.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_t = 2B \cdot \log_2(N) \\ V_t = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{PS}{PN}\right) \end{array} \right\} \rightarrow 2 \cdot \log_2(N) = \log_2\left(1 + \frac{PS}{PN}\right) \rightarrow N = \sqrt{1 + \frac{PS}{PN}}$$

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log_{10}\left(\frac{PS}{PN}\right) \rightarrow \frac{PS}{PN} = 10^6 = 1000000$$

$$N = N = \sqrt{1 + 1000000} \approx 1000$$

$$V_t = V_m \cdot \log_2 N = 3200 \cdot \log_2 1000 = 3200 \cdot 10 = 32000 \text{ bits/s}$$

2.5. Filtrado de señales

Como se ha descrito anteriormente, en los sistemas de comunicaciones se desea manejar información que debe estar dentro de un determinado rango de frecuencias, por lo tanto, a menudo surge la necesidad de permitir o eliminar ciertos grupos de frecuencias de la señal original. Esta función es realizada por los filtros. De hecho, los medios de transmisión funcionan como filtros que únicamente permiten transmitir en el rango de frecuencias correspondiente a su ancho de banda. Así, el estudio de los filtros, nos permitirá interpretar las características de los enlaces físicos que se comportan como cierto tipo de filtros

Los filtros constituyen una parte de las redes de comunicaciones que presentan características selectivas de frecuencias. Esto significa que la atenuación en ellos es variable con la frecuencia, lo cual permite discriminar las señales que pasarán libremente a través del filtro. Si la señal que se aplica a la entrada del filtro contiene armónicos en un amplio rango de frecuencias, dicho filtro actuará de manera que solamente algunos armónicos en determinadas frecuencias aparecerán a la salida. En base a la función principal de los filtros, que es permitir el paso de armónicos en las frecuencias que se desea y presentar una atenuación elevada para las frecuencias indeseables, estos pueden ser:

- **Filtros pasa bajo:** dejan pasar las frecuencias que están por debajo de la seleccionada por el filtro. Sólo permite el paso de las frecuencias inferiores a la frecuencia de paso o de corte f_c y atenúa o suprime todas las frecuencias superiores a la frecuencia de corte.
- **Filtros pasa alto:** dejan pasar las frecuencias que están por encima de la seleccionada por el filtro. Sólo Permite el paso de las frecuencias superiores a la frecuencia de corte o de paso f_c y atenúa todas las frecuencias menores a la frecuencia de corte.
- **Filtros pasa banda:** son una combinación de los dos filtros anteriores. Estos eliminan las componentes cuyas frecuencias están por encima o por debajo de unos límites o frecuencias de corte de cada filtro. Sólo las frecuencias comprendidas entre ellas pasan a su través. Esta

banda de frecuencias permitidas se llama banda de paso. Por lo tanto, permite el paso de un rango de frecuencias definido entre una frecuencia de corte inferior f_{ci} y una frecuencia de corte superior f_{cs} .

Ejemplo

Distribución del ancho de banda en ADSL y filtrado.

El principio de funcionamiento de la tecnología ADSL se basa en que en un cable telefónico se puede llegar a transmitir un espectro de más de 1MHz, y para las conexiones analógicas solo se usa el espectro de la voz (4KHz). Por lo tanto, el ancho de banda aprovechable del medio físico será mayor a 1 MHz y se divide de la siguiente manera (ver Figura 2.11):

Las frecuencias inferiores se utilizan para el canal de la señal de voz analógica ya existente.

En medio está el espectro dedicado al enlace ascendente o del usuario a la red.

En las frecuencias superiores esta el enlace descendente o desde la red al usuario.

Un filtro pasa bajo con frecuencia de corte $f_c = 22$ KHz permitiría aislar el espectro de frecuencias correspondiente a la voz del resto de información que circula por el medio. Además, un filtro pasa alto con frecuencia de corte $f_c = 230$ KHz podría emplearse para obtener la información procedente del canal ascendente, es decir, los datos que se están descargando de la red. Por ultimo, para aislar los datos del canal ascendente podría emplearse un filtro pasa banda con una frecuencia de corte inferior $f_{ci} = 23$ KHz y una frecuencia de corte superior $f_{cs} = 220$ KHz.

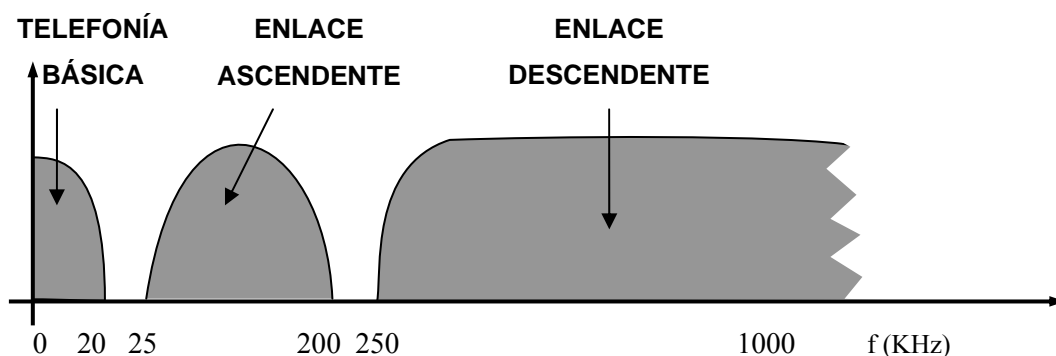


Figura 2-11: Distribución del ancho de banda en ADSL

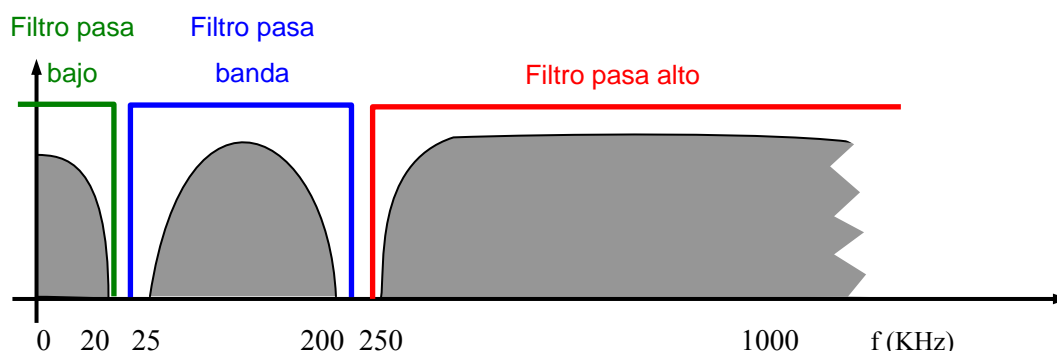


Figura 2-12: Filtrado de la información en ADSL.

2.6 Transmisión analógica y digital. Definiciones y conceptos básicos

Como se ha indicado en el apartado 2.2.1, a la hora de realizar la transmisión de información se puede optar por emplear información analógica o bien discretizar esta información y transmitirla en forma de señales digitales. Tanto la transmisión analógica como la digital presentan una serie de propiedades que es necesario analizar con el objetivo de conocer cual será el desempeño de la misma. Así, por ejemplo, cuando se emplea transmisión analógica la señal tiende a debilitarse con la distancia lo cual implica en ocasiones tener que emplear amplificadores con el objetivo de aumentar su energía. Este tipo de dispositivos, aunque regeneran la señal, también amplifican el ruido que haya podido aparecer durante la transmisión. Sin embargo, cuando se realiza transmisión digital se evita notablemente la atenuación que aparecía en el caso de transmisión analógica a largas distancias. Sin embargo, dependiendo de las características del medio físico utilizado, con el objetivo de salvar las limitaciones de distancias máximas se pueden emplear repetidores que regeneran el patrón de ceros y unos. En general la transmisión digital presenta notables ventajas frente a la analógica dentro de las cuales cabe mencionar:

- Disminución del coste en las tecnologías utilizadas. Los dispositivos empleados (p. ej. multiplexores, codificadores, conmutadores, etc.) presentan menor coste. Además el tendido de líneas de transmisión de banda ancha es más económico.
- Se consigue una transmisión de datos a distancias mayores utilizando líneas de calidad inferior.
- Cuando se transmiten datos digitales se puede alcanzar un alto grado de multiplexación y de una forma más sencilla que empleando datos analógicos.

- Se pueden aplicar técnicas de seguridad y privacidad como puede ser encriptación de la información digital transmitida.

2.7 Modos de transmisión

Un aspecto que se ha de tener en cuenta a la hora de realizar la transmisión es la posibilidad de utilizar transmisión síncrona o asíncrona. Esta clasificación se hace atendiendo a la forma en la que el receptor determina donde se encuentran los bits intercambiados en una transmisión.

En comunicación síncrona se requiere emplear una señal de reloj. Esta señal, también denominada reloj de bit, presenta forma de pulsos de manera que cada uno de ellos indica el momento en el que se debe hacer la lectura de la señal de datos. Atendiendo a como se especifica la señal de reloj se puede encontrar comunicación síncrona empleando una línea con la señal de reloj de bit independiente de la línea de datos (Figura 2.13) o comunicación síncrona con reloj de bit junto con los datos (Figura 2.14). La primera aproximación es empleada habitualmente en las interfaces DTE-DCE actuales mientras que la segunda es más utilizada en las LAN.

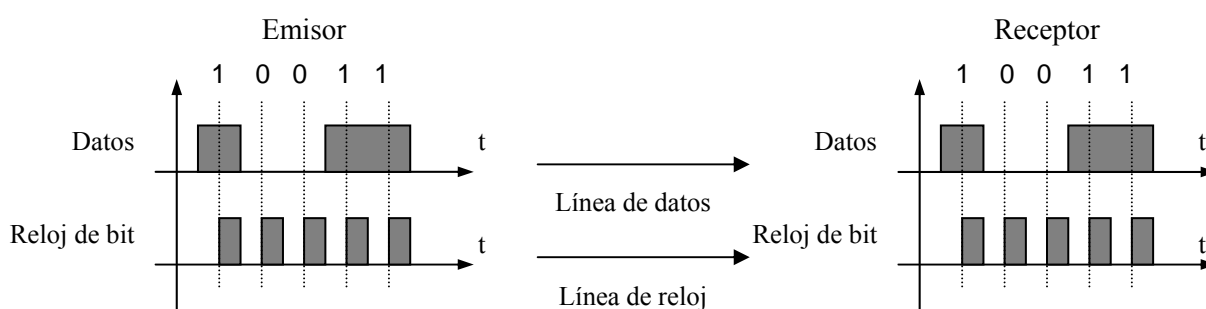


Figura 2-13: Esquema de transmisión síncrona. Datos y reloj en líneas distintas.

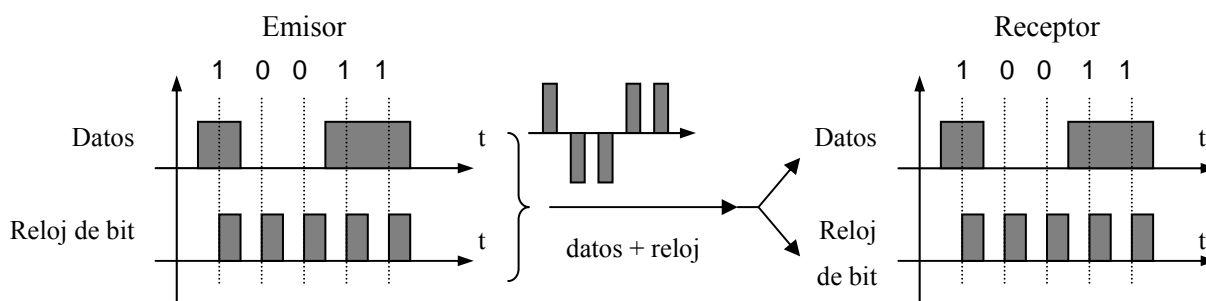


Figura 2-14: Esquema de transmisión síncrona. Datos y reloj en la misma línea.

En comunicación asíncrona no se envía la señal de reloj de bit sino que se envía un pulso de sincronización cada cierto número de bits. Este tipo de comunicación se emplea en interfaces DTE-DCE lentas (ver Figura 2.15).

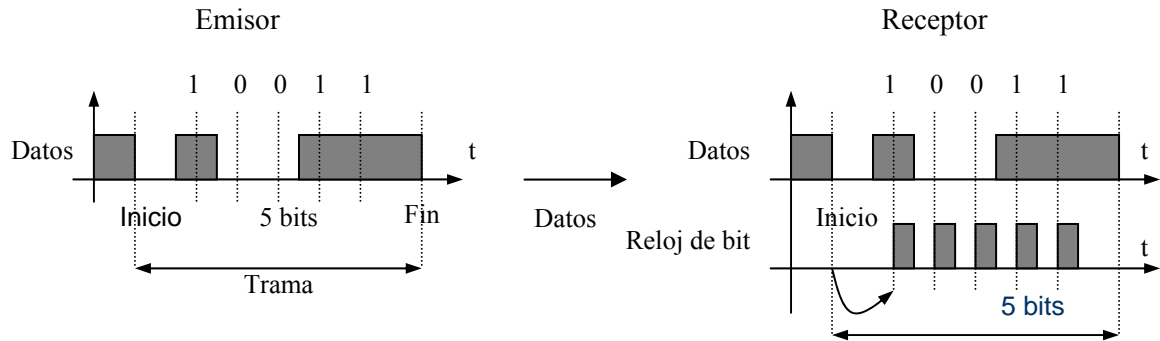


Figura 2-15: Esquema de transmisión asíncrona.