

## Tema 63. Funciones y servicios del nivel físico. Tipos y medios de transmisión. Adaptación al medio de transmisión. Limitaciones a la transmisión. Estándares

<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>Tipos de transmisión</b>	<b>2</b>
Teoría de las señales	2
Adaptación al medio	4
Señales analógicas	4
Señales digitales	4
<b>Medios de transmisión</b>	<b>5</b>
Guiados (cables)	5
Par trenzado	5
Coaxial	6
Fibra óptica	6
No guiados (ondas de radio)	6
<b>Limitaciones a la transmisión</b>	<b>7</b>
Perturbaciones	7
Tasa de datos máxima de un canal	7
<b>Estándares</b>	<b>8</b>
ADSL	8
RDSI	8
<b>Conclusión</b>	<b>8</b>
<b>Bibliografía y webgrafía</b>	<b>9</b>

Páginas	8.5
Palabras	~ 3050
Esquemas/dibujos	3
Tablas	1
<p style="text-align: center;"><b>Nota:</b> máx. 2700 palabras. Cada tabla/esquema unas 100-150 palabras</p>	

## 1. Introducción

Las primeras redes de ordenadores se diseñaron pensando en el hardware que se iba a utilizar en cada momento, sin pensar en la evolución de los sistemas ni en la interconexión de redes o la compatibilidad para futuros desarrollos. Los problemas vinieron justamente porque surgieron este tipo de requisitos con el paso de los años.

Para solucionarlo se diseñaron las **arquitecturas de red** (al principio cada fabricante la suya propia), siendo IBM el primero en lanzar la suya (SNA, *Systems Network Architecture*), basada en siete niveles o capas. SNA fue la base para el diseño de las arquitecturas OSI y TCP/IP, que son las que se utilizan hoy en día.

La división en niveles más adecuada es la utilizada por la arquitectura OSI, aunque algunas capas se combinan en una sola en el modelo híbrido que se utiliza en la actualidad. En este tema nos centramos en la **capa física**, cuya **función** es, básicamente, la de transmitir bits físicamente desde un emisor a un receptor a través de un medio.

Modelo OSI
7. Aplicación
6. Presentación
5. Sesión
4. Transporte
3. Red
2. Enlace
1. Física

Las **funciones y servicios propios de la capa física** son:

- Especificar la forma de los conectores, características de los cables, medidas, etc.
- Especificar las características de las frecuencias de las señales que se envían por los cables o radio.
- Indicar la forma de modular o codificar los bits, tanto para transmisiones analógicas como digitales.

## 2. Tipos de transmisión

Existen **diversas clasificaciones** en cuanto a los tipos de transmisión que se pueden dar en un canal de comunicaciones. Algunas de ellas son:

- Transmisión síncrona/asíncrona. Sincronización para el instante de inicio y fin de transmisión entre emisor y receptor.
- Transmisión simplex/half-dúplex/full-dúplex. Unidireccional, bidireccional (sólo 1 sentido a la vez) y bidireccional (2 sentidos a la vez).
- Transmisión en serie/en paralelo. Envío de bits simultáneos por 1 o varios canales a la vez.
- Transmisión analógica/digital.

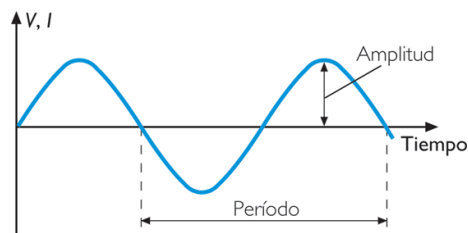
Aunque todas son importantes, **nos centraremos en las transmisiones analógicas y digitales**, puesto que entender el funcionamiento de la transmisión, bien sea analógica o digital, es la base del funcionamiento de la comunicación de datos a través de una red.

### 2.1. Teoría de las señales

La **información lógica** que manejamos en un ordenador, y que deseamos enviar a otro a través de un medio físico, es **representada internamente con el alfabeto binario** (1s y 0s). Cada 1 o 0 es lo que se denomina **bit**. Las combinaciones bits nos permiten

representar números, y si asociamos a cada número decimal un símbolo (como caracteres, números o signos de puntuación), podremos codificarlos utilizando combinaciones de bits, utilizando, por ejemplo, el código ASCII.

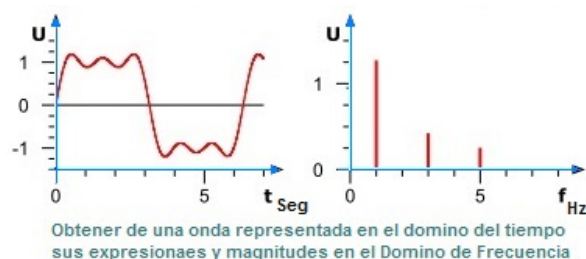
Serán **estas secuencias de bits las que se deban transmitir de alguna forma a través del medio físico** escogido. Para la transmisión a través del medio se utilizan las **señales eléctricas**, que pueden generarse a través de **fenómenos electromagnéticos**. Estas señales que se transmiten serán siempre analógicas (es decir, el dominio de voltajes posibles que podrá tomar la señal a lo largo del tiempo será continuo en un intervalo determinado). Una onda electromagnética se puede representar matemáticamente como una **función senoidal basada en el tiempo** de la siguiente forma:



Al nº de veces que se repite una onda periódica por segundo se le denomina **frecuencia** y se mide en hercios (Hz). Sin embargo, una onda que pueda representar información real, como por ejemplo una conversación de voz humana, será siempre mucho más compleja:



El matemático francés J.B. **Fourier** demostró que una onda de este tipo puede ser descompuesta en una suma infinita de funciones senoidales simples, cada una con una frecuencia determinada. De esta forma, podremos obtener una onda aproximada a la función real si la representamos como la suma de ondas simples con diferentes frecuencias, siendo este rango de frecuencias el **ancho de banda (AB) de la señal** (por ejemplo, frecuencias de 4Hz a 10Hz, AB = 6Hz):



Esto permite que podamos enviar señales aproximadas de la información que queremos transmitir empleando ondas senoidales simples de diferentes frecuencias. **El medio de transmisión** (ej. grosor del cable), además, **limita el ancho de banda** de frecuencias a la

que se pueden transmitir ondas por ese canal sin que la señal se deteriore tanto que el receptor no sea capaz de diferenciar los valores de voltaje de las señales recibidas.

## 2.2. Adaptación al medio

La teoría de las señales es la base para la transmisión de datos. Debemos tener en cuenta que, por un canal de comunicación, podemos transmitir señales de dos tipos:

- **Señales analógicas.** Por ejemplo, la voz. Si queremos transmitir voz por un canal de comunicación, únicamente tendremos que transmitir una señal electromagnética que represente la señal mecánica de nuestra voz (transformar la presión en voltios).
- **Señales digitales.** Permitirán representar los 1s y los 0s de los datos a transmitir. Esto se hace típicamente decidiendo qué valor o valores de voltaje representan un 1 (ej. 5V) y qué valores representan un 0 (ej. -5V).

### 2.2.1. Señales analógicas

En las **señales analógicas**, conseguir un mejor aprovechamiento del canal de comunicaciones, evitar interferencias y evitar longitudes de onda muy grandes ( para reducir el tamaño de las antenas inalámbricas) no es tan simple: se requiere transmitir en frecuencias altas. Es necesario **modular la señal**, consistiendo esta técnica en modificar alguna propiedad de una onda portadora (que no es la que contiene la información) para que sea capaz de transmitir la información de la onda moduladora (la que lleva la información), pero en un **rango de frecuencias superior** (llamada transmisión pasa-banda). Existen tres tipos de modulación analógica:

- **AM** (Amplitud Modulada). Consiste en modular la amplitud de la onda portadora.
- **FM** (Frecuencia Modulada). Consiste en modular la frecuencia.
- **PM** (Fase Modulada). Modulación de la fase.

Este tipo de modulaciones permiten transmitir información puramente analógica, como voz a través de un canal de comunicaciones (ej. la radio).

### 2.2.2. Señales digitales

Sin embargo, en el mundo de la informática deberemos idear señales analógicas que sean capaces de representar bits (señales digitales). Esta técnica es la **modulación digital**. Distinguiamos dos tipos de modulación digital:

- **Transmisión en banda base.** En este tipo de transmisión, los bits se convierten directamente en una señal que ocupa un rango de frecuencias (AB) desde 0 hasta un valor máximo. Se utiliza para la transmisión digital por cable. A esta técnica también se le llama **codificación**, y existen diversos esquemas denominados **códigos de línea** que definen cómo se representa un 1 o un 0 en cuanto a voltaje en la transmisión, como pueden ser NRZ, NRZI, AMI, Manchester o Manchester diferencial.
- **Transmisión en banda pasante** (o pasa-banda). La señal se transmite en un rango de frecuencias (AB) que se encuentra alrededor de la frecuencia de transmisión de la señal portadora. Se debe modificar una propiedad de la onda portadora para poder transmitir la información de la moduladora. Este tipo de transmisión es típico

en medios inalámbricos, como la radio, las comunicaciones satelitales o el WiFi (802.11). Los métodos de modulación digital en banda pasante son análogos a los de modulación analógica:

- **ASK** (Modulación por Desplazamiento de Amplitud). Por ejemplo, una amplitud positiva representa un 1 y una amplitud nula un 0.
- **FSK** (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia). Una frecuencia baja puede representar un 0 y una alta frecuencia un 1.
- **PSK** (Modulación por Desplazamiento de Fase). Por ejemplo, un desplazamiento de 180 grados en la fase podría representar un 1.

En formas más complejas de la transmisión digital en banda pasante se pueden **utilizar varios valores de cada una de las magnitudes para representar más de 1 símbolo**. Por ejemplo, en PSK se podrían utilizar 4 valores diferentes de desplazamiento de fase para representar los símbolos 00, 01, 10 y 11. Esto permite mejorar la eficiencia del canal, puesto que, con cada ciclo de la onda, se pueden transmitir 2 bits de información. La tasa de símbolos por segundo que se puede transmitir son los **baudios**. En este caso, tendríamos una tasa de transmisión (bps) del doble de la tasa de baudios que se pueden transmitir, al estar codificando 2 bits en cada símbolo. Esta técnica concreta se llama **QPSK** (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

Sin embargo, como cabe esperar, **cuantos más bits por símbolo utilicemos para codificar, más complejos deberán ser los componentes electrónicos** (y más caros) y, además, más complicado resultará para el receptor poder distinguir los distintos valores que le llegan, ya que la onda habrá sido alterada por el ruido existente en el canal.

### 3. Medios de transmisión

#### 3.1. Guiados (cables)

Los medios de transmisión guiados son aquellos en los que la **onda electromagnética va encapsulada en un cable** (ej. redes LAN Ethernet, Token Ring, FDDI...), normalmente metálico (de cobre) o de vidrio (fibra óptica).

##### 3.1.1. Par trenzado

Consiste en dos hilos de cobre aislados y trenzados entre sí, y en la mayoría de los casos cubiertos por una malla protectora. Suelen agruparse en 4 pares de hilos por cable.

El propósito de **trenzar los hilos es reducir las interferencias electromagnéticas (EMI)** de los pares que se encuentren a su alrededor (dos pares paralelos son capaces de inducir o ser inducidos con una corriente eléctrica proveniente de cables cercanos).

Según estén o no recubiertos por esta malla protectora nos encontramos con:

- **Cables UTP** (*Unshielded Twisted Pair*). Cables sin recubrimiento metálico externo, de modo que es sensible a las interferencias. Resulta un cable barato y flexible.

- **Cables STP** (*Shielded Twisted Pair*). Es semejante al cable UTP, pero se le añade un recubrimiento metálico para evitar las interferencias externas. Es un cable más protegido, pero menos flexible y más caro que el UTP.
- **Cables FTP** (*Foiled Twisted Pair*). En este caso el apantallamiento es global, no individual por cada par.

Dentro de esta clasificación, existen diversas **categorías** (cat. 3, cat. 5, cat. 6, cat. 7...), indicando una categoría superior un cable de mejor calidad (ej. más trenzas por metro).

### 3.1.2. Coaxial

Otro tipo de cable es el cable coaxial. Consiste en un alambre de un metal conductor, usualmente cobre, rodeado de un material aislante, que, a su vez, está rodeado por un conductor cilíndrico (normalmente una malla trenzada).

Este cable tiene la característica de ser **muy inmune a las EMI** y tener un **amplio ancho de banda**, pero es más caro y más pesado que el par trenzado. Es por ello que su uso se ha limitado casi únicamente, en la actualidad, a las redes de televisión por cable.

### 3.1.3. Fibra óptica

De entre los medios guiados, la fibra óptica es el medio que está actualmente consiguiendo alcanzar velocidades de transmisión más altas (del orden de varios Tbps teóricos, pero en la práctica sólo se pueden conseguir varios Gbps). Este medio **utiliza la luz como portadora de datos** (indicando un pulso de luz un 1 y una ausencia de luz un 0).

Consiste en una fibra muy fina, hecha usualmente de vidrio, y que consta de **tres zonas distintas**: el núcleo (por donde se transmite la luz), el revestimiento y la cubierta opaca protectora. Se distinguen principalmente dos tipos de fibras:

- **Fibra multimodo**. El índice de refracción del núcleo y el del revestimiento son distintos, lo que permite a los rayos que entran con el ángulo adecuado rebotar en la canalización hasta salir por el otro extremo.
- **Fibra monomodo**. El núcleo es mucho más estrecho, y el haz de luz se transmite en línea recta. Son más rápidas que las multimodo, pero también más caras.

La fibra óptica se está utilizando cada vez más para casi cualquier tipo de red (no tanto en LAN), pero su **montaje es mucho más caro que el de cables de cobre**.

## 3.2. No guiados (ondas de radio)

Los medios no guiados son aquellos que permiten realizar **transmisiones inalámbricas** de datos, principalmente a través del aire o del vacío (ej. enlaces satelitales).

Su funcionamiento es muy similar al de la transmisión guiada, ya que se radia energía electromagnética a través de una antena que luego recibirá otra antena y la procesará. Las ondas electromagnéticas abarcan el denominado **espectro radioeléctrico** de todo el espectro electromagnético de frecuencias (desde los 3 KHz hasta los 300 GHz aprox.). Podemos distinguir:

- **Ondas de radio de baja frecuencia.** Utilizadas generalmente para la difusión de voz (emisoras de radio AM, FM...), ya que pueden atravesar fácilmente paredes, obstáculos y alcanzar largas distancias.
- **Ondas de radio de frecuencia media-alta.** Son las denominadas microondas, permiten establecer enlaces fijos terrestres o satelitales para la transmisión de datos a distancias medias. Se incluyen los enlaces móviles, utilizados típicamente en conexiones WLAN 802.11 (usualmente 2.4G-2.5GHz y 5.15-5.85GHz) y GSM.
- **Infrarrojos.** Estos se sitúan un poco más allá de los 300 GHz, y son muy utilizadas en comunicaciones de corto alcance, como mandos a distancia.

#### 4. Limitaciones a la transmisión

##### 4.1. Perturbaciones

Como hemos comentado, **el medio de transmisión determina el ancho de banda de frecuencias** a la que se pueden transmitir ondas por ese canal sin que la señal se deteriore tanto que el receptor no sea capaz de diferenciar los valores de voltaje de las señales recibidas. Esto es debido a que **se producen perturbaciones al interactuar la señal con el entorno**, como:

- **Atenuación.** Es la pérdida de potencia de la señal debido a la resistencia del medio: la señal llegará debilitada al receptor. La atenuación aumenta con:
  - La distancia (en caso de cables, cada 20m se pierden 3dB, o lo que es lo mismo, disminuye la potencia de la señal a la mitad).
  - La frecuencia. Debido al efecto pelicular. Todo cable tiene una frecuencia máxima operativa a partir de la cual la atenuación resulta demasiado elevada. Esto influye en el máximo AB capaz de soportar un canal.
- **Interferencias electromagnéticas (EMI).** También se le denomina **ruido**. Este tipo de interferencias se deben a la presencia de corrientes inducidas sobre la señal (ej. presencia de otras señales), lo que causan que se pierda energía. Las EMI pueden ser externas o internas; en este último caso se refiere a aquellas de pares del mismo cable y se denomina **diafonía** (*crosstalk*). En frecuencias más altas también aparece la **diafonía “alien”**, inducida por cables de datos próximos al nuestro (este es un problema en los cables 10Gb Ethernet).

##### 4.2. Tasa de datos máxima de un canal

En 1924, H. Nyquist se dio cuenta de que incluso un canal perfecto (sin ruido ni perturbaciones) tiene una capacidad de transmisión finita dado un ancho de banda finito de ese canal. Las conclusiones a las que llegó fueron que no vale la pena muestrear la señal recibida a través de un canal con ancho de banda B más de 2B veces por segundo, teniendo en cuenta 2 niveles discretos en cada ciclo. Generalizando (siendo V el n° de niveles discretos):

$\text{Tasa de datos máxima (bps)} = 2 \cdot B \cdot \log_2 V$
--

Más tarde, Claude Shannon extendió el trabajo a un canal sujeto a ruido aleatorio, el cual se deteriora bastante. Si determinamos la potencia de la señal mediante S y la del ruido mediante N, la relación señal ruido es S/N, y se suele medir en una escala logarítmica en

decibelios (dB), donde  $1\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} S/N$ . Finalmente, la ecuación de Shannon queda tal que así:

$\text{Tasa de datos máxima (bps)} = B \cdot \log_2 (1 + S/N)$
--

## 5. Estándares

### 5.1. ADSL

Se trata de aprovechar el mismo **cableado del teléfono analógico** (y no tener que implantar cables nuevos) **para la transmisión simultánea de voz y datos** (a velocidades razonables); por tanto, se requiere de un modem que pueda convertir la señal digital en analógica. Se basa en la utilización del rango de frecuencias del par de cobre no utilizado por el canal de voz (que va de 300Hz a 3.4KHz), asignando un espectro que va desde los 4Hz a los 2.2MHz. Esto se consigue gracias a la **multiplexación**, que permite dividir el AB total del cable en bandas de frecuencia que se utilizarán para la voz, la subida y la bajada de datos, por ejemplo a través de FDM (Multiplexación por División de Frecuencia).

Más adelante han aparecido otros estándares que mejoran las tasas de transmisión (como ADSL2/2+, VDSL2/2+...).

### 5.2. RDSI

Consiste en extender la red digital hasta el mismo bucle de abonado (eliminando por tanto la necesidad de modems), permitiendo la transmisión de señales digitales de extremo a extremo. Se implantó en algunos tramos hace años, pero actualmente está en desuso en detrimento de la FTTH (*Fiber To The Home*, fibra hasta el hogar).

## 6. Conclusión

Entender y conocer el funcionamiento específico y los servicios y funciones que ofrece cada capa de la arquitectura de niveles es fundamental para entender cómo funcionan las redes de comunicaciones. **La capa física** es la menos abstracta de todas ellas, pero su desempeño es fundamental para el funcionamiento de las redes y, en definitiva, de Internet.

En la siguiente tabla se muestran los módulos profesionales de los ciclos donde se puede contextualizar el presente tema, según las siguientes referencias:

- **Orden 29 de julio de 2009**, para el currículo de **SMR** (Técnico en Sistemas Microinformáticos y Redes).
- **Orden 36/2012**, para el currículo de **ASIR** (Técnico Superior en Administración de Sistemas Informáticos en Red).
- **Decreto 87/2015**, para el currículo de la ESO y el Bachillerato.

Dónde se imparte	Módulo profesional / Asignatura	Curso
CFGM SMR	Redes Locales	1º
	Servicios en Red	2º
	Seguridad Informática	2º



CFGSAIR	Planificación y Administración de Redes	1º
	Servicios de Red e Internet	2º
	Seguridad y Alta Disponibilidad	2º
Bachillerato	Tecnologías de la Información y la Comunicación	1º

## 7. Bibliografía y webgrafía

- Hallberg, B. (2010). *Fundamentos de redes. 4th ed.* México: McGraw-Hill.
- Molina Robles, F. and Raya Cabrera, J. (2003). *Redes de área local*. Madrid: Ra-Ma Editorial.
- Stallings, W., Ramírez Velarde, R. and López Barrientos, J. (2010). *Comunicaciones y redes de computadores*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. y Wetherall, D. (2012). *Redes de computadoras, 5a. ed.* Distrito Federal: Pearson Educación.
- IEEE (2014). *802-2014 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*. Consultado el 15 de enero de 2020 desde:  
<https://standards.ieee.org/standard/802-2014.html>