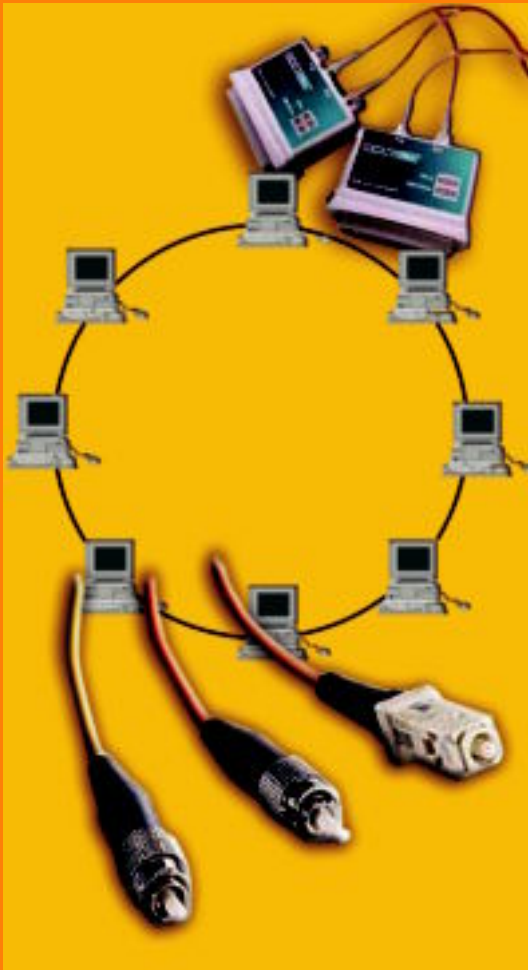


## Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN



**Serie:**  
**Desarrollo de contenidos**

**Telecomunicaciones**

# Serie: Desarrollo de contenidos

## Colección: Telecomunicaciones

Técnicas de transmisión banda base  
aplicadas a redes LAN y WAN

Rubén Jorge Fusario

Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.  
Instituto Nacional de Educación Tecnológica.  
Saavedra 789. C1229ACE.  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
República Argentina.

## a u t o r i d a d e s

---

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

**Dr. Néstor Kirchner**

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Lic. Daniel Filmus**

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

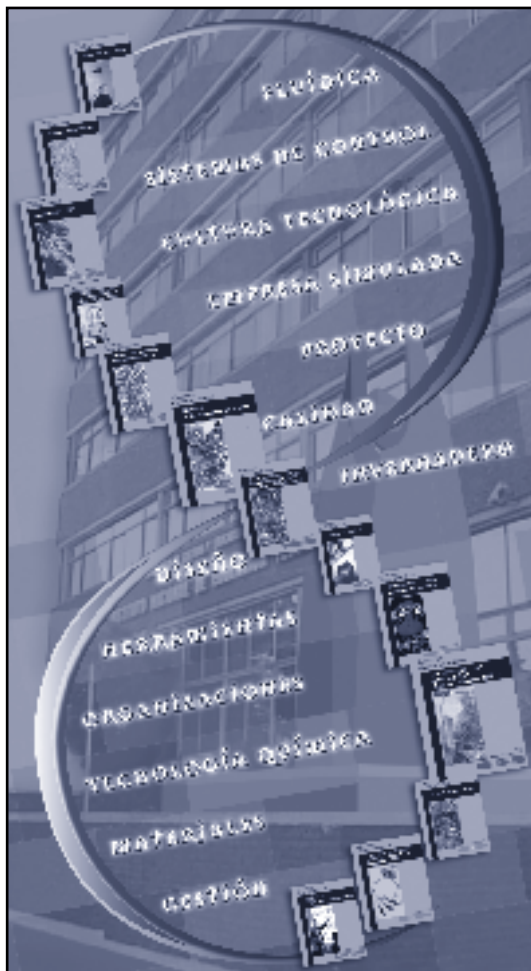
**Lic. María Rosa Almandoz**

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**



# Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN



**Serie:**  
**Desarrollo de**  
**contenidos**

Serie "Desarrollo de contenidos".  
Colección "Telecomunicaciones"

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. ©  
Todos los derechos reservados por el Ministerio de  
Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modifi-  
cada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo  
fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento  
y recuperación de información no autorizada en forma expre-  
sa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0545-X

**Dirección del Programa:**  
Juan Manuel Kirschenbaum

**Coordinación general:**  
Haydeé Noceti

**Diseño didáctico:**  
Ana Rúa

**Administración:**  
Adriana Perrone

**Diseño gráfico:**  
Tomás Ahumada  
Sebastián Kirschenbaum  
Fabiana Rutman

**Diseño de tapa:**  
Tomás Ahumada

Con la colaboración  
del equipo de profesionales  
del Centro Nacional  
de Educación Tecnológica

Todos los libros están  
disponibles en la página  
web del INET.  
[www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)

Fusario, Rubén Jorge  
Técnicas de transmisión de banda base aplicada a redes LAN  
y WAN, Rubén Jorge Fusario,  
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.  
- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y  
Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación  
Tecnológica, 2006.  
72 p.; 22x17 cm. (Desarrollo de contenidos; 6)

ISBN 950-00-0545-X

1. Telecomunicaciones.  
2. Redes Lan y Wan.  
I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 621.382 1

Fecha de catalogación: 3/01/2006

Impreso en MDC MACHINE S. A., Marcelo T. de Alvear 4346  
(B1702CFZ), Ciudadela, en setiembre 2006

Tirada de esta edición: 2.000 ejemplares

# Índice



<b>Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica</b> _____	<b>6</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

<b>Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica</b> _____	<b>7</b>
------------------------------------------------------------------------	----------

<b>1 Principales características técnicas de las redes LAN y WAN</b> _____	<b>8</b>
----------------------------------------------------------------------------	----------

1.1.Redes LAN –Local Area Network–_____	<b>9</b>
-----------------------------------------	----------

- Características particulares de las redes LAN
- Componentes básicos de las redes LAN
- Topología de las redes LAN
- Principios básicos de transmisión en las redes LAN
- Estándares de red local normalizados por la IEEE
- Tratamiento de las colisiones en la subcapa MAC, en redes de acceso contencioso
- Código banda base utilizado en las redes LAN Ethernet
- Subcapa MAC protocolo 802.3. Forma de la trama
- Mecanismo de encapsulado/desencapsulado de los datos
- Procedimiento de la entidad de gestión

*de acceso al medio*

- Actividades en el nivel físico
- La norma IEEE 802.3
- Elementos básicos de las redes Ethernet

1.2.Redes WAN –Wide Area Network–_____	<b>42</b>
----------------------------------------	-----------

<b>2 Características técnicas de la transmisión en banda base, códigos de línea empleados y aplicaciones en las redes LAN y WAN</b> _____	<b>44</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

- Características generales de la transmisión en banda base
- Características particulares de la transmisión en banda base
- Problemas sobre el modelo de Fourier y el ancho de banda necesario para transmitir una señal digital
- Clasificación de las señales en banda base, en función del ancho de pulso y la polaridad
- Códigos usados para señales en banda base
- Redes Ethernet de 10 y 100 MBPS código banda base empleado
- Problemas referidos a códigos banda base



**Este libro  
fue desarrollado  
por:**

## Rubén Jorge Fusario

Ingeniero en Electrónica (Universidad Tecnológica Nacional. UTN), con posgrado en Ingeniería de Sistemas (Universidad de Buenos Aires. UBA), ha desarrollado su carrera docente en la Facultad Regional Buenos Aires (UTN) alcanzando, por concurso publico, el cargo de profesor titular ordinario en la asignatura “Redes de información”. En la Universidad de Buenos Aires ha alcanzado el cargo de profesor asociado en “Tecnología de comunicaciones”. Es profesor titular por concurso en la Universidad de Morón, en la asignatura “Teleinformática” y profesor titular en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, en la asignatura “Redes de información”. En el área de posgrado, se desempeña como profesor titular en la asignatura “Redes I” de la Maestría en Teleinformática y Redes de Computadoras de la Universidad de Morón. Es Director del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.

# LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
- Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
- Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
- Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
- Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
- Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317–.
- Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.

Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el período 2003-2007:

**Programa 1.** Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

**Programa 2.** Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

**Programa 3.** Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

**Programa 4.** Educación para el trabajo y la integración social.

**Programa 5.** Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

**Programa 6.** Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

**Programa 7.** Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

**Programa 8.** Cooperación internacional.

Los libros que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa, se enmarcan en el Programa 5 del INET; han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

***María Rosa Almandoz***

Directora Ejecutiva

del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.  
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología



## LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capacitación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativos ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrolla-

do distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.
- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos, estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

**Juan Manuel Kirschenbaum**

Director Nacional  
del Centro Nacional de Educación Tecnológica.  
Instituto Nacional de Educación Tecnológica



# 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS REDES LAN Y WAN

En el aula de “Tecnología de las comunicaciones”, el profesor plantea a sus alumnos una situación problemática:

¿Qué tipo de codificación emplearíamos en las tarjetas de red de nuestra PC, para que la red funcione correctamente, si la tasa de transmisión fuera de 1 Gbps y se empleara fibra óptica como medio de transmisión?

En este marco, los alumnos asumen la tarea de diseñar un protocolo de acceso al medio de comunicación, para una red LAN, que funcione mediante transmisión banda base. Ese protocolo debe operar mediante el método de acceso contencioso –las estaciones compiten entre sí por acceder al medio de transmisión–, tal el caso de las redes LAN *Ethernet*.

Para dar respuesta a esta situación encaran, inicialmente, un análisis de las características técnicas del código banda base, empleado actualmente en las tarjetas de red *Ethernet* que transmiten a 10 y 100 Mbps.

Posteriormente, evalúan la factibilidad técnica de su empleo en redes LAN que operen a 1 Gbps, con fibra óptica como medio de transmisión.

Durante la tarea, los alumnos elaboran un informe técnico sobre la factibilidad del código empleado, indicando claramente cómo éste resuelve los problemas inherentes a la transmisión de las señales digitales y su detección en la línea de transmisión.

Para abordar este problema y concretar un proyecto tecnológico<sup>1</sup> que le dé respuesta, los alumnos necesitan analizar las características

técnicas de los diferentes métodos de codificación empleados en la transmisión banda

<sup>1</sup>Se entiende por proyecto tecnológico el proceso y el producto resultante (escritos, cálculos y dibujos), que tienen como objetivo la creación, modificación y/o concreción de un producto, o la organización y/o planificación de un pro-

ceso o de un servicio. (Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Prociencia-CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires). Usted puede acceder a la versión digital de esta obra desde el sitio web: [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)

base y las condiciones que deben cumplirse para cada tipo de transmisión, ya sea en redes LAN como en accesos WAN.

Los alumnos, también comparan el *códi-*

*go Manchester bifase diferencial*, actualmente empleado en placas de red LAN Ethernet que operan a 10 y 100 Mbps, con otros que se pueden emplear a 1 Gbps.

La migración hacia redes de 1 Gbps es una necesidad del mercado, debido al incesante requerimiento de mayor ancho de banda en las redes informáticas, como consecuencia del incremento de aplicaciones multimedia y de transferencia de volúmenes de datos cada vez mayores.

Por otro lado, existe en el mercado una necesidad permanente de incrementar el ancho de banda en las redes, debido al requerimiento de mayor ancho de banda que las aplicaciones presentan y a la transmisión de señales isócronas (voz y video).

Es por ello que resulta de gran interés para la industria, la posibilidad de migrar hacia redes de 1 Gbps, las cuales son 10 veces más rápidas que las de 100 Mbps, incrementando la tasa de información y, en consecuencia, la *performance* de las aplicaciones institucionales que operan en dichas redes.

El empleo de un código banda base apropiado en las placas de 1 Gbps permite la implementación de redes LAN con fibra óptica monomodo y multimodo denominadas 1.000 Base LX y 1.000 Base SX.

A lo largo de este material de capacitación, iremos planteando los conocimientos que los alumnos van a ir integrando, a medida que encaran la concreción de este proyecto tecnológico:

- las características de las redes LAN y Ethernet,

- las especificaciones técnicas de la transmisión banda base y
- los códigos frecuentemente empleados en dicho tipo de transmisión.

## 1.1. Redes LAN –*Local Area Network*–

Para poder responder al problema planteado, es importante que los alumnos repasen los conceptos básicos de funcionamiento de una red de área local –LAN–.

Podemos definir una **red de área local –LAN–** como una red de computadoras (dispositivos o nodos) ubicados en un área reducida, interconectados entre sí por un medio común de comunicaciones que, mediante un software de red apropiado, se comunican para compartir recursos informáticos.

Una red de área local –LAN– está compuesta por un grupo de computadoras personales interconectadas entre sí, con el objeto de compartir recursos caros, escasos o que deban cumplir con requisitos de seguridad para su uso.

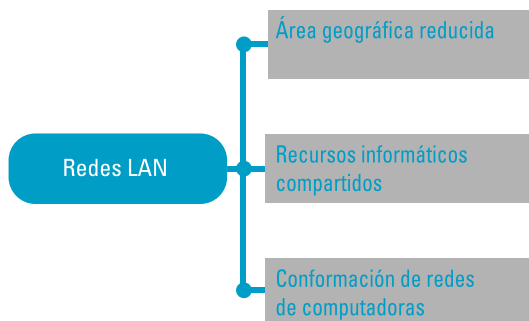
En general, estos recursos permiten compartir:

- información, como el caso de una base de datos a la que todos aportan información, o

- servicios, como el de conectarse con una impresora muy específica.

Los recursos suelen pertenecer o estar conectados con una computadora de características especiales denominada *server*, que maneja los datos y las solicitudes generadas por los usuarios, como así también la seguridad de la red y la administración de cuentas de usuarios y recursos.

## Características particulares de las redes LAN



**Área geográfica reducida.** Cuando se analizaron los flujos de movimiento de la información en empresas, se observó que más del 90 % de su distribución está confinada en un área no mayor de 1 a 3 kilómetros. Y, de ella, un gran porcentaje está siempre reducido al edificio principal donde funciona la administración general.

Es decir, entonces, que se presentaba la necesidad de encontrar la manera de comunicar los lugares donde reside la informa-

Debemos destacar que estas redes no se encuentran en un ambiente geográfico disperso (como se halla

ción empresarial (es decir, las computadoras) que resultaban ser áreas geográficas reducidas.

Cuando es necesario unir varias redes LAN, es posible usar redes de área metropolitana –MAN; *Metropolitan Area Networks*–. Estas redes están previstas para cubrir áreas urbanas; es decir, hablando geográficamente, espacios tales como una ciudad o un conjunto de ellas, a velocidades comparables con las usadas en las redes LAN.

En forma similar, si varias ciudades que tienen organizadas redes MAN y requieren unirse para darles soporte interurbano, estamos en presencia de la llamada red de área extendida –WAN; *Wide Area Network*–, que utiliza vínculos interurbanos y cubre áreas del tamaño de un país o de una región. En muchos casos, estas redes también permiten unir redes LAN, sin necesidad de pasar previamente por redes MAN; especialmente, cuando están construidas de manera que puedan facilitar vínculos dedicados con tecnología digital a sus usuarios.

**Recursos informáticos (memorias, dispositivos de entrada/salida, etc.) compartidos.** Una de las características más significativas de estas redes es la de compartir recursos informáticos, tanto de hardware como de software.

En el caso del hardware, ese equipo que actúa como servidor de la red –server– posee los

una red pública), ni se trata de una computadora central realizando procesamiento del tipo multiusuario. En realidad, en la mayor parte de los casos, están reducidas a un edificio o a un grupo de ellos.

periféricos más importantes y la mayor disponibilidad de memoria; y, sobre éste se instala la mayor parte de los programas que, luego, serán compartidos por el resto de la red.

El software de aplicación debe, por lo tanto, estar preparado para esta tarea de uso compartido por las terminales y requiere ser adquirido en versiones especiales.

Los equipos conectados a la red y manejados por el servidor, pueden o no ser inteligentes. Hoy, en razón de la disminución de costos operada en los equipos informáticos, prácticamente todos los equipos conectados a una red de área local poseen inteligencia para procesamiento local y capacidad de almacenamiento en discos duros.

**Conformación de redes de computadoras.** A medida que va progresando la tecnología de los computadores, van mejorando sus posibilidades de interconexión. En este proceso de cambios, es posible reconocer distintas etapas.

1. Uso de potentes ordenadores centrales, disponibles para todos los usuarios del llamado “centro de cómputos”y, además, para las distintas partes de la organización. Es ésta la etapa de la computación distribuida y el comienzo de las redes de computadoras.
2. El empleo de terminales abarata el uso de las computadoras, y facilita su difusión en toda la empresa u organización.
3. Van apareciendo las llamadas minicomputadoras, dotadas de potentes sistemas operativos y especificaciones menos estrictas en lo que se refiere a la temperatura y a la humedad ambiente para los locales donde son instaladas. La capacidad de procesamiento es, así, distribuida en toda la organización, con equipos mucho más pequeños y funcionales.
4. Los fabricantes de computadoras y los de minicomputadoras desarrollan arquitecturas distribuidas mediante el uso de redes adecuadas a las nuevas necesidades.

#### Resumen de las características técnicas principales de las LAN:

Alcance de las conexiones	→	Entre algunos cientos de metros y algunos kilómetros.
Intercambio de información	→	Datos, imagen y sonido entre usuarios y computadoras.
Velocidades de transmisión	→	Mayor que en las WAN, de 1 a 1000 Mb/s; se dispone de velocidades aun mayores (10 Gbps).
Canal de transmisión	→	Propiedad del dueño de la red.
Tasa de error: BER	→	$10^{-8}$ (Menor que la del canal telefónico, cuyo valor es $BER = 10^{-5}$ ).

## Componentes básicos de las redes LAN

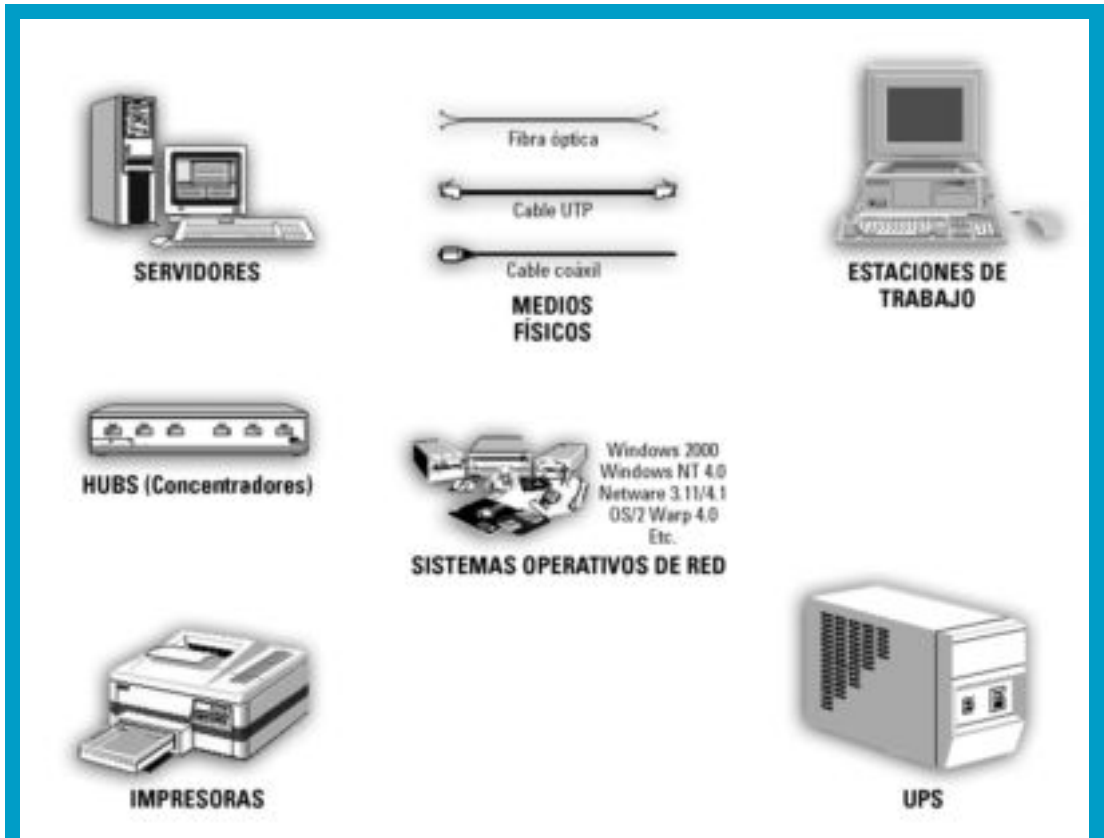
Los componentes básicos de una red de área local –LAN– son:

- Estaciones de trabajo.
- Servidor de red.
- Cables de conexión.
- Conectores.
- Placas de red, instaladas en las estaciones de trabajo, servidores, impresoras, etc.
- Software operativo de la red.
- Concentradores –hub– y switches.

Un **servidor** es de muy distinta naturaleza; en

el caso de que éste efectúe la administración total de la red (servidor de red), puede ser una computadora que está solamente utilizada para controlar su funcionamiento. Por otro lado, existe otro tipo de servidores que puede controlar unidades de discos, archivos, impresoras, etc.; precisamente, recibe su nombre particular, en función del periférico o tarea que realiza.

Paralelamente a los elementos de hardware necesarios, debe contarse con un **software** adecuado que permita el funcionamiento de la red en forma lógica. Éste varía según el protocolo de funcionamiento que se elija, el



*Componentes de una red de área local –LAN–*

número de terminales de la red, el medio de comunicaciones que se use y las aplicaciones que se decida implementar.

Uno de los inconvenientes de estas redes es la falta de normalización de los distintos software usados, que hacen que cuando se elige un tipo de tecnología, prácticamente se esté eligiendo, también, a un fabricante.

Para su funcionamiento, las redes LAN necesitan dos tipos de software:

- uno de tipo informático, caracterizado por el sistema operativo que manejará el sistema,
- otro, dado por el protocolo de comunicaciones (software de red), que debe manejar ésta, para poder producir la intercomunicación entre los distintos equipos que la integrarán.

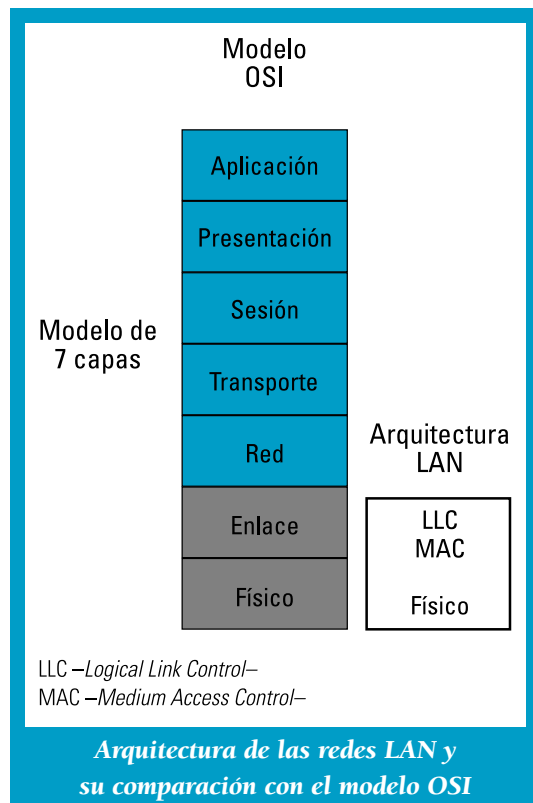
El protocolo de comunicación reside en la **placa de red**; es por ello que las placas de red de diferente tipo de redes LAN no son intercambiables (por ejemplo, una placa de *Token Ring* no funciona en una red *Ethernet*<sup>2</sup> y viceversa).

El **software de red** tiene la particularidad de ser prácticamente transparente al usuario final; el sistema operativo, por el contrario, está presente en cada momento en que se usa el sistema.

<sup>2</sup>En *Ethernet*, las primeras redes que aparecieron se constituían con cables coaxial de 50 ohm (RG 58), conocidas como: 10BASE2. En esta denominación:

- el primer número corresponde a la velocidad de 10 MBPS,
- "base" se debe a que la transmisión usa banda base y no modulada,
- "2" corresponde a la identificación del medio de transmisión; en este caso, cable coaxil.

Consideremos los niveles que abarcan los protocolos de LAN respecto del modelo OSI –interconexión de sistemas abiertos; *Open Systems Interconnection*–:



En las redes LAN, sólo se utilizan los niveles 1 y 2 (físico y de enlace) del modelo OSI.

El *nivel físico* efectúa las siguientes funciones principales:

- *Mecánicas*: Propiedades físicas de la interfase y del medio de comunicación.
- *Eléctricas*: Niveles de tensión, velocidad de transmisión, sincronismo de bit.
- *Funcionales*: Las que realiza cada circuito entre el sistema y el medio de comunicación.

- *De procedimiento*: Secuencia de eventos para el intercambio del flujo de bits.

El *nivel de enlace*, por su parte, intenta brindar confiabilidad y proveer mecanismos para activar, mantener y desactivar el enlace; en resumen, efectúa las siguientes funciones:

- Delimitación del flujo de bits.
- Detección y corrección de errores.
- Control de flujo.
- Recuperación de datos perdidos, duplicados o erróneos.

En algunos casos, la diferencia entre los tipos de protocolos de comunicaciones, radica en la cantidad de recursos disponibles; por lo general, no se sabe dónde están y cómo operan.

El software de red es siempre el factor determinante en la elección de una red, pues es el que fija parámetros tales como: el tiempo de respuesta, la flexibilidad y el uso que se le da.

Las redes LAN tienen, en general, un diseño estructurado que permite su expansión *modularmente*, mediante el agregado de nuevas **estaciones**. La dificultad en la implementación

En la normalización de las redes de área local, se ha destacado el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de los Estados Unidos –IEEE. *Institute of Electrical and Electronic Engineers*–, que ha establecido los estándares que actualmente rigen a este tipo de redes. Estos estándares describen, entre otras cosas, el cableado de intercomunicación, la topología eléctrica y física, el método de acceso, etc. El comité que trabaja con estos estándares es el

de modificaciones del número de estaciones depende, fundamentalmente, de la topología de la red y del fabricante.

denominado “Comité N° 802”, por lo que sus estándares tienen la estructura del tipo “802.X”.

Estas estaciones pueden ser clasificadas como servidores o como estaciones de trabajo:

- Los servidores son computadoras que pueden distribuir sus recursos a las otras estaciones de la red; estos recursos pueden ser: archivos, impresoras, periféricos, etc.
- Una estación está constituida por un dispositivo (computadora, terminal, etc.) y una unidad (controlador/transceptor) que la comunica con el medio.

Volvamos al problema que nuestro colega planteó a sus alumnos de “Tecnología de las comunicaciones”.

Los alumnos detectan que el sistema de codificación:

- debe funcionar en la capa uno del modelo OSI y, además,
- debe ser el mismo para todas las placas de red, independientemente de si éstas están ubicadas en los servidores o en las estaciones de trabajo.

Otro de los componentes es el **cable**, que posibilita la conexión de cada componente de la red y brinda el soporte a los canales de comunicación, permitiendo la recepción y la transmisión de la información a las estaciones constituidas por computadoras.

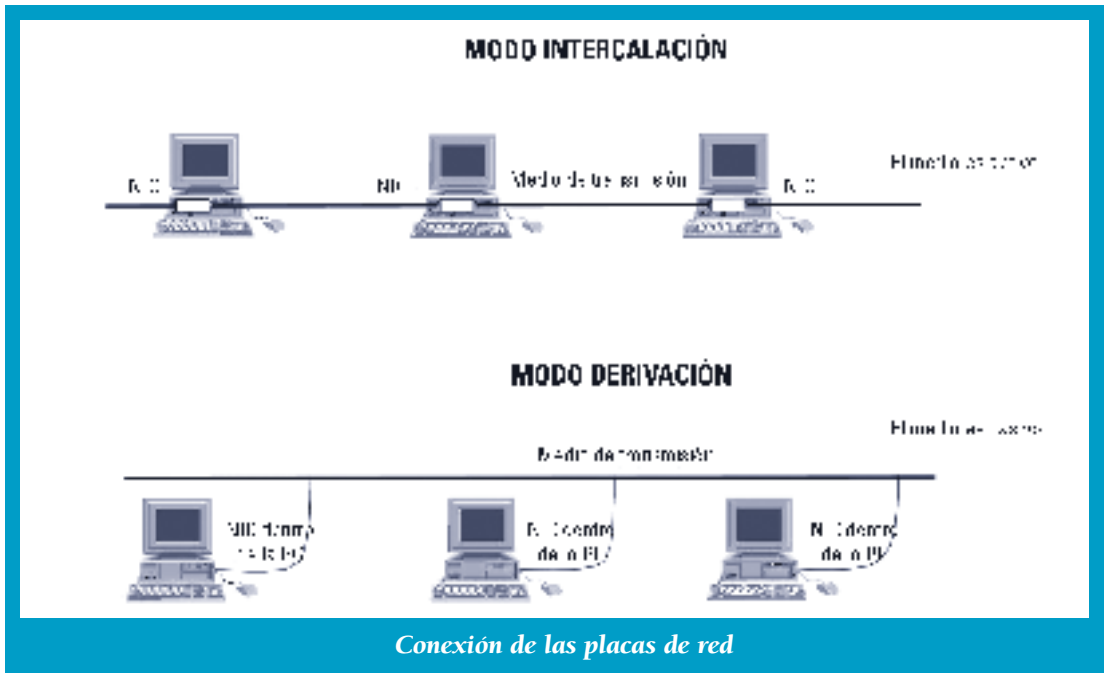


El **controlador/transreceptor** es, en general, una placa enchufable en un zócalo apropiado de la computadora o terminal.

La **conexión** con el medio físico puede ser en:

- modo derivación; la transmisión es dúplex, o sea, bidireccional;

- modo intercalación; el dispositivo que se intercala actúa como retransmisor y, en consecuencia, la comunicación es unidireccional.



Es importante resaltar la diferencia entre una red de área local –LAN– y un sistema multiusuario de tiempo compartido.

En el **sistema multiusuario de tiempo compartido**, existe un dispositivo central al que se conectan terminales; debe repartir entre éstos el tiempo de procesamiento de la unidad de control de procesos –CPU; *Control Process Unit*–, la memoria y los demás recursos.

En la **red de área local –LAN–**, en cambio, cada

estación cuenta con su propio poder de procesamiento; así, el trabajo es realizado en cada una de ellas. El servidor controla las peticiones de entrada y salida de datos desde éste hacia todos los usuarios, administra la red y controla la seguridad.

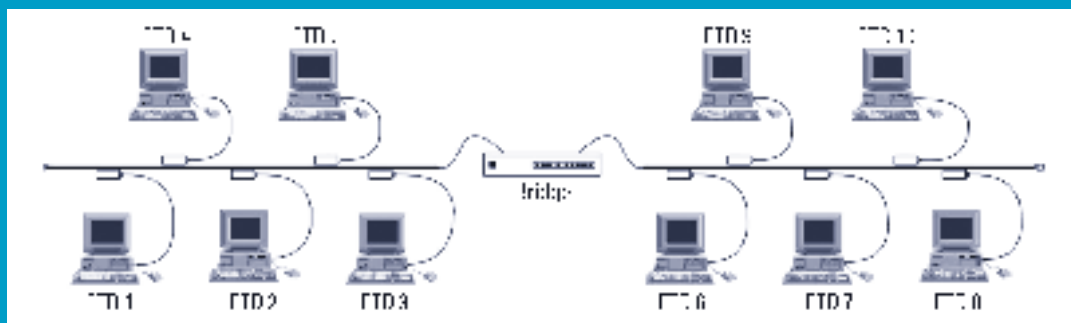
En una LAN, todo el poder de procesamiento se encuentra repartido entre las estaciones, mientras que en los sistemas de tiempo compartido existen una o dos computadoras que procesan la información de todos los usuarios.

Entre el cable y cada equipo conectado a la red (servidor o estación de trabajo) existe una interfase constituida por una tarjeta electrónica que, comúnmente, se denomina tarjeta interfase de red o NIC –*Network Interface Card*–.

Esta tarjeta de red realiza las funciones inherentes a las capas uno y dos del modelo OSI. Cada tarjeta tiene una “identificación” que viene dada por la dirección MAC –*Media Access Control*–; por lo tanto, las tramas que emiten dichas placas de red deben poseer dos direcciones MAC:

- la del remitente,
- la otra dirección correspondiente a la placa destinataria de la trama.

En un ambiente de red compartido –o sea, conformado por *hubs*–, todas las placas activas reciben la trama que ha sido enviada; pero, sólo la que tiene la dirección de destino la almacenará en un *buffer* (memoria intermedia) para su posterior envío al subnivel LLC –*Logical Link Control*–, ubicado inmediatamente por encima del MAC.



Conexión de redes LAN mediante un puente o switch

La NIC se instala dentro de la computadora; sus funciones son las inherentes a las de un controlador y a un transreceptor de comunicaciones. Esta tarjeta requiere de un software específico denominado *driver*.

Por último, es importante destacar que podemos conectar redes LAN entre sí, mediante equipos especiales denominados puentes –*bridges*–. Para vincular una LAN con otras computadoras, se utilizan equipos denominados *router* o *gateway*.



Conexión de redes LAN mediante un “router”  
(edificio con cableado estructurado)

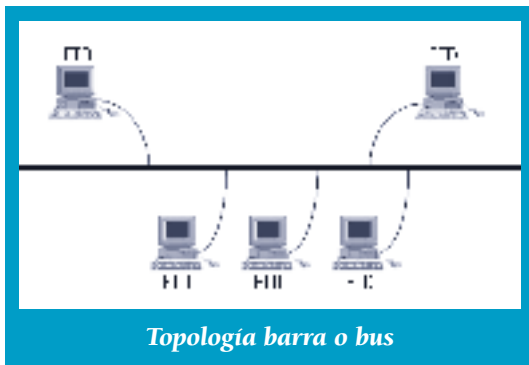
## Topología de las redes LAN

Las redes de área local que cumplen con las normas 802.3, 802.4 y 802.5 de la IEEE utilizan dos tipos de topologías<sup>3</sup>, denominadas en *barra* o *bus*, y *anillo*.

**Topología bus.** Se trata de una topología en la que las estaciones se conectan al bus o se desconectan de él muy fácilmente, sin alterar el funcionamiento de la red, dado que se hallan instaladas en derivación respecto del bus.

El protocolo que permite operar a la estación en red debe resolver el problema de colisiones, dado el carácter de “difusión” que tiene la transmisión de cualquier estación.

Como el protocolo de la placa de red debe “conocer” cuándo existe otra estación transmitiendo, es muy importante el tipo de código banda base empleado para la detección de la señal en la línea o bus.



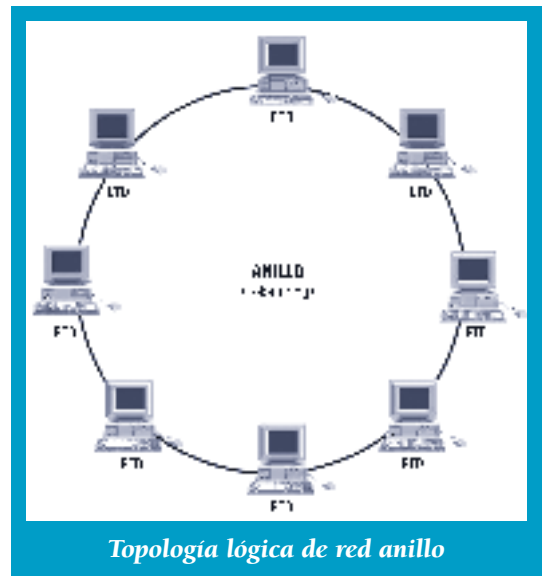
**Topología anillo.** La topología anillo puede ser con control distribuido o con control centralizado.

<sup>3</sup>Hacemos una distinción entre una topología física y una topología lógica. En particular, en los conceptos siguientes, nos referimos a esta última que, a los efectos del funcionamiento de la red, es la que merece ser considerada especialmente.

Independientemente del tipo de control de la red, la característica principal radica en que cada estación está conectada en serie con el canal y vinculada exclusivamente a otras dos estaciones: la antecesora y la sucesora.

Este tipo de topología es “activa” —a diferencia de la topología bus que es “pasiva”—, dado que la señal que circula por el canal es continuamente procesada (recibida, amplificada y transmitida) en el canal, por cada estación.

Teóricamente, la caída de una estación corta la comunicación del anillo; no obstante, se han previsto mecanismos que solucionan este inconveniente, mediante diferentes alternativas.



En redes de este tipo, el control puede estar centralizado en una sola estación o distribuida entre las estaciones.

Por sus características de circulación, en el anillo no pueden existir colisiones, por lo que las transmisiones son de tipo determinis-

tico —cada estación transmite cuando le llega el turno y no cuando quiere hacerlo—; además, existe un tiempo máximo de espera para que una estación pueda transmitir.

Cabe destacar que una estación transmite cuando recibe la correspondiente habilitación, la que está dada por la recepción de un testigo libre.

**Topología física.** Es la configuración de los elementos de la red, tal cual la ve el usuario. Un ejemplo son las redes llamadas *Ethernet 10 Base T*, que constituyen una típica topología estrella, desde el punto de vista físico; el centro de la estrella es el *hub*.

**Topología lógica.** Es aquella que establece cómo, en realidad, funciona el protocolo de red. En el ejemplo anterior, la red LAN *Ethernet 10 Base T* funciona —verdaderamente— con una "topología lógica bus"; aunque, físicamente, todos los cables desde la estación de trabajo confluyen hacia el bus, o están conectados a un equipo concentrador o *hub*; es una típica topología física estrella.

Con referencia al problema planteado por el profesor en el aula de "Tecnología de las comunicaciones", podemos concluir que, como la topología lógica de una red LAN *Ethernet* es bus, el sistema de codificación deberá permitir determinar si existen otras estaciones transmitiendo antes de comenzar la emisión.

Por ello los bits "1" y "0" nunca deberían tomar el valor de cero volt, pues la placa de red que se encuentre determinando si el medio está libre o no al medir cero volt, no tendrá la certeza de si es que:

- no existe ninguna estación transmitiendo o
- si, en realidad, se está enviando un "0".

## Principios básicos de transmisión en las redes LAN

Antes de analizar los diferentes códigos banda base que podríamos aplicar para solucionar el problema planteado, debemos estudiar en detalle el funcionamiento de las redes LAN *Ethernet*.

Cuando se utiliza la topología lógica bus, existen dos o más estaciones conectadas a la red, en condiciones de transmitir al medio de comunicación.

La propia naturaleza de la red debe determinar de qué manera una estación se apropia del medio para transmitir, de forma que la información llegue hasta el destinatario —aunque, por la naturaleza de la topología, llega a todos los usuarios—.

Por otra parte, la intensidad de la señal debe ser tal que llegue con una atenuación adecuada para tener una buena "relación señal/ruido"; pero, su potencia no debe ser tan intensa como para que provoque la generación de armónicas o señales espurias.

A continuación, analizamos las diferentes técnicas empleadas para la transmisión:

- Transmisión modulada en banda ancha.
- Transmisión banda base.

**Transmisión modulada en banda ancha.** El concepto de transmisión modulada en banda ancha en las redes de área local se refiere a la transmisión de señales de tecnología analógica; ésta requiere el empleo de procesos de modulación y desmodulación.

Estas técnicas suelen usar la *multiplexación por división de frecuencia* –FDM– que permite el envío de múltiples portadoras y subcanales por el mismo medio físico, los que posibilitan la transmisión de varios servicios diferentes tales como datos, voz, televisión, etc.

Se refieren al caso típico de las redes de cable para la difusión de señales de televisión, que se suelen denominar "CATV". En estas redes, la transmisión se realiza en un solo sentido (redes unidireccionales), pues requieren de amplificadores –equipos típicamente direccionales–.

Se emplea un ancho de banda que va de los 10 MHz a los 300 MHz, y hasta 400 MHz. En el caso de señales de televisión, éstas se multiplexan mediante la técnica FDM, en canales de 6 MHz, por cada señal de vídeo que se transmite.

En la práctica, esto hace que por estas redes se pueda transmitir solamente hasta un máximo de alrededor de 60 canales. Por arriba del valor de 400 Mhz, la atenuación y la distorsión son sumamente elevadas.

Normalmente, estas redes se construyen exclusivamente con cable coáxil de 75  $\Omega$  de impedancia, lo que les permite conectar miles de usuarios. Con este tipo de cable, estas redes pueden alcanzar las decenas de kilómetros.

**Transmisión en banda base.** Las redes que transmiten en banda base y usan tecnología digital, pueden usar cables de cobre del tipo UTP tipo 3, 4, 5 o 5e, cables coaxiales de 50  $\Omega$  de impedancia y cables de fibra óptica.

La transmisión utiliza una técnica basada en división de tiempo asincrónica –ATDM–; o

sea, que cada estación tiene un intervalo de transmisión variable. Este tipo de redes es bidireccional y puede extenderse hasta unos pocos kilómetros, siendo las más comunes para la transmisión de datos.

Los códigos de línea más empleados son el *Código Manchester* y el *Código Manchester diferencial*. Este tipo de señales utiliza la totalidad del ancho de banda disponible en el medio de comunicación.

## Estándares de red local normalizados por la IEEE

Decíamos que el IEEE ha estandarizado, entre otras, las siguientes normas, que equivalen a la norma ISO 8802:

**802.1** Gestión de los niveles superiores –HLI–.

**802.2** Control lógico del enlace –LLC–.

**802.3** Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones –CSMA/CD–.

**802.4** Paso de testigo en bus.

**802.5** Paso de testigo en anillo.

**802.6** Redes de área metropolitana –MAN–.

Las normas del IEEE 802.x se refieren al nivel de enlace del modelo OSI.

Con respecto al modelo de capas denominado OSI –interconexión de sistemas abiertos; *Open Systems Interconnection*–, el estándar de la IEEE desdobra la capa de enlace en dos subcapas:

- la subcapa de control de acceso al medio –MAC; *Media Access Control*–,

- la subcapa de control lógico del enlace –LLC; *Logical Link Control*–.

Estos protocolos definen la disciplina de acceso al medio de comunicaciones.

La **subcapa control lógico del enlace –LLC–** pertenece a la familia de protocolos de enlace conocida como DIC, como un subconjunto de la citada familia de protocolos<sup>4</sup>.

La **subcapa control de acceso al medio –MAC–** se encuentra implementada en la placa de la red LAN.

Básicamente, existen dos tipos de acceso al medio:

- *Contencioso*. En éste, las estaciones compiten por lograr acceder al medio (Recomendación 802.3, conocida comúnmente como *Ethernet*).
- *Determinístico*. En éste, está perfectamente determinada la espera máxima que debe sufrir una estación para acceder a su medio de transmisión (recomendaciones 802.4/5, conocidas comúnmente como *Token Passing*).

Los tres protocolos principales, que se usan en las redes de área local –LAN–, han sido definidos por el Comité N° 802 de la IEEE; ellos son:

**802.3** CSMA/CD: Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones.

**802.4** Token Bus: Paso de testigo en bus.

**802.5** Token Ring: Paso de testigo en anillo.

Al conjunto de estas dos últimas recomendaciones se lo conoce como paso de testigo –*Token passing*–.

Los objetivos de los protocolos que se usan en las redes LAN son:

- Controlar el acceso a un único canal compartido por varias computadoras.
- Controlar el tráfico de tramas entre las estaciones de la red.
- Ofrecer un esquema descentralizado (de igual a igual).

Dado que los procesos de alta velocidad no toleran la sobrecarga por conexión/desconexión, los protocolos de redes LAN deben considerar este aspecto. Por esto y debido a la alta capacidad de transmisión y confiabilidad de las LAN, se decide usar sistemas no orientados a conexión.

En general, podemos concluir que:

- Cuando los canales de comunicación tienen **poca confiabilidad** –o sea, una tasa de error elevada del orden de BER  $\sim 10^{-4}$  o  $10^{-5}$ –, se deben utilizar protocolos orientados a conexión. Tal el caso de las redes WAN, que utilizan canales de la red telefónica.
- Cuando las redes con vínculos propios como las LAN, pueden presentar **alta confiabilidad** con tasa de error del orden de BER  $> 10^{-8}$ , resulta ineficiente el empleo de un protocolo orientado a conexión con calidad de servicio, dado que realizará funciones de control muchas veces innecesarias.
- Cuando presentan **alta tasa de error** (ejemplo  $10^{-4}$ ) –situación que ocurre, generalmente, en enlaces de redes públicas–, resulta necesario emplear protocolos de comunicaciones que ejecuten la tarea de corrección de errores, control de flujo, control de secuenciamiento, etc., a fin de evitar que sea la propia aplicación del usuario quien deba realizar dichas tareas.

El modelo OSI está especialmente diseñado para redes orientadas a conexión; por lo tanto, su aplicación en redes de área local limita su *performance*.

<sup>4</sup>No vamos a analizarla en este material de capacitación.

El método usado por la recomendación IEEE 802.3 –CSMA/CD–, por su parte, se identifica como *Acceso múltiple por escucha de portadora y detección de colisiones*; es el procedimiento más probado para controlar una red local con estructura lógica en bus.

Este sistema fue usado por primera vez, en 1980, por las empresas *Xerox*, *Intel* y *Digital*, que construyeron las primeras redes LAN que, como planteamos, se denominaron *Ethernet*. El método se basaba en el protocolo CSMA/CD en el que las estaciones no tenían prioridad y utilizaban el método de detección de la portadora –dado que eran, originariamente, transmisiones inalámbricas–. En cambio, la red *Ethernet* implementada por las empresas mencionadas, utilizó este protocolo en una red alambica en la que el medio de transmisión era el cable coáxial.

El nivel de enlace es el que proporciona la logística que gobierna realmente la red CSMA/CD.

Así, resulta un protocolo totalmente independiente del medio. En él:

Las estaciones antes de transmitir, “escuchan” la información que fluye a través de éste. Si escuchan que está ocupado, esperan hasta que el medio se encuentre inactivo.

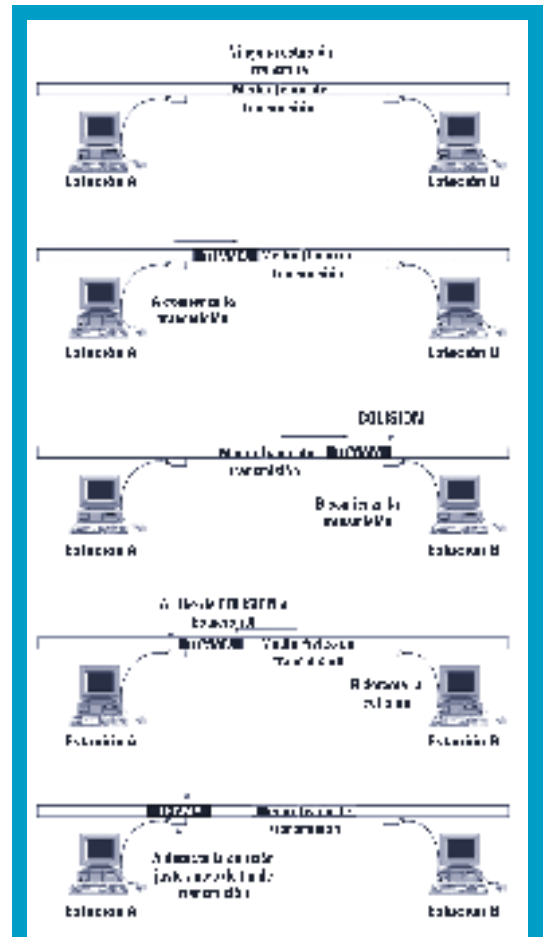
La “escucha”, se implementa técnicamente mediante la medición de la tensión en la línea de comunicaciones, tarea realizada por la tarjeta de red NIC.

Si dos o más estaciones, en forma simultánea, comienzan a transmitir, generan una “colisión”. En este caso, paran la transmisión, esperan un tiempo aleatorio y comienzan nuevamente.

## Tratamiento de las colisiones en la subcapa MAC, en redes de acceso contencioso

El acceso de las estaciones al canal es compartido y administrado por el subnivel de control de acceso al medio –MAC–, integrado a la interfase que está ubicada en cada estación.

Como mencionábamos, el funcionamiento de este subnivel está basado en el protocolo CSMA/CD.



*Colisión de redes LAN del tipo Ethernet*



Si más de una estación trata de transmitir sobre el canal en el mismo momento, entonces las señales colisionan. La colisión se produce cuando más de una estación detecta que el medio está inactivo y pretende transmitir simultáneamente con otras, que lo encontraron también inactivo en ese momento.

Cuando una estación detecta una colisión, aborta su transmisión, generando una "ráfaga de ruido" denominada *Jamming*, para alertar al resto de las estaciones, y espera un tiempo aleatorio antes de recomenzar.

Cuando las estaciones se percatan de la colisión, comienzan a usar inmediatamente un algoritmo de espera especialmente diseñado, denominado **algoritmo exponencial binario**.

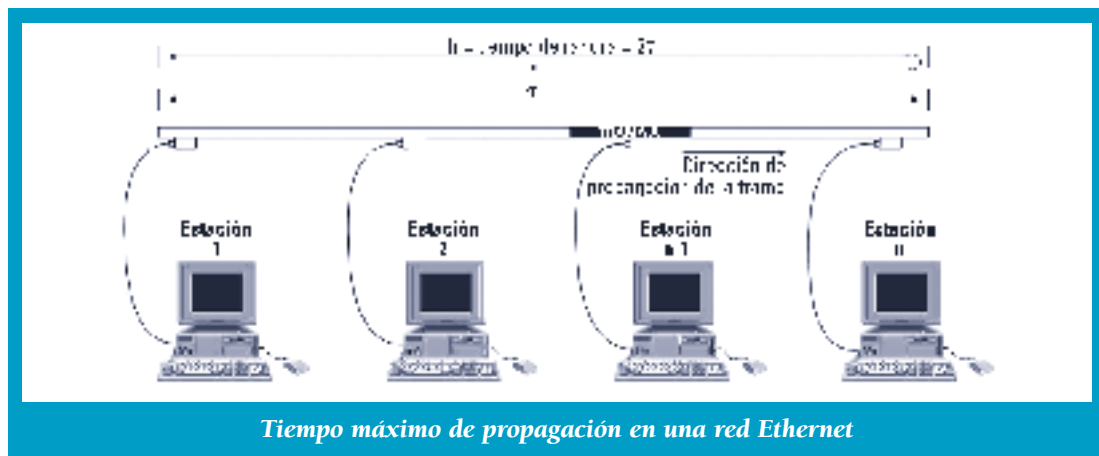
El sistema permanece:

- transmitiendo –o intentando transmi-

tir–, en un proceso que se conoce como contienda, o

- en silencio, porque no tiene nada que transmitir.

Si dos estaciones comienzan a transmitir en el mismo instante de tiempo  $t_0$ , se produce una colisión. La señal producto de esta última toma un valor de tensión diferente al que existiría en el medio de transmisión si hubiera una sola estación transmitiendo. Es por ello que, cuando una estación detecta este valor de tensión diferente, “informa” sobre la existencia de la colisión al resto de las estaciones, mediante una señal de *Jamming*, y cada placa aumenta en uno el contador de colisiones, activando el sistema de tratamiento. Si, luego de un intervalo igual a  $51,2 (2 \tau)$  microsegundos –denominado *tiempo de ranura*– no se detecta ninguna colisión, todas las placas colocan en cero el contador de colisiones.



Veamos cómo se desarrolla el procedimiento:

que las dos señales se encuentran es:

Una estación comienza a transmitir. Otra, en el extremo opuesto del cable, comienza un tiempo  $\epsilon$  después, por lo que el tiempo hasta

$$t = \tau - \epsilon$$

El tiempo de ranura es el tiempo de propagación de la señal de “1” hasta la estación “n” y su retorno:

Tiempo de ranura =  $2 t$

$2 t = 51,2 \mu s$  para una red que opera a 10 Mbps

$T_r = 2 t$

Trama de 64 bytes =  $51,2 \mu s$   
(514 bits, a 10 Mbps)

Cuando la estación n2 detecta la colisión, se detiene; pero, la estación n1 se entera que existió una colisión (para detenerse, a su vez) cuando la señal regresa, lo que ocurre en un tiempo:

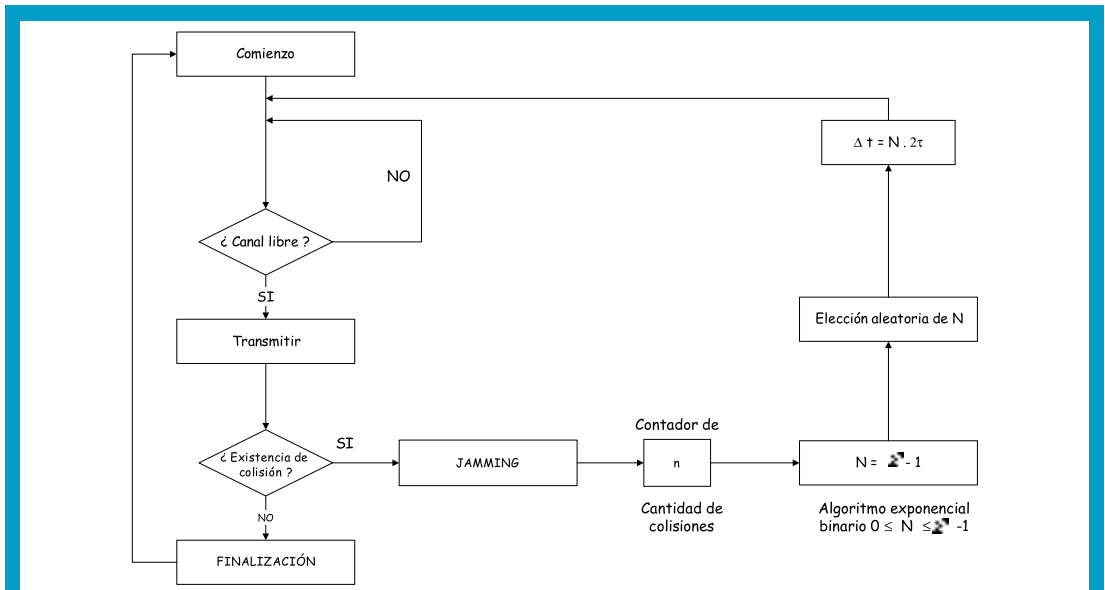
$$t = 2\tau - \epsilon$$

Esto implica que una estación no estará segura de haber tomado el canal, hasta que pase un tiempo de  $2 \tau$  sin colisiones; lo que permite definir un denominado *tiempo de ranura*, que es igual a:

$$t = 2\tau$$

Este tiempo se ha establecido en 51,2 microsegundos. En este tiempo está considerada, con exceso, una distancia de más de 1.500 metros para redes con cable coaxil fino tipo RG 58 (En esta distancia se requiere el uso de 4 amplificadores, cuando se usa cable coaxil fino); corresponde, al tiempo de transmisión de una trama de 64 octetos, o bien 514 bits a 10 Mbps. (Cada bit requiere 0,1 microsegundos).

Este tiempo no puede ser superior al tiempo de ranura. De esa manera, se puede estar seguro de que se ha tomado el "control del canal".



**Algoritmo exponencial binario**

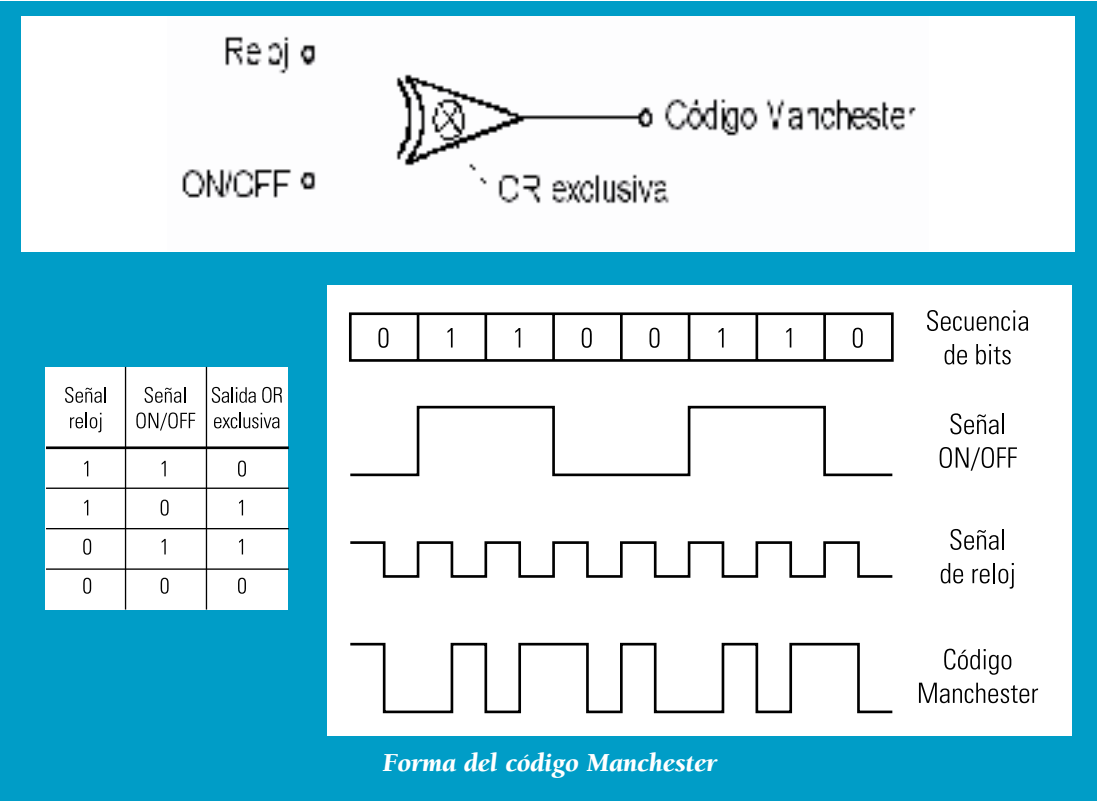
Código banda base utilizado en las redes LAN Ethernet

El código banda base utilizado en todas las variantes que ofrece la norma de la IEEE, es el denominado Código Manchester bifase diferencial.

Este código es una variante del Código

Manchester cuya descripción efectuamos a continuación:

Recordemos que la ventaja de este código banda base radica en que la presencia de una transición cada bit o medio bit, hace posible que el receptor se sincronice con el emisor.



Este código es del tipo autosincronizante; es decir que, cada intervalo correspondiente a un bit, se convierte en dos iguales de ancho mitad.

Recordemos que la regla de formación del código es:

- **Bit 1:** Transición positiva (de bajo a alto).
- **Bit 0:** Transición negativa.

La señal positiva es +0.85 volt y la señal negativa es -0.85 volt. En este esquema, la componente de continua de la serie de Fourier<sup>5</sup> es nula.

Con este código se asegura que todos los bits

<sup>5</sup>En la segunda parte de este material de capacitación incluimos una explicación de la Serie de Fourier aplicada al análisis de la transmisión de datos en las líneas de comunicaciones.

de datos tengan una transición en la parte media, propiciando un excelente sincronismo entre transmisor y receptor.

El problema que presenta es que duplica el requerimiento de ancho de banda, al reducirse el ancho de los pulsos.

En el código banda base Manchester bifase diferencial se verifica la siguiente regla:

- Para todos los bits existe una transición en la mitad del intervalo.
- Los bits "uno" no tienen transición al comienzo del intervalo.
- Los bits "cero" tienen una transición al comienzo del intervalo.

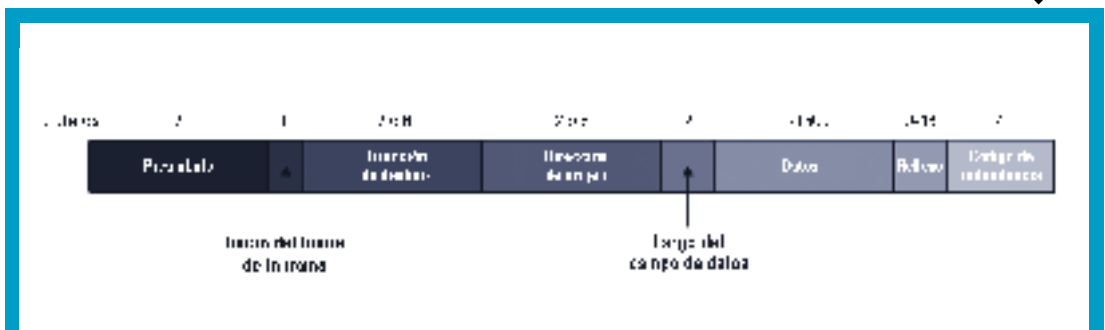
El Código Manchester bifase diferencial<sup>6</sup> tiene valor medio igual a cero y nunca toma el valor de "cero volt". Con ello, siempre que exista una estación transmitiendo podrá ser detectada por todas las demás, dado que se puede medir la tensión de línea y saber que se está en presencia de una señal.

Volvamos al problema que nuestro colega plantea a sus alumnos.

Hasta aquí, integrando los conceptos y procedimientos que hemos ido presentándoles, los estudiantes han analizado el funcionamiento del código banda base empleado en las redes Ethernet que operan a 10 y 100 Mbps; especialmente, aquellos problemas inherentes al nivel uno del modelo OSI.

Los próximos títulos les proveen información acerca de las características del nivel dos (nivel de enlace) del modelo OSI.

## Subcapa MAC protocolo 802.3. Forma de la trama



*Trama subcapa MAC – IEEE 802.3*

<sup>6</sup>Este código es tratado con mayor detalle más adelante; aquí describimos los códigos banda base en general.

## a. Preámbulo

Tiene como función principal el establecer sincronismo entre las estaciones. Está formado por ocho octetos de la forma: "10101010", excepto el último que es "10101011".

Luego de transmitidos, todas las placas de red quedan sincronizadas respecto de la transmisora.

Posteriormente, el sincronismo se mantiene debido a la codificación *Manchester bifase diferencial*.

El tiempo total necesario para establecer este sincronismo es de 5,6  $\mu$ s, si se supone que la red trabajará a una velocidad de 10 Mbps.

## b. Inicio de la trama

Luego del preámbulo, comienza la trama de datos.

Algunos autores incluyen también al preámbulo como parte de ésta; no obstante, no debería ser así, dado que sólo se emplea el preámbulo para sincronizar todas las placas de red, previo a la transmisión de la trama.

## c. Dirección de destino

Especifica la o las estaciones para las cuales la trama es enviada. Está formada por seis octetos.

La asignación de direcciones para cada una de las estaciones puede ser efectuada en forma local o en forma global:

- En **forma local**, la institución que instala la red determina las direcciones de las estaciones que la compondrán. Éstas se colocan por medio de procedimientos de software –se usa una función que debe estar incluida en el paquete de software que se use– o de hardware –se logra mediante la disposición de ciertas llaves en la tarjeta NIC que se instala en la estación–.
- En **forma global**, los fabricantes de tarjetas NIC asignan una única dirección a cada tarjeta.

Existen tres formas diferentes de direccionar una trama:

- A una única estación. En este caso, el primer bit de dirección se coloca a cero.
- A un grupo de estaciones. En este caso, el primer bit de dirección se coloca a uno.
- A todas las estaciones de la red (transmisión por difusión). En este caso, todos los bit de este campo se colocan a uno.

En los dos primeros casos, quedan 46 bits para asignar números diferentes a cada estación.

El segundo bit de este campo:

- se coloca a uno, si se ha adoptado el método de asignación de direcciones local; y
- se coloca a cero, si se ha adoptado el método global.

## d. Dirección de origen de la trama

Este campo especifica la estación que envía la trama. Está formado por seis octetos.

En este caso, el primer bit se coloca siempre a cero.

El segundo bit indica si la numeración está administrada:

- en forma local, bit colocado a "1"; o
- en forma global, bit colocado a "0".

Como en el caso anterior, quedan 46 bits para asignar números diferentes a cada estación. Esto permite que puedan existir 46 bits:  $7 \times 1013$  direcciones.

#### e. Largo del campo de datos

Este campo especifica la cantidad de bytes que tendrá el campo de datos. Su longitud es de dos octetos. De esta forma, se puede determinar dónde terminará el campo de datos.

#### f. Campo de datos

El campo de datos puede tener una longitud variable entre cero y mil quinientos octetos.

Si este campo tuviera menos de cuarenta y seis octetos, se deben colocar "octetos de relleno", hasta alcanzar esa cantidad.

#### g. Campo de control de errores

El campo para el control de errores, también denominado campo control de secuencias –FCS; *Frame Checks Séquense*– utiliza cuatro octetos y trabaja con el método conocido como de control de redundancia cíclica –CRC; *Cyclic Redundancy Check*–, con polinomios generadores de grado 33 y, por lo tanto, con restos de 32 bits, que corresponden a cuatro octetos del campo FCS.

## Mecanismo de encapsulado/desencapsulado de los datos

El objetivo de este mecanismo es armar la trama CSMA/CD (trama MAC). Para ello se proporcionan las direcciones de la estación transmisora y de destino.

La entidad de encapsulado de tramas recibe los datos del usuario que le proporciona la subcapa LLC y ejecuta la función de armar la trama de la subcapa MAC.

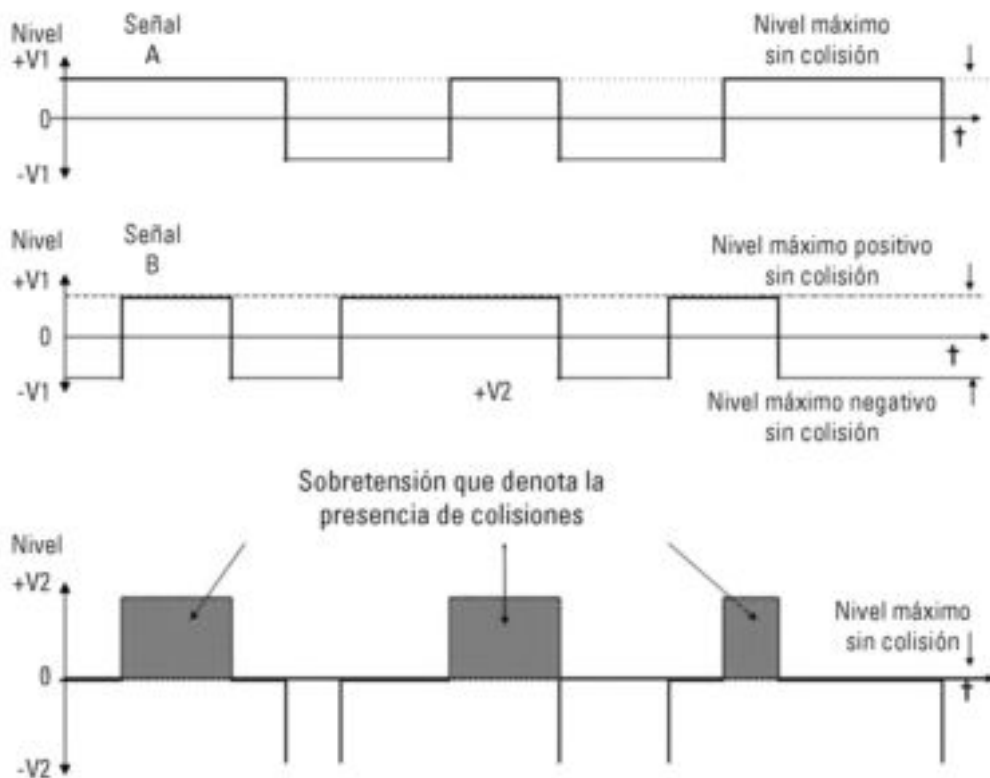
Para ello, le añade el campo FCS que le permite realizar, luego, el control de los errores, que calcula por medio del procedimiento de control de redundancia cíclica –CRC– y que, luego, envía a la entidad de gestión de acceso al medio.

Cuando esta última entidad no detecta una colisión, considera que el canal está libre y, en consecuencia, entrega la trama al nivel físico.

Las colisiones se pueden detectar mediante distintos procedimientos de medida. Éstos pueden agruparse –tomando los principios que utilizan– en tres grupos denominados generalmente:

- nivel de corriente en el cable,
- puente balanceado y
- de detección lógica.

En el primer método, según el **nivel de corriente en el cable**, la colisión se detecta por un aumento de la tensión resultante, que es mayor al correspondiente a cada una de las señales consideradas en forma individual.



### Medición de la tensión resultante sobre el cable de transmisión

Forma de las señales transmitidas en banda base, usando el Código Manchester; éstas provienen de dos ETD que denominamos "A" y "B". Al ser transmitidas en forma simultánea

colisionan, generando una componente que resulta la suma de ambas. Cuando el valor de la tensión supera en valor al modulo  $V1$ , estamos en presencia de una o más colisiones.

En el método de **punto balanceado**, la colisión se detecta sobre la base de realizar la medida de dos resistencias eléctricas. Cuando:

- éstas son iguales, no hay colisión;

- no lo son –punto desbalanceado–, significa colisión.

La **detección lógica** utiliza un procedimiento que consiste en el procesamiento lógico de la señal en el cable.





*Funciones principales del nivel físico y del de enlace Norma 802.3*

## Procedimiento de la entidad de gestión de acceso al medio

La entidad de gestión de acceso al medio realiza las siguientes actividades:

- Transmite y extrae la trama al nivel físico.
- Almacena la trama en un *buffer*.
- Intenta evitar colisiones en el emisor.
- Gestiona las colisiones.

## Actividades en el nivel físico

Las actividades en este nivel dependen del medio de transmisión; son:

- Codificación/decodificación de datos.
- Generación de las señales para la sincronización del canal –preámbulo–.
- Codificación de datos binarios con un código autosincronizante (*Manchester*) y viceversa.

- Acceso al canal.
- Introducción de la señal física en el canal del lado emisor y la toma del lado receptor.
- Detección de la portadora –tanto en emisión como en recepción–, lo cual indica canal ocupado.
- Entrega de esta señal a la entidad de gestión de acceso al medio.
- En el estado emisor, detección de las colisiones en el canal.

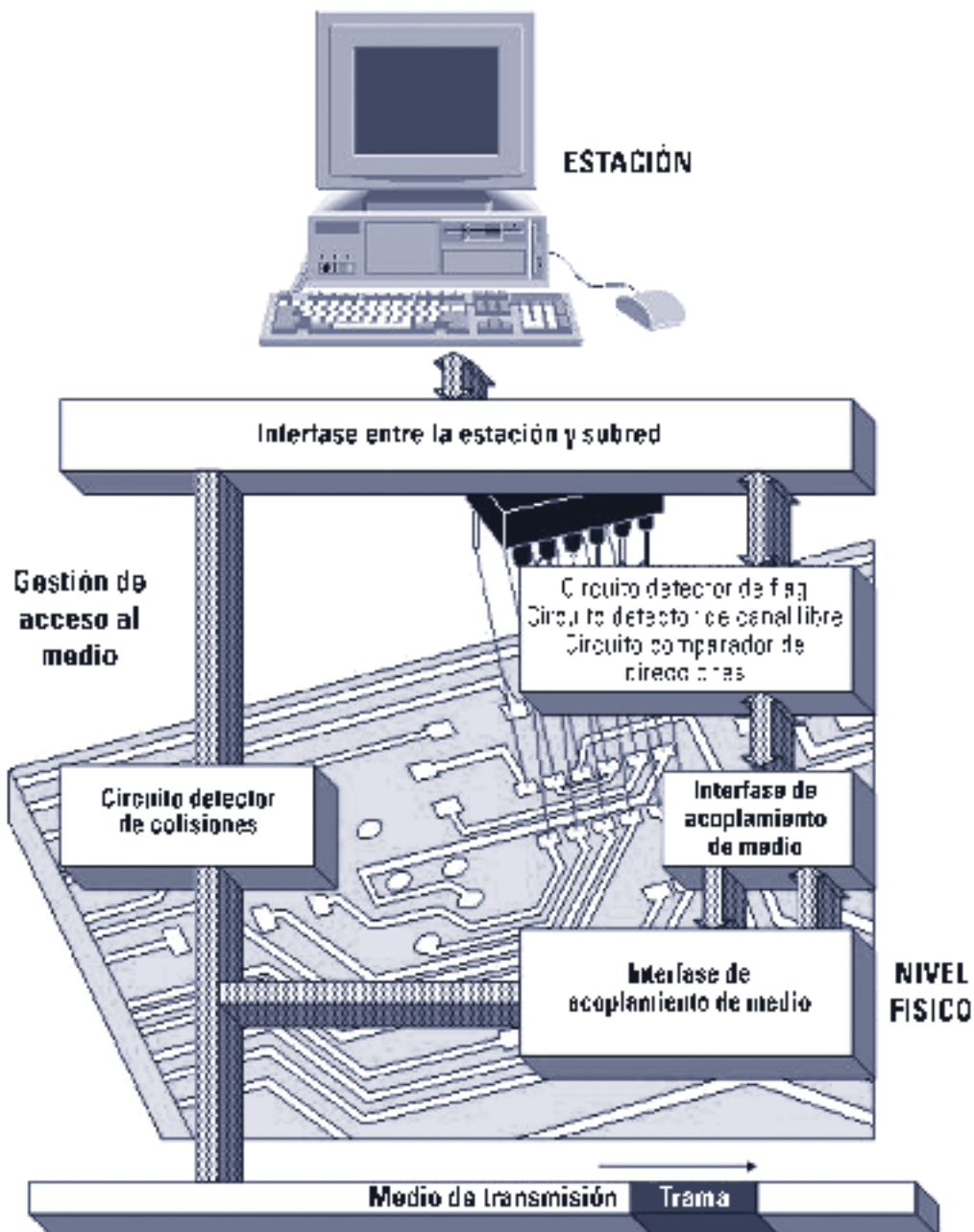
En el nivel físico (emisor), la entidad de codificación de datos transmite la sincronización (preámbulo), codifica los datos binarios al código *Manchester* y, luego, los entrega a la entidad de gestión de acceso al medio.

La entidad de gestión de acceso al medio funciona realizando los siguientes pasos:

- La unidad de encapsulado de tramas recibe los datos del usuario y construye una trama MAC.
- Le añade un campo de comprobación de secuencia.
- Envía la trama a la entidad de gestión de acceso al medio, que la almacena en su *buffer* hasta que el canal queda libre.
- Cuando la entidad de acceso al canal (en el nivel físico) detecta la no existencia de portadora, envía una señal de canal libre a la entidad de gestión de acceso al medio, que entrega la trama

que tenía en memoria intermedia, al nivel físico.

- En el nivel físico, la entidad de codificación convierte la trama codificada en el código *Manchester*, y genera los preámbulos para sincronización y se los agrega como delimitadores de sincronización.
- Finalmente, entrega la trama ya armada y codificada a la entidad de acceso al medio que, a su vez, los envía al canal.
- La trama se transmite por todo el canal.
- En la estación receptora, se detecta el preámbulo, se sincroniza con el reloj receptor y se activa la señal de detección de portadora.
- En el circuito de recepción, se entrega la trama a la entidad decodificadora de datos, que convierte las señales que han llegado en código *Manchester* a un código binario convencional y, luego, las entrega a la entidad de gestión de acceso al medio.
- La entidad de gestión de acceso al medio guarda todos los datos en una memoria *buffer*, hasta que la entidad de acceso al canal le avisa que se ha desactivado la señal de detección de portadora, lo que implica que ya llegó toda la trama.
- Luego, la trama se entrega a la entidad de desencapsulado; ésta comprueba que no existen errores, usando el campo correspondiente, mediante el método de los polinomios cíclicos; y, después, verifica si la señal está dirigida a esa estación.



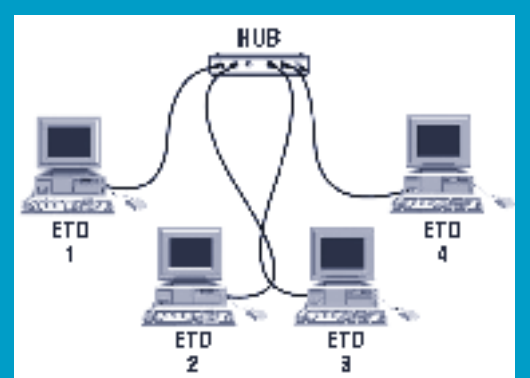
*Unidades componentes de la interfase de red. Tarjeta NIC*

La norma IEEE 802.3

La topología de la norma 802.3 debe ser analizada desde el punto de vista físico y lógico.

La topología lógica de la norma 802.3. *Ethernet* es la de canal *único en bus*, que lleva las señales a todos los equipos terminales de datos que estén conectados al él, sin prioridad.

En la mayoría de los casos, la configuración física de la red es en topología estrella, con centro en un equipo denominado *hub* o un *switch*.



Esquema de una red Ethernet con topología física en estrella; se debe a consideraciones de orden práctico en la construcción de la red, en cuanto hace al tendido de los medios de comunicaciones que se empleen.

El empleo del *hub* o del *switch* está tan difundido que, muchas veces, se omite señalar que la topología estrella responde solamente a un concepto físico derivado de la práctica constructiva.

Podemos considerar que, dentro de la norma 802.3 Ethernet, existen tecnologías que se diferencian entre sí, fundamentalmente, por el tipo de cable utilizado, lo cual también condiciona los elementos auxiliares necesarios para construir la red.

Tecnologías de la norma 802.3, Ethernet <sup>7</sup>		
Tipo de red	Tipo de cable	Equipos usados
10 base T	UTP	Hub y switch
10 base 2	Coaxial RG 58 fino	Repetidores
10 base 5	Coaxial RG 218 grueso	Transreceptores y repetidores
10 base FL	Fibra óptica multi-modo 62,5 y 145	Hub y transreceptores

En muchas ocasiones, se arman redes en forma de árbol o de segmentos interconectados por medio de repetidores, que regeneran la señal en banda base.

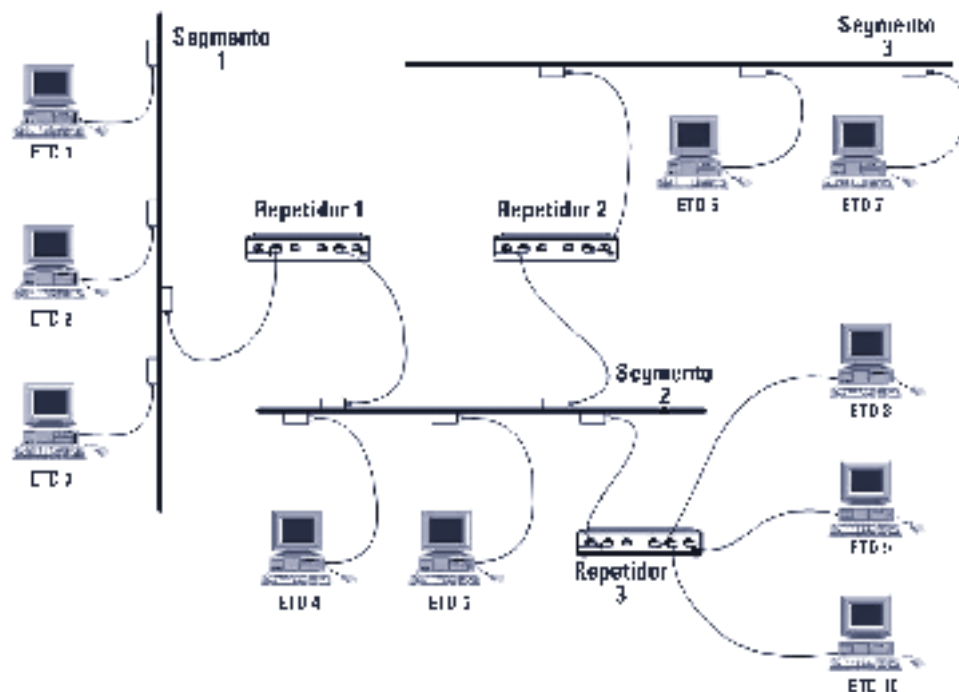
El uso de repetidores permite el armado de múltiples segmentos; allí, cada segmento del cable es una rama individual del sistema de señales.

Aunque los segmentos de cable pueden estar físicamente conectados en forma de estrella o árbol, con múltiples segmentos conectados a un repetidor, la topología lógica es la de bus, en la que las señales llegan a todas las estaciones.

La figura de la página siguiente muestra varios segmentos de cable enlazados con repetidores y conectados a las estaciones. Una señal enviada de cualquier estación viaja sobre el segmento de esa estación y es repetido en todos los otros segmentos. De esta manera, la señal es escuchada por todas las otras estaciones de la red.

El aspecto central radica en que no interesa cómo los segmentos de cable están físicamente conectados, sino que **todo pasa como si existiera un único canal**, por el que circulan tramas que llegan a todas las estaciones.

<sup>7</sup>En particular, se muestran los diferentes tipos de redes que se pueden organizar tomando como base la velocidad de 10 Mbps.



*Esquema de una red con segmentos unidos por repetidores*

La longitud máxima entre las estaciones extremas de la red está limitada por el tiempo que tomaría una trama en recorrer la distancia entre extremos. Ese tiempo máximo es el *round trip time* y está estrictamente limitado, de manera que todas las estaciones puedan escuchar las tramas en un intervalo específico, preestablecido en el sistema del subnivel MAC.

Esta descripción técnica nos permite comprender la lógica de funcionamiento de las redes *Ethernet*.

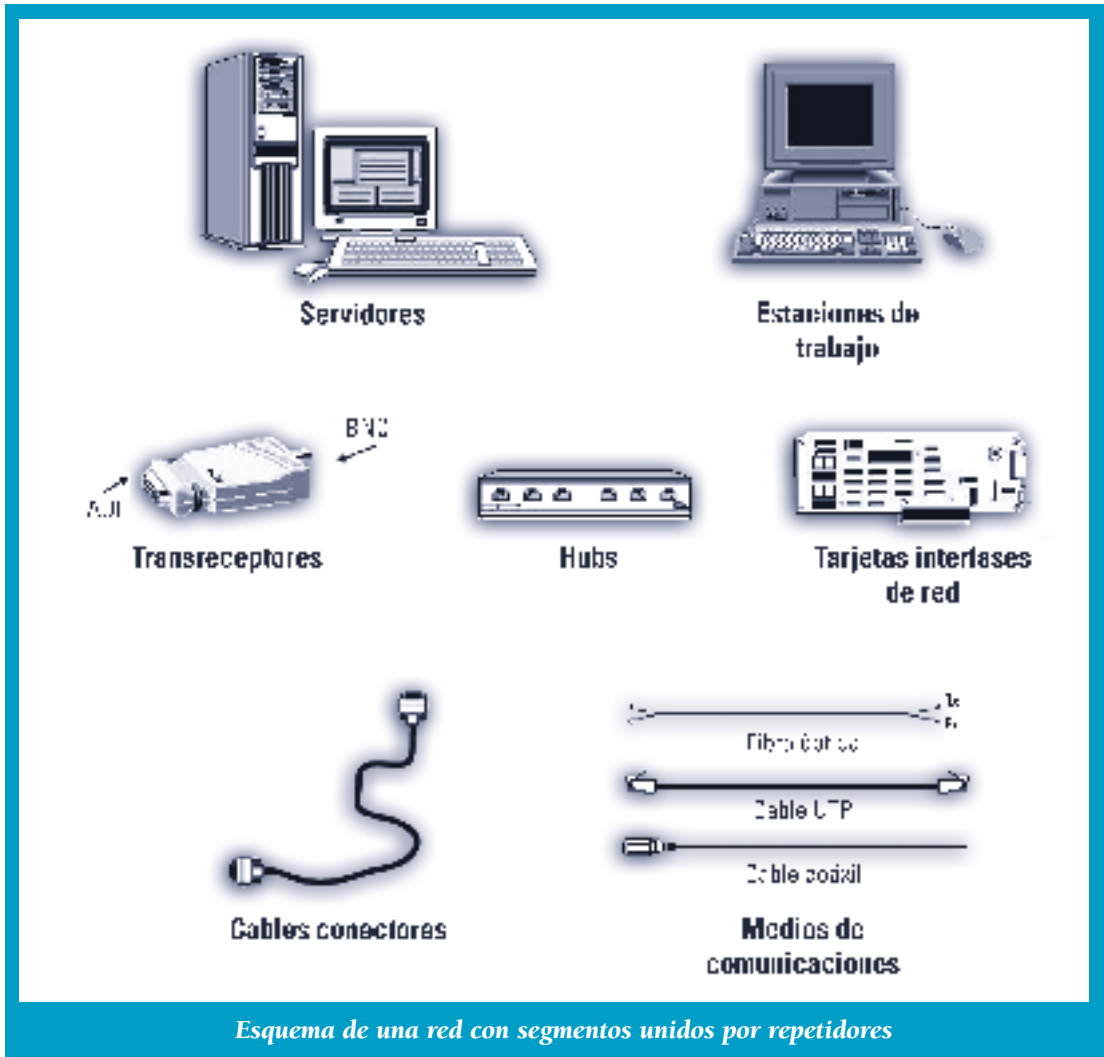
Esta información resulta indispensable para afrontar la solución del problema planteado por el profesor en el aula de "Tecnología de las comunicaciones".

En cualquiera de los casos en que se construya una red de estas características, los distintos segmentos no deben conectarse formando un anillo: Cada segmento del sistema debe tener, necesariamente, dos extremos, dado que la norma no opera correctamente en la presencia de caminos circulares.

## Elementos básico de las redes *Ethernet*

Los componentes básicos utilizados para armar las redes de área local según la norma IEEE 802.3 son –tal como indicábamos páginas atrás–:

- a. Estaciones de trabajo.
- b. Servidor de red.
- c. Cables de conexión.
- d. Conectores.
- e. Placas de red, instaladas en las estaciones de trabajo, servidores, impresoras, etc.
- f. Software operativo de la red.
- g. Concentradores *–hub–* y *switches*.



El elemento más frecuentemente empleado en la actualidad es el *switch*. Éste permite generar más de un dominio de colisión; en general, se tienen tantos dominios como puertas *–ports–* posee el equipo. Por esto, el

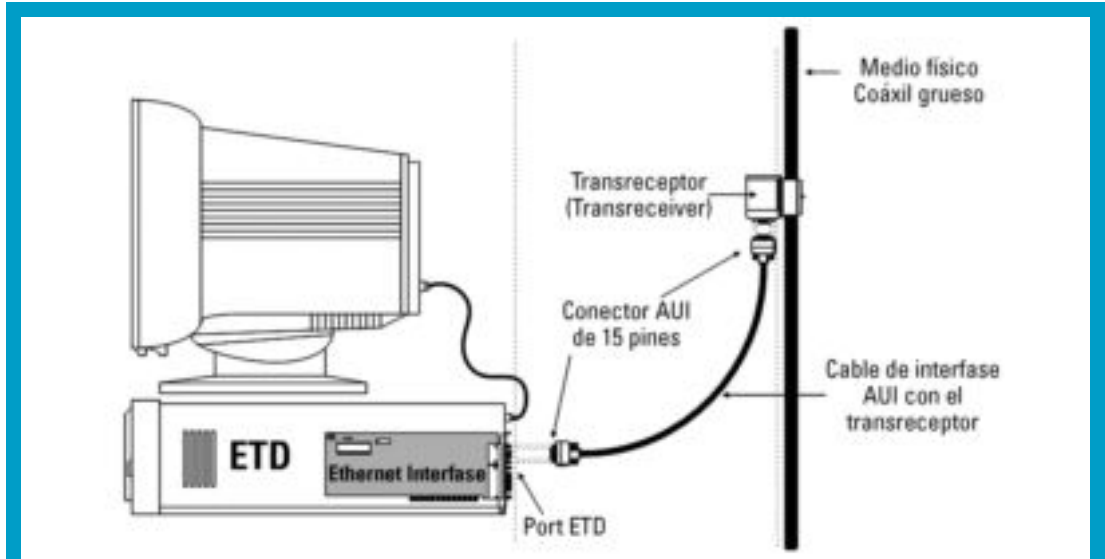
*switch* presenta una performance superior el *hub* en el desempeño de las redes Ethernet.

Además, como funciona conmutando los ports según la dirección MAC de destino

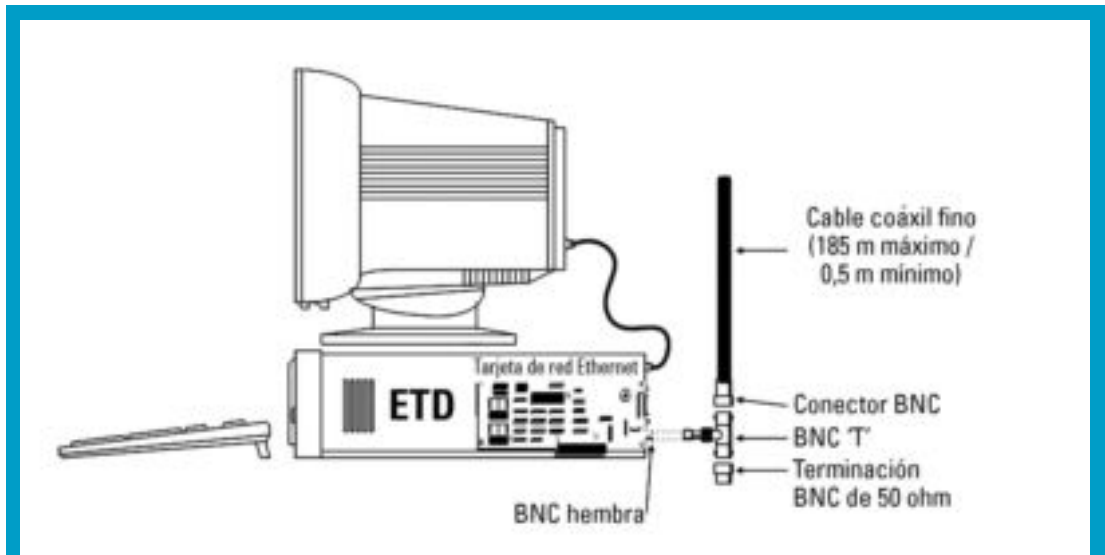
que se incluya en la trama, no da lugar a la ocurrencia de colisiones, aumentando la eficiencia de funcionamiento.

Las redes LAN *Ethernet* de 10 y 100 Mbps

tienen el mismo codificador/decodificador que ya hemos analizado: el Manchester bifase diferencial, independientemente de si la tarjeta se conecta a un hub o a un switch.



*Esquema de conexión de una red con cable coaxil grueso*



*Esquema de conexión de una red 10 base 2*



Las redes se denominan 10 base 2 por ser redes que operan a 10 Mbps, con transmisión banda base e implementadas con cable coáxil fino.

Los transreceptores se conectan al medio mediante una interfase que depende de éste y que recibe el nombre de interfase dependiente del medio –MDI; *Medium Dependent Interface*–. Éste es el dispositivo que permite realizar la conexión física y eléctrica al medio de comunicaciones que se ha adoptado para armar la red.

En el caso del cable coáxil fino, la MDI más comúnmente usada es un tipo de borne que se instala directamente sobre el cable coáxil.

Para el cable de par trenzado, la MDI es un conector de ocho patas también conocido como RJ-45, conector similar al usado en telefonía. Éste provee la conexión a los cuatro pares de cable trenzado utilizados para transportar las señales en este sistema de cableado.

La MAU –*Multiple Access Unit*– y la MDI se diseñan con características diferentes para cada tipo de medio de comunicaciones utilizado en la norma Ethernet. Las MAU que se usan con cables coaxiales, difieren de las MAU que se usan con cable de par trenzado.

A la izquierda de la figura “Esquema de conexión de una red con cable coáxil grueso” se observa la computadora con su placa de red y la unión de la placa mediante la interfase AUI que la conecta con el transreceptor. Este último se halla directamente conectado al cable coáxil.

## a. Estaciones de trabajo

Las estaciones de trabajo o computadoras conectadas a la red se definen –en los estándares de la IEEE– como equipo terminal de datos –ETD–.

Cada uno de ellos tiene incorporada una tarjeta interfase de red –NIC– tipo Ethernet.

Cada estación de trabajo opera independientemente de todas las otras estaciones de la red. En esta tecnología no existe un controlador central.

Las señales del 802.3 son transmitidas en forma serie (bit a bit), sobre el canal de señales compartido, a todas las estaciones conectadas. Para enviar datos, una estación:

- escucha el cable y, cuando el cable está desocupado,
- transmite sus datos en la forma de la trama 802.3.

La típica conexión de una computadora con una tarjeta interfase de red –NIC– del tipo Ethernet, arma y envía las tramas que transportan los datos entre todas las computadoras conectadas a ella.

La tarjeta NIC está conectada al medio, utilizando un conjunto de equipos que incluyen una interfase de conexión al usuario –AUI– (cable del transmisor) y un transreceptor (compuesto de una MAU con su MDI asociada. Estas últimas están diseñadas específicamente para cada tipo de medios utilizados en esta norma).

## b. Servidor de red

A los efectos de la norma 802.3, los servidores se comportan exactamente igual que las estaciones de trabajo. Sin embargo, en cuanto al uso de una red de área local desde el punto de vista del usuario, son equipos de datos que cumplen funciones especiales –como las de almacenar bases de datos comunes– y que, a menudo, están soportando otros equipos como son las impresoras.

Los servidores de una red LAN pueden ser, entre otros:

- para impresoras,
- para comunicaciones remotas,
- para bases de datos,
- para monitoreo y control de la red.

En particular, los distintos equipos terminales se comportan como:

- servidores para terminales: bidireccionales,
- servidores para impresoras: unidireccionales.

Normalmente, están en capacidad de realizar conversiones de protocolos; en especial, para posibilitar la salida de información de una red LAN hacia una red WAN.

## c. Cables de conexión

Son los medios de comunicación: cables coáxiles, pares trenzados, etc.

### Cables de conexión

10 base 2.  
Cable coáxil fino RG-58

10 base 5.  
Cable coáxil grueso

10 base T. Cable de par trenzado de cobre UTP  
–Unshielded Twisted Pair–

Cable de fibra óptica

Las redes *Ethernet* son un buen balance entre velocidad, precio y facilidad de instalación.

Las distintas tecnologías que se pueden usar en este protocolo, dependen del medio de comunicaciones que se use.

**10 base 2. Cable coáxil fino RG-58.** Las redes conocidas como 10 base 2, trabajan con señales en banda base y alcanzan una velocidad de 10 Mbps. Están construidas con cable coáxil fino de 50  $\Omega$  de impedancia y 5 milímetros de diámetro, cuya especificación es RG - 58 (A/U o C/U).

Las redes construidas con este tipo de cable pueden tener una longitud máxima del segmento que varía de 185 metros a 300 metros; luego, se debe colocar un repetidor para unirlo con otro segmento.

Se pueden unir hasta cinco segmentos troncales mediante cuatro repetidores. La longitud máxima de la red puede ser de 1.500 metros.

Este tipo de cable es el más económico, dentro de esta tecnología; es muy fácil de

manipular y no requiere transceptores en las estaciones. En los extremos de cada cable se coloca un adaptador de impedancias de  $50\ \Omega$  y, para la conexión de cada tarjeta de red –NIC–, un conector BNC en forma de T.

Las estaciones de trabajo sólo se pueden conectar en tres de los segmentos; los otros dos son para distanciar los equipos, si fuera necesario. Cada línea troncal puede tener hasta un máximo de 30 nodos –a estos efectos, se consideran nodos a los repetidores, puentes, *routers*, *gateway* y servidores–.

El número total de nodos en todos los segmentos no puede exceder de 1.024. La distancia mínima entre dos estaciones no puede ser menor a 0,5 metros.

En la figura “Esquema de conexión de una red 10 base 2” se observa un esquema de conexión usando cable coaxil RG 58 (redes LAN 10BASE2). Hoy día, este tipo de tecnología está fuera de uso, pues ha sido reemplazada por el cable UTP.

**10 base 5. cable coáxil grueso.** Trabajan con señales en banda base y alcanzan una velocidad de 10 Mbps. Están construidas con cable coáxil grueso de  $50\ \Omega$  de impedancia y 10 milímetros de diámetro. Se suele llamar a este cable, *Ethernet estándar*.

Estas redes se consideran el estándar de las redes *Ethernet*, pues fueron las primeras en ser construidas para la velocidad de 10 Mbps.

Cada estación se conecta a la línea troncal por medio de un transreceptor. Estos equipos sirven de unión entre las estaciones de trabajo y el cable coáxil grueso. Disponen de tres

conectores: uno permite conectar, mediante un cable especial, a la estación de trabajo al transceptor, y los otros dos se usan como entrada y salida del cable coáxil.

La longitud máxima de cada segmento es de 500 metros (1.640 pies). La distancia máxima del cable especial que une la estación de trabajo con el transceptor es de 50 metros (164 pies). La distancia mínima entre dos transceptores es de 2,5 metros (8 pies).

Se pueden armar hasta cinco segmentos troncales mediante cuatro repetidores. Como en el caso de las redes 10 base 2, se pueden conectar estaciones a sólo tres de los segmentos. La longitud máxima de cada segmento es de 500 metros.

La distancia máxima entre dos estaciones es de 2.500 metros. Esta distancia surge del tamaño mínimo que tiene un paquete, en el estándar CSMA/CD, que es de 64 octetos; éstos, a la velocidad de 10 Mbps recorren la distancia señalada.

En cada extremo de cada segmento principal se coloca un conector de  $50\ \Omega$  de impedancia, conectado a tierra.

En cada segmento, puede haber un máximo de 100 estaciones de trabajo (los repetidores se deben considerar dentro de este número máximo).

Hoy día, este tipo de tecnología está fuera de uso; como en el caso de las redes 10 base 2, ésta ha sido reemplazada por las 10 Base T.

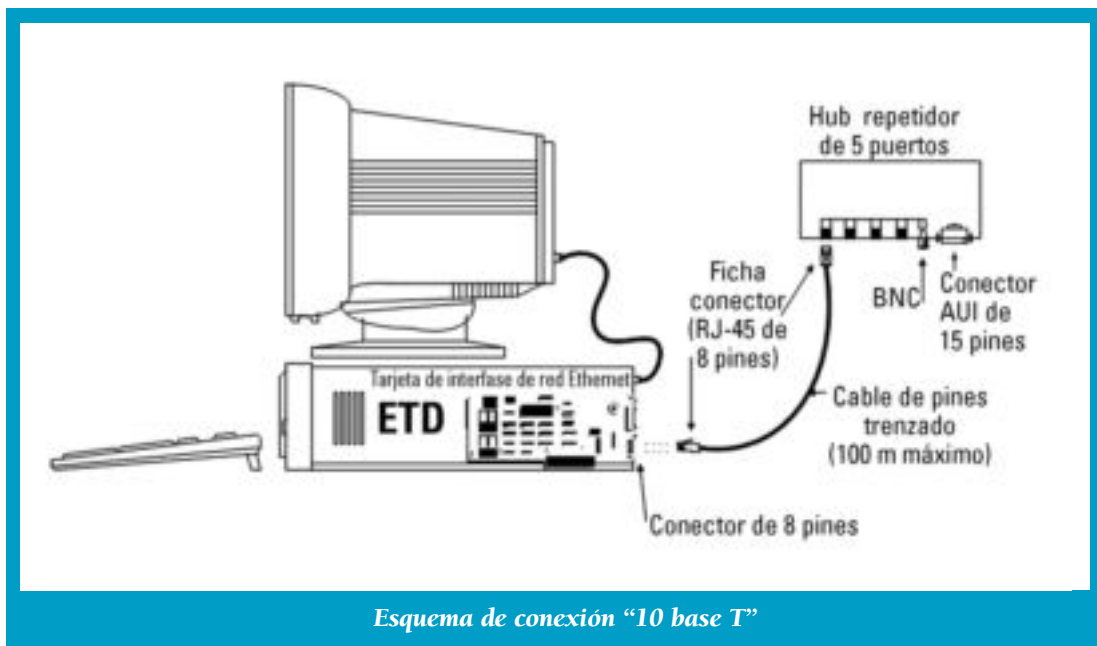
**10 base T. Cable de par trenzado de cobre UTP –Unshielded Twisted Pair–.** Las redes

conocidas como 10 base T, trabajan con señales en banda base y alcanzan una velocidad de 10 Mbps. Están construidas por pares de cobre trenzado, y son de categoría 3, 4, 5 o 5e, 6 y 7.

Resultan, actualmente, las más utilizadas pues tienen las ventajas de las redes *Ethernet*, mientras que su costo, su facilidad de instalación y su simplicidad las hacen más ventajosas.

En este tipo de redes, se utilizan *switches* o *hubs* que facilitan el tendido de la red, permitiendo la construcción de una estrella física; aunque, desde el punto de vista lógico, la topología sigue siendo igualmente la de un bus.

La distancia entre los concentradores y las estaciones de trabajo no pueden exceder las distancias de 100 metros.



Esquema de conexión “10 base T”

Los *hubs* y los *switches* pueden tener 8, 14, 16 ó 24 bocas que permiten conectarse a igual número de estaciones a la red.

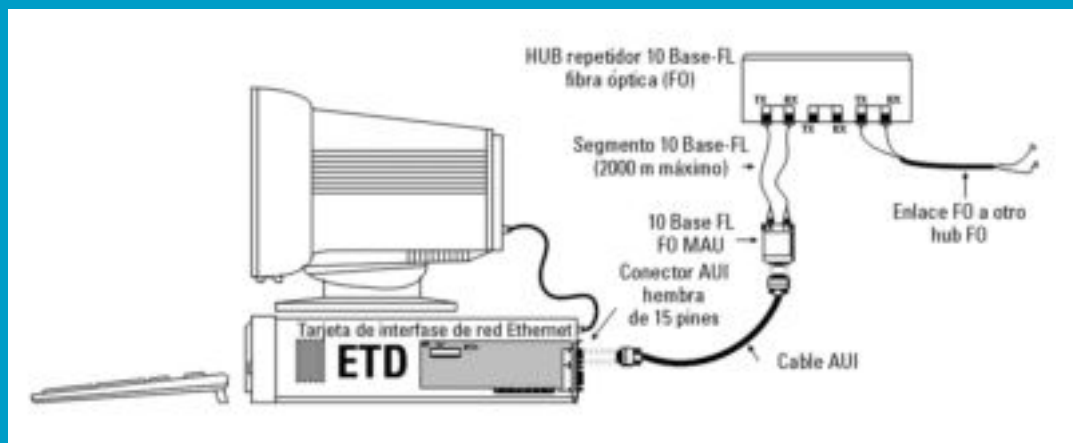
Cada plaqueta de red –NIC– tiene incorporado, normalmente, un transreceptor; si así no fuera, es necesario colocar un transreceptor entre la tarjeta de red y el cable. Éste deberá tener, hacia el lado del equipo, un conector DB-14, y un conector RJ-45 hacia el lado de la red.

Estas redes utilizan un cable trenzado sin apantallar, que se conoce como cable “UTP” de categoría 3 o superior (normalmente, se conciertan las redes con cable de categoría 5e o 6; con esta categoría se pueden alcanzar velocidades de hasta 1000 Mbps y los costos son similares).

Estas redes permiten la conexión de hasta 1.024 estaciones de trabajo, sin necesidad de usar puentes, que posibilitarían separar dos redes y, por lo tanto, aumentar ese número.

**Cable de fibra óptica.** Las redes conocidas como 10 base FL trabajan con señales en banda base y alcanzan velocidades que van de 10 a 100 Mbps y más. Están construidas con cable de fibra óptica, que permite extender las redes hasta una distancia de 4 kilómetros.

La computadora tiene incorporada una tarjeta de red *Ethernet* que posee un conector AUI de 14 patas. Éste permite una conexión a una MAU externa de fibra óptica denominada –FOMAU –*Fiber Optic Multiple Access Unit*–.



*Computadora conectada a un hub, a través de un segmento 10 base FL*

La FOMAU, a su vez, está conectada con el *hub* a través de dos cables de fibra óptica. Otro puerto aparece conectado a un cable de fibra óptica, al cual se puede conectar otro *hub* ubicado a alguna distancia.

Una de las principales ventajas de las redes construidas con enlaces de fibra óptica 10 base FL es la distancia que pueden alcanzar. Por otra parte, dado el mayor ancho de banda disponible en la fibra óptica, ésta puede soportar velocidades de transmisión mucho más altas que los otros medios disponibles.

Cuando se diseña una red de área local, su *backbone* puede utilizar fibra óptica; esto

Se denomina **backbone** al cableado vertical que une todos los pisos.

asegura la posibilidad de trabajar a 10 Mbps y de migrar, si fuera necesario, con facilidad, a redes de alta velocidad de 100 Mbps o –en un futuro– a más.

Las redes de fibra óptica proveen una mayor aislación eléctrica para los equipos en cada extremo de la fibra y no requieren circuitos de protección diseñados para evitar los riesgos eléctricos.

Sus características la hacen muy conveniente en espacios abiertos, por su inmunidad ante la mayoría de los riesgos eléctricos, incluyendo el efecto de los relámpagos y los diferentes niveles de corriente eléctrica que pueden ser encontrados en edificios separados. La aislación eléctrica es esencial cuando los segmentos deben viajar hacia fuera del edificio.

La topología física soportada por los enlaces de fibra óptica es la estrella. En esta topología, un conjunto de enlaces está conectado a un *hub*, irradiando desde el *hub* a las computadoras, como los rayos de una estrella.

#### d. Conectores

Los conectores dependen del tipo de cable empleado:

- Con cable coáxial, se usan conectores BNC.
- Con fibra óptica, conectores SC o ST.
- Con cable UTP se utilizan conectores RJ 45.

#### e. Placas de red

Las placas de red dependen del tipo de red LAN que se pretenda implementar; en general, las placas más utilizadas para redes LAN alámbricas (no las *Wireless*) son las:

- Redes LAN *Ethernet* (IEEE 802.3)
- Redes LAN *Arcnet* (IEEE 802.4)
- Redes LAN *Token Ring* (IEEE 802.5)

#### f. Software operativo de la red

Para las estaciones de trabajo es posible emplear software propietario, como puede ser *Windows 98*, *2000*, *2003*, *XP*, etc., o software libre como es el caso de *Linux* en cualquiera de sus versiones o distribuciones.

En el caso de emplear un servidor de red, se puede utilizar, también, una versión propietaria como: *Windows NT*, *Windows 2000*, *Novel*, o libre como *Linux*.

#### g. Concentradores –hub– y switches

Los **concentradores o hubs** tienen las siguientes características:

- Son dispositivos de capa 1 del modelo OSI (nivel físico).
- La señal entra por un puerto y sale, simultáneamente, por todos los demás.
- Existe un dominio de colisión.
- Existe un dominio de *broadcast*.
- Constituyen equipos económicos.
- En redes con *hubs*, se producen colisiones.
- Tienden a ser reemplazados por los *switches*.
- Funcionan bien con grupos de trabajo pequeños; pero, no se adaptan a grupos de trabajo más grandes o a tráfico pesado.

Los **switches** presentan las siguientes características:

- Son dispositivos de capa 2 (nivel de enlace) del modelo OSI.
- Realizan el encaminamiento de las tramas sobre la base de las direcciones MAC, el destino de éstas y teniendo en cuenta la información contenida en la tabla que posee el *switch*, la que relaciona los puertos de este equipo con las direcciones MAC.
- Existe un dominio de colisión por cada puerto.
- Existe un dominio de *broadcast* (igual que en el *hub*).
- En redes con *switch* no se presentan colisiones. El *switch* mantiene las tramas en la memoria del búfer y coloca en cola el tráfico para cada puerto. Esto significa que las placas de las computadoras emisoras no tienen conocimiento sobre

las colisiones y no necesitan volver a enviar las tramas

- Tienen un gasto moderado en switches de acceso común; pero, pueden ser muy costosos en *switches* de nivel 3.

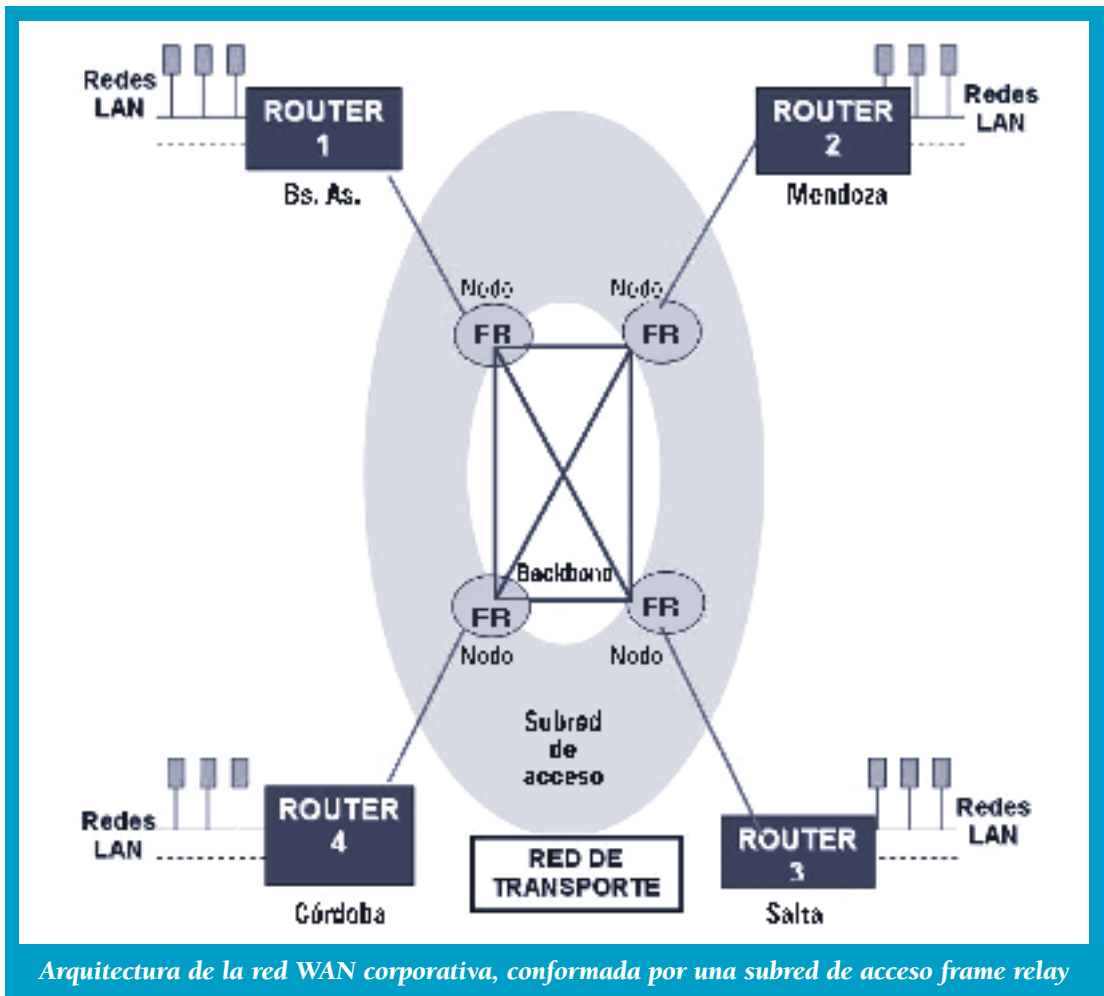
Para la solución de nuestro problema...

Emplearemos cable de fibra óptica.

## 1.2. Redes WAN – *Wide Area Network*–

Las redes WAN empresariales, también conocidas como redes corporativas, están constituidas, básicamente, por redes LAN,

ubicadas en diferentes áreas geográficas, unidas por enlaces dedicados o a través de la denominada red de transporte.



Las redes WAN empresariales o corporativas, comúnmente denominadas *Intranet* de la empresa están constituidas por la unión mediante la red de transporte pública de *routers* que vinculan las redes LAN que se encuentran conectadas con ellos en cada punto de la red corporativa.

La red de transporte está formada, en realidad, por dos subredes:

- La subred de acceso.
  - La subred central o *backbone* de transporte.
- 

La **subred de acceso** debe su nombre a que brinda el acceso de los clientes a la red de transporte. Generalmente, se emplean protocolos “económicos” de capacidad media como el *frame relay*, X.25 (sólo para datos), etc.

La **subred central o *backbone*** es una red de muy alta capacidad que une nodos de la subred de acceso exclusivamente. Para esto, requiere el empleo de protocolos de alta capacidad como ATM –*Asynchronous Transfer Mode*–.



## 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TRANSMISIÓN EN BANDA BASE, CÓDIGOS DE LÍNEA EMPLEADOS Y APLICACIONES EN LAS REDES LAN Y WAN

En todo proceso de comunicaciones, existen los siguientes elementos:

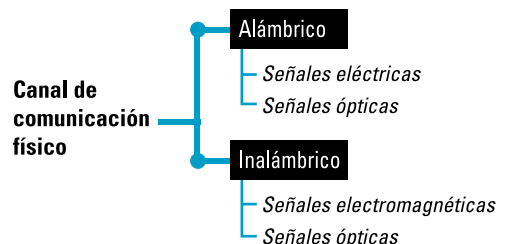


El canal de comunicaciones puede operar en el modo simplex, semidúplex o dúplex.

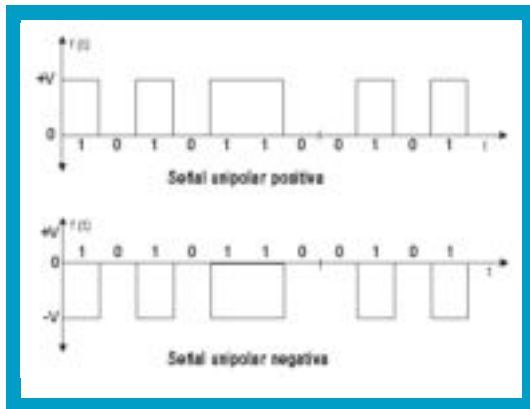
- En el modo **simplex**, un extremo siempre transmite y el otro recibe, y no hay posibilidad de invertir esta situación.
- En el modo **semidúplex**, ambos extremos pueden transmitir y recibir; pero, no al mismo tiempo.
- En el modo **dúplex**, ambos extremos transmiten y reciben al mismo tiempo.

Por otro lado, podemos transmitir en el canal de comunicación mediante las siguientes señales:

Para encarar la solución al problema planteado (¿Qué tipo de codificación emplearíamos en las tarjetas de red de nuestra PC, para que la red funcione correctamente, si la tasa de transmisión fuera de 1 Gbps y se empleara fibra óptica como medio de transmisión?), es necesario que:
Los estudiantes analicen las señales eléctricas y ópticas. Estas señales se pueden codificar de distintas formas, de allí el nacimiento de los denominados códigos en banda base o códigos de línea.

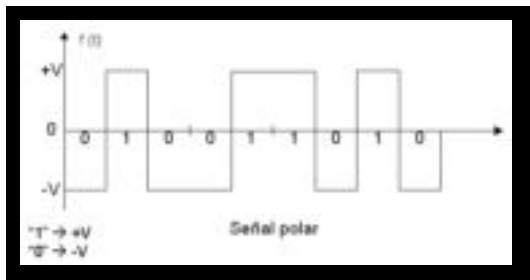


Se dice que la **señal es unipolar** cuando el valor que representa a un determinado dígito binario, sea éste un “0” o un “1”, toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa), mientras que el otro dígito toma el valor “0”.



Dependiendo de la polaridad, se tienen unipolares positivas o negativas. Esta condición de línea es equivalente a representar un 1 o un 0, mediante el encendido o el apagado de una luz.

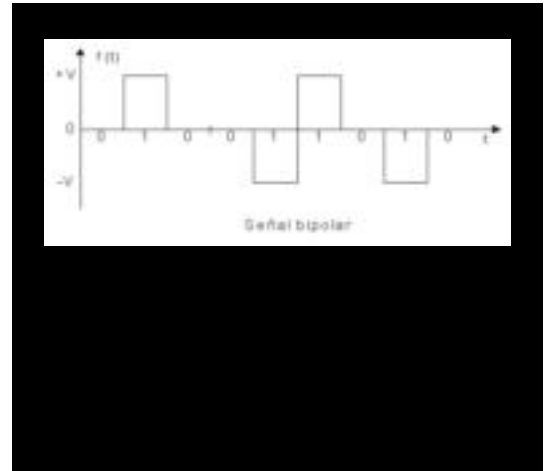
Se dice que la **señal es polar** cuando los valores que representan a los dígitos binarios 1 y 0, se originan como consecuencia de la conmutación de la línea entre un valor positivo de tensión  $V$  y el valor negativo de tensión  $-V$ .



De esta forma, un valor binario cualquiera tiene siempre una determinada polaridad

mientras que el otro binario presentará polaridad inversa.

Se dice que la **señal es bipolar**, cuando un determinado dígito (“0” o “1”) toma valores de polaridad alternados, mientras que el restante dígito siempre adopta el valor “0”.



## Características generales de la transmisión en banda base

Hasta aquí hemos analizado las señales banda base básicas.

En este título evaluamos las características que debe tener la transmisión banda base en redes LAN y WAN, para completar el análisis que nos permita resolver el problema de determinar el código banda base más apropiado para las redes LAN que operan a 1 Gbps con cables de fibra óptica.

El uso de transmisión en banda base suele ser frecuente por el bajo costo de los equipos usados y, además, porque permite extender el alcance de las interfases digitales.

Cuando se usa este tipo de transmisión, los equipos de terminación del circuito de datos –ETCD– que, por costumbre, se denominan módem, no realizan la función de modulación, sino la de codificación, mediante los denominados códigos de línea.

Estos equipos, de muy sencilla construcción –y, como ya expresamos, de muy bajo costo–, reciben el nombre comercial de **módem banda base**.

La utilización de códigos de línea como los que analizamos a continuación tienen como misión fundamental solucionar los siguientes aspectos técnicos inherentes a la transmisión banda base:

1. Eliminar o disminuir la componente de continua de la señal.
2. Transmitir el sincronismo desde el transmisor hacia el receptor.
3. Permitir detectar la presencia de señal en la línea.

Estos problemas	
También se presentan en nuestra red de 1 Mbps.	

Analizaremos a continuación los problemas planteados en la transmisión banda base.

Cuando, en particular, se desea enviar señales en la modalidad de banda base, la señal es previamente codificada, de forma de reducir a un mínimo la componente de continua que todo pulso rectangular asimétrico puede presentar (al ser analizada mediante el desarrollo en *Serie de Fourier*).

Al respecto si recordamos la *Serie de Fourier*: Toda función periódica que cumpla con las denominadas “*Condiciones de Dirichlet*”, admite ser desarrollada en “*Serie de Fourier*”.

Esto significa que, funciones como la “onda cuadrada” o la llamada “diente de sierra”, admiten una representación en serie de senos o de cosenos.

La *Serie de Fourier*, resulta uniformemente convergente y, por lo tanto, cumple un conjunto de propiedades muy importantes; como, por ejemplo, las de ser derivadas o integradas término a término, etc.

### a. Condiciones de Dirichlet

Las condiciones de Dirichlet son necesarias y suficientes, para que una función  $f(t)$  pueda ser desarrollada en *Serie de Fourier*.

- La función  $f(t)$  debe ser periódica, de período  $T$ .
- La función  $f(t)$  debe ser definida y univalente, salvo número finito de puntos, en el intervalo de integración.
- La función  $f(t)$  y su derivada  $f'(t)$ , deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración (o continuas por secciones).

### b. Determinación de los coeficientes de la *Serie de Fourier*

Toda función que cumpla con las condiciones de Dirichlet, admite ser representada por una serie de la forma:

## Serie de Fourier

Donde:

- $T$  = Período de la señal  $f(t)$ .
- $\omega = 2\pi / T$  = Pulsación de la señal  $f(t)$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt; \quad n = 0$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

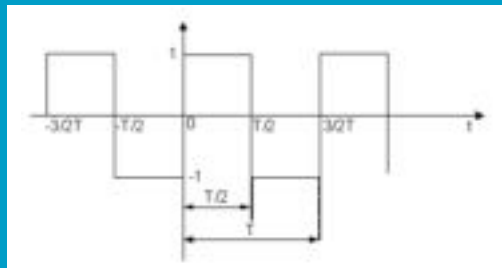
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

c. Representación de la función onda cuadrada en *Serie de Fourier*

¿Cómo se representa, por medio de la *Serie de Fourier*, la señal periódica onda cuadrada indicada en la figura?

En este momento, usted tal vez se pregunte qué relación tiene este tema con el problema planteado por nuestro colega, relativo a la codificación banda base de señales digitales transmitidas a 1 Gbps.

La respuesta es muy sencilla: Debemos estudiar cómo se “compone” una señal digital (tal es el caso de la onda cuadrada) mediante la *Serie de Fourier*, y determinar si resulta o no importante la componente continua. En el caso de que sí lo sea, debemos hallar un código banda base que permita su transmisión en las redes que operan a 1 Mbps.



### Función onda cuadrada a ser representada por medio de la Serie de Fourier

**Paso 1.** Cálculo de  $a_0$ :

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = 0$$

Dado que el área comprendida entre  $-T/2$  y  $T/2$  es cero, también lo será  $a_0$ .

**Paso 2.** Cálculo de  $a_n$ :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt = 0; \quad \text{para todo } n$$

También será cero, dado que queda el  $\sin(\omega t)$  integrado entre  $-\pi$  y  $+\pi$  que es cero.

**Paso 3. Cálculo de  $b_n$ :**

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt$$

Expresión que, integrada convenientemente, resulta:

$$b_n = \frac{2}{n\omega T} \left[ \cos(n\omega t) \Big|_0^{-T/2} - \cos(n\omega t) \Big|_{T/2}^0 \right]$$

Luego, según sean  $n$  par o impar:

- para  $n = \text{par}$   $b_n = 0$
- para  $n = \text{impar}$   $b_n = \frac{4}{n\pi}$

En consecuencia, reemplazando los coeficientes  $a_0$ ,  $a_n$  y  $b_n$  en la expresión de la serie, resultará:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} + \sum_{n=\text{impar}}^{n=\infty} \frac{1}{n} \text{sen}(n\omega t)$$

Sobre la base de estas expresiones, podremos construir gráficos que muestran el comportamiento de la función en amplitud y en fase.

En particular:

- Gráfico de la amplitud del espectro, en función de la pulsación  $n\omega_0$ .
- Gráfico de la fase del espectro, en función de la pulsación  $n\omega_0$ .

Para confeccionar estos gráficos, debemos recurrir a las siguientes expresiones:

$$f(t) = \frac{1}{T} + \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n e^{in\omega_0 t}$$

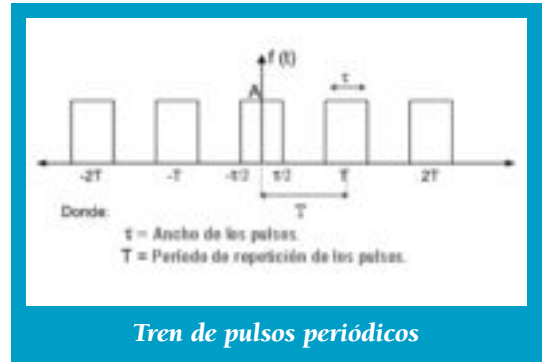
Donde  $C_n$  (coeficiente complejo de la *Serie de Fourier*) será igual, para este caso, a:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A e^{-in\omega_0 t} dt$$

#### d. Representación de una función por medio de la *Serie compleja de Fourier*

Representemos por medio la *Serie de Fourier* compleja, la señal de la figura y grafiquemos

el espectro de amplitud y el espectro de fase en función de  $n\omega$ .



Desarrollando por medio de la *Serie de Fourier* compleja, sobre la base de las expresiones arriba mencionadas, integrando y operando convenientemente,  $C_n$  resulta:

$$|C_n| = \frac{A\tau}{T} \cdot \frac{\text{sen}(n\omega_0 \tau/2)}{(n\omega_0 \tau/2)}$$

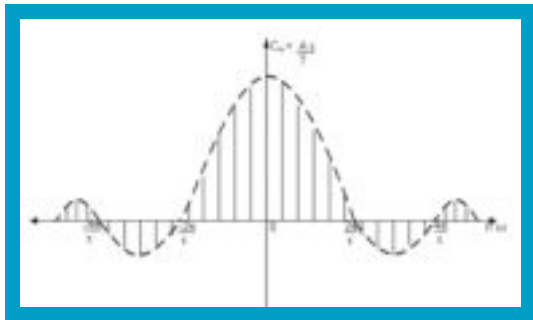
Se puede observar que  $C_n$  es real y, por lo tanto, el espectro de fase es cero. La simetría par adoptada para  $f(t)$  permitió llegar a este resultado que posibilita simplificar el análisis.

Analicemos el espectro de amplitud. En dicho espectro, el valor de  $C_n$  se anula por primera vez para:  $\frac{n\omega_0 \tau}{2} = \pi$

De donde:  $n\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}$

Y, en general:  $\left(\frac{2n\pi}{\tau}\right)$

En la figura se puede observar el espectro de amplitud en función de la frecuencia del tren de pulsos rectangulares analizado:



Las frecuencias negativas que aparecen en el ejemplo, constituyen sólo un resultado matemático, pero no tienen sentido físico.

### e. Análisis del espectro de frecuencias

El análisis que podemos efectuar del ejemplo precedente es el siguiente:

- Desde un punto de vista matemático, la envolvente de  $C_n$  es proporcional a la función siguiente:

$$P_{(x)} = \frac{\text{sen}(x)}{x} \quad \text{donde} \quad x = \frac{n \omega \tau}{2}$$

Para  $x = 0$  se obtiene un máximo igual a  $\frac{A\tau}{T}$ , y para  $x = \frac{2\pi}{\tau}$  se alcanza un mínimo, o sea:  $C_n=0$ .

- La separación entre componentes discretas del espectro es igual a  $\frac{2\pi}{T}$ .

Cuando aumenta la frecuencia del tren de pulsos, las líneas del espectro se separan más, extendiéndose hacia frecuencias mayores.

Esto significa que una variación más rápida de la señal  $f(t)$  en el dominio del tiempo, implica tener que considerar

componentes de mayor frecuencia.

Expresado de otra manera: Si la señal de pulsos a considerar es de una frecuencia alta, la amplitud de las armónicas de frecuencias altas será importante y no tenerla en cuenta, significará un error considerable.

Por el contrario, si la señal es de frecuencia baja, las armónicas de frecuencias altas podrán despreciarse sin cometer grandes errores.

- Las líneas de mayor amplitud se concentran en la región de las frecuencias menores.

Como la energía de una señal está directamente relacionada con la amplitud de componentes del espectro, resulta comprensible que la mayor parte de la energía asociada a la señal esté concentrada en las frecuencias más bajas.

- Se puede concluir que, cuando un tren de pulsos aumenta su frecuencia también aumenta la energía contenida en las frecuencias más altas.

Por lo tanto, también aumenta la importancia de las armónicas de las frecuencias más altas del desarrollo en *Serie de Fourier* de la señal, por cuanto éstas transportarán más energía.

- En telecomunicaciones, existe un concepto que reviste gran importancia y es el que se refiere al ancho de banda.

El **ancho de banda** de una señal es aquel intervalo de frecuencias para el cual se concentra la mayor parte de energía de aquélla.

Para el caso que estamos analizando, podemos señalar que existe una relación inversa entre el ancho de un pulso y el ancho de banda cubierto por el espectro de frecuencia.

La mayor parte de la energía estará concentrada entre las frecuencias:

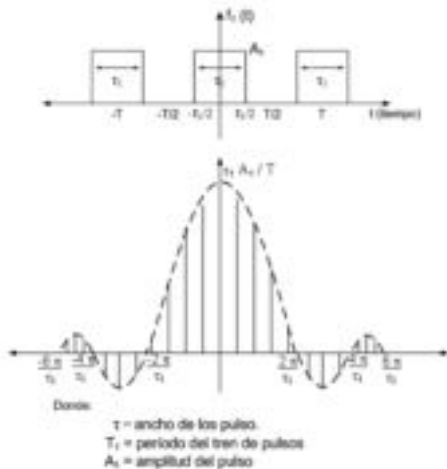
$$0 < f < \frac{1}{\tau}$$

En consecuencia, se puede considerar al primer valor para el cual se anula  $C_n$ , que resulta cuando:

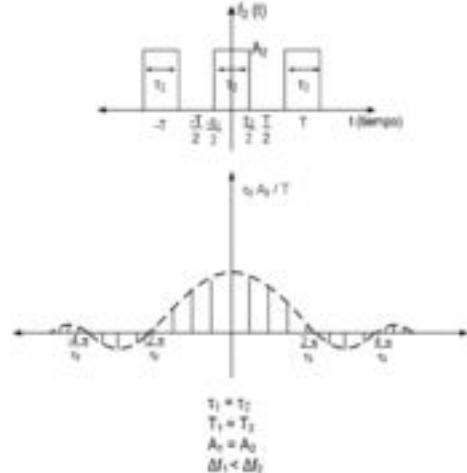
$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}$$

Es ésta una medida aproximada del ancho de banda necesario para contener la mayor parte de la energía de la señal y, por lo tanto, como veremos más adelante, servirá para diseñar el sistema de comunicaciones.

En las figuras es posible observar que, a medida que se disminuye el ancho del pulso, aumenta el requerimiento de ancho de banda.



**Relación entre el ancho del pulso y el ancho de banda del espectro de amplitud**



Dividiendo esta última expresión por  $2\pi$ , obtenemos que el ancho de banda  $\Delta f$ , será el comprendido entre la frecuencia cero y la que corresponde al primer punto de donde la envolvente toma el valor nulo.

$$\Delta f = \frac{1}{\tau} \text{ ancho de banda}$$

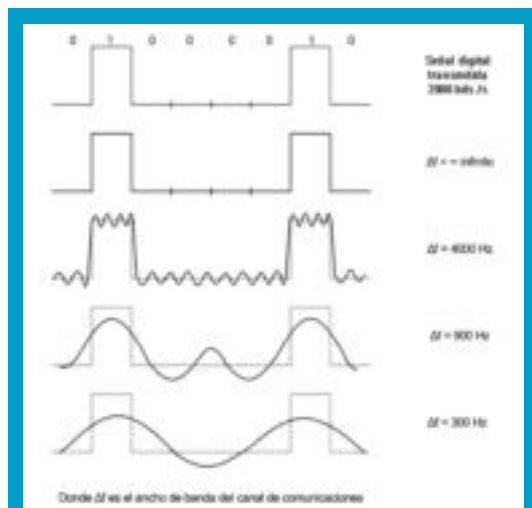
Cuando el ancho del pulso aumenta, el ancho de banda disminuye; y, viceversa.

Por lo expuesto hasta aquí, vemos que si empleáramos cable UTP en nuestro problema relativo a la red de 1 Gbps, se puede generar un espectro en el cual la componente continua —o sea, la señal de frecuencia cero— tenga un valor muy importante (quizás el mayor valor).

Es por ello que el método de codificación que seleccionemos debe eliminar esa componente continua, dado que los cables UTP al estar acoplados mediante medios inductivos (transformadores de línea) **no permiten el paso de la componente continua**, con lo cual la señal a salida del cable se encuentra muy distorsionada, aumentándose notablemente la tasa de error.

## f. Efecto del ancho de banda sobre una señal

En consecuencia, podemos afirmar que cuando una señal cuadrada, rectangular o, en general, cualquier señal digital pasa a través de un soporte físico, siempre sufre una deformación, producida por lo que se denomina la limitación que origina el “ancho de banda” del medio.



**Efecto del ancho de banda en un canal de comunicaciones; sobre la señal digital periódica que se transmite a través de él**

Se puede ver cómo la señal se deforma a medida que el ancho de banda disminuye.

El ancho de banda pasante es el intervalo de frecuencias:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

De la formula anterior se deduce que las componentes de la Serie de Fourier, cuyas frecuencias están comprendidas entre esos límites ( $f_2$  y  $f_1$ ), sufren atenuaciones de hasta 3 dB. Las que se encuentran por arriba y por debajo de esos límites son atenuadas más frecuentemente y el medio actúa como filtro que sólo deja pasar, a los efectos prácticos, las del ancho de banda señalado.

Se dice, entonces, que el medio de comunicaciones se comporta como un **filtro pasa banda**.

Estos filtros tienen la característica de dejar pasar las frecuencias comprendidas dentro de la banda, cuyos límites están dados, precisamente, por el valor más alto y el más bajo de los arriba indicados.

Si el ancho de banda fuese teóricamente infinito, es decir que:

$$f_1 = 0 \text{ y } f_2 \text{ tiende a } \infty$$

Entonces, todas las armónicas de la señal pasarían sin atenuación y, por lo tanto, la señal no sufriría deformación alguna.

Sin embargo, en la práctica esto no sucede; a medida que el ancho de banda es menor, mayor es la deformación de la señal.



Hemos visto que las señales digitales se pueden representar por una sumatoria infinita de señales senoidales, cada una de frecuencia creciente y amplitud decreciente, denominadas **armónicas de la Serie de Fourier**.

Por otro lado, en el espectro de amplitud se observa que, si existe, la principal componente es la armónica de frecuencia cero. Dicha componente está presente si el valor medio de la señal transmitida es diferente de cero.

Ahora bien, si en nuestra línea de conexión o canal físico, por algún motivo, no podemos transmitir dicha componente continua, se deformará apreciablemente la señal a la salida del canal, con lo cual aumentará la tasa de error de la transmisión.

Por esto, se trata de evitar este problema mediante el empleo de códigos banda base que eliminan la componente de continua.

En las redes LAN implementadas con cable UTP –*Unshielded Twisted Pair*– existe el problema del acoplamiento a través de “transformadores” que no dejan pasar la corriente continua, por lo cual representa el problema anteriormente explicado. Para solucionarlo se utiliza el código *Manchester bifase diferencial*.

La presencia de transformadores de acoplamiento, si fuese el caso, no permitirían pasar a esta componente, provocando una fuerte deformación de la señal, hecho éste que originaría un aumento de la tasa de error.

En varios tipos de redes –como, por ejemplo, las redes LAN– se transmite, fundamentalmente, en banda base debido a que los medios de comunicación empleados no per-

tenecen a redes públicas –como sería el caso de la red telefónica–.

Por lo tanto, es necesario que la señal en banda base sea codificada, para adaptarla a la línea de transmisión y solucionar los problemas precedentemente indicados. De allí surge la existencia de los diferentes códigos de línea o códigos de banda base.

En nuestro problema:	
deberemos especificar qué tipo de código emplear para solucionarlo.	

## Características particulares de la transmisión en banda base

La señal en banda base más simple para la transmisión de la información del usuario es la **unipolar NRZ** –no retorno a cero–, que reconoce la siguiente regla:

- Se dice que la señal no retorna a cero dado que durante todo el ancho de pulso la tensión permanece constante y no toma el valor cero.
- La transmisión de un “1” corresponde a la emisión de un pulso.
- La transmisión de un “0” corresponde a la no emisión de un pulso.

Se dice que es unipolar porque el “1” toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa), mientras que el “0” no tiene polaridad. A este tipo de señal se la conoce, también, como **señal ON/OFF**.

Una señal eléctrica *ON/OFF*, correspondiente a una secuencia aleatoria de bits, tiene un

comportamiento en el dominio de la frecuencia que depende del formato del pulso transmitido (ancho de pulso y amplitud) y de la probabilidad de ocurrencia de los “1” y “0” en la secuencia. Se destaca esta señal por tener un valor alto de componente de continua.

En caso de pulsos rectangulares, con amplitud normalizada y ocurrencia equiprobable de “1” y “0”, la distribución de potencia de la señal en el dominio de la frecuencia da lugar al espectro de amplitud.

El espectro de potencia de la señal *ON/OFF* se caracteriza por una componente de frecuencia cero (corriente continua) y por la suma de infinitos términos –armónicas– que se extienden por todo el rango de frecuencias.

La mayor parte de la potencia de la señal se halla distribuida entre los valores de frecuencia cero y  $\frac{2\pi}{T}$ , denominada frecuencia de señalización.

Las frecuencias bajas, en especial las cercanas a cero, son importantes pues comprometen a la transmisión de señales digitales en banda base.

La característica de tener un nivel de componente continua importante y componentes espectrales de baja frecuencia significativa, ocasionan que sea incompatible la transmisión de estas señales en líneas donde exista acoplamiento a través de transformadores, dado que éstos no permiten el pasaje de corriente continua.

Tampoco se puede efectuar la telealimentación mediante corriente continua a través de circuitos como interfases, repetidores, módems, etc., por el mismo medio que transmite las señales

de datos. Esto se debe a que la deformación de la señal sería muy importante.

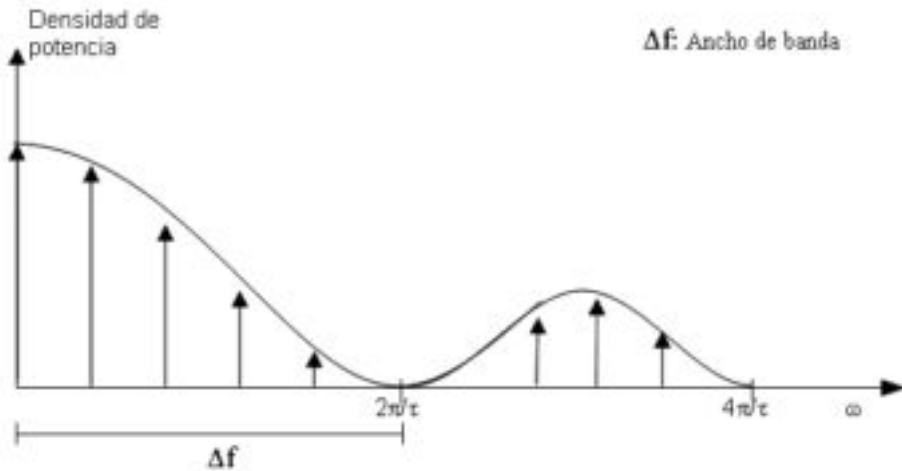
Por otro lado, la presencia de los transformadores es inevitable para brindar, entre otras aplicaciones, las de acoplamiento, para proporcionar aislamiento eléctrico (entre transreceptores y respecto de tierra) y para permitir la conversión de valores diferentes de tensión alterna.

Otro inconveniente adicional relativo a las señales *ON/OFF* ocurre cuando se tiene que enviar señal de reloj (o de sincronismo) conjuntamente con las de datos; en otras palabras, cuando el receptor se sincroniza a través de las transiciones de los pulsos recibidos. Este requerimiento es muy importante para redes locales, dado que la señal *ON/OFF* no posee la potencia suficiente en la frecuencia de señalización y, en consecuencia, impide recuperar la señal de reloj.

Por otro lado, si en la transmisión se incluye una larga secuencia de “0” o de “1”, la señal en la línea permanece constante durante todo el tiempo que dura dicha secuencia, por lo cual no se detectan, en el extremo receptor, las transiciones de la tensión o de la corriente correspondientes a cada pulso.

Esto origina que, en el receptor, no se pueda detectar la señal reloj; o sea, se pierde el sincronismo en la transmisión.

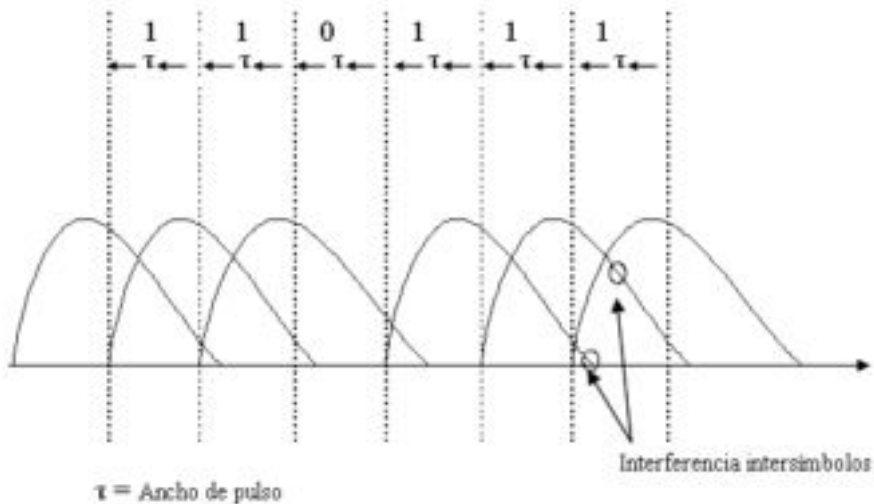
Mediante los métodos existentes de codificación de señales en banda base, se pueden superar estos inconvenientes. Además, con ellos se logran espectros de frecuencia mejor adaptados a las características de los medios de transmisión.



*Señal banda base binaria sin codificar y el correspondiente espectro de amplitud*

Observando la figura, detectamos que el espectro contiene frecuencias que se extienden desde 0 hertz hasta valores muy altos.

Quando se opta por un medio físico de comunicaciones (par de cables, cable coáxial, fibra óptica, etc.), una de sus características fundamentales es el ancho de banda  $\Delta f$  que



permite transmitir una señal dentro de los límites de atenuación de -3 dB.

En estos casos, cuando existen importantes componentes de frecuencias altas, éstas son fuertemente atenuadas y, por lo tanto, las señales quedan deformadas (fenómeno conocido como **distorsión**).

Cuando la señal *ON/OFF* se analiza en el dominio del tiempo, se observa que no tiene regularmente la cantidad suficiente de transacciones como para excitar un circuito recuperador de la señal de reloj.

Los métodos de codificación en banda base deben ser considerados como una disposición diferente de la señal *ON/OFF*, para poder adaptar a ésta a las condiciones de la línea de transmisión.

Actuando sobre la forma de la señal eléctrica que representa a los bits, se consigue alterar convenientemente el espectro de potencia de la señal transmitida.

Al contrario de lo que ocurre con el proceso de modulación –en el cual se realiza un desplazamiento del espectro de frecuencias de la banda base hacia frecuencias superiores–, en la transmisión en banda base se preserva el espectro de frecuencia original, utilizándose una codificación especial para adaptar la señal a la línea de transmisión.

Por otra parte, aparece un fenómeno denominado **interferencia intersímbolos** –ISI– que consiste en la superposición total o parcial de un símbolo (pulso) y el siguiente, ocasionando errores en el tratamiento de la señal.

Un medio de particular interés está constituido por los canales telefónicos, que presentan un ancho de banda de 300 a 4000 hertz. En estos canales es imposible transmitir señales en banda base por las razones expuestas (excepto que se trate de “pares de alambre sin cargar”, que es un tipo especial de vínculos que suele existir en las redes telefónicas).

### Resumamos

Hemos analizado el efecto que el ancho de banda limitado que tienen los medios de comunicaciones produce sobre las señales digitales que por ellos se transmiten.

También hemos determinado que, si la señal digital tiene componente continua, ésta se traduce en la armónica de frecuencia cero, la cual puede ser la componente más importante de la *Serie de Fourier* del tren de pulsos considerada.

Esta situación es crítica en el caso de utilizar cable UTP dado que, por tratarse de pares balanceados, se emplean acoplamientos inductivos de las señales, por lo cual la componente de frecuencia cero (componente continua) no se transmite, provocando un aumento importante de la deformación de la señal a la salida de la línea UTP.

Para solucionar el problema, se debe usar un código banda base que elimine la componente continua, generando igual número de pulsos positivos y negativos. De esta forma la energía promedio es cero, lo que implica que no existe componente continua en el desarrollo de la *Serie de Fourier* de dicha señal.

## Problemas sobre el modelo de Fourier y el ancho de banda necesario para transmitir una señal digital

### Problema 1

Expresar la Serie de Fourier trigonométrica e indicar el significado de cada uno de sus términos. Suponiendo una señal de 20 baudios y una FRP de 4 pps –pulsos por segundo–, hallar el ancho de banda necesario para transmitirla.

La expresión del espectro de amplitud de la *Serie Compleja de Fourier* es:

$$|C_n| = \frac{A\tau}{T} \cdot \frac{\text{sen}(nW_0 \tau/2)}{(nW_0 \tau/2)}$$

Donde:

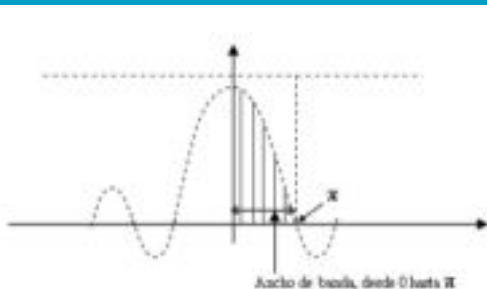
A: Altura del pulso

$\tau$ : Ancho del pulso

T: Período de repetición del pulso

$W_0$ :  $2\pi f_0$

$f_0$ : Frecuencia fundamental del tren de pulsos que es igual a  $\frac{1}{T}$



Ahora, calculemos el ancho de banda necesario para la señal de 20 baudios y 4 pps.

Recordemos que se toma como ancho de banda necesario el intervalo de frecuencias comprendido entre cero hertz y la frecuencia correspondiente al punto donde se anula la envolvente del espectro complejo de la *Serie de Fourier* ( $|C_n|$ ).

Primero, hallamos la cantidad de armónicas que es necesario transmitir dentro del ancho de banda considerado, de cero hasta  $\pi$ .

$$n \cdot W_0 \cdot \frac{\tau}{2} = \pi$$

$$n \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{\tau}{2} = \pi$$

$$n = \frac{T}{\tau}$$

En consecuencia, el numero de armónicas que se deben transmitir dentro del ancho de banda, es igual al cociente entre el período T de la señal y el ancho de los pulsos  $\tau$ .

$$n = 20 \text{ baudios} / 4 \text{ pps}$$

$$n = 5 \text{ armónicas}$$

$$f_0 = 4 \text{ Hz}$$

Ancho de banda necesario:

$$0 < \Delta_f \leq n f_0$$

$$0 < \Delta_f \leq 5 \times 4 \text{ Hz}$$

$$0 < \Delta_f \leq 20 \text{ Hz}$$

### Problema 2

Dado un tren de pulsos de  $f_{rp} = 10$  pps y velocidad de modulación = 50 baudios, hallar el *Espectro de Fourier* y determinar el ancho de banda necesario en función de  $w_0$ .

$f_{rp} = 10$  pps  
 $V_m = 50$  baudios

$$n = \frac{V_m}{f_{rp}} \Rightarrow \frac{5}{10} = 5 \text{ armónicas}$$

Ancho de banda necesario:

$$0 < \Delta_f \leq n f_0$$
$$0 < \Delta_f \leq 5 \times 10 \text{ Hz}$$

$$0 < \Delta_f \leq 50 \text{ Hz}$$

### Problema 3

Hallar el espectro de amplitud de la *Serie Compleja de Fourier*, teniendo en cuenta que la FRP es de 100 pps y la velocidad de modulación es de 2000 baudios. ¿Cuál es el ancho de banda necesario para transmitir ese tren de pulsos?

$f_{rp} = 100$  pps  
 $V_m = 2000$  baudios

$$n = \frac{V_m}{f_{rp}} \Rightarrow \frac{2000}{100} = 20 \text{ armónicas}$$

Ancho de banda necesario:

$$0 < \Delta_f \leq n f_0$$

$$0 < \Delta_f \leq 20 \times 100 \text{ Hz}$$

$$0 < \Delta_f \leq 2000 \text{ Hz}$$

### Problema 4

Con los siguientes datos, se solicita calcular el ancho de banda de la señal: frecuencia de repetición del pulso 4 pps y velocidad de modulación 20 baudios.

$f_{rp} = 4$  pps  
 $V_m = 20$  baudios

$$n = \frac{V_m}{f_{rp}} \Rightarrow \frac{20}{4} = 5 \text{ armónicas}$$

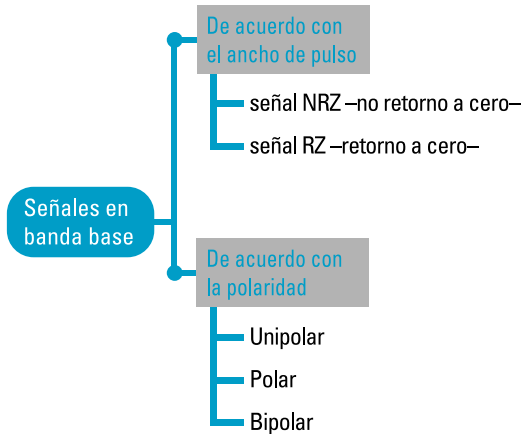
Ancho de banda necesario:

$$0 < \Delta_f \leq n f_0$$

$$0 < \Delta_f \leq 5 \times 4 \text{ Hz}$$

$$0 < \Delta_f \leq 20 \text{ Hz}$$

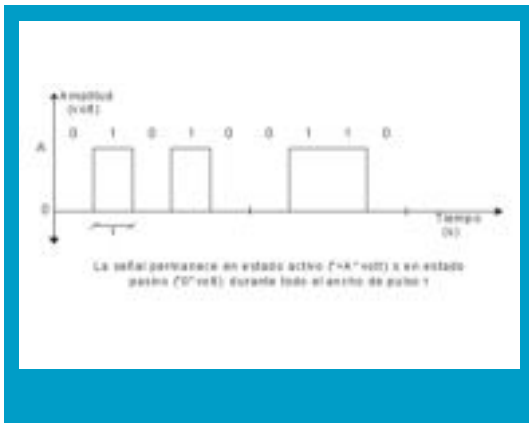
## Clasificación de las señales en banda base, en función del ancho de pulso y la polaridad



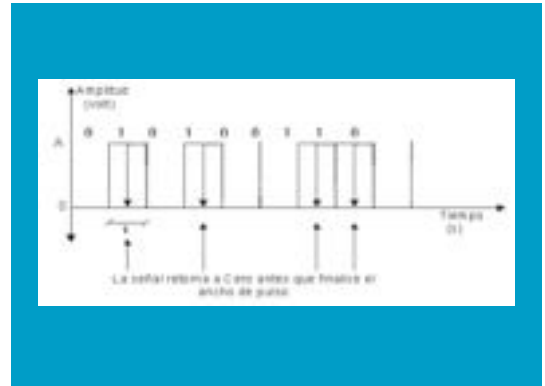
### De acuerdo con el ancho de pulso.

Cuando los bits están representados por pulsos que ocupan la totalidad del intervalo significativo (ancho de pulso), tenemos la familia denominada NRZ –no retorno a cero–.

Intervalo significativo de una señal es el tiempo existente entre dos instantes significativos de ella en la línea.



Cuando los bits se representan por pulsos que ocupan una parte (en general, la mitad) del intervalo significativo, tenemos las señales denominadas RZ –retorno a cero–.



**De acuerdo con la polaridad.** Las señales digitales pueden tomar diferentes valores de polaridad, por lo cual se las puede clasificar en:

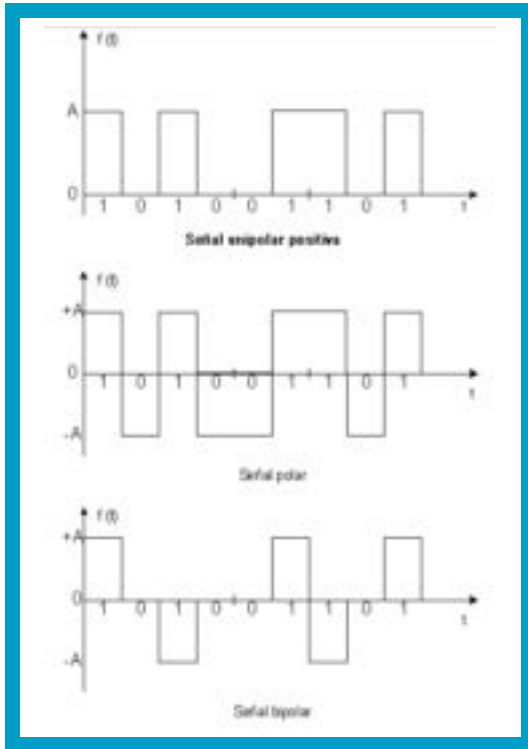
**UNIPOLARES.** Son códigos cuyas señales tienen dos niveles (uno de ellos es “0”). Se pueden presentar las siguientes combinaciones:

- 0 y nivel + (unipolar positiva)
- 0 y nivel – (unipolar negativa)

**POLARES.** Son códigos cuyas señales tienen dos niveles de diferentes polaridad, que son (+ y –). Se denomina codificación polar a aquella que utiliza el nivel cero para representar al “0” lógico y polaridad alternativa +, y - al “1” lógico.

**BIPOLARES.** Son códigos cuyas señales tienen tres niveles (“+”, “0” y “-”).

En la figura se ejemplifican los tres casos posibles, según la polaridad, y aplicados a la misma secuencia binaria.



Todas estas señales banda base presentan características técnicas que no las hacen aptas para emplear en nuestra red de 1 Gbps.

Recordemos los problemas que, como hemos visto, deben resolver los códigos banda base:

1. Eliminar o disminuir la componente de continua de la señal.
2. Transmitir el sincronismo desde el transmisor hacia el receptor.
3. Permitir detectar la presencia de señal en la línea.

## Códigos usados para señales en banda base

Las señales en banda base se codifican mediante la representación de los símbolos digitales

("0" o "1") en señales eléctricas equivalentes, que siguen determinadas reglas prácticas.

Mediante el empleo de las señales estudiadas en el título anterior, se construyen los diferentes códigos usados para señales en banda base.

Códigos banda base más usuales

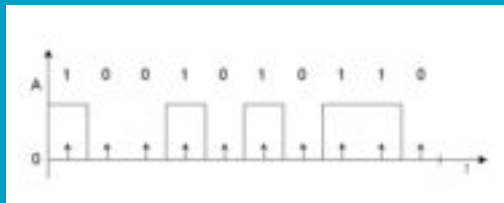
- Unipolar sin retorno a cero –NRZ–
- Polar sin retorno a cero –NRZ–
- Polar con retorno a cero –RZ–
- Bipolar con retorno a cero –RZ–
- Bipolar sin retorno a cero
- Diferencial
- Manchester
- Miller
- HDB-3 –High Density Binary-3–
- 4B3T –4 binario 3 ternario–
- 4B/5B–NRZI, no retorno a cero invertido
- MLT-3
- 8B/6B
- Manchester bifase diferencial

**Unipolar sin retorno a cero –NRZ–.** Es el tipo más simple usado en la práctica. Un pulso de corriente continua y un estado de corriente nulo, determinan el estado de cada bit.

Se debe efectuar un muestreo de la señal, a efectos de determinar el valor de cada bit de información, observando la presencia o la ausencia de corriente, dado que dos bits consecutivos del mismo valor no originan transición alguna.



Para la transmisión de un “1”, corresponde una condición de corriente, que se suele denominar “nivel de marca”, dado que este tipo de codificación tiene su origen en el equipamiento telegráfico.

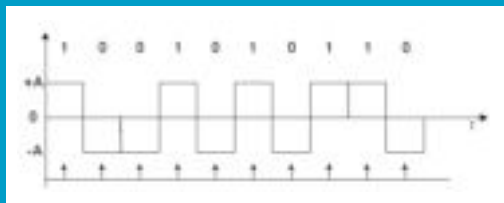


*Tren de pulsos de muestreo para determinar el valor de cada bit de información*

Para la transmisión de un “0”, corresponde una condición de no corriente, que se suele denominar *nivel de espacio*.

Recordemos que se denomina “sin retorno a cero”, dado que durante todo el intervalo significativo, la señal de línea permanece en un estado determinado de marca o espacio.

**Polar sin retorno a cero –NRZ–.** Esta señal está graficada asignando polaridad positiva a los “1” y negativa a los “0”.



*Tren de pulsos de muestreo para determinar el valor de cada bit de información*

Una corriente continua positiva y otra negativa determinan el estado de cada bit, durante todo el intervalo significativo.

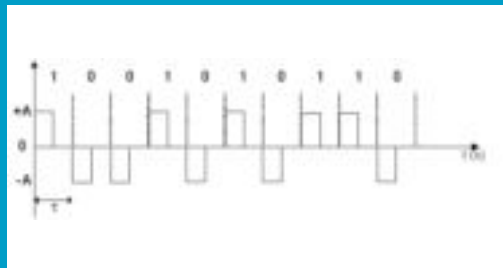
En este tipo de señales, si bien se pierde el sincronismo, se tiene la ventaja de que resulta necesario un menor ancho de banda, dado que los pulsos son más “anchos” que los correspondientes a señales polares con retorno a cero.

Aquí también se debe usar un muestreo para conocer la presencia de cada bit de información, observando la polaridad de la corriente, dado que no hay ninguna transición entre dos bits consecutivos iguales.

El umbral de decisión es cero.

**Polar con retorno a cero –RZ–.** Existe una breve corriente positiva para los bits que lleven un “1” de información; posteriormente, la corriente retorna a cero, durante el tiempo que corresponde a ese bit.

De forma idéntica ocurre cuando aparece un bit que lleve un “0”; sólo que la corriente es negativa.



*Señal autosincronizante*

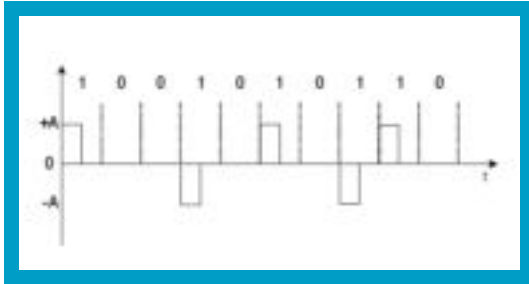
Estas señales se denominan autosincronizantes debido a que, en el receptor, la base de tiempo (también denominada *reloj de recepción*) queda unívocamente sincronizada por la cadencia de los pulsos, positivos y negativos, que arriban desde el transmisor.

**Bipolar con retorno a cero –RZ–.** Estas señales utilizan la bipolaridad solamente en forma alternada y para cuando se transmiten “1”.

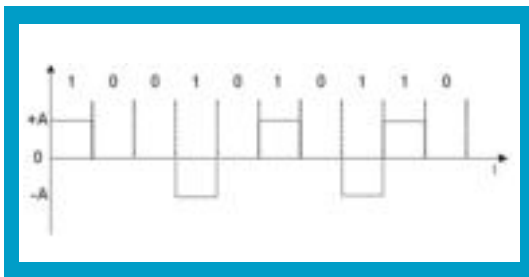
Asimismo, se disminuye el ancho de los pulsos, debido al retorno a cero de la señal antes de finalizado el intervalo significativo.

En una señal bipolar, el retorno a cero solamente disminuye la energía transmitida, al ser los pulsos más angostos; pero no aporta nada a la recuperación de la señal de reloj.

La transmisión de “0”, corresponde a señales de no corriente.



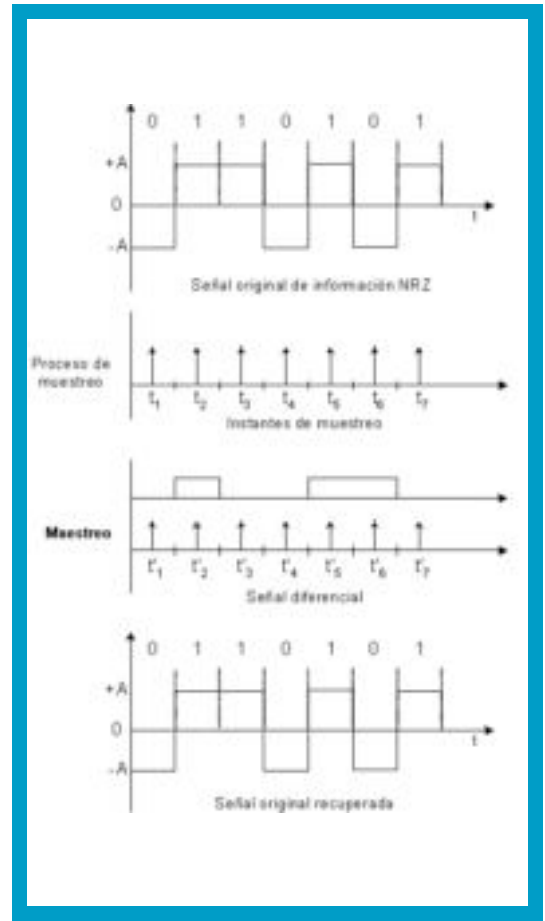
**Bipolar sin retorno a cero.** Este tipo de código, también denominado código AMI –inversión alternativa de marcas; *Alternative Mark Inversion*–, presenta la ventaja de utilizar pulsos de mayor duración que los bipolares con retorno a cero; en consecuencia, es menor el requerimiento de ancho de banda.



Por otro lado, desde el punto de vista del sincronismo, presenta iguales características que los anteriores.

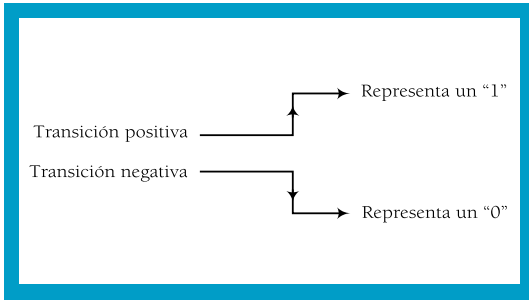
**Diferencial.** En este tipo de codificación tienen lugar dos etapas.

- La primera, para formar una señal diferencial a ser transmitida a través del medio físico.
- La segunda, posterior a la primera, ocurre en el receptor para volver a armar la señal, que es recuperada de la anterior.



El procedimiento es el siguiente:

- Una señal original polar del tipo NRZ es muestreada.
- En el instante del muestreo que se detecta un "1", se produce la creación de un cambio de estado o transición.
- Cuando lo que se detecta es un "0", significa una no transición.
- Para recuperar la señal original, se efectúa un nuevo muestreo de la onda recibida, comparándose la polaridad de muestras adyacentes.
- Si ha habido una transición, se está en presencia de un "1"; caso contrario, corresponde a un "0". Por ejemplo, entre los estados  $t_3$  y  $t_4$ , no existe transición alguna; en consecuencia, corresponde recibir un "0".

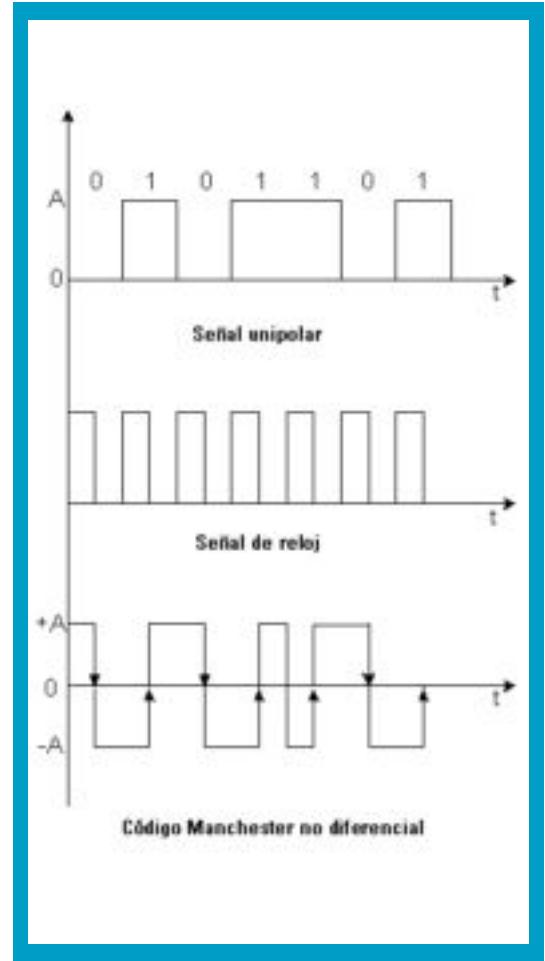


**Manchester.** El bit "1" se representa por una transición positiva en la mitad del intervalo significativo y un bit "0" con una transición negativa en la misma ubicación.

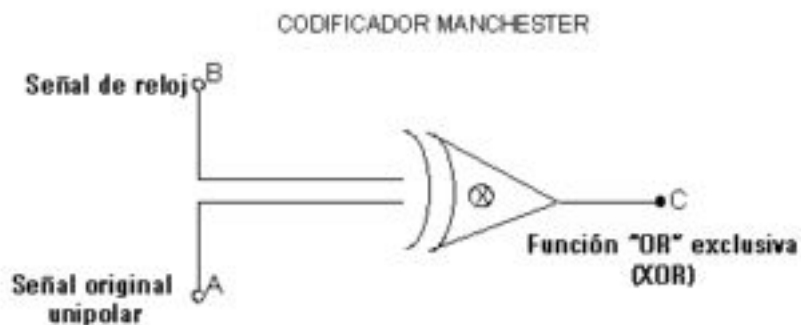
En este tipo de codificación no se utiliza la diferencia de valor de los niveles para representar los bits, sino que se emplean las

fases positivas y negativas de los pulsos –transiciones–.

Esta técnica posibilita una transición (por lo menos, una por bit), simplificando notablemente el problema de la recuperación de la señal de reloj.

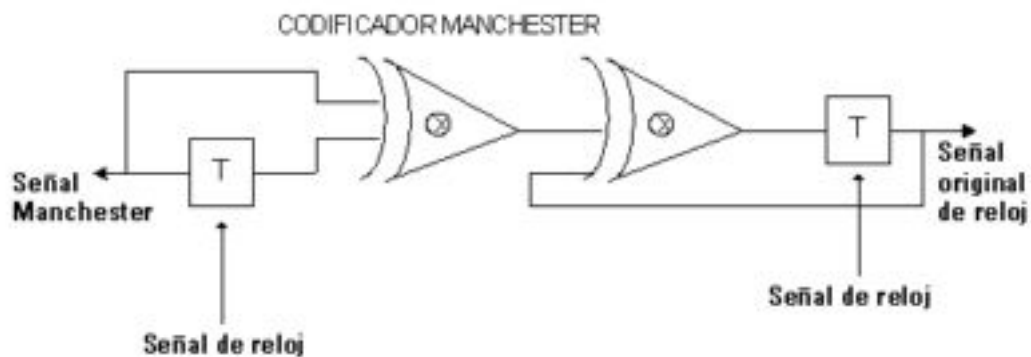


Por otro lado, presenta la ventaja de que se puede eliminar la componente de continua de una señal, si se toman valores de tensión positivo y negativo para representar los niveles de la señal.



FUNCIÓN "OR" EXCLUSIVA

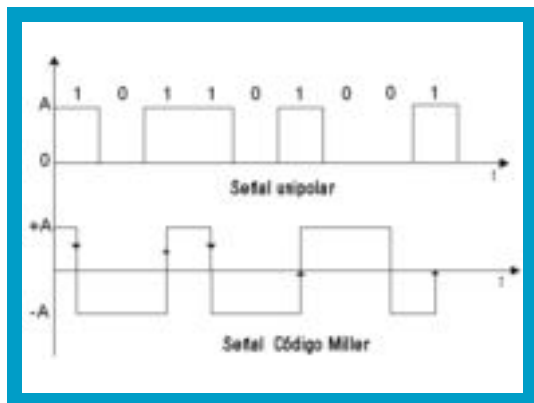
A	B	C
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0



**Miller.** Para la transmisión de un “1”, este código una transición en la mitad del intervalo significativo.

Para el caso de un “0”, existe una transición al final del intervalo, si el bit siguiente es “0”; caso contrario, no hay transición alguna.

El código Miller permite reducir considerablemente la contribución de las bajas frecuencias (y, por lo tanto, el problema que ello significa) y garantiza un número mínimo de transiciones de la señal en banda base como para recuperar la señal de reloj.



Hay, por lo menos una transición cada dos intervalos significativos.

Respecto del código Manchester, presenta la ventaja de concentrar la potencia de la señal en un ancho de banda mucho menor, con lo cual disminuye el requerimiento de ancho de banda en el canal de transmisión.

Asimismo, la implementación del codificador y decodificador de Miller –conocido, también, como modulador por retardo de fase– resulta más sencilla que el de Manchester.

**HDB-3 –High Density Binary-3–.** Se basa en el denominado código AMI –*Alternative Mark Inversion*–, código bipolar sin retorno a cero.

Utiliza tres niveles (+, - y 0) para representar la información binaria.

- El “0” se representa siempre con polaridad cero.
- El “1” con polaridad alternada (+ y -).

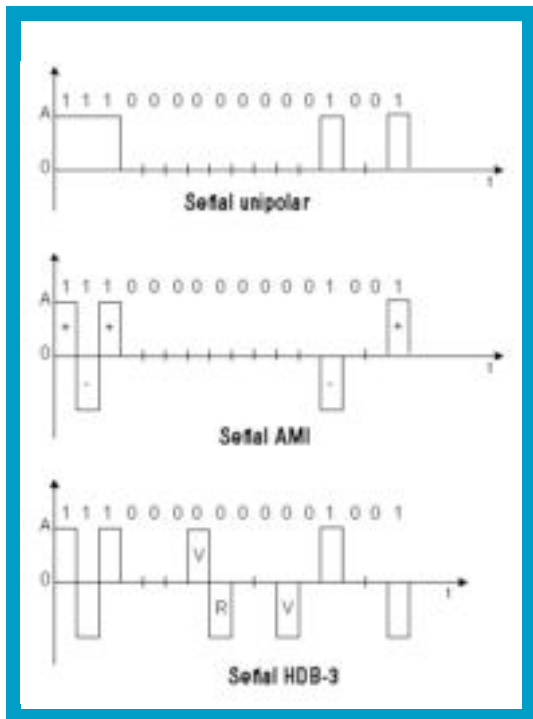
Este tipo de señal no posee componente de continua ni bajas frecuencias; pero, presenta el inconveniente de que, cuando aparece una larga secuencia de ceros, se pierde la posibilidad de recuperar la señal de reloj.

Es por ello que, para limitar las largas secuencias de ceros, se efectúan “violaciones” a la polaridad, tal como realiza el Código HDB-3, que permite un máximo de 3 bits “=” consecutivos e inserta –como cuarto bit– un “1” denominado bit de violación.

Este código se emplea, especialmente, en transmisiones donde se utiliza cable de cobre, dado que permite disminuir el corrimiento de fase de la señal digital, fenómeno éste que se produce en los procesos de regeneración que realizan los repetidores regenerativos y en la entrada a los equipos de recepción, cuando existe una larga secuencia de ceros.

Se puede observar que, cuando tiene una secuencia de 4 ceros seguidos, el código HDB-3 la reemplaza por una nueva secuencia que puede ser “000V” o “R00V”.

- V = 1 se denomina “violación”.
- R –que siempre tiene igual polaridad que V–, se denomina “pulso de relleno”.



La regla de formación del código es:

- Para decidir qué secuencia emplear (000V o R00V), se cuenta la cantidad de “1” existentes entre la última violación y la actual. Si ese número es par, la secuencia de reemplazo es “R00V”; si es impar, se usa “000V”.
- El primer pulso de violación de la serie siempre lleva la misma polaridad que el último bit “1” transmitido.
- Esto sirve para que, en la recepción, pueda ser detectado; si es de datos, debe tener polaridad inversa.
- Los pulsos de violación se transmiten con polaridad alternada entre sí.

De existir el pulso de relleno, lleva la misma polaridad que el de violación.

**4B-3T –4 binario 3 ternario–.** El código HDB-3 es el que se emplea frecuentemente hasta 34 Mbps, sobre cables de cobre. Para transmisión a mayor velocidad, por ejemplo 140 Mbps y sobre cable coaxial, se emplean otros códigos como el 4B-3T –4 binario a 3 ternario–, que reduce la transmisión de 4 bits a 3 niveles, disminuyendo el ancho de banda necesario en un 25 %, aproximadamente.

Código 4B-3T Regla de formación	
Señal binaria	Código ternario
0000	0 -1 +1
0001	-1 +1 0
0010	-1 0 +1
0011	0 +1 -1
0100	+1 -1 0
0101	+1 0 -1
0110	+1 -1 +1
0111	0 +1 +1
1000	0 +1 0
1001	0 0 +1
1010	-1 +1 +1
1011	+1 0 0
1100	+1 0 +1
1101	+1 +1 0
1110	+1 +1 -1
1111	+1 +1 +1

Se puede observar que éste es un código ternario, dado que reduce 4 bits a 3 bits, mediante el empleo de tres niveles.

La UIT-T –Unión Internacional de Telecomunicaciones– ha normalizado diferentes códigos para la transmisión digital de señales, según el medio usado, el tipo de equipo y las velocidades empleadas.

<b>Código 4B–3T</b> <b>Regla de formación</b>	
<b>Velocidad de transmisión</b>	<b>Código</b>
2 Mbps	HDB-3
8 Mbps	HDB-3
34 Mbps	HDB-3 o 4B3T
140 Mbps	4B3T o CMI <sup>8</sup>

Estos códigos se emplean para esas velocidades y utilizando como medio de transmisión el cable coáxil.

**4B/5B–NRZI, no retorno a cero invertido.** Como hemos analizado previamente, la codificación Manchester permite mantener el sincronismo durante una larga transmisión de bits. La desventaja de esta codificación banda base es que la eficiencia es de sólo el 50 %; dado que existen dos transiciones por pulso, se necesita una velocidad de modulación de 200 Mbaudios para conseguir una velocidad de transmisión de 100 Mbps. Esto representa un requerimiento mayor de ancho de banda para el canal de transmisión.

Para aumentar la eficiencia, se puede emplear el código 4B/5B, en el cual la codificación se realiza en cada momento sobre 4 bits. De esta forma, cuatro bits de datos se codifican mediante cinco bits del alfabeto código. Es así como se obtienen 100 Mbps con sólo 125 Mbaudios en lugar de los 200 Mbaudios indicados.

No obstante, esta codificación no soluciona el problema de mantener el sincronismo

entre estaciones transmisoras y receptoras. Para asegurar la sincronización, se lleva a cabo un segundo paso de codificación: Cada bit de código de la secuencia 4B/5B se codifica usando la técnica de no retorno a cero invertido –NRZI–.

En NRZI:

- un “1” se representa con una transición al principio del intervalo de bit y
- un “0”, sin transición al comienzo del intervalo de bit.

Es decir, no hay transiciones. En consecuencia, si se transmiten varios “1” seguidos, observamos que son pulsos de polaridad alternada; mientras que, si se transmiten varios “0” seguidos, no habrá transición alguna.

La ventaja de NRZI es que emplea codificación diferencial. En ésta, la señal se codifica comparando la polaridad de elementos de señal adyacentes, en lugar del valor absoluto de una señal tomada como referencia. En este caso, en presencia de ruido resulta más sencillo detectar una transición en la tensión de la línea que efectuar la comparación con un valor de referencia.

En la figura puede usted analizar la codificación NRZI para algunos caracteres. Dado que se codifican cuatro bits de datos con un código que tiene 5 bits, sólo se necesitan 16 de las 32 combinaciones posibles para la codificación de los datos.

La regla de formación del código es la siguiente:

- Se codifican los datos para asegurar la existencia de transiciones y para mante-






<sup>8</sup>CMI. Código de inversión de marcas.

ner el sincronismo mediante el código 4B/5B frente a Manchester, porque es más eficiente.

- El código 4B/5B se codifica posteriormente, usando NRZI, a efectos de disminuir el efecto del ruido y la distorsión.
- El conjunto de 5 bits elegidos para la codificación de los 16 símbolos de

datos de 4 bits, se selecciona con el fin de garantizar la existencia de no más de tres ceros en una misma fila. Esto mejora la sincronización.

- Los grupos de código no empleados para representar datos se declaran como no válidos o se les asigna un significado especial como símbolos de control.

Ejemplo de codificación 4B/5B			
Datos	Código	Señal NRZI	Símbolo
0000	11110		0
0001	01001		1
1010	10110		A
1011	10111		B
	11111		Línea libre

Si bien este tipo de código resulta apropiado para la transmisión en fibra óptica, no lo es para su empleo en líneas de cobre –como el

caso del UTP–, dado que se generan armónicas no deseadas que incrementan la diafonía o “crosstalk”.



**MLT-3.** El MLT-3, que se usa en 100BASE-TX ha sido diseñado para solucionar este problema. El código MLT-3 permite concentrar la mayor parte de la energía en la señal transmitida por debajo de los 30 MHz, lo que disminuye los problemas de diafonía.

La regla de formación del código es:

- La señal 4B/5B-NRZI de la 100BASE-X se convierte a NRZ.
- Mediante un proceso de aleatorización, se entremezcla la secuencia de bits para producir una distribución de espectro más uniforme.
- La secuencia de bits mezclados se codifica usando el esquema conocido como MLT-3:
  - o La señal de salida tiene una transición para cada uno binario y usa tres niveles: una tensión positiva (+V), una negativa (-V) y ausencia de ésta (0).
  - o Si el siguiente bit de entrada es cero, el siguiente valor de salida es el mismo que el valor que el anterior.
  - o Si el siguiente bit de entrada es un uno, el siguiente valor de salida implica una transición:
    - Si el valor de salida anterior fue +V o -V, el siguiente valor de salida es 0.
    - Si el valor de salida precedente fue 0, el siguiente valor de sali-

da es distinto de cero y de signo opuesto al de la última salida distinta de cero.



**8B/6B.** Recordemos que, con el advenimiento del cableado estructurado, se efectuó gran cantidad de instalaciones en edificios durante la década del ‘90 que emplearon cable UTP categoría 3, cable que permitía una velocidad de transmisión de 10 Mbps. Posteriormente, cuando aparecieron en el mercado las placas que operaban a 100 Mbps, surgió la necesidad de cambiar el cableado, lo cual en muchos casos significaba importantes inversiones. Para solucionar esta situación, aparecieron en el mercado placas de red *Ethernet* identificadas como “100 base T4” que permitieron operar en redes con cableado UTP categoría 3 a 100 Mbps.

Esto solucionó el problema. Veamos cómo lo efectuó...

Vamos a integrar la misma idea:		
	a la solución de nuestro problema relativo a las redes de 1 Gbps.	

Se utilizó codificación 8B/6T, la cual empleaba señalización ternaria. En ella, cada elemento de señal puede tomar uno de tres valores posibles (tensión positiva, tensión

negativa y tensión nula). Por ejemplo, una secuencia binaria: 00011101(8 bits) puede tomar el siguiente valor en el código 8B6T: +v, +v, -v, 0, 0, +v (6 símbolos ternarios).

Es así como en las redes 100 Base T mencionadas, los datos a transmitir se gestionan en bloques de 8 bits. Cada uno de estos bloques se transforma en un grupo de código de 6 símbolos ternarios.

Se transmiten, después, a través de tres de los cuatro pares del UTP categoría 3, siguiendo un esquema de rotación circular. Primero, se transmiten tres símbolos ternarios y, luego, en el siguiente pulso de reloj, los otros tres.

Recordemos que en las instalaciones para 10 base T sólo se usan dos de los cuatro pares (pares 1 y 2) del UTP: uno para transmitir y otro para recibir, quedando los otros dos pares vacantes. El par de recepción también se emplea par detectar las colisiones.

En las redes 100 base T también deben detectarse las colisiones, por lo cual las placas 100 base T4 también emplean los mismos pares (pares 1 y 2) utilizados en las redes 10 base T. No obstante, para llegar a los 100 Mbps deben emplearse, además, los otros dos pares no utilizados en las placas de 10 base T. Es así como, para alcanzar los 100 Mbps, se tiene que transmitir a razón de 33,33 Mbps en cada uno de los tres pares.

Ahora bien, si se siguiera empleando codificación Manchester bifase diferencial, tal como vimos se utiliza en las redes 10 base T, se necesitaría alcanzar, en cada par, 33,33 MHz, lo cual **excede el límite de 30 MHz establecido para cada par componente de un cable UTP.**

Es por ello que se codifica con 8B/6T, dado que la tasa de reloj se reduce. Esto se debe a que 8 bits de datos se transmiten mediante 6 pulsos, cuya duración es 13,33 % mayor que la correspondiente a la codificación binaria de los 8 bits.

Si recordamos lo visto en oportunidad de analizar el modelo de Fourier, según el cual al aumentar el ancho de pulso disminuye el ancho de banda necesario para la transmisión y viceversa, resulta que en el mismo tiempo que debemos transmitir 8 bits realizamos la comunicación con el envío de sólo 6 bits. Esto implica que estos últimos tienen mayor ancho de pulso y, por lo tanto, requieren menor ancho de banda que si se enviaran los 8 bits de datos sin codificar.

De esta forma, el ancho de banda requerido en cada par es:

$$(100 \times 6 / 8) / 3 = 25 \text{ MHz.}$$

Este valor es inferior a los 30 Mhz especificado como límite para cada par.

Ahora que hemos analizado el problema planteado y su solución respecto de las redes de 100 Mbps,	
plantearemos una solución parecida para encarar nuestro problema.	

**Manchester bifase diferencial.** Se denomina bifase porque la señal en la línea toma valores siempre diferentes de cero.

Respecto del Manchester, presenta la ventaja de no necesitar identificar la polaridad de la transmisión respecto de una señal tomada como referencia, para cada intervalo significativo.

Por otro lado, si recordamos cómo funciona el protocolo de una red LAN *Ethernet*, debemos considerar que una función importante es detectar la señal en la línea —cuando hay una placa de red transmitiendo— y que la otra función que debe operar correctamente para garantizar la transmisión es mantener el sincronismo con todas las placas de red.

Por otro lado, como el medio empleado en las redes *Ethernet* actuales es el cable UTP, constituido por pares balanceados, resulta necesario —tal como explicamos mediante el modelo de la *Serie de Fourier*—, disminuir y, mejor aún, eliminar la componente continua. Esto último implica que la codificación debe tener pulsos positivos y negativos para lograr un valor medio de energía que tienda a cero.

Este tipo de código es el que se emplea en las placas de red LAN *Ethernet*, *Token Ring*, *Arcnet*, etc, y en la mayoría de las redes LAN alámbricas.

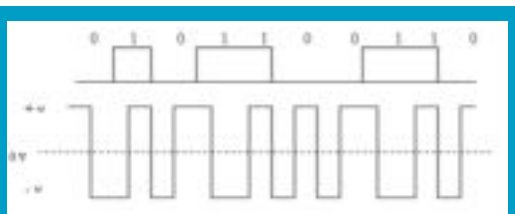
Esta codificación permite solucionar los siguientes problemas de:

1. Detectar la presencia de señal en la línea.
2. Disminuir / eliminar la componente continua.
3. Mantener el sincronismo.

La ley de formación de la codificación Manchester bifase diferencial es:

- Siempre existe una transición en la mitad de todos los bits, independientemente de si son ceros o unos.
- Si el bit siguiente es un cero, también existe una transición al comienzo de él.
- Si el bit siguiente es un uno, no hay transición al comienzo de él

En la figura siguiente se puede apreciar la conformación de la codificación Manchester bifase diferencial para un dado conjunto de bits.



**Señal de datos unipolar positiva NRZ**

Hemos analizado hasta aquí las principales características técnicas de las redes LAN *Ethernet* y los códigos banda base utilizados en la transmisión de datos

Hemos precisado los inconvenientes que dichos códigos deben resolver para hacer posible la transmisión de señales en las redes LAN.

Además, podemos afirmar que para las redes de 10 y 100 Mbps con cable UTP, resulta óptimo el empleo del código Manchester bifase diferencial dado que resuelve los tres problemas planteados en la transmisión banda base.

Estamos en condiciones de aplicar estos conocimientos al análisis de la codificación más conveniente para nuestro problema de transmisión en redes que operan a 1 Gbps con cables UTP y cables de fibra óptica.

## Problemas referidos a códigos banda base

### Problema 1

Supongamos que, mediante un analizador, detectamos la siguiente secuencia digital y nos solicitan codificarla según los siguientes métodos: unipolar, bipolar NRZ y bipolar RZ. En el dominio del tiempo, ¿cuál sería la “forma” que adoptaría la señal digital para cada uno de los códigos mencionados?

**Secuencia binaria:**  
1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1

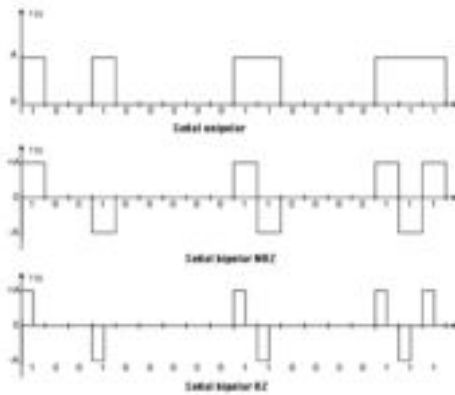
En el aula de “Tecnología de las comunicaciones”, el profesor planteó a sus alumnos una situación problemática:

*¿Qué tipo de codificación emplearíamos en las tarjetas de red de nuestra PC, para que la red funcione correctamente, si la tasa de transmisión fuera de 1 Gbps y el medio de transmisión es fibra óptica?*

Para resolverlo, los estudiantes han analizado el principio de funcionamiento de las redes LAN, su conexionado mediante las redes WAN, los problemas inherentes a la transmisión banda base y los diferentes códigos existentes —con sus ventajas y desventajas— para solucionar dichos problemas.

Centraron el problema a la transmisión por cable de fibra óptica y a la operación a 1 Gbps. Al respecto, concluyen que:

1. Para las redes de 10 y 100 Mbps, que operan con cable UTP, resulta óptimo el empleo del código Manchester bifase diferencial. Este código permite detectar la señal en la línea, elimina la componente continua, y posibilita mantener el sincronismo entre transmisor y receptor, sin problemas.
2. Para realizar el análisis propuesto por su profesor, deben tener en cuenta que la fibra óptica presenta un ancho de banda mucho mayor que el cable UTP, por lo cual no existe la restricción respecto del ancho de banda que si se presenta en el cable UTP. Por otro lado, la señal que se transmite en la fibra son pulsos de luz y no una señal eléctrica, como es el caso del cable UTP.
3. El código propuesto debe presentar un balance entre ceros y unos (igual número de ceros que de unos), lo cual permite disminuir la componente continua y sostener un número suficiente de transiciones en la línea, como para mantener el sincronismo entre las placas de red.



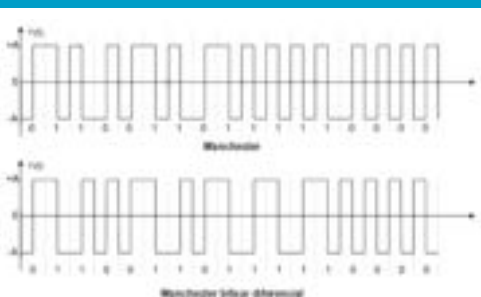
## Problema 2

Mediante un osciloscopio se han detectado las siguientes señales digitales obtenidas en dos redes LAN y se nos solicita determinar qué tipo de codificación se ha empleado en cada una y cuál es la secuencia binaria transmitida.

En el primer caso, se empleó una codificación Manchester; en el segundo, una codificación Manchester bifase diferencial.

En ambos casos se transmitió la siguiente secuencia binaria:

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



4. Adicionalmente el código debe poseer alta redundancia, a efectos de facilitar la detección de errores y la transmisión de comandos.

Teniendo en cuenta estas conclusiones, el código banda base propuesto para la red Gigabit Ethernet con fibra óptica es ser el denominado: 8B/10B (8 bits / 10 bits).

En este código, 8 bits de datos se transforman en 10 bits para su transmisión.

El esquema 8B/10B se desarrolla y patenta por IBM para su uso en su sistema interconectado ESCON a 200 Mbaudios.

En él, el requerimiento de ancho de banda aumenta porque los pulsos son más angostos. Esto se origina en el hecho de enviar 10 bits en lugar de 8 (en el mismo tiempo), con lo cual es mayor el ancho de banda necesario para su transmisión, con respecto a la señal binaria original.

Sin embargo, recordemos que la fibra óptica dispone de mayor ancho de banda que, por ejemplo el cable UTP.

Los alumnos optan por un código en el cual “sacrificamos” una *performance* deficiente en cuanto al empleo del ancho de banda, para obtener mayor número de combinaciones posibles (al pasar de 8 a 10 bits), para permitir incrementar la capacidad de detección de errores y, también, para posibilitar la transmisión de señales de control y/o comando.

El 8B/10B es un ejemplo del código más general  $mBnB$ , en el que  $m$  bits originales se transforman en  $n$  bits binarios para la transmisión. Haciendo  $n > m$ , se introduce redundancia en el código.

Por otro lado, como en el código 8B/10B se define una transformación que traduce cada uno de los

La existencia de exceso en un sentido se conoce como **disparidad**.

posibles bloques originales de 8 bits en un bloque de código de 10 bits, existe una función llamada **control de disparidad** que efectúa un seguimiento del exceso de ceros frente a los unos o de los unos frente a los ceros.

El control de la disparidad es esencial para disponer siempre de la secuencia de transiciones necesarias en la línea que permitan mantener el sincronismo entre la placa transmisora y la receptora.

Por lo expuesto, advertimos que este esquema de codificación es más potente, que el 4B/5B que hemos analizado, en términos de características de transmisión y capacidad de detección de errores.

Por último, podemos agregar que, en el caso de redes de 1 Gbps que utilizan cable UTP (las denominadas 1000 base T), emplean un código denominado 4D-PAM5 que presenta una técnica de codificación mucho más sofisticada que, por su complejidad, no ha sido motivo de análisis en este material de capacitación.



MINISTERIO *de*  
**EDUCACIÓN**  
CIENCIA y TECNOLOGÍA  
PRESIDENCIA *de la* NACIÓN



Argentina

**inet**  
Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica