

**USERS**

# TÉCNICO en **ELECTRÓNICA**

CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y PRÁCTICA PROFESIONAL

# 4

# SISTEMAS DE COMUNICACIONES

CONCEPTOS DE SISTEMAS DE  
COMUNICACIONES INDISPENSABLES  
PARA EL TÉCNICO EN ELECTRÓNICA

**Autor:** Alfredo Rivamar



**Modulación, transmisión y demodulación**

**Construir un transceptor óptico inalámbrico**

**Comunicaciones ópticas**

**Redes LAN cableadas e inalámbricas**

**Proyecto de enlaces en 2.4 ghz**

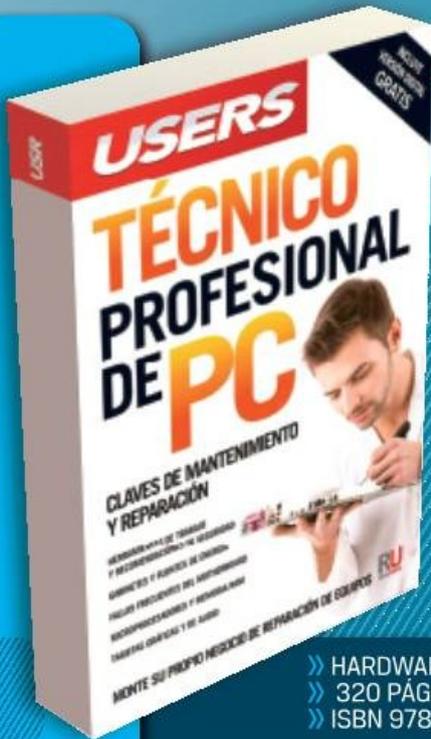
[userspremium.blogspot.com.ar](http://userspremium.blogspot.com.ar)



# CONÉCTESE CON LOS MEJORES LIBROS DE COMPUTACIÓN

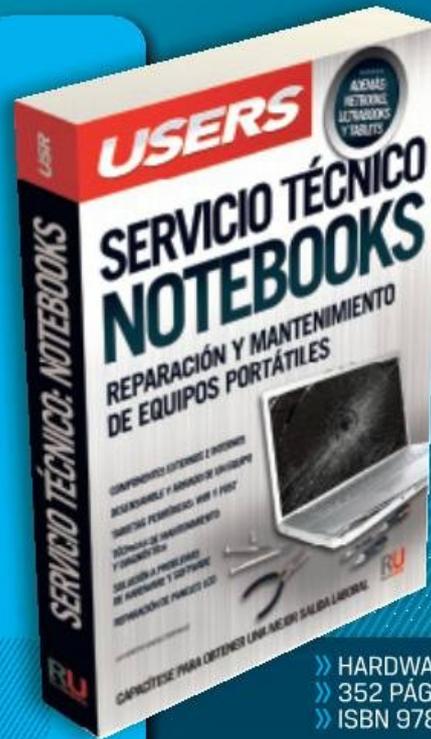
LLEGAMOS A TODO EL MUNDO  
VÍA **OCA** \* Y **DHL** \*\*  
[usershop.redusers.com](http://usershop.redusers.com)  
[usershop@redusers.com](mailto:usershop@redusers.com)  
 +54 (011) 4110-8700

SÓLO VÁLIDO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA \* \*\* VÁLIDO EN TODO EL MUNDO EXCEPTO ARGENTINA



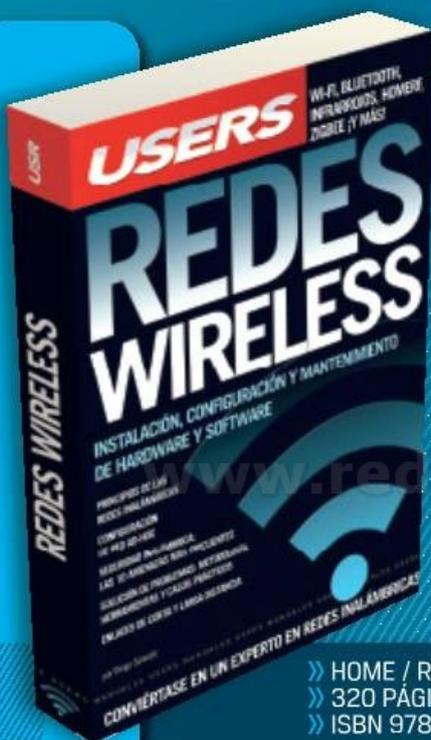
MONTE SU PROPIO  
NEGOCIO DE  
REPARACIÓN  
DE EQUIPOS

» HARDWARE  
 » 320 PÁGINAS  
 » ISBN 978-987-1949-02-1



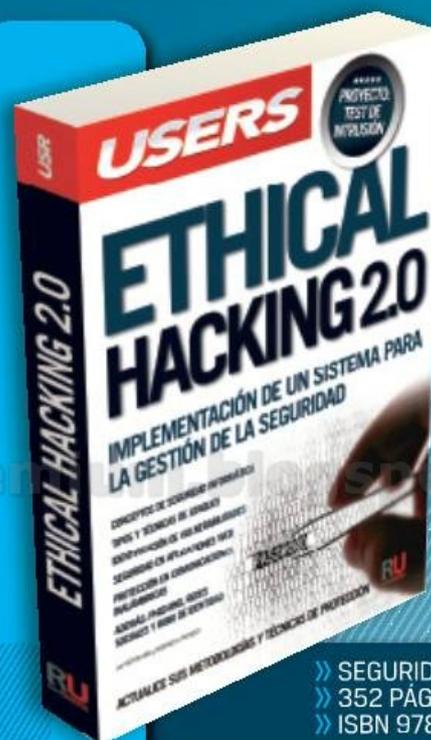
CAPACÍTESE  
PARA OBTENER  
UNA MEJOR  
SALIDA LABORAL

» HARDWARE / MOBILE  
 » 352 PÁGINAS  
 » ISBN 978-987-1857-68-5



CONVIÉRTASE  
EN UN EXPERTO  
EN REDES  
INALÁMBRICAS

» HOME / REDES  
 » 320 PÁGINAS  
 » ISBN 978-987-1773-98-5



ACTUALICE SUS  
METODOLOGÍAS  
Y TÉCNICAS DE  
PROTECCIÓN

» SEGURIDAD / INTERNET  
 » 352 PÁGINAS  
 » ISBN 978-987-1857-63-0

**USERS**

TÉCNICO en  
**ELECTRÓNICA**

CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y PRÁCTICA PROFESIONAL

**4**

# SISTEMAS DE COMUNICACIONES



SOLO VÁLIDO PARA LA REPÚBLICA ARGENTINA

SUSCRÍBASE ANTES Y GANE HASTA

+54 (011) 4110 - 8700

usershop.redusers.com

\$ **130\***

(EXCLUSIVO SUSCRIPTORES / NO SUSCRIPTORES HASTA \$100\*) \* AL SUSCRIBIRSE AL CURSO COMPLETO, GANA AUTOMÁTICAMENTE UNA ORDEN DE COMPRA PARA ADQUIRIR NUESTROS PRODUCTOS.



TÍTULO:            Sistemas de comunicaciones  
AUTOR:             Alfredo Rivamar  
COLECCIÓN:       Pocket Users  
FORMATO:          19 x 13.5 cm  
PÁGINAS:          96

Copyright © Fox Andina en coedición con Dálaga S.A. MMXIII.

Hecho el depósito que marca la ley. Reservados todos los derechos de autor.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier medio o procedimiento y con cualquier destino.

Primera impresión realizada en julio de MMXIII.

Sevagraf, Costa Rica 5226, Grand Bourg, Malvinas Argentinas, Pcia. De Buenos Aires.

Todas las marcas mencionadas en este libro son propiedad exclusiva de sus respectivos dueños.

**ISBN 978-987-1949-16-8**

Rivamar, Alfredo

Sistemas de comunicaciones. - 1a ed. - Buenos Aires: Fox Andina; Dalaga, 2013.

96 p.; 19 x 13 cm. - (Pocket Users; 36)

ISBN 978-987-1949-16-8

1. Informática. I. Título

CDD 005.3

[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)



# VISITE NUESTRA WEB

EN NUESTRO SITIO PUEDE OBTENER, DE FORMA GRATUITA, UN CAPÍTULO DE CADA UNO DE LOS LIBROS EN VERSIÓN PDF Y PREVIEW DIGITAL. ADEMÁS, PODRÁ ACCEDER AL SUMARIO COMPLETO, LIBRO DE UN VISTAZO, IMÁGENES AMPLIADAS DE TAPA Y CONTRATAPA Y MATERIAL ADICIONAL.

**RedUSERS**  
COMUNIDAD DE TECNOLOGÍA



**redusers.com**

Nuestros libros incluyen guías visuales, explicaciones paso a paso, recuadros complementarios, ejercicios, glosarios, atajos de teclado y todos los elementos necesarios para asegurar un aprendizaje exitoso y estar conectado con el mundo de la tecnología.



**LLEGAMOS A TODO EL MUNDO VÍA**  **\*** Y  **\*\***

\* SÓLO VÁLIDO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA // \*\* VÁLIDO EN TODO EL MUNDO EXCEPTO ARGENTINA

 [usershop.redusers.com](http://usershop.redusers.com)  [usershop@redusers.com](mailto:usershop@redusers.com)  + 54 (011) 4110-8700

# El autor

## **Alfredo Gabriel Rivamar**

Es Ingeniero Electrónico y Magister en Teleinformática. Se ha desempeñado en empresas multinacionales y PyMES en el sector de las telecomunicaciones. Es docente en el nivel superior universitario y no universitario. En la actualidad desarrolla sistemas basados en microcontroladores e investiga en redes de sensores inalámbricas (WSN) y robótica aplicada a la educación.



# Prólogo al contenido

Esta obra ha sido concebida para introducirnos en los fundamentos de los sistemas de comunicaciones actuales. Estos sistemas transmiten datos utilizando medios no necesariamente cableados o inalámbricos como las ondas de radio. Ampliaremos nuestra perspectiva describiendo sistemas de comunicaciones ópticos inalámbricos, cada día más utilizados. Podemos preguntarnos, ¿qué entendemos por modulación analógica y digital? ¿Qué aplicaciones tienen los sistemas de comunicaciones? ¿Qué semejanzas y diferencias presentan los sistemas de comunicaciones inalámbricos por ondas de radio o mediante luz? ¿Qué debemos tener en cuenta para mejorar el alcance de estos sistemas? ¿Podemos construir proyectos sencillos de sistemas de comunicaciones que utilicen la atmósfera como conductor? Obtendremos las respuestas a estas preguntas a lo largo de los cinco capítulos de este libro, donde integraremos la teoría imprescindible con distintas prácticas de modo de proporcionar al lector una visión integradora y actualizada acerca del tema.

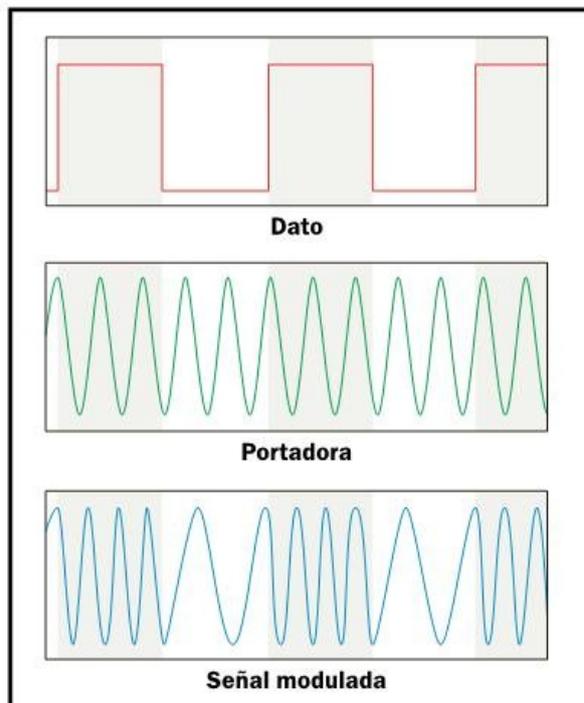
# Contenido del libro

El autor ..... 4  
 Prólogo ..... 4

## \* 01

### Principios de los sistemas de comunicaciones

Comunicaciones, datos y señales ..... 8  
 Modulación analógica y digital ..... 11  
 Limitaciones en la comunicación eléctrica ..... 13  
     Capacidad del canal de comunicación ..... 15  
     Modos de transmisión ..... 16  
     Medios de propagación ..... 18  
 Espectro de radiofrecuencias ..... 21  
 Resumen ..... 24



## \* 02

### Modulación, transmisión y demodulación

Sistemas de modulación ..... 26  
     Modulación de amplitud ..... 26  
     Banda lateral única (BLU) ..... 36  
     Múltiplex por división de frecuencia (FDM) ..... 38  
 Sistemas de modulación angular ..... 39  
 Sistemas de modulación por pulsos ..... 43  
 Muestreo, cuantificación y codificación de señales ..... 46  
     Múltiplex por división de tiempo (TDM) ..... 47  
 Modulación digital y multinivel ..... 48  
 Resumen ..... 50



Características y topologías ..... 81  
 Ventajas y limitaciones..... 84  
 Balance de potencia  
 en un sistema FS0..... 88  
**Resumen ..... 90**



**Servicios al lector**

Índice temático..... 92



**03**

**Redes alámbricas e inalámbricas**

Interconexión de sistemas abiertos ..... 52  
     Arquitectura TCP/IP ..... 54  
 Redes LAN y WAN..... 56  
 Redes LAN cableadas ..... 60  
 Redes LAN inalámbricas ..... 65  
 Enlace en 2.4 GHz ..... 70  
     Zona de Fresnel y despeje mínimo..... 72  
**Resumen ..... 74**



**04**

**Sistemas de comunicaciones ópticas**

Comunicaciones por fibra óptica..... 76  
     Características de un sistema de FO ... 76  
     Aplicaciones típicas ..... 78  
     Consideraciones de diseño ..... 79  
**Comunicaciones ópticas inalámbricas... 80**

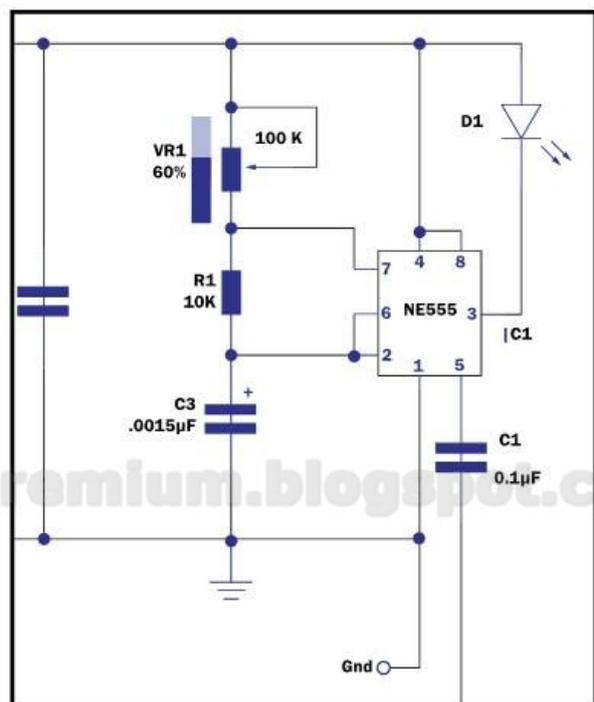


**05**

**ON WEB**

**Comunicaciones en la práctica**

- Proyecto 1: Enlaces en 2.4 GHz
- Proyecto 2: Enlaces FS0
- Proyecto 3: Enlaces por FO
- Proyecto 4: Sistema óptico inalámbrico





# Principios de los sistemas de comunicaciones

En este capítulo analizaremos los principios básicos y aplicaciones de los sistemas de comunicaciones.

▼ Comunicaciones, datos y señales .....8	▼ Espectro de radiofrecuencias..... 21
▼ Modulación analógica y digital..... 11	▼ Resumen..... 24
▼ Limitaciones en la comunicación eléctrica.... 13	



# Comunicaciones, datos y señales

Los estudios relacionados con los sistemas de comunicaciones se originan en dos especialidades de la ingeniería: las telecomunicaciones y la electrónica. La **telecomunicación** proviene del prefijo griego *tele* que significa distancia o lejos, y se traduce como **comunicación a distancia**. Es una técnica consistente en transmitir un mensaje desde un punto a otro. Cubre todas las formas de comunicación a distancia incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de computadoras a nivel de enlace, como nos ocuparemos en este libro.

La **electrónica** desarrolla en la actualidad una gran variedad de tareas y una de sus áreas de aplicación son las telecomunicaciones.

Un **sistema de comunicaciones** es un conjunto de elementos que proveen un enlace entre una fuente que emite un mensaje y un destino que la recibe. Entonces, su objetivo es la transmisión de mensajes.



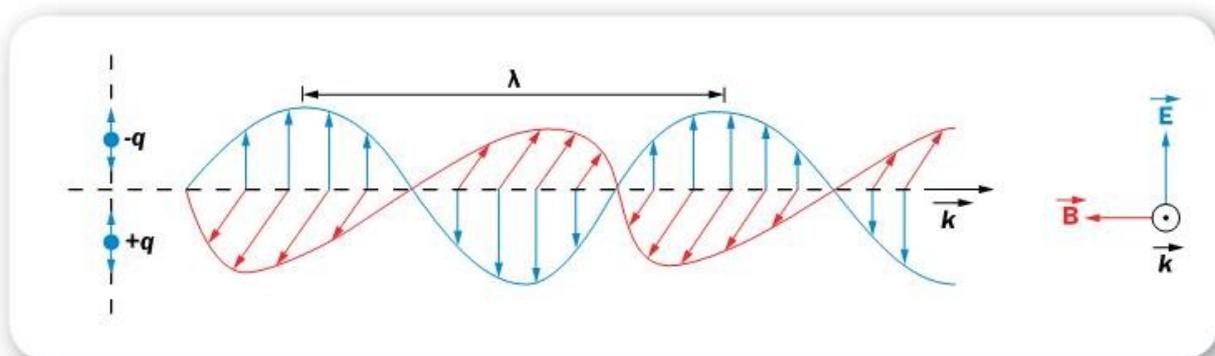
**Figura 1.** Sistema de comunicaciones óptico inalámbrico. Ideal cuando no existe disponibilidad de fibra óptica o es costosa su instalación.

Desde 1873 cuando el físico escocés James C. Maxwell realizó la fundamentación matemática que sustenta el campo de las telecomunicaciones hasta llegar a las modernas aplicaciones como Internet, telefonía celular, televisión digital terrestre y satelital entre otras, es necesario reconocer los aportes que han desarrollado los investigadores.

**Figura 2.** Antena de 15 metros de diámetro en Banda C (4 a 8 GHz) instalada en el *Kennedy Space Center* de la NASA.



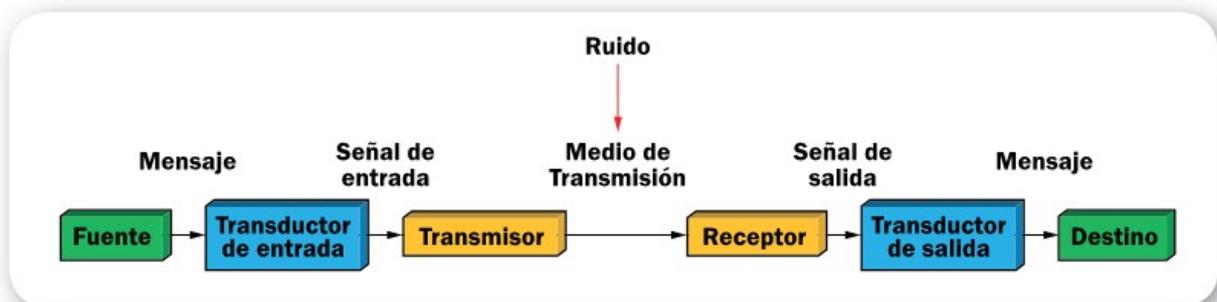
Por ejemplo, Michael Faraday, ocho años después de la muerte de Maxwell, justificó matemáticamente aspectos cualitativos de las ondas electromagnéticas que hasta esa fecha habían sido descritos solamente desde un punto de vista cuantitativo.



**Figura 3.** Las ondas electromagnéticas son transversales; las direcciones de los campos eléctrico y magnético son perpendiculares a la dirección de propagación.

Por su parte, Heinrich Hertz desarrolló, a partir de los aportes anteriores, el primer transmisor de radio dando inicio a la era de las comunicaciones a distancia. Más tarde, en 1901, el italiano Guglielmo

Marconi logró la primera transmisión de señales de radio. En la primera década del siglo XX, el dispositivo de vacío que permitía generar, amplificar, modular y demodular señales eléctricas inventado por Lee De Forest, dio inicio a la era de la electrónica. Por su lado, el inventor canadiense Reginald Fessenden desarrolló las primeras técnicas de modulación en 1900, y Claude Elwood Shannon creó un modelo de sistema de comunicaciones centrado en el envío de mensajes desde un punto a otro que favorecía comprender las reglas matemáticas que dominan el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones. Es el origen de la **Teoría de la información**, uno de los elementos conceptuales más importantes para el desarrollo de los sistemas de comunicaciones actuales.



**Figura 4.** Modelo, en este caso unidireccional, del sistema de comunicaciones propuesto por Shannon.

Para comprender mejor los conceptos graficados en la **Figura 4** veamos cuáles son los componentes básicos del modelo de Shannon:

**Fuente:** su función es generar el mensaje.

**Mensaje:** es la manifestación física del mensaje.

**Transductor de entrada:** su función es convertir una forma de energía en otra, en este caso la energía proveniente de la fuente en forma de mensaje a energía eléctrica.

**Señal de entrada (IN) o salida (OUT):** la señal es la manifestación eléctrica del mensaje proveniente de la fuente. En el caso de la señal de entrada proveniente del transductor de entrada y

en el de la señal de salida como la señal eléctrica proveniente del receptor que ingresa al transductor de salida para su conversión en una forma de energía compatible con el destino.

**Transmisor (Tx):** su función es acoplar la señal eléctrica representativa del mensaje al medio de transmisión. Los procesos involucrados generalmente son la modulación o la codificación.

**Medio de transmisión:** es el medio de enlace entre el transmisor y el receptor. Los medios de enlace utilizados normalmente son el par trenzado, el aire, el cable coaxil, el cable par/multipar telefónico y la fibra óptica. En el canal de comunicaciones, la/s frecuencia/s elegida/s para realizar la comunicación es el punto en el cual se pueden producir alteraciones en la señal eléctrica original en forma de ruido.

**Receptor (Rx):** su función es inversa a la del receptor, es decir, demodular o decodificar la señal eléctrica proveniente del medio de transmisión.

**Transductor de salida:** cumple una finalidad inversa a la de su homónimo de entrada ya que debe transformar la señal eléctrica de salida en una forma de energía compatible con el destino.

## Modulación analógica y digital

Si representamos al mensaje de nuestro sistema de comunicación de la **Figura 4** mediante un conjunto finito de símbolos



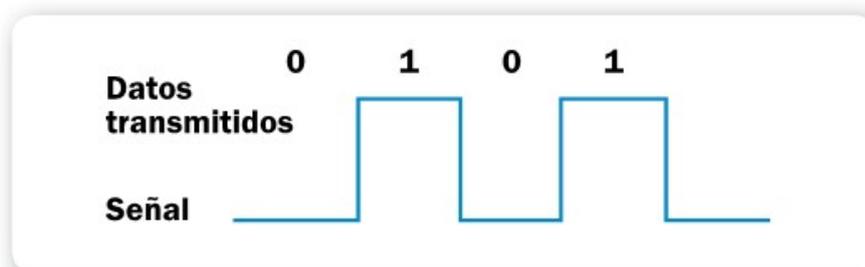
REDUSERS PREMIUM



Para obtener material adicional gratuito, ingrese a la sección **Publicaciones/Libros** dentro de <http://premium.redusers.com>. Allí encontrará todos nuestros títulos y verá contenido extra del libro. Todo esto ayudará a comprender mejor los conceptos desarrollados en la obra.

diferente, estamos en presencia de un **dato**. Si estos datos, como consecuencia del proceso de comunicación desde el emisor hacia el receptor, son procesados, se obtiene **información**. Shannon asoció al concepto de información la probabilidad de **ocurrencia**. Es decir, mientras menor sea la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, mayor será la cantidad de información asociada.

Desde el punto de vista eléctrico, las señales transmitidas pueden ser de dos tipos: **analógica** o **digital**. Una señal analógica puede representarse matemáticamente por medio de **funciones continuas** ya que pueden tomar un valor cualquiera para un intervalo de tiempo dado. Una señal digital, por el contrario, no toma infinitos valores sino que toma un número finito de valores dentro de un intervalo de tiempo dado. Matemáticamente se representan mediante **funciones discretas**.



**Figura 5.** Señal digital donde se observa la alternancia entre los estados alto (**1**) y bajo (**0**) y el código binario transmitido.

La **modulación** se realiza en el transmisor. Su finalidad es modificar la señal portadora para que transporte información a través de un canal de comunicación. En el extremo receptor, se realiza la **demodulación** para recuperar la información en su forma original.

Podríamos preguntarnos ¿por qué razón no se transmite la señal analógica o digital utilizando la misma frecuencia de la señal? Esta forma de transmisión, conocida como **banda base** (en inglés, *baseband*) es posible solamente en una cantidad pequeña de casos. La transmisión de señales telefónicas por medio del par de cobre y también los sistemas de TV de circuito cerrado (CCTV) constituyen

aplicaciones de esta técnica. En la mayoría de los casos se recomienda emplear una señal portadora de alta frecuencia de modo que la señal que contiene la información a transmitir sea modulada mediante la modificación de algún parámetro que caracterice a la portadora.

La modulación puede ser analógica o digital. En modulación analógica, la señal modulante analógica, de frecuencia relativamente baja, modula una señal senoidal de frecuencia más elevada llamada **portadora**. Así, se obtiene una señal modulada. Las ventajas de la modulación digital respecto de la modulación analógica se relacionan con una mayor inmunidad al ruido y robustez ante el deterioro del canal de comunicaciones, la mayor facilidad de multiplexación de varias formas de información y una mayor seguridad.

## Limitaciones en la comunicación eléctrica

Las limitaciones fundamentales en la transmisión de información por medios eléctricos son el ancho de banda y el ruido. El objetivo de todo sistema de comunicaciones debería ser lograr transmitir una mayor cantidad de información en el menor tiempo. Entonces, si se utilizan señales eléctricas que varíen rápidamente en el tiempo se po-



### BANDA ANCHA



En un sistema de comunicaciones de banda ancha la portadora ocupa una frecuencia específica en el medio de transmisión. Puede coexistir con otras señales mientras que sus frecuencias no se superpongan. De esta manera se facilita transmitir señales de video o imágenes.

dría incrementar la velocidad en la comunicación. Ahora bien, ¿puede aumentar indefinidamente la velocidad de transmisión en un sistema eléctrico? Para responder esta pregunta se debe recordar que los sistemas de comunicaciones se construyen empleando dispositivos físicos y que estos almacenan energía. Por lo tanto, se requiere de un tiempo para cambiar la energía almacenada en el sistema de comunicaciones de modo que al aumentar la velocidad de la señal eléctrica, en algún momento, el sistema dejará de responder ante los cambios de la señal.

Como medida de velocidad de la señal es conveniente utilizar su ancho de banda. Mayores cantidades de información, tales como imágenes y videos, requieren señales de banda ancha capaces de representar la información a transmitir y también de sistemas de comunicaciones de banda ancha para adecuar las señales. Entonces, el ancho de banda del sistema de comunicaciones es una de las limitaciones en toda comunicación eléctrica. La eficiencia de ancho de banda cuantifica la habilidad de una determinada técnica de modulación para adecuar información dentro de un ancho de banda limitado.

La **Ley de Hartley** expresa la relación entre el ancho de banda medido en Hertz, el tiempo de transmisión de la información (relacionado con la velocidad de la señal eléctrica) medido en segundos, y la capacidad de información (I) medida en Hertz por segundo. I es directamente proporcional a ambos.

$$I = B \cdot t \text{ [Hz.seg]}$$



## ANCHO DE BANDA (B O BW)



El ancho de banda expresa el rango de frecuencias que es posible enviar utilizando un medio de transmisión:  $B = f_2 - f_1$ . Donde  $f_2$  es la frecuencia máxima y  $f_1$  la frecuencia mínima. De esta manera, cualquier frecuencia fuera de  $B$  no debería ser transmitida por el medio.

Respecto del ruido, se lo entiende como un efecto no deseado caracterizado por todas aquellas señales de tipo eléctrico extrañas a la que representan la información a transmitir, aleatorias e impredecibles y originadas de forma natural dentro o fuera del sistema de comunicaciones. Si el ruido se sumara a la señal portadora de la información podría quedar oculta o eliminada en su totalidad. La misma existencia del ruido disminuye la probabilidad de que el receptor pueda determinar cuál es la señal que contiene la información deseada diferenciándola del ruido. Entonces, el ruido presente en el sistema de comunicaciones ocasiona limitaciones a la transmisión de información.

El ruido se diferencia de la distorsión de la señal y de la interferencia sobre ella en que ambas desaparecen; la distorsión cuando la señal deja de aplicarse y la interferencia por la eliminación de las fuentes que la originan. Los diseñadores de sistemas de comunicaciones deben convivir con el ruido ya que no puede ser eliminado en su totalidad, ni siquiera desde el punto de vista teórico.

## Capacidad del canal de comunicación

El **Teorema de la Capacidad** de Shannon indica que la cantidad de información (C) a transmitir en un canal de comunicaciones depende del ancho de banda (B) y de la relación señal a ruido (S/N) (*Signal to Noise Ratio*). Mientras mayor sea el ancho de banda y/o mejor sea la relación S/N, mayor será la capacidad del canal para transmitir información, aunque la influencia de la S/N en C es menor que la de B por encontrarse relacionada por su logaritmo. La capacidad C se expresa en **bits por segundo** (bps).

$$C = B \cdot \log_2(1+S/N) \text{ [bps]}$$

El ancho de banda del canal es el rango de frecuencias entre la frecuencia mínima y máxima asignada a un canal de comunicaciones. Para un canal de TV se define un ancho de banda de 6 MHz que contendrá

la información de audio, video y sincronismo además de un resguardo respecto del canal anterior y el siguiente para evitar interferencias.

La relación señal a ruido (S/N) es el cociente entre la señal (S) útil y el ruido (N) en un determinado ancho de banda. Generalmente se expresa en **decibeles** (dB). Si la potencia de señal promedio (S) fuera de 10.000 mW y la potencia de ruido promedio (N) de 100 mW, se expresa la relación señal a ruido (S/N) como sigue:

$$S/N = \text{Potencia de la señal (mW)} / \text{Potencia de ruido (mW)}$$

En decibeles:

$$S/N \text{ [dB]} = 10\log [P \text{ (mW)}] - 10\log [N \text{ (mW)}] \Rightarrow S/N[\text{dB}] = 40 - 20 \Rightarrow$$

$$S/N = 20 \text{ dB}$$

Una S/N de 20 dB indica una potencia de la señal 100 veces mayor que la potencia de ruido. Si la S/N no es la adecuada, podría tornarse dificultoso recuperar el mensaje en el receptor.

## Modos de transmisión

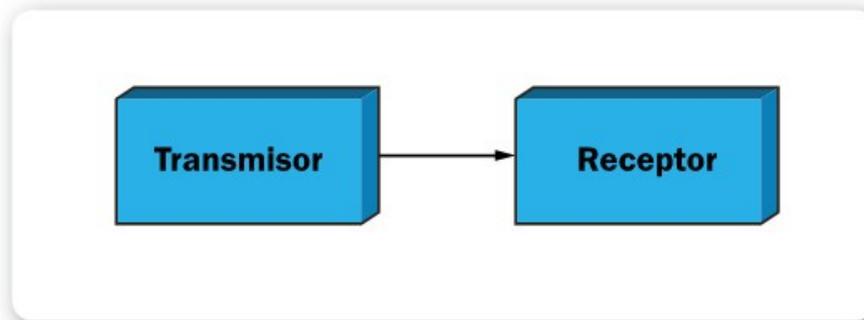
De acuerdo a si el mensaje es transmitido en uno o en ambos sentidos se definen tres modos de transmisión. En la transmisión **simplex**, el mensaje se transmite en un solo sentido.



### RUIDO TÉRMICO O RUIDO JOHNSON

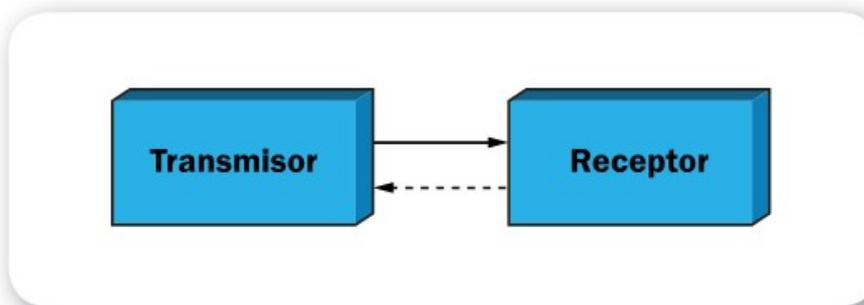


Es el ruido ocasionado por el movimiento aleatorio de los electrones cuando circula una corriente por un conductor. Estos electrones se agitan de manera desordenada y colisionan con los iones que conforman la masa del material.



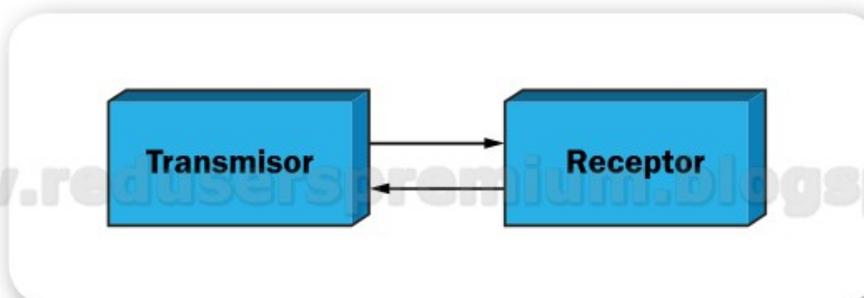
**Figura 6.** Esquema de una comunicación **simplex**. Una transmisión en AM (Broadcasting) o en FM responde a este esquema.

En la transmisión **semiduplex** (o **half-duplex**) el mensaje se transmite en ambos sentidos aunque no simultáneamente.



**Figura 7.** Esquema de una comunicación **semiduplex**. El envío y recepción de correo electrónico es una aplicación de este modo de comunicación.

Finalmente, en una transmisión **duplex**, los mensajes se transmiten en ambos sentidos simultáneamente.



**Figura 8.** Esquema de una comunicación **duplex**. La comunicación telefónica responde a este esquema.

## Medios de propagación

El **medio de propagación** es el soporte responsable del envío del mensaje desde el transmisor hacia el receptor. Es de suma importancia debido a que una señal que se propaga por un medio sufre atenuación y distorsión. La **atenuación** es la pérdida de la señal ocasionada por la disipación de energía electromagnética producida por el medio de transmisión. Mientras que la **distorsión** es la deformación de la señal debido a que sus distintos componentes de frecuencia están sometidos a una atenuación diferente.

Las características generales de un medio de propagación son: el costo, el ancho de banda (el rango de frecuencias que puede transmitir), su impedancia (la oposición que ofrece un conductor al paso de la corriente) medida en Ohm, la máxima distancia a la cual se puede transmitir, la calidad de la transmisión y la facilidad de la instalación.

El medio de propagación de una onda electromagnética puede ser físico como un cable metálico, una fibra óptica o el espacio libre.

Entre los cables metálicos más utilizados encontramos el **par trenzado** y el **cable coaxil**. El par trenzado es el medio de transmisión de menor costo y más fácil de instalar. Está constituido por dos alambres de cobre retorcidos en espiral. El trenzado lo hace menos sensible a las interferencias externas. Los tipos de par trenzado son el cable **apantallado** o **STP** (*Shielded Twisted Pair*) y el **no apantallado** o **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*).



### CATEGORÍA Y CLASE DEL PAR TRENZADO



La categoría es un número que indica atenuación y velocidad. La clase es un conjunto de letras que informan la distancia permitida y el ancho de banda. Un cable categoría 5 clase D atenúa 67 dB a 100 Mbps para una distancia permitida de 100 m con BW de 100 MHz.

El cable apantallado consta de dos pares de conductores trenzados en parejas y cada pareja se recubre con una pantalla metálica. Se utiliza para grandes distancias, altas velocidades de transmisión y lugares donde hay muchas interferencias. La máxima velocidad es de 150 Mbps y para longitudes de cable menores a los 100 metros. La impedancia está comprendida entre 120 Ohm y 150 Ohm.

Por el contrario, el cable no apantallado generalmente consta de cuatro pares de conductores trenzados en parejas pero sin apantallamiento. Su costo es menor que el anterior. Las velocidades y longitudes son similares al cable apantallado. La impedancia es algo menor, 100 Ohm. Ambos tipos de cable pueden utilizar conectores **RJ45** y **RJ11**.

**Figura 9. Cable apantallado o STP** fabricado para la transmisión de datos de alta velocidad.



El cable coaxial está conformado por dos conductores concéntricos, uno central de cobre y el otro a su alrededor constituido por una malla muy fina de hilos trenzados o, en su defecto, una lámina metálica cilíndrica de cobre estañado o aluminio. Ambos separados por un aislante (polietileno). Todo el conjunto se encuentra recubierto por una protección de PVC (cloruro de polivinilo). Una característica importante del cable coaxial es que tiene mayor ancho de banda e inmunidad al ruido que el par trenzado.

Una característica tanto del cable de par trenzado como del cable coaxial es su **impedancia**, medida en Ohm. Las impedancias más comunes son 50 Ohm, permitiendo velocidades de transmisión del orden de los 100 Mbps a distancias de hasta 1 Km y 75 Ohm, ampliamente utilizado en las redes de TV por cable. Otra característica importante es la **atenuación**. Se mide en dB/m para una frecuencia de trabajo seleccionada.

La **fibra óptica** es un medio que no transmite señales eléctricas sino señales luminosas. Tres son los componentes de un sistema de fibra óptica: el transmisor de luz (responsable de transformar la señal eléctrica en luz), la fibra óptica (el medio que transmite la luz) y el detector de luz (que convierte la luz recibida en una señal eléctrica).



**Figura 10. Fibra óptica** típica donde se observan el cable de fibra óptica y sus conectores.

En la **Tabla 1** observamos que la fibra óptica presenta una serie de ventajas tanto frente al cable de par trenzado como frente al cable coaxial. Entre ellas, una menor pérdida de potencia de señal (ya que la luz puede propagarse varios km sin tener virtualmente ninguna pérdida), inmunidad a ruidos (ningún tipo de ruido afecta su funcionamiento, ausencia de cortocircuitos (puesto que trans-



## FIBRA ÓPTICA



Consta de una fibra de vidrio recubierta. Los componentes principales son el núcleo y la cubierta. El **C.C.I.T.T. (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía)** define al núcleo como la zona central de la fibra por donde se transmite la mayor parte de la energía luminosa.

mite luz y no señales eléctricas), un gran ancho de banda (que facilita transmitir gran cantidad de información simultáneamente) y menor diámetro; también es más liviana y flexible.

El **espacio libre** influye en la calidad de la comunicación a través de la variación de las condiciones atmosféricas en función de la frecuencia. En microondas y frecuencias superiores, así como en comunicaciones ópticas inalámbricas, se deben utilizar aquellos rangos de frecuencias, o ventanas, donde la atenuación atmosférica disminuya. En particular, se debe considerar el efecto de la lluvia intensa, la caída de nieve y además la polución atmosférica en el caso de emplear comunicaciones ópticas inalámbricas.

MEDIOS DE TRANSMISIÓN COMÚNMENTE UTILIZADOS				
▼ MEDIO DE TX	▼ ANCHO DE BANDA	▼ CONFIABILIDAD	▼ FACILIDAD DE INSTALACIÓN	▼ COSTOS
<b>Par trenzado</b>	Regular	Moderada	Simple	Bajos
<b>Coaxil</b>	Grande	Alta	Regular	Medios
<b>Fibra Óptica</b>	Muy grande	Muy alta	Especializada	Altos

**Tabla 1.** Características de los principales medios de transmisión por cable.



## Espectro de radiofrecuencias

Una onda electromagnética puede propagarse desde el emisor hacia el receptor de varias formas, por medio de una tensión o una corriente en un cable del tipo par trenzado, por el espacio libre en la forma de ondas de radio o como ondas de luz por una fibra óptica.

La **frecuencia**, que indica las variaciones por segundo de la señal eléctrica, se expresa en una unidad denominada Hertz o ciclos por segundo (abreviado Hz). La frecuencia de la energía eléctrica domiciliaria puede tener un valor de 50 o 60 Hz de acuerdo al país considerado.

Otro parámetro importante en una onda electromagnética es su longitud de onda. Se representa con la letra griega  $\lambda$  (lambda), se la define como la distancia entre dos puntos similares en una onda periódica y es directamente proporcional a la velocidad de la luz (C) e inversamente proporcional a su frecuencia (f). Se expresa:

$$\lambda = C / f$$

Siendo:

$\lambda$ : longitud de onda, [metros].

**C**: velocidad de la luz, 300.000 [km/s] o 300.000.000 [m/s].

**f**: frecuencia en [Hertz, Hz, 1 ciclo /segundo].

Una estación de radio en FM en 100 MHz (100.000.000 millones de Hz) tiene una longitud de onda de 3 metros.

$$\lambda = 300.000.000 \text{ [m/s]} / 100.000.000 \text{ [Hz]} \Rightarrow \lambda = 3 \text{ m}$$

Para una frecuencia de 2,4 GHz utilizada en redes inalámbricas Wi-Fi, ¿cuál sería la longitud de onda?



**PROFESOR EN LÍNEA**



Si tiene alguna consulta técnica relacionada con el contenido, puede contactarse con nuestros expertos: [profesor@redusers.com](mailto:profesor@redusers.com)

ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIAS			
▼ RANGO	▼ NOMBRE	▼ DESIGNACIÓN	▼ APLICACIONES
<b>3-30 KHz</b>	Frecuencias muy bajas	VLF	Comunicaciones
<b>30-300 KHz</b>	Frecuencias bajas	Alta	Regular
<b>(Low Frecuencias)</b>	LF	Comunicaciones	
<b>300-3000 KHz</b>	Frecuencias medias (Medium Frecuencias)	MF	Radiodifusión en AM (Broadcasting), etc.
<b>3-30 MHz</b>	Frecuencias altas (High Frecuencias)	HF	Radiodifusión en onda corta, radioaficionados, etc.
<b>30-300 MHz</b>	Frecuencias muy altas (Very High Frecuencias)	VHF	Radiodifusión FM, canales 2 al 6 y 7 al 13 de TV, radioaficionados, teléfonos inalámbricos, etc.

**Tabla 2.** Espectro de radiofrecuencias y algunas de las aplicaciones.

Es de uso habitual especificar el espectro de radiofrecuencias como en la **Tabla 2**. Ordena las frecuencias por décadas desde 300 KHz hasta 300 GHz. Por ejemplo, el rango 3-30 KHz se inicia en 3 KHz y finaliza en una frecuencia diez veces esta, 30 KHz. Este rango de frecuencias se conoce como **década de frecuencia**.



**Figura 11.** Antenas de 60 cm de diámetro características en sistemas de **televisión directa al hogar**. Permiten la recepción satelital de transmisiones de TV digital tanto en definición estándar como en HD, además de señales con calidad digital de audio.



## RESUMEN



En este capítulo presentamos los fundamentos de los sistemas de comunicaciones. Los elementos de la modulación analógica y digital, las características de un canal de comunicación, los modos y medios de transmisión, el espectro de RF y el dB son algunos de ellos.



# Modulación, transmisión y demodulación

En este capítulo analizaremos los fundamentos de la modulación tanto analógica como digital.

▼ Sistemas de modulación .. 26	▼ Muestreo, cuantificación y codificación de señales . 46
▼ Sistemas de modulación angular..... 39	▼ Modulación digital y multinivel..... 48
▼ Sistemas de modulación por pulsos ..... 43	▼ Resumen..... 50





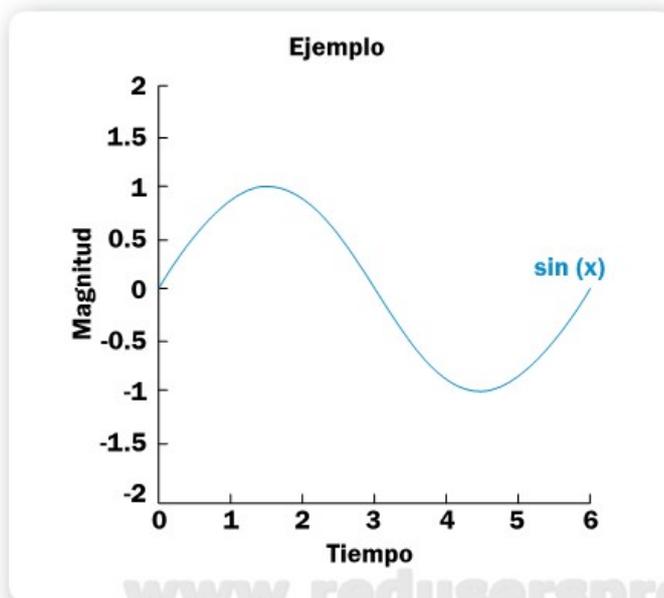
# Sistemas de modulación

Identificamos el tipo de modulación de señales de acuerdo a la clase de onda portadora. En modulación de señales continuas tenemos **modulación lineal** y **modulación angular** y en modulación por pulsos, **modulación analógica** y **modulación digital**. En este capítulo revisaremos las técnicas de modulación de señales más utilizadas en los sistemas de comunicaciones.

## Modulación de amplitud

Entendemos por **modulación** al proceso por medio del cual se modifica alguna característica de la señal modulada u onda portadora en función de la señal que se desea enviar de modo de generar una onda modulada. La particularidad fundamental de una onda portadora, o simplemente portadora, es que se puede modificar alguna de sus características. Una portadora puede ser una señal **analógica** o

una señal **digital**. La onda moduladora también puede ser analógica, como la voz, o digital, en caso de tratarse de datos.



**Figura 1.** En la señal analógica la amplitud de la señal varía continuamente con el transcurso del tiempo siguiendo una función **seno**. La voz es un tipo de señal analógica.

Los sistemas de modulación a los que hacemos referencia en este capítulo no son sistemas en **banda base**. Se denomina banda base al rango de frecuencias que ocupa una señal modulante previa a modular

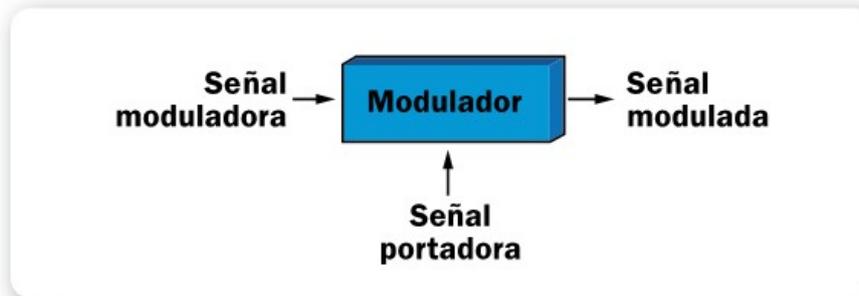
una portadora. Todos los tipos de señal moduladora, sean analógicos o digitales, tienen su banda base. En general, las frecuencias de la banda base son mucho menores que la frecuencia de la onda portadora.

La **modulación** se realiza en un dispositivo llamado **modulador**. Es el dispositivo donde se aplican tanto la portadora como la onda moduladora (directamente o luego de su procesamiento) y cuya finalidad es producir una onda modulada. Este proceso se lleva a cabo en el transmisor. En el extremo receptor se somete a la onda modulada al proceso inverso, o **demodulación**, por medio del cual se recupera la señal original, o moduladora, separándola de la onda portadora. La demodulación es parte del proceso de recepción y se lleva a cabo en el **demodulador**. Dado que la señal recibida puede contener ruido y presentar distorsión como consecuencia del viaje desde el transmisor hacia el receptor, una funcionalidad adicional de este es eliminar de manera eficaz cualquier componente de ruido y/o distorsión que pudiera afectar a la señal recibida.

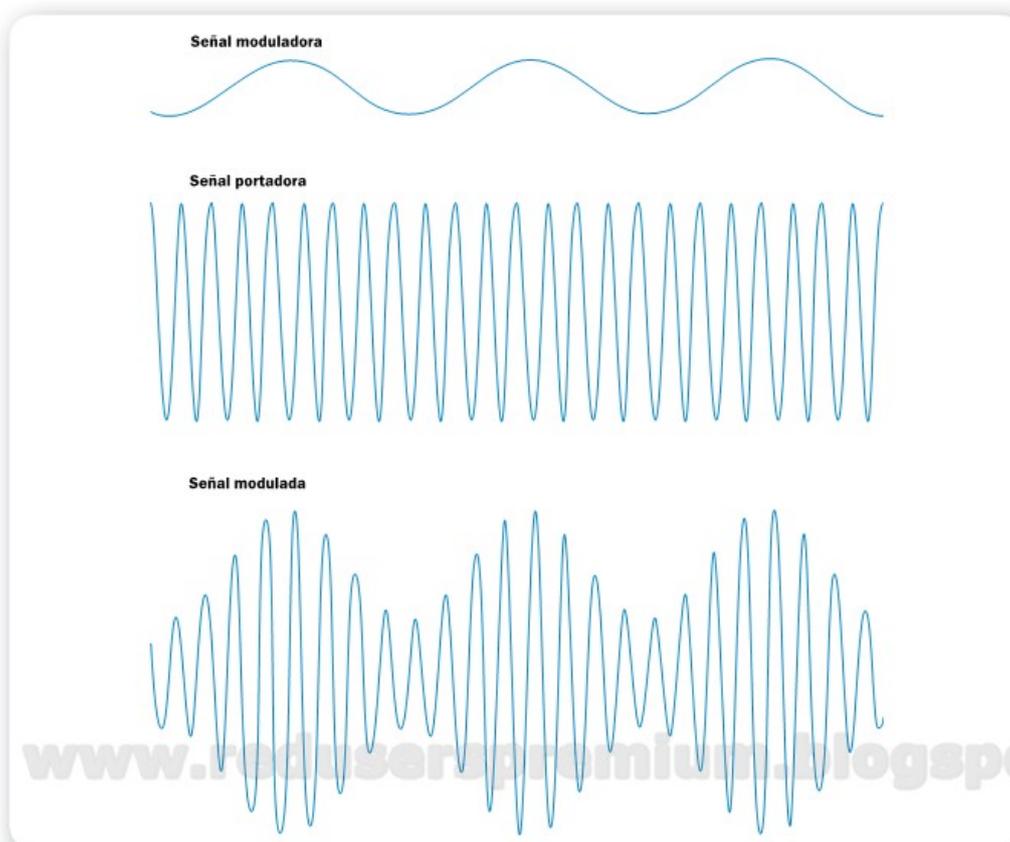
RELACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE MODULACIÓN			
▼ TIPO	▼ CARACTERÍSTICA MODIFICADA	▼ MODULANTE ANALÓGICA	▼ MODULANTE DIGITAL
<b>Portadora analógica</b>	Amplitud	AM	ASK
	Frecuencia	FM	FSK
	Fase	PM	PSK
<b>Portadora digital</b>	Amplitud	PAM	
	Frecuencia	PPM	
	Fase	PDM	

**Tabla 1.** Resumen de los diferentes tipos de modulación.

En **modulación de amplitud analógica (AM)** se varía la amplitud de la señal portadora en relación a la información contenida en la onda modulante. Esta variación va desde cero hasta el máximo valor de amplitud de la portadora que no se modifica ni en amplitud ni en frecuencia durante el proceso de la modulación.

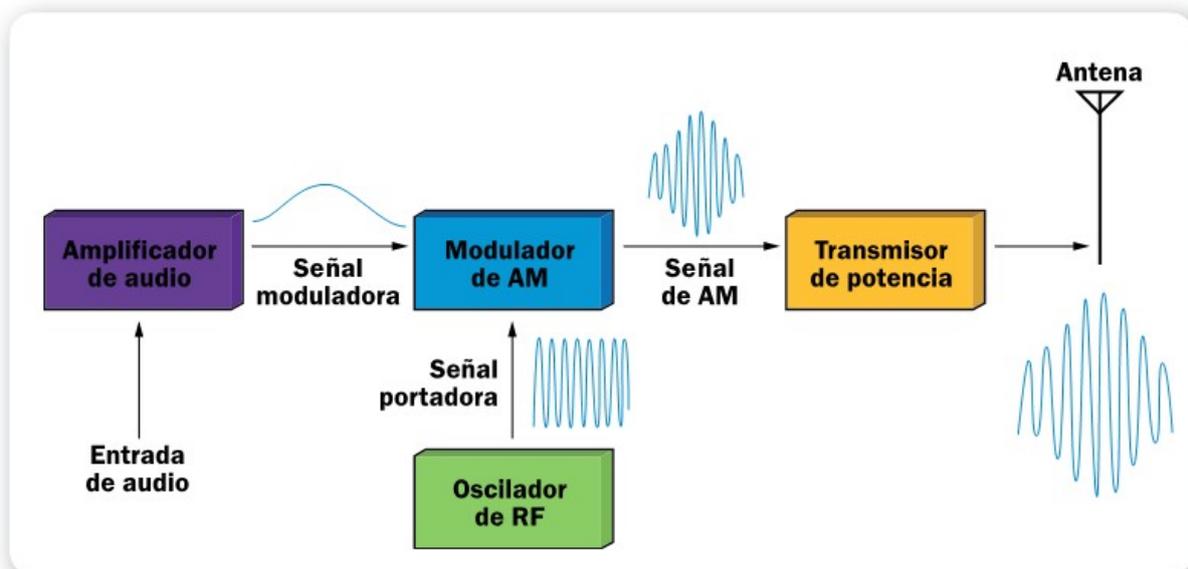


**Figura 2.** Modulador de amplitud. La mezcla de señales que allí se realiza resulta en una señal de AM.



**Figura 3.** Señal modulante, onda portadora y el resultado de la mezcla de ambas: la señal de AM.

Dado que la modulación es un proceso de mezcla de señales, cuando se combinan una señal modulante (como por ejemplo audio) y otra de radio frecuencia (la portadora) en un modulador de AM se obtiene la portadora de RF original y dos nuevas señales llamadas **bandas laterales**. La primera es una banda lateral denominada **superior** (abreviada **BLS**), de frecuencia igual a la suma de las frecuencias de la portadora y la modulante; y la segunda es la banda lateral llamada **inferior** (abreviada **BLI**), que es la diferencia de las anteriores. La amplitud de cada banda lateral es proporcional a la señal moduladora original.



**Figura 4.** Esquema de un transmisor en AM que incluye al modulador de amplitud.

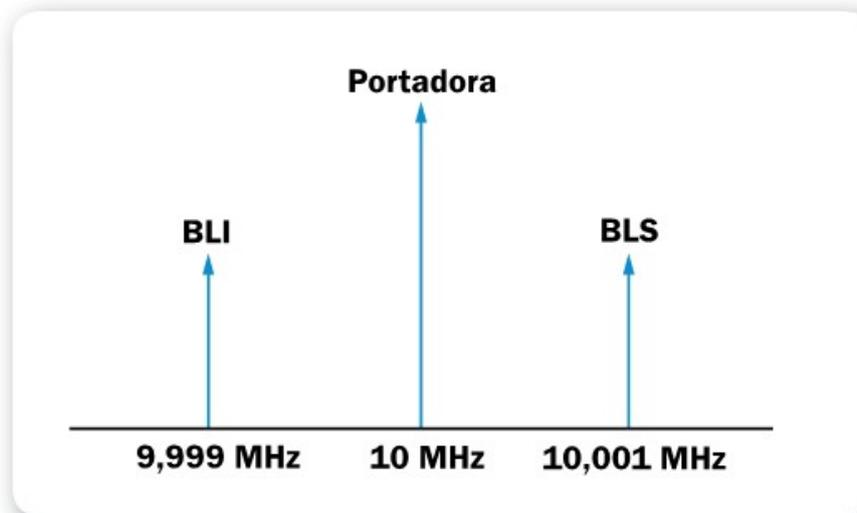


## ONDA PORTADORA EN EL RECEPTOR



Debemos tener en cuenta que esta señal no contiene información y solo sirve de transporte a la información. Un componente electrónico utilizado en el receptor AM para eliminar la portadora es el **capacitor**. Su reactancia capacitiva varía en forma inversa con la frecuencia.

Entonces, considerando una señal portadora de 10 MHz y una onda senoidal modulante única de frecuencia 1 KHz, la señal de AM resultante se caracterizaría por una portadora en 10 MHz, una BLS de 10,001 MHz y una BLI de 9,999 MHz.

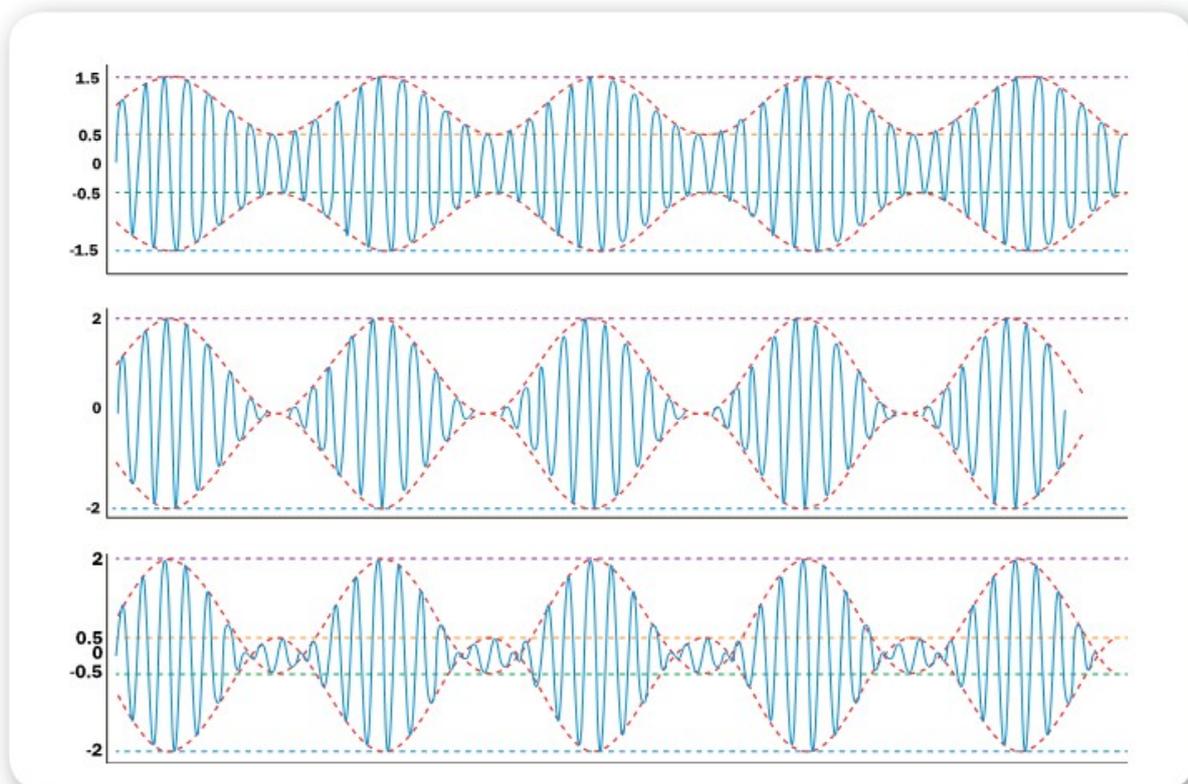


**Figura 5.** Portadora de 10 MHz modulada con una señal de frecuencia única de 10 KHz.

En el ejemplo anterior, el ancho de banda de la señal de AM es 2 KHz, es decir la diferencia entre la mayor y la menor frecuencia. Es importante destacar que en AM la separación máxima entre la portadora y cada banda lateral está determinada por la componente de mayor frecuencia contenida en la señal modulante. Entonces, el ancho de banda para una señal de AM será el doble de la mayor frecuencia contenida en la señal modulante (en el ejemplo anterior: 1 KHz y 2 KHz respectivamente). Para una señal en AM para onda media, el ancho de banda o ancho de banda pasante es 10 KHz, es decir que se permite una onda modulante con una frecuencia máxima de 5 KHz, mientras que para servicios como policía o telefonía el ancho de banda es de unos 6 KHz dado que la máxima frecuencia de audio permitida es algo superior a 3 KHz.

Un parámetro importante es el **índice de modulación**, o **profundidad de modulación**, que mide la relación entre la amplitud

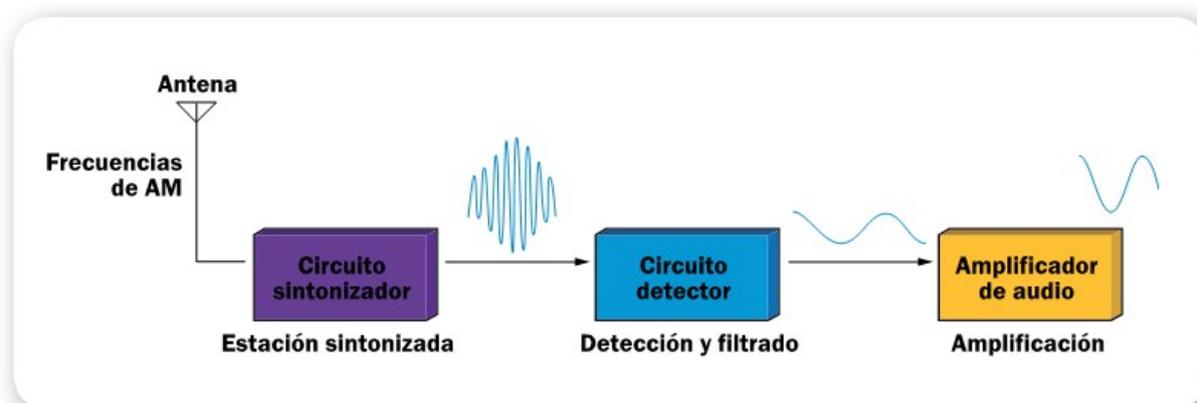
pico de la señal moduladora y la señal portadora. Se mide en porcentaje y un 50% implica que la amplitud de la portadora varía en un 50% por encima y por debajo de su nivel original (sin modulación). Cuando las amplitudes modulantes y portadora son iguales, el índice es 100%. Para valores superiores al 100% se distorsiona la señal de AM por lo que no debería superarse este porcentaje.



**Figura 6.** Índice de modulación en una señal de AM. Podemos observar la distorsión de la señal AM cuando el índice de modulación supera el 100%.

En una señal de AM la información a transmitir se encuentra solamente en las bandas laterales. Por otra parte, de la energía necesaria para transmitir una onda en AM, el 50% se encuentra en la onda portadora que no contiene información, mientras que el 50% de la energía restante se concentra en ambas bandas laterales que contienen la información a transmitir. Esta es una de las desventajas de la modulación en AM. Por el contrario, una ventaja importante es la posibilidad de recuperar la información por medio

de receptores sencillos y así separar la señal modulante de la onda portadora. Recordemos que la función de la onda portadora es facilitar la recuperación de la señal en el receptor. En el receptor, la decodificación se realiza en un **detector**.



**Figura 7.** Etapas de un receptor de AM sencillo y las formas de onda en cada una de ellas.

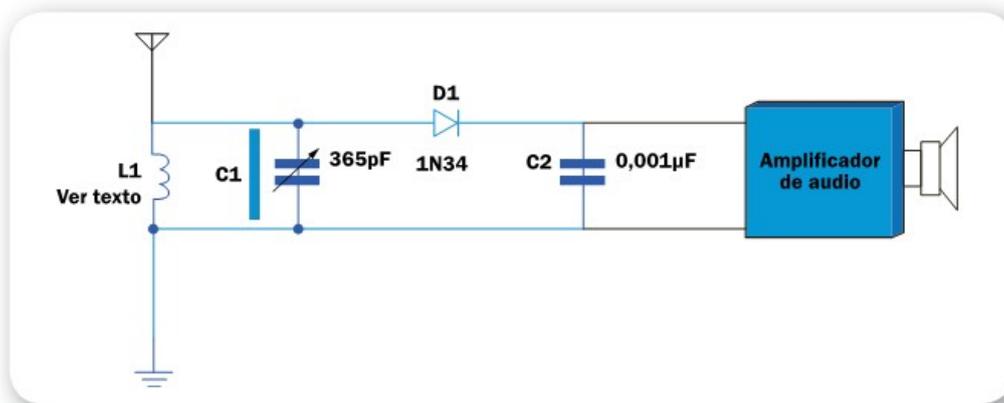
El esquema de la **Figura 7** se conoce, desde el inicio de las transmisiones de radio en AM, como **receptor a cristal** o **a galena** ya que el elemento detector se construía con un cristal de galena que permitía el paso de la corriente en un solo sentido. En los circuitos receptores modernos se reemplaza el cristal de galena por un diodo semiconductor de germanio (Ge). No es práctico utilizar un diodo de silicio (Si) ya que su tensión de arranque, de 0.6 V, es mucho mayor que los 0,2 V del Ge.

Continuando con el esquema de la **Figura 7**, el primer bloque es responsable por la sintonía de la estación de radio AM deseada. Consta de una antena conectada a un **circuito sintonizado** LC (inductancia-capacidad) en la forma de una bobina sobre núcleo de ferrite y un condensador variable en paralelo con esta. La bobina consta de 80 a 100 espiras de alambre de cobre esmaltado calibre 28 arrolladas juntas sobre un núcleo de ferrite de forma circular y de 1 cm de diámetro. Al mover el eje del **condensador variable** se modifica su

capacidad y por lo tanto la frecuencia sintonizada. El condensador variable es de los utilizados en los receptores de onda media.

A continuación del circuito sintonizado LC, un **diodo de germanio** (Ge) del tipo 1N60, o 1N34, rectifica la señal. La rectificación de la señal consiste en seleccionar la media onda positiva y eliminar la media onda negativa (que polariza al diodo en forma inversa). El **condensador fijo** elimina la frecuencia de la onda portadora dejando solamente la señal de audio (la modulante original) que luego es amplificada en la etapa amplificadora. El conjunto diodo-condensador fijo se denomina **etapa detectora**.

A causa de su sencillez, el circuito tiene baja sensibilidad y selectividad aunque es sumamente útil para comprender los principios elementales de un receptor de radio AM.



**Figura 8.** Circuito eléctrico de un receptor de AM sencillo de construir.

Para construir la **antena externa** necesaria para el circuito de la **Figura 8** se utiliza un conductor de cobre de 10 a 20 metros de longitud ubicado lo más alto posible y aislado eléctricamente en ambos extremos mediante aisladores. Se conecta a la entrada de antena del receptor. La **conexión a tierra** se realiza a la cañería metálica de agua o puede construirse enterrando verticalmente una varilla gruesa de cobre de 2 a 3 metros de longitud en un lugar húmedo. Mediante una abrazadera metálica se conectan eléctricamente el extremo libre de la varilla y la conexión a tierra del receptor sencillo.

Todo el montaje de la **Figura 8** se puede construir sobre una placa de cobre universal o en el aire soportando a los componentes mediante sus propias conexiones. Se energiza a partir de la misma señal de AM por lo que solamente se requiere alimentar el amplificador de audio.

Las relaciones matemáticas en una onda modulada en AM son las siguientes:

Onda modulante:  $f_1(t) = A_m \cdot \text{sen}(W_m \cdot t)$

$A_m$  : amplitud máxima de la modulante

$W_m$ : frecuencia angular de la modulante ( $2\pi \cdot f_m$ )

Onda portadora:  $f_p(t) = A_p \cdot \text{sen}(W_p \cdot t)$

$A_p$  : amplitud máxima de la portadora

$W_p$  : frecuencia angular de la portadora

Onda en AM:

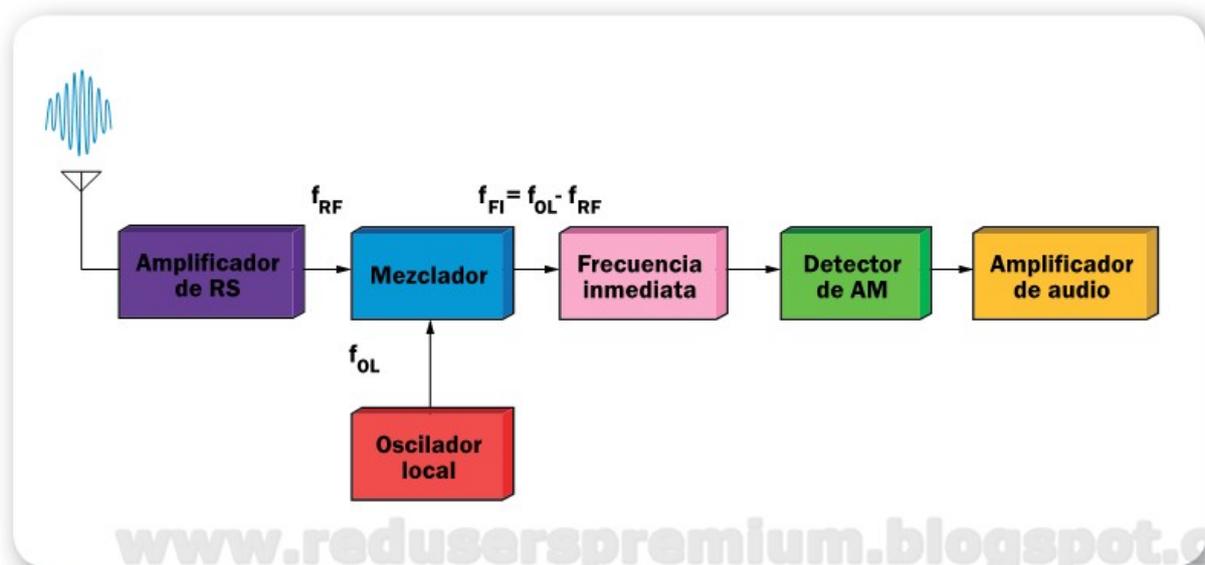
$$f_{AM}(t) = A_p \cdot \text{sen}(W_p \cdot t) + A_{m/2} \cdot \cos(W_p + W_m) \cdot t - A_{m/2} \cdot \cos(W_p - W_m) \cdot t$$

En esta última expresión matemática, el primer término representa la onda portadora mientras que el segundo y el tercero corresponden a cada una de las bandas laterales, superior e inferior respectivamente.

Un receptor de AM moderno funciona mediante el principio **superheterodino** por el cual se traslada mediante **heterodinación** la señal de AM deseada de alta frecuencia a una señal de frecuencia más baja que sea posible amplificar con menor dificultad técnica. Así, se mejora la **selectividad**, es decir la capacidad de separar estaciones de AM de frecuencias muy cercanas. En la **Figura 9** observamos el esquema de un receptor superheterodino. Supongamos que sintonizamos una estación en AM en una fre-

cuencia que llamamos  $f_{RF}$ . La primera etapa de un receptor superheterodino es la etapa de **antena**. Su función es captar las transmisiones de AM. Para mejorar el nivel de señal de estas transmisiones, que puede ser muy débil, utilizamos la siguiente etapa: el **amplificador de radiofrecuencia**. A continuación, tanto la señal amplificada en el amplificador de RF,  $f_{RF}$ , como la proveniente de un oscilador local  $f_{OL}$  ingresan al circuito **mezclador**, donde se produce la mezcla o heterodinación de ambas frecuencias, y a su salida se obtienen señales de distintas frecuencias. Solamente nos interesa la señal de frecuencia diferencia entre  $f_{RF}$  y  $f_{OL}$  denominada **frecuencia intermedia** (FI).

La señal de frecuencia intermedia es una señal modulada en AM, al igual que la señal de RF original  $f_{RF}$ , pero de una frecuencia más baja y valor fijo en 455 KHz. Entonces, esta etapa se puede diseñar para lograr una gran amplificación. Luego del amplificador de FI, el **detector**, conocido como **detector de envoltente**, separa la onda portadora de la onda modulante para su posterior amplificación en un **amplificador de audio**.



**Figura 9.** Receptor de AM superheterodino.

Podemos observar las diferentes frecuencias puestas en juego.

Para que el valor de la frecuencia intermedia se mantenga constante, siempre sintonizamos el **oscilador local** en una frecuencia 455 KHz por encima de la frecuencia de RF de interés de modo que la señal diferencial entre ambas, la frecuencia intermedia, se mantenga constante. Por ejemplo, sintonizando una estación de radio en AM de frecuencia igual a 620 KHz, el oscilador local se sintoniza en 1075 KHz, 455 KHz por encima de 620 KHz, de modo que a la salida del **mezclador** se obtengan 455 KHz. Si cambiamos de estación sintonizando otra frecuencia, la nueva frecuencia generada por el oscilador local también estará 455 KHz por encima de la nueva estación de AM.

## Banda lateral única (BLU)

Como ya vimos, la mayor parte de la energía necesaria para transmitir una onda en AM se emplea para transmitir la señal portadora. Evidentemente no es necesario transmitir la portadora ya que no contiene información y como cada una de las bandas laterales contiene la misma información duplicada, es suficiente transmitir solamente una banda lateral. **BLU** es un tipo de transmisión AM con características particulares.

En una transmisión en BLU se eliminan tanto la portadora como una de las bandas laterales transmitiéndose solamente la otra banda lateral que contiene toda la información. En el receptor de BLU



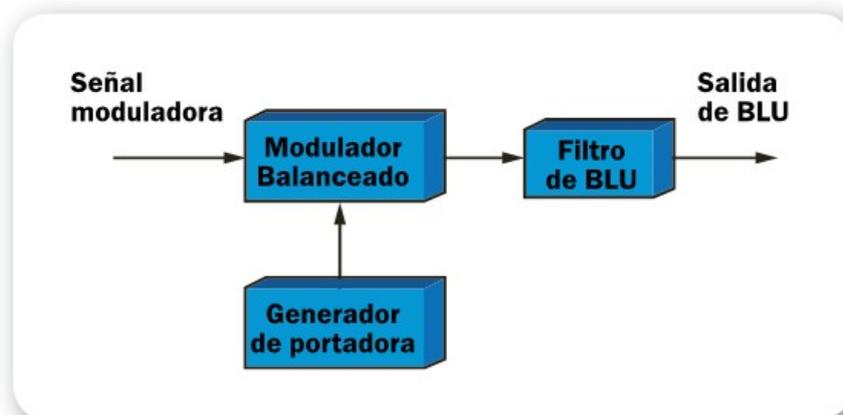
### RECEPTOR DE FRECUENCIA MODULADA



El receptor **superheterodino** que se emplea tanto en AM como en FM fue inventado por el ingeniero Edwin Armstrong. En AM se utiliza una frecuencia intermedia fija de 455 KHz mientras que en receptores de FM la frecuencia intermedia es 10,7 MHz.

se genera localmente, a partir de un oscilador local, la onda portadora no transmitida y en conjunto con la banda lateral recibida es posible reconstruir la información de la señal moduladora original.

Tradicionalmente, en la generación de BLU se han empleado dos esquemas: **sistema de filtros** y **rotación de fase**; este último prácticamente en desuso. En el primer sistema se utiliza un **modulador balanceado** que recibe dos señales y entrega a su salida una señal que no contiene a la portadora. Luego, un **sistema de filtros** permite solamente el paso de la banda lateral deseada eliminando la banda lateral restante. Finalmente, un amplificador lineal facilita alcanzar la potencia deseada en la antena transmisora. En el receptor, el esquema más utilizado es el **detector de producto** y se emplea para ambos métodos de generación de BLU anteriormente mencionados.



**Figura 10.** A la salida del modulador balanceado se obtiene una señal doble banda lateral (DBL) sin portadora. El filtro elimina la BL indeseada.

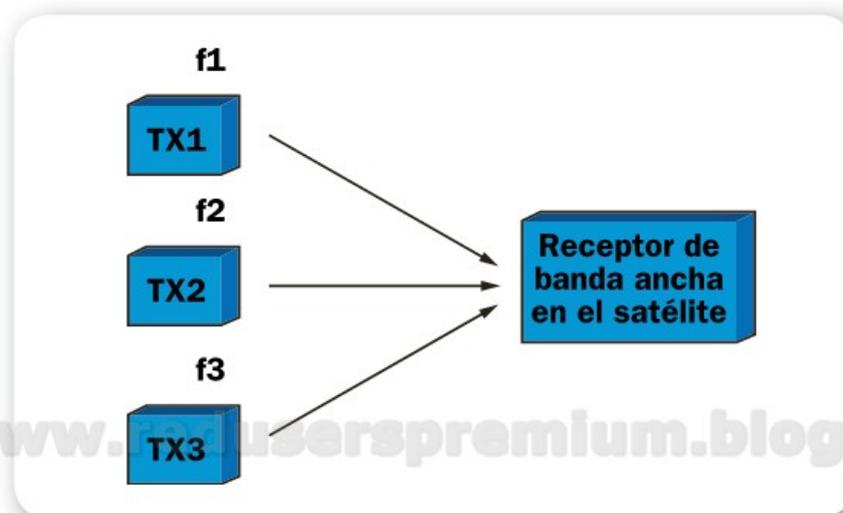
La gran ventaja de la BLU frente a la AM es que solamente hace falta la energía necesaria para transmitir una única banda lateral con toda la información contenida ella. También, permite utilizar el espectro de RF de manera más eficiente ya que el ancho de banda en BLU es la mitad que en AM, debido a que solamente se transmite una banda lateral, con lo que es posible realizar mayor cantidad de transmisiones utilizando el mismo ancho de banda que en AM. Finalmente, como el ancho de banda en BLU es menor que en AM y

su rendimiento es mayor, la relación señal a ruido (S/N) es mejor para estos sistemas. Si bien se pueden recibir transmisiones en ambas bandas laterales, por una costumbre que continúa desde los primeros tiempos de la BLU, es más utilizada la banda lateral superior (BLS). Como aplicaciones de las transmisiones en BLU tenemos el servicio de radioaficionados y algunas comunicaciones marinas.

## Múltiplex por división de frecuencia (FDM)

El **múltiplex por división de frecuencia (FDM)** es una de las técnicas más utilizadas. Por medio de ella se asigna a cada estación transmisora una frecuencia determinada para poder transmitir sobre un canal de comunicaciones único. El receptor tiene un circuito de sintonía que permite seleccionar la frecuencia deseada.

Los primeros sistemas de comunicaciones multiplexados utilizaban estas técnicas. Actualmente, la disminución en los costos en microelectrónica digital hace que se utilice más la técnica **múltiplex por división de tiempo (MDT)**.



**Figura 11.** El multiplexado por división de frecuencia (MDF) ha sido utilizado para la transmisión simultánea de las señales por satélite.

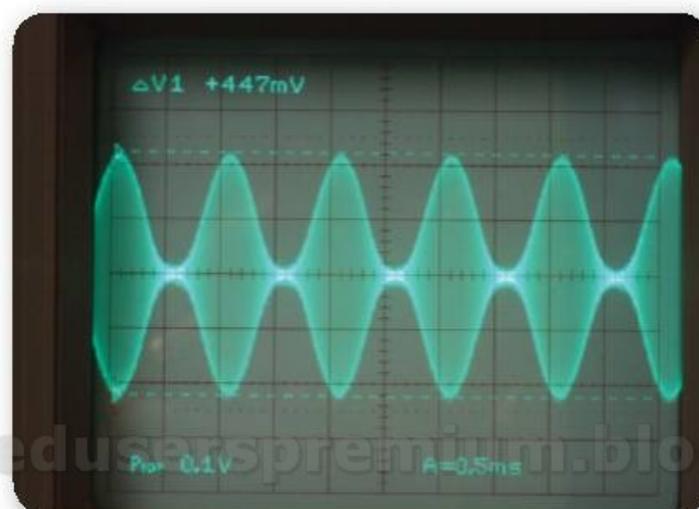
En los sistemas de comunicaciones satelitales multiplexados por división de frecuencia, el receptor del satélite es de banda ancha y su rango abarca todas las frecuencias centrales de los canales en la transmisión ascendente.



## Sistemas de modulación angular

Los sistemas de **modulación angular** se caracterizan por modificar alguna de las propiedades de la onda portadora: la **frecuencia** o la **fase**. Respecto de la modulación en AM, donde la frecuencia de la portadora es constante y se modifica su amplitud, en la modulación angular la amplitud de la portadora es constante y se modifica su frecuencia o la fase. Si la portadora es analógica, se modifica la frecuencia o la fase instantánea en función del valor instantáneo de la onda modulante.

La modulación de frecuencia fue desarrollada por Edwin Armstrong en respuesta a los problemas de estática y ruidos asociados a las transmisiones de radiodifusión en AM.



**Figura 12.** Señal de AM tal como se observa en un instrumento de medición denominado **osciloscopio**. En esta imagen el índice de modulación de la señal de AM es cercano a 100%.

En una onda de FM, la señal aumenta proporcionalmente su frecuencia durante la mitad del ciclo positivo de la onda modulante y disminuye durante el resto del ciclo de polaridad opuesta. Cuando la amplitud instantánea de la modulante es pequeña, la desviación de frecuencia también lo es y se agranda a medida que la amplitud de la modulante aumenta alcanzando el máximo valor de desviación cuando la modulante alcanza su valor pico, sea este tanto positivo como negativo.

Las principales aplicaciones de la modulación en frecuencia se relacionan con la transmisión de sonido en los sistemas de televisión analógica, la radiodifusión en FM y FM estéreo en la banda de 80 a 108 MHz, radiocomunicaciones en FM estrecha, micrófonos inalámbricos, entre otras aplicaciones de comunicaciones.

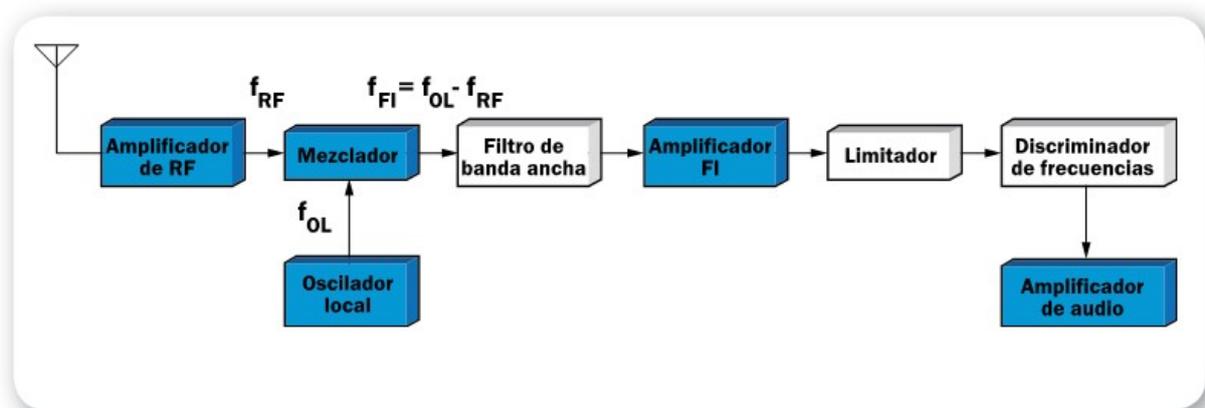
Respecto de la modulación en amplitud, algunas de sus ventajas se relacionan con una mejora de la relación señal a ruido (S/N), mejores características frente al desvanecimiento de la señal y también a la interferencia. Es por ello que se la utiliza en radiodifusión de alta calidad de audio y en el servicio de comunicaciones móviles.

Como contraparte, FM requiere un mayor ancho de banda y en propagación por onda ionosférica se produce distorsión de fase. Entonces, las comunicaciones en FM se limitan a las bandas de VHF y UHF, donde el mecanismo de propagación es por onda directa.

Para generar FM se emplean diferentes métodos. La modulación de un **oscilador a cristal** es uno de ellos. Al oscilador a cristal se le agrega un **diodo de capacidad variable** (diodo varicap) que es capaz de modificar su capacidad con la tensión moduladora aplicada. Esta pequeña variación en la frecuencia se multiplica mediante el pasaje sucesivo en etapas **multiplicadoras de frecuencia** hasta obtener la desviación de frecuencia requerida.

Para recibir FM se utilizan receptores superheterodinos como en AM aunque con algunas diferencias. En FM no es necesaria una amplificación lineal antes de la detección y el **detector de FM** debe ser capaz de transformar las variaciones de frecuencia

de la señal sintonizada en variaciones de amplitud. Además, previo a la etapa de frecuencia intermedia (FI) se incorpora un **filtro pasabanda** para limitar el ancho de banda, el detector es diferente y agrega una **etapa limitadora** de la amplitud de la señal entre el amplificador de FI y el detector. El resto de las funciones son similares.



**Figura 13.** Receptor de FM donde se observan las etapas que incorpora y que lo diferencian de un receptor de AM.

El **limitador** tiene la función de eliminar ruido y las señales moduladas en amplitud. Para recuperar la información original contenida en una señal en FM es posible utilizar dos esquemas. Uno de ellos es el **discriminador reactivo** del tipo inductancia-capacidad y el otro es mediante circuito integrado conocido como PL. El discriminador reactivo presenta dificultades constructivas y de ajuste mientras que el PLL, por tratarse de un circuito integrado diseñado específicamente para esta función, facilita la construcción de un receptor de FM y sus ajustes posteriores.

Una variante a la modulación en frecuencia (FM) es la **modulación en frecuencia estéreo (FME)** que permite modular y emitir señales estereofónicas con sonido en alta fidelidad y en estéreo. Si bien en algunos países como Estados Unidos se utiliza también modulación en AM estéreo, no se encuentra tan difundida como su homólogo en FM, por lo que no es tan conocida.

Entre las características más notables de la FME se destaca la compatibilidad con las transmisiones de FM monofónicas. Es importante saber que la desviación máxima de una señal FM estéreo no debe superar los 75 KHz. Esta desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud de las señales de los canales izquierdo (L) y derecho (R) en una señal de audio estereofónica.

Un **generador de señal FM múltiplex** alimenta al transmisor de FME. La señal FM múltiplex contiene las señales de audio Suma y Resta de los canales de audio izquierdo (L) y derecho (R), además de otros servicios que permiten identificar la emisora recibida, el tema musical (sistema RDS) o habilitar la recepción en estéreo mediante una portadora en 19 KHz. Si las frecuencias de audio contenidas en las señales Suma y Resta exceden los 15 KHz podrían interferir a otros servicios incluidos en la señal múltiplex (MPX), por ejemplo la portadora que habilita la recepción en estéreo y que se encuentra en una frecuencia de 19 KHz.

En la **modulación de fase** se modifica la fase de la onda portadora en función de la amplitud de la señal modulante. La desviación de fase se mide a partir de un valor de referencia. Comparativamente, si la amplitud de la señal modulante es pequeña, la modulación en fase se comporta de manera similar a la modulación en amplitud AM tanto en el gran ancho de banda como en su baja eficiencia energética. Si la amplitud de la señal modulante es grande, se comporta de manera similar a la modulación en frecuencia FM.



### CIRCUITOS INTEGRADOS EN FM

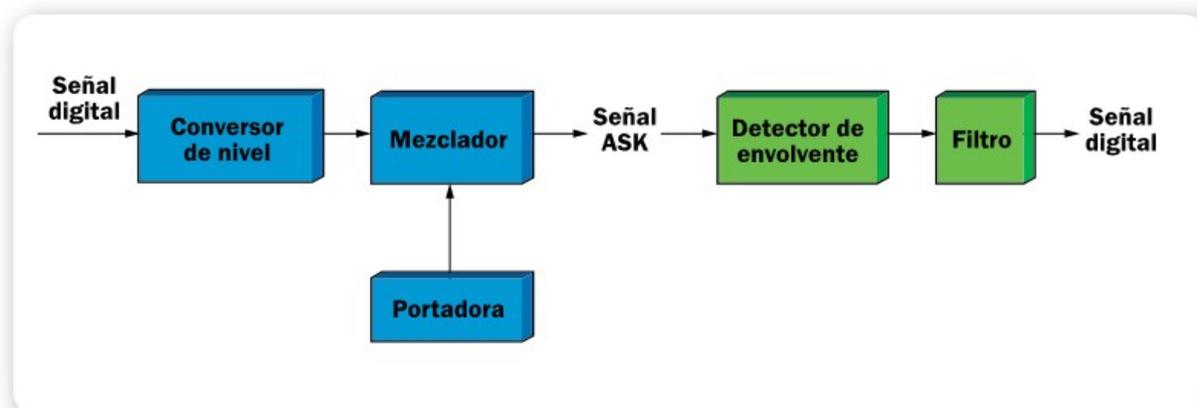


Algunos circuitos integrados como el **NE 561** de **Signetics** contienen en su interior un PLL y otros, como el **TDA7000**, permiten construir una radio en FM completa a muy bajo costo y con un mínimo de componentes, solamente es necesario incorporar un amplificador de audio.

# Sistemas de modulación por pulsos

Si la onda portadora es analógica y la señal modulante es digital, se obtienen tres esquemas posibles: modulación por **desplazamiento de amplitud (ASK)**, en inglés *Amplitude Shift Keying*), **desplazamiento de frecuencia (FSK)**, en inglés *Frequency Shift Keying*) y **desplazamiento de fase (PSK)**, en inglés *Phase Shift Keying*).

ASK es una técnica de modulación por medio de la cual los datos digitales contenidos en la onda modulante producen una variación en la amplitud de la onda portadora analógica. Entonces, la amplitud de la portadora se modificará de acuerdo con los estados binarios de la señal transmitida pero manteniendo la frecuencia y la fase de la señal constantes.



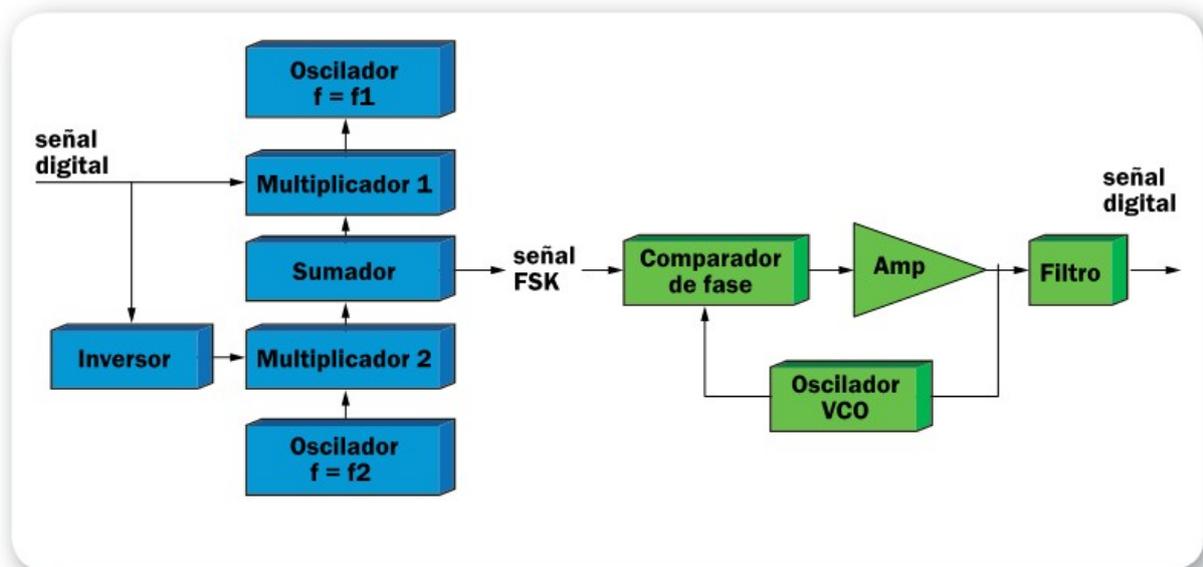
**Figura 14.** Esquema de un modulador y un demodulador en modulación por desplazamiento de amplitud (ASK).

ASK podría estar sometida a ruido en amplitud, como el ruido atmosférico, lo que podría modificar los datos recibidos. Desde el punto de vista energético es tan ineficiente como la modulación AM tradicional ya que requiere un gran ancho de banda y una distribución de energía ineficiente. Una ventaja de ASK es que tanto la modulación como la demodulación son poco costosas.

FSK es una técnica de modulación que emplea una frecuencia específica para representar el 1 binario y una frecuencia distinta para representar el 0 binario. La diferencia entre ambas frecuencias es el **desplazamiento de frecuencia**. El receptor FSK podría utilizar un detector de FM para diferenciar entre ambas frecuencias FSK y recuperar los datos originales.

A la salida del amplificador se toma la señal como referencia para un **oscilador controlado por tensión (VCO)**. El **comparador de fase** genera en su salida una señal que depende del VCO y de la entrada FSK. El **filtro pasa bajos** conforma la señal para recuperarla en su forma original.

Respecto de ASK, FSK es menos susceptible de errores ya que el receptor FSK analiza cambios específicos de frecuencia y estos no se relacionan con el ruido presente en la comunicación. Una desventaja es que el ancho de banda es el doble del utilizado por ASK.

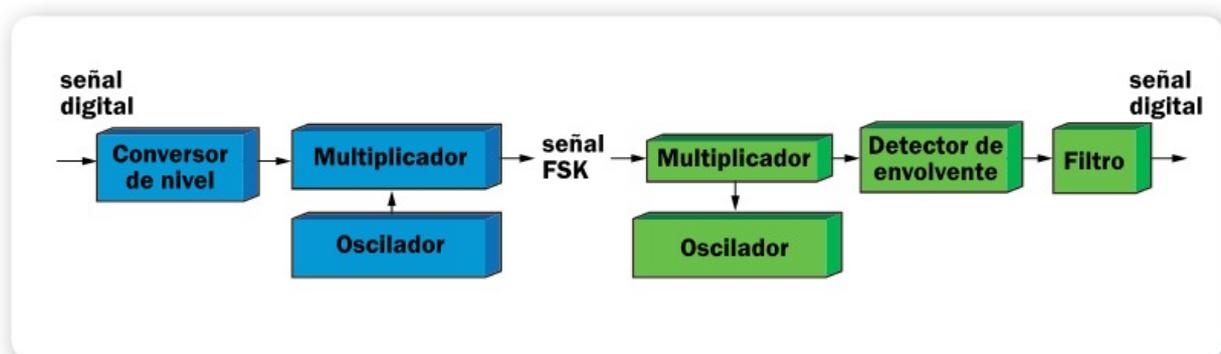


**Figura 15.** Esquema de un modulador y un demodulador en modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).

Algunas de las aplicaciones de FSK se relacionan con la transmisión sobre líneas de voz y en transmisiones en alta frecuencia. PSK es una técnica donde la fase de la portadora varía entre

dos valores. Por ejemplo:  $0^\circ$  para un 0 binario y  $180^\circ$  para el 1 lógico. Esta técnica también se conoce como **BPSK** (*Binary Phase Shift Keying*). El **demodulador PSK** debería determinar la fase de la señal recibida con respecto a la referencia de fase.

En la **Figura 16** observamos un modulador PSK donde los datos binarios de entrada, en **codificación unipolar**, se convierten en bipolares en el bloque **conversor de nivel**. En la codificación unipolar, el 1 lógico se corresponde con un nivel de tensión eléctrica, por ejemplo 5 Volts, y el 0 lógico con un valor de tensión menor como 0 Volt. Por el contrario, la **codificación bipolar** asigna al 1 lógico valores de tensión con polaridades alternadas positivas y negativas, mientras que el valor lógico 0 siempre se transmite con valor de tensión 0.



**Figura 16.** Esquema de un modulador y de un demodulador en modulación por desplazamiento de fase (PSK).

Continuando con la **Figura 16**, en el bloque **multiplicador** ingresan la señal digital invertida proveniente del conversor de nivel y la onda portadora generada en el bloque **oscilador**. Como conse-



PROFESOR EN LÍNEA



Si tiene alguna consulta técnica relacionada con el contenido, puede contactarse con nuestros expertos: [profesor@redusers.com](mailto:profesor@redusers.com)

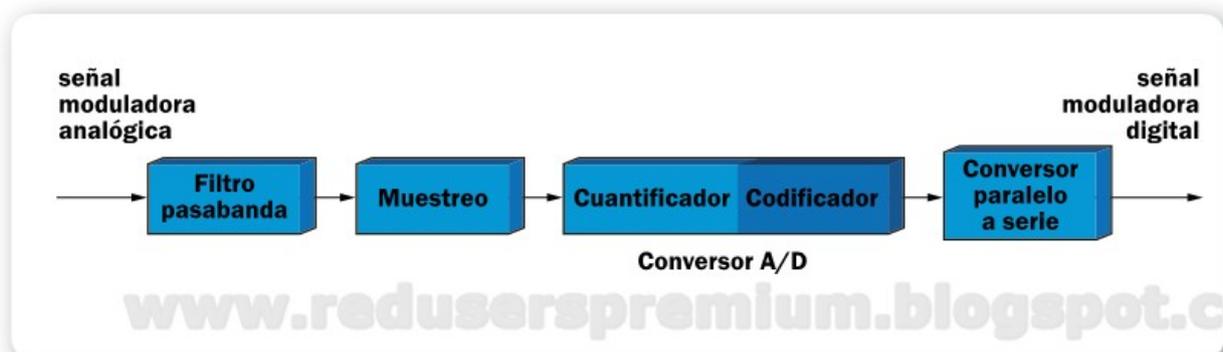
cuencia de la acción del bloque multiplicador, a la salida de este se obtiene una señal PSK. En el receptor PSK el conjunto **detector de envoltente y filtro** recupera la señal digital original.

La ventaja de la técnica PSK es que es menos susceptible de errores que ASK y ocupa el mismo ancho de banda que esta. Comparado con FSK, PSK es más eficiente en cuanto al uso del ancho de banda y es posible obtener tasas de datos altas. Por otra parte, la mayor complejidad de la detección de la señal y del proceso de recuperación tanto frente a ASK como a FSK constituye su principal desventaja.

## ➤ Muestreo, cuantificación y codificación de señales

Tanto el muestreo, la cuantificación y la codificación de señales son técnicas utilizadas en **modulación de pulsos** a partir de una portadora digital modulada por señales analógicas.

El muestreo, cuantificación y codificación de señales son parte del proceso de conversión de una señal analógica a digital previo a su transmisión bien por cable o por fibra óptica.



**Figura 17.** Diagrama básico de un dispositivo capaz de convertir una señal moduladora analógica en otra señal moduladora digital.

Como vemos en el diagrama de la **Figura 17**, la primera etapa corresponde a un **filtro pasabanda** cuya función es la de bloquear las frecuencias más altas de la señal modulante analógica y así simplificar el muestreo posterior. Luego, se realiza el **muestreo** por el cual se toman muestras de la amplitud de la señal modulante analógica en un tiempo determinado. El proceso de cuantificación se realiza en dos etapas y en un dispositivo conocido como **conversor analógico a digital** (conocido como **DAC** por sus siglas en inglés, o A/D en español). En la primera etapa de un conversor A/D (denominada **cuantificador**) a cada una de las muestras se le otorga un valor cuantificado dependiendo de la magnitud de cada muestra. En el **codificador** se asigna un código binario a cada valor anteriormente cuantificado. Finalmente, la señal ya convertida en un conjunto de 0 y 1 pasa por un **conversor paralelo a serie** de modo de convertir la salida en un único hilo de comunicación.

## Múltiplex por división de tiempo (TDM)

Es una técnica que permite introducir muestras de señales provenientes de otros canales de comunicación en los espacios de tiempo existentes entre dos muestras consecutivas de un mismo canal. Posibilita enviar varias señales por un único medio de comunicación.

Para señales analógicas, las muestras se realizan de acuerdo al **Teorema del muestreo de Nyquist-Shannon** y en el receptor se reconstruyen cada una de las señales multiplexadas originalmente



### TEOREMA DEL MUESTREO DE NYQUIST-SHANNON



La mínima frecuencia con la que se debe muestrear una señal debe al menos duplicar la máxima frecuencia a muestrear. Para una señal de frecuencia máxima de 20 KHz, la mínima frecuencia de muestreo será de 40 KHz.

en el transmisor. Para que esta recuperación sea exitosa es necesaria alguna forma de sincronización entre el transmisor y el receptor asegurando un funcionamiento coordinado de modo que el receptor sea capaz de reconocer los datos en el instante adecuado. Al conjunto de todas las muestras tomadas durante un ciclo de muestreo se lo denomina **trama**.

También es posible multiplexar en el tiempo señales binarias. Es más sencillo que el multiplexado de varias señales analógicas.



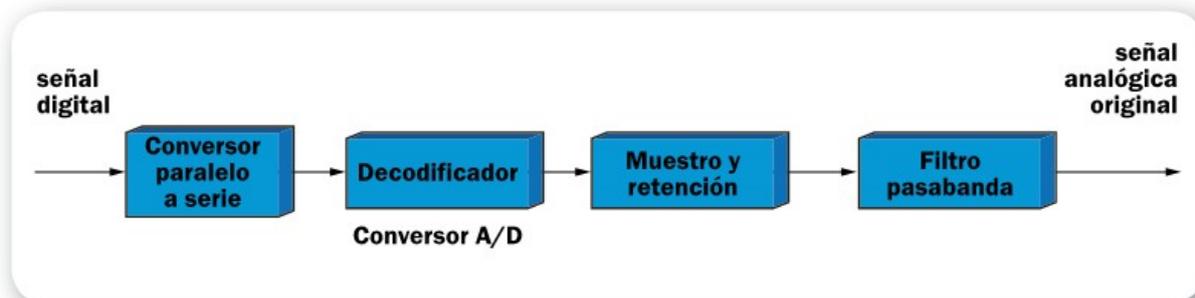
## Modulación digital y multinivel

En la modulación analógica se varía alguna de las diferentes características (amplitud, frecuencia, fase) de la señal portadora. Las técnicas de modulación que emplean una onda portadora analógica y una modulante analógica (AM, FM y PM) pertenecen a esta clase.

Bajo la denominación **modulación digital** se encuentran los métodos de modulación que emplean tanto una portadora analógica y una moduladora analógica como las ya conocidas técnicas de modulación ASK, FSK y PSK o una portadora digital y la modulante analógica, conocida como **modulación por pulsos**. Mediante esta técnica, se transmiten señales originalmente analógicas moduladas por un tren de pulsos donde se modifican la **amplitud (PAM)**, la **duración (PDM)** o la **posición (PPM)** de la portadora.

Para la transmisión de señales analógicas de forma digital la **modulación por pulsos codificados (PCM)** es mucho más utilizada que las anteriores. Consiste en un proceso por el cual se toman una serie de valores de la señal analógica, o muestras, a intervalos regulares de tiempo. A continuación, esas muestras se cuantifican para pasar de tomar infinitos valores a un número finito de valores mediante la conversión analógico a digital de la señal original. Luego, cada uno de estos valores finitos será codificado en una sucesión de 0 y 1 convirtiendo la señal original analógica en una señal digital.

Finalmente, se transmite el código digital de cada muestra (las muestras se toman de acuerdo con el Teorema de Nyquist-Shannon). Para más información sobre el proceso de conversión de la señal analógica a digital podemos repasar el tema **Muestreo, cuantificación y codificación de señales** que vimos en este capítulo.



**Figura 18.** Diagrama en bloques elemental de un dispositivo capaz de convertir una señal digital en la señal moduladora analógica original.

El **conversor paralelo a serie** transforma los datos originales en serie al formato paralelo. El **decodificador** convierte los valores binarios en los valores originales de las muestras. Para ello, además deberían pasar estas muestras por el bloque de **muestreo y retención** donde los valores de cada muestra son retenidos hasta la llegada de la próxima muestra de modo de ir conformando la señal original. Finalmente, el **filtro pasabajos** volverá a establecer la forma de onda original con lo que finaliza el proceso de recuperación de la señal analógica original.



## VARIANTES DE PCM



Una variante de la modulación por pulsos codificados es la **modulación PCM diferencial** donde se toman muestras de una señal que es la diferencia entre ella y una predicción de la señal de entrada. En la **modulación delta** la diferencia anterior se muestrea y codifica con dígitos binarios.

En el sistema binario, la cantidad de combinaciones posible depende del número de bits utilizados.

$$2^{n^{\circ} \text{ bits}} = \text{N}^{\circ} \text{ de combinaciones posibles}$$

Si el número de bits es 1, se obtienen dos combinaciones posibles (0 y 1). Si se asigna un valor de fase a cada combinación, por ejemplo  $0^{\circ}$  y  $180^{\circ}$ , respectivamente, se obtiene la **modulación 2PSK**.

En **modulación multinivel** se utilizan más de dos niveles de codificación. Se trabaja con dos bits y se producen 4 amplitudes diferentes. Esta técnica de modulación se denomina **modulación de amplitud en cuadratura**. Si el número de bits es 2, las combinaciones posibles son cuatro (00, 01, 10 y 11). Si a cada combinación anterior se le asigna la fase  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  y  $270^{\circ}$  da lugar a la modulación **4PSK** o **QPSK** (en inglés *Quadruple Phase Shift Keying*). Esta técnica requiere la mitad del ancho de banda de 2PSK aunque resulta más sensible a la interferencia, aspecto que puede mejorarse aumentando la relación S/N mediante la utilización de circuitos electrónicos específicos.



## RESUMEN



Hemos expuesto elementos de modulación con portadora analógica AM, FM, PM y ASK, FSK y PSK; métodos de modulación con portadora digital PAM, PDM y PPM además de PCM y multinivel. Desarrollamos diagramas de moduladores, demoduladores y las bases de la Teoría de la Información.



# Redes alámbricas e inalámbricas

En este capítulo se analizarán las bases del funcionamiento de las redes de área local y las características específicas de las redes LAN inalámbricas.

▼ Interconexión de sistemas abiertos.....	52	▼ Redes LAN inalámbricas..	65
▼ Redes LAN y WAN .....	56	▼ Enlace en 2.4 GHz.....	70
▼ Redes LAN cableadas.....	60	▼ Resumen.....	74



[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)

## Interconexión de sistemas abiertos

Los sistemas de comunicaciones que intercambian información entre computadoras tienen características específicas en cuanto a los dispositivos involucrados (cableado, conectores, señales, etcétera), la información que enviamos organizada en forma de bits, y la identificación de los dispositivos involucrados en la comunicación para asegurar que la información enviada sea recibida por el destinatario.



**Figura 1.** El desarrollo de la tecnología de comunicaciones satelitales ha impulsado la masificación en el uso de Internet.

Para asegurar la compatibilidad entre distintos fabricantes de sistemas de comunicaciones, en 1983 el **Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT)** y la **International Organization for Standardization** (Organización Internacio-

nal de Estandarización, **ISO**) definieron reglas de interconexión e implementaron una arquitectura común adoptando un modelo de referencia de 7 **niveles** o **capas** llamado **Modelo OSI/ISO** o **Modelo OSI de la ISO** y que se ocupa de la interconexión de sistemas abiertos. Este modelo se definió en la norma **ISO-7494**. La ISO es una entidad que promueve la estandarización de normas para todas las ramas industriales.

La interconexión de sistemas abiertos (en inglés, *Open Systems Interconnection*) es un conjunto de normas para comunicaciones entre sistemas diferentes. La organización por niveles o capas, conocida como **jerarquía de protocolos**, asegura la modularidad del software que realiza la comunicación y que pueda mejorarse afectando solamente a la capa necesaria.

Cada nivel o capa del modelo OSI se construye sobre su antecesor, por lo que utiliza los servicios diseñados para él, siendo un servicio la comunicación que se produce dentro de un mismo dispositivo. Cada nivel es responsable por ofrecer servicios a los niveles superiores. Dentro de cada nivel coexisten diferentes servicios, por lo que un nivel superior puede requerir cualquiera de los servicios ofrecidos por los niveles inferiores de acuerdo con la función a implementar.

Un **protocolo** es la especificación de un conjunto de reglas que permite la interconexión entre dispositivos diferentes ubicados dentro de un nivel en el modelo OSI.



## UIT-T

**CCITT** era el nombre del comité de normalización de las telecomunicaciones dentro de la **Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)**. Desde 1992 se denomina **Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T)** y tiene su sede en Ginebra, Suiza.



**Figura 2.** En el modelo OSI cada capa cumple una función específica.

## Arquitectura TCP/IP

Una **arquitectura de red** es un conjunto de capas y protocolos. Cada capa tiene interfaces que facilitan la comunicación con las capas superiores e inferiores. Las capas pueden ofrecer servicios orientados a conexión y no orientados a conexión. En los primeros, una vez establecida la conexión se puede intercambiar información en forma segura y ordenada. Una vez finalizada la conexión esta



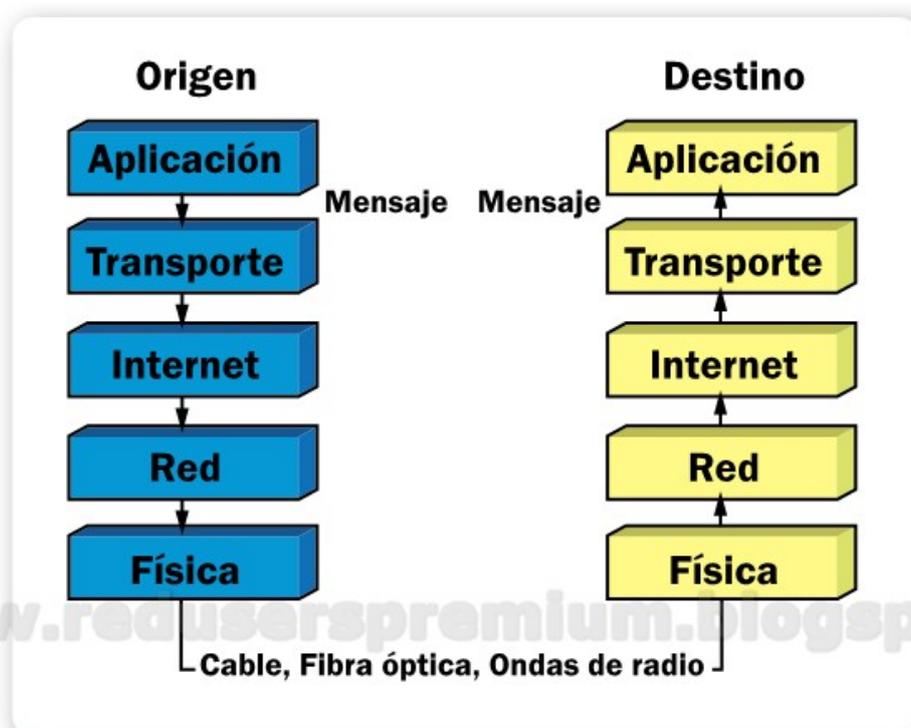
### ¿MODELO O ARQUITECTURA?



Definimos a OSI como un modelo y no como una arquitectura dado que la ISO solamente definió la función general que debía implementar cada capa sin explicitar los servicios y protocolos. En cambio, TCP/IP es una arquitectura ya que define protocolos para cada capa o nivel.

se libera. En los servicios no orientados a la conexión el mensaje es enviado sin establecer previamente una conexión entre origen y destino aunque cada mensaje contiene la dirección completa del destino. Dos mensajes enviados al mismo destino pueden transitar por rutas completamente diferentes antes de llegar a él. De esta manera, es posible que un mensaje posterior alcance su destino antes que el enviado en primer lugar.

**TCP/IP** es un conjunto de protocolos relacionados entre sí y apilados en capas. Es la arquitectura de red más popular y la base de la comunicación por Internet, desarrollada por el proyecto **DARPA** del **Departamento de Defensa de Estados Unidos** en 1973 como una red para interconectar redes diferentes, tolerante a fallas y que soporta aplicaciones diferentes. Luego se denominó TCP/IP por las iniciales de sus dos protocolos más importantes. Es una arquitectura abierta, independiente del fabricante de hardware y software, orientada a la conexión full-duplex y para conexiones equipo a equipo.



**Figura 3.** Si bien las capas son independientes, en una comunicación entre nodos TCP/IP estas se relacionan mediante servicios.

El protocolo ICMP permite resolver incidencias que puedan ocurrir en la Red. El comando **ping** lo utiliza para saber si una máquina está funcionando y además conocer el **retardo de ida y vuelta** (en inglés, *round-trip*). Este comando envía un mensaje ICMP de petición de eco hacia el destino indicado y a su vez este debe enviar la respuesta de eco. Si se recibe, se indica por pantalla que el dispositivo remoto está activo. Con limitaciones permite saber por qué equipos pasan los datos hasta que llegan a destino.

## Redes LAN y WAN

Una red en un espacio reducido es una **red de área local** (en inglés, *Local Area Network* o **LAN**). Las redes LAN cableadas utilizan cables UTP, coaxil o fibra óptica para interconectar dispositivos mientras que las redes LAN inalámbricas (**WLAN**) utilizan enlaces mediante ondas de radio.

Por su **extensión geográfica**, una red de área local permite la interconexión de dispositivos físicamente próximos; una **red de área metropolitana** (en inglés, *Metropolitan Area Network* o **MAN**) es una red que se extiende sobre una ciudad; y una **red de área amplia** (en inglés, *Wide Area Network* o **WAN**) se extiende sobre un área geográfica más grande, como por ejemplo un país.

En una LAN se reconocen la **tecnología de transmisión** (redes de difusión y redes punto a punto), el **método de acceso al medio** (CSMA/CD y paso de testigo) y la **topología** física y lógica.

En una red de **difusión** se comparte un canal de comunicación único con todos los equipos de modo que un equipo accede a la información utilizando su dirección específica. En las redes **punto a punto** se realizan conexiones entre pares de computadoras de manera que esas computadoras se pueden interconectar entre sí utilizando más de un camino. Es la configuración más utilizada para comunicar redes LAN con una MAN o una WAN.

En la actualidad, CSMA/CD y paso de testigo son los **métodos de acceso al medio** más utilizados. **CSMA/CD** (en inglés, *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection* o Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Detección de Colisiones) es de **acceso aleatorio**. Cada computadora monitorea el canal de comunicaciones para determinar si está libre y así evitar que dos o más estaciones transmitan y superpongan los mensajes. Detectado el canal libre, comienza a transmitir.

Una vez que comienza la transmisión continúa “escuchando” el medio de comunicación para detectar si se produce una colisión, en cuyo caso detiene el proceso y luego espera un tiempo aleatorio antes de recomenzarlo.

**Paso de testigo** (en inglés, *Token Passing*) asegura que todos los equipos oportunamente puedan emplear el medio para transmitir. Si un equipo recibe el testigo podrá transmitir y recibir información y, una vez que haya terminado, dejará libre el testigo para ser enviado al próximo equipo.

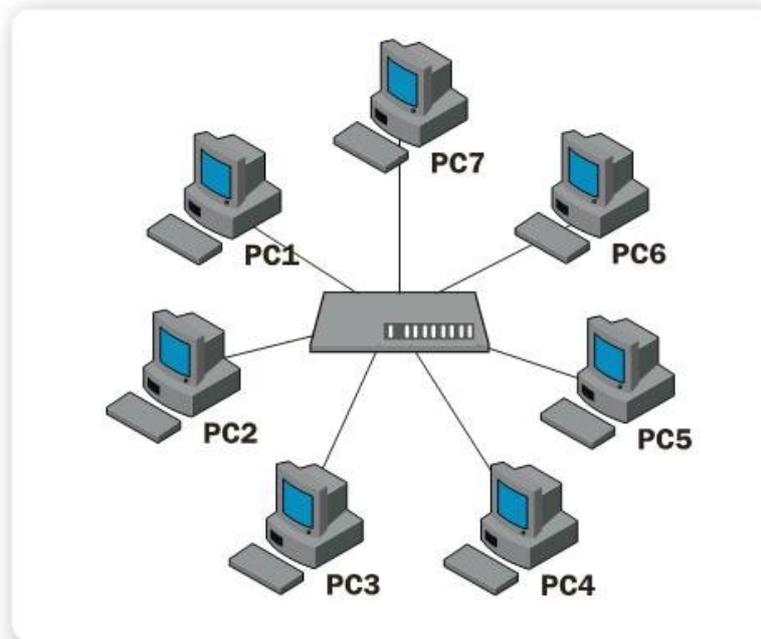
La **topología física** de la red indica la manera en que están interconectadas las computadoras que la conforman. La **topología lógica** indica cómo se distribuye la información enviada por la red. Existen tres tipos básicos de distribución física: **estrella, bus y anillo**.

En la topología en **estrella** (como la que vemos representada en la **Figura 4**), un nodo central conecta todos los equipos.



## NORMAS IEEE

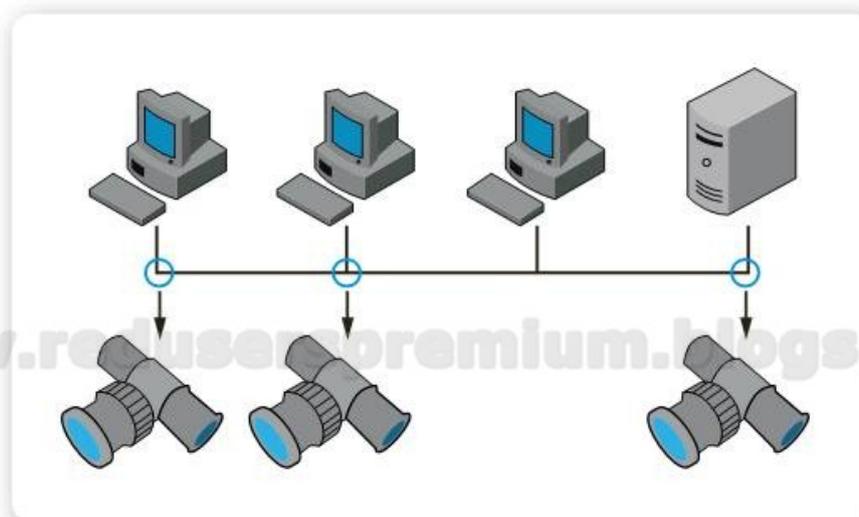
El **IEEE** (en inglés, *Institute of Electric and Electronic Engineers* o Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas) de Estados Unidos definió el estándar **IEEE 802.3**, adoptado en las redes LAN Ethernet, y el **IEEE 802.5**, adoptado en redes Token Ring como mecanismos de acceso al medio.



**Figura 4.** Topología en estrella utilizada en redes LAN Ethernet.

La desventaja radica en que si fallara el nodo central toda la red fallaría. La ventaja principal es la **modularidad**, la posibilidad de separar al equipo que falla sin perjudicar al resto de la red. Es posible aumentar el número de nodos y de equipos conectados de manera sencilla y sin interrumpir su funcionamiento.

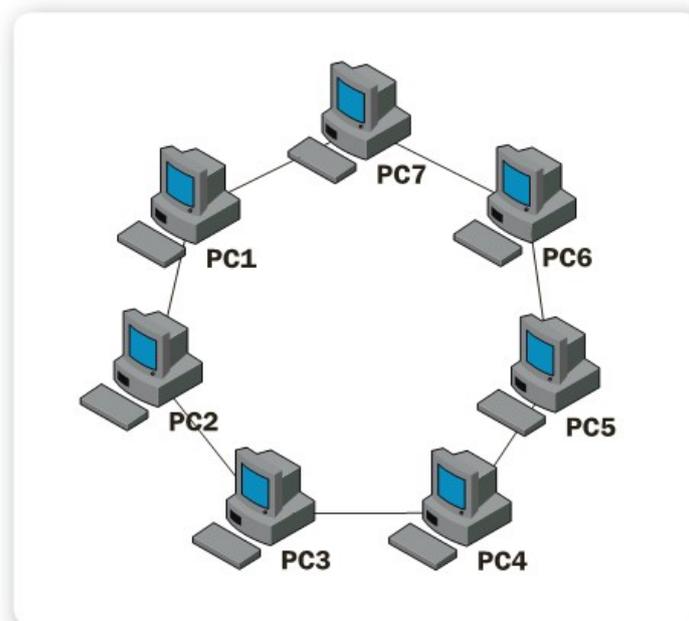
En la topología en **bus** todos los nodos que componen la red quedan unidos entre sí uno a continuación del otro.



**Figura 5.** La topología en bus es más sencilla de implementar.

Una ventaja es que presenta menos dificultades de implementación ya que no existe una acumulación de cables en la cercanía al nodo central como en una red en estrella. Una avería en el cableado hará que la red no funcione total o parcialmente según el sector donde se produzca. Por tratarse de un bus bidireccional, interceptar la información por parte de usuarios no autorizados es más probable que en una red en estrella. En ambos extremos del bus se conectan **terminaciones** para evitar reflexiones de señal. Su impedancia característica es 50 Ohm.

En la topología en **anillo** se conectan todas las computadoras formando un camino cerrado.



**Figura 6.** Topología en anillo utilizada en redes de alta velocidad.



## RED TOKEN RING



La red Token Ring es una red definida bajo el estándar **IEEE 802.5**. Tiene una topología física y una topología lógica en anillo y usa el **paso de testigo** como método de acceso al medio. Si se la conecta con fibra óptica puede superar velocidades de 100 Mbps.

La información se transfiere en un solo sentido en el anillo mediante un paquete especial de datos llamado **testigo** que pasa de un nodo a otro hasta alcanzar el equipo destino. El cableado es más complejo debido al mayor costo del cable y la utilización de **unidades de acceso multiestación (MAU)** para implementar físicamente el anillo. Las MAU permiten derivar parte de las comunicaciones en caso de falla de una parte del anillo y agregar nuevos equipos a la red sin mayores complicaciones. Las redes Token Ring y FDDI son un ejemplo. Las topologías **híbridas** son las más frecuentes y surgen de la unión de topologías clásicas como estrella-estrella, bus-estrella, entre otras.



## Redes LAN cableadas

En una red LAN se comparten recursos que están disponibles para cualquier usuario, como el software, los datos, los equipos y la conexión a Internet. En este tipo de redes el mecanismo de enlace entre dispositivos está bajo el control de la persona o ente que estableció la red LAN. Respecto a la topología, la más popular es en estrella, y los medios de transmisión son el cable de par trenzado, la fibra óptica y frecuencias de radio. En una red LAN que se comunica con Internet el protocolo de comunicaciones es TCP/IP y el método de acceso al medio es CSMA/CD.

Podemos implementar físicamente una red LAN mediante distintas tecnologías, entre ellas Ethernet, una de las formas de acceso a la red Internet. El primer estándar de Ethernet es de 1976 y fue implementado por la empresa Xerox. Luego fue revisado por otras compañías (Intel, DEC y la misma Xerox) aumentando la velocidad de transmisión a 10 Mbps. Más tarde se adaptó para ser compatible con la norma IEEE 802.3. Una LAN puede estar basada en una o más de estas tecnologías: **Ethernet**, **Fast Ethernet** y **Gigabit Ethernet**.

Funcionan de modo similar aunque la diferencia más significativa entre cada una de ellas es la velocidad de transferencia de la información: mientras una red Ethernet opera a 10 Mbps por segundo, una red con tecnología Fast Ethernet lo hace a 100 Mbps y otra con Gigabit Ethernet a la mayor velocidad, 1 Gbps.

Una red LAN utiliza **hardware** (placas de interfaz de red o, en inglés, *Network Interfaz Card*, NIC, y otros dispositivos de interconexión, cableado y conectores) y **software** que ofrezca los servicios necesarios para las aplicaciones. El software, **sistema operativo de red**, está integrado al sistema operativo.



**Figura 7.** Tarjeta de red típica utilizada en redes LAN con tecnología Ethernet.



## ETHERNET DE ALTA VELOCIDAD



La tecnología Gigabit Ethernet soporta diferentes medios físicos y distintos valores máximos de distancia. El **Grupo de Estudio de Alta Velocidad IEEE 802.3** identificó tres escenarios de conexión: fibra óptica **multimodo** con una longitud máxima de 500 m; fibra óptica **monomodo** con una longitud máxima de dos kilómetros; y una conexión basada en **cable de cobre** con una longitud de no menos de 25 m.

Las NIC conectan la PC a la red LAN. Antes de adquirir una NIC es importante conocer la velocidad del dispositivo de interconexión (100 Mbps o 1 Gbps, por ejemplo) y el tipo de conector que necesita para recibir el cable de red, ficha RJ-45 para cables de par trenzado y un conector de fibra para ese cableado.



**Figura 8.** Shield para conectar una placa Arduino a una red Ethernet.

En una topología en estrella, un concentrador o un conmutador (o un encaminador) puede actuar como nodo central. Un concentrador (en inglés, *HUB* o repetidor) reenvía toda la información que recibe a los equipos conectados a él.



**Figura 9.** HUB para redes de área local cableadas. Conformar el nodo central en una topología estrella.

Es conveniente que utilicemos un HUB solamente en pequeñas redes ya que en redes más grandes podríamos generar una carga muy alta a causa de un tráfico de datos excesivo. En el modelo OSI, el HUB es un dispositivo de Capa 1 y permite extender el alcance de una red más allá de la norma Ethernet, en función de la velocidad de interconexión entre los dispositivos.

Un conmutador, más conocido por su nombre en inglés, *switch*, envía información a un dispositivo específico y no a todos. Gestiona el tráfico en la red mejorando su seguridad y permite conectar dispositivos a distinta velocidad.

En redes con gran cantidad de computadoras se utiliza combinado con un HUB y se instala en el sector de la red donde el tráfico es mayor. En el modelo OSI, es un dispositivo de Capa 2.



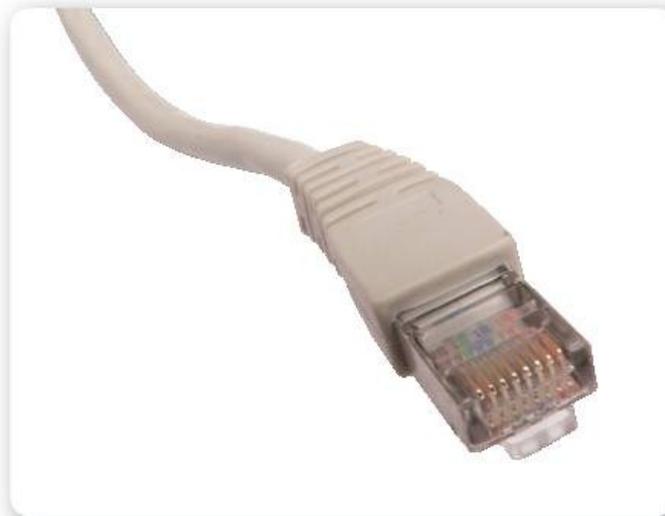
**Figura 10.** Switch utilizado en redes de área local cableadas como nodo central en una topología estrella.

Un encaminador, comúnmente llamado por su nombre en inglés, router, facilita la conexión a Internet. Es decir, su función es la de interconectar redes distintas entre sí, seleccionar la ruta más adecuada para enviar los datos, balancear el tráfico entre líneas y posibilitar la interconexión con redes WAN. Por sus características, en el modelo OSI es un dispositivo de Capa 3.



**Figura 11.** Router utilizado en redes de área local cableadas. Encamina información entre redes diferentes.

El cable par trenzado de cobre y la fibra óptica son los tipos de cable que más utilizamos en redes LAN.



**Figura 12.** Cable de par trenzado con conector RJ-45 para redes LAN Ethernet.



### CATEGORÍAS DE CABLES DE PAR TRENZADO



Podemos diferenciar fácilmente a los cables de par trenzado según su Categoría: **3** (hasta los 16 Mbps de velocidad), **Categoría 4** (hasta los 20 Mbps), **Categoría 5** (hasta los 100 Mbps) y **Categoría 6** (hasta 1 Gbps).

El tipo de cableado que debemos utilizar dependerá de la velocidad de transmisión de los datos en banda base por nuestra red, tal como detallamos en la **Tabla 1**.

CONFIGURACIONES PARA REDES ETHERNET		
▼ CABLEADO	▼ VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	
	100 Mbps (Fast Ethernet)	1 Gbps (Gigabit Ethernet)
<b>Par trenzado</b>	100BASE-T Soporta topología física en estrella y lógica en bus.	1000BASE-T Soporta topología física en estrella y lógica en bus.
<b>Fibra óptica</b>	100BASE-F Soporta topología física en estrella y lógica en bus.	1000BASE-F Soporta topología física en estrella y lógica en bus.

**Tabla 1.** Distintas configuraciones de redes Ethernet y los tipos de cables más adecuados para comunicaciones en banda base.

En redes LAN con tecnología Fast Ethernet utilizamos cables de par trenzado especiales llamados cables Categoría 5 que soportan velocidades de comunicación hasta 100 Mbps.

Para instalaciones que requieran mejores características de transmisión y menores interferencias conviene utilizar cables de par trenzado apantallado (STP) a pesar de su mayor costo.

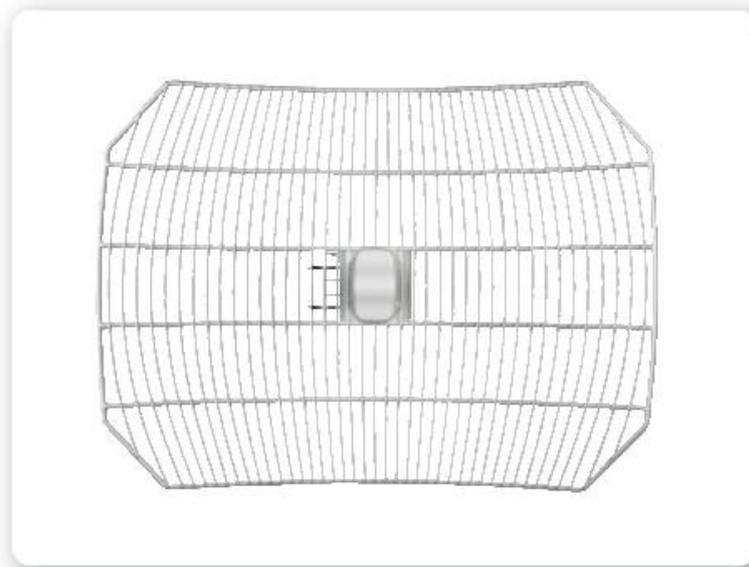


## Redes LAN inalámbricas

Este tipo de redes LAN es una alternativa a la red cableada (o bien una extensión de ella) donde los dispositivos se enlazan por radio. Las ventajas tienen que ver con la movilidad de los dispositivos, la

facilidad de instalación y la flexibilidad; mientras que entre sus desventajas podemos mencionar una menor velocidad (54 Mbps y 100 Mbps según la norma utilizada, frente a 100 Mbps y 1 Gbps de una LAN cableada) y ciertos problemas de seguridad ante intrusiones.

En 1985 el Comité Federal de Comunicaciones (en inglés, *Federal Communications Commission*, o *FCC*) estableció la **banda ISM** (siglas del inglés *Industrial, Scientific and Medical*) a las redes inalámbricas que utilizan **modulación por espectro ensanchado** (en inglés, *Spread Spectrum* o *SS*) y asignó las bandas de 902 a 928 MHz, 2400 a 2485 MHz y 5.725 a 5.850 GHz. La banda ISM de 2400 MHz a 2450 MHz se destina al servicio que comercialmente se conoce como *WiFi*.



**Figura 13.** Para extender el alcance de una red inalámbrica se recurre a una antena exterior en 2.4 GHz conectada al access point.

El IEEE desarrolló el **estándar IEEE 802.11** para redes inalámbricas, que permite la conexión de dispositivos fijos o móviles por medio de puntos de acceso inalámbricos mediante ondas de radio. Inicialmente ofrecía una velocidad de transmisión de 2 Mbps en 2.4 GHz y una cobertura de 100 metros. El Estándar IEEE 802.15.4 especifica los parámetros de las capas Física y de Enlace (MAC) en redes inalámbricas. En la capa Física utiliza las bandas de 2.4 GHz

y 5 GHz y las señales se modulan mediante ensanchado de espectro. IEEE 802.11 utiliza **modulación de espectro ensanchado por salto de frecuencia** (en inglés, *Frequency Hopping Spread Spectrum* o *FHSS*) donde la señal se emite sobre un conjunto de frecuencias de radio aparentemente aleatorias y este salto en frecuencia está sincronizado con el transmisor. Un receptor no autorizado es incapaz de recuperar la señal original. Las ventajas de la FHSS son la alta resistencia al ruido e interferencia, la dificultad para interceptar estas señales y la posibilidad de compartir una banda de frecuencias con otros tipos de emisiones con interferencia mínima.

**DSSS** (en inglés, *Direct Sequence Spread Spectrum*) utiliza una secuencia de bits especial para codificar cada uno de los bits que componen la señal previo a la modulación digital de la onda portadora para aumentar el ancho de banda de la señal transmitida y reducir el nivel de potencia para cualquier frecuencia. Un receptor no autorizado la identificará como ruido. La norma IEEE 802.11b utiliza DSSS.

IEEE 802.11 a/g/n utilizan la técnica de modulación **OFDM** (en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) al enviar un conjunto de portadoras en diferentes frecuencias. Cada portadora transporta información modulada digitalmente.

CSMA/CA es el mecanismo de acceso al medio. Este mecanismo reduce la probabilidad de colisiones entre los datos enviados desde una computadora. CSMA/CD verifica que el canal de comunicaciones se



## ARDUINO LEONARDO

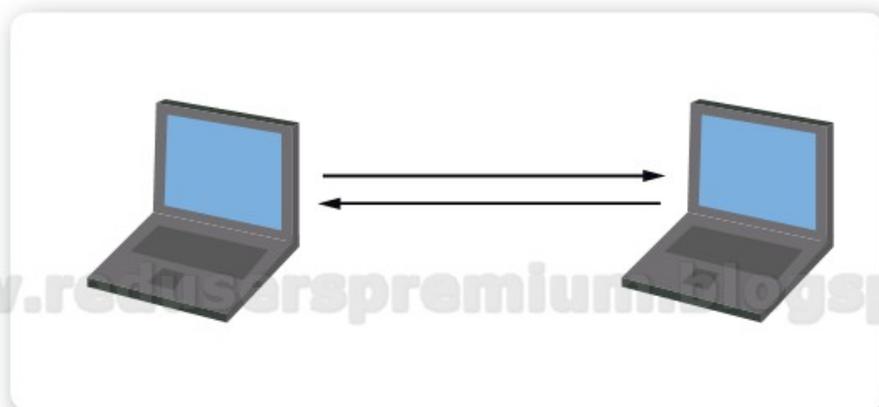


**Arduino Leonardo** es una placa microcontroladora basada en el **Atmega32u4** y difiere de las anteriores en que incluye la comunicación por USB eliminando la necesidad de utilizar un segundo microcontrolador, como ocurre con **Arduino UNO**. Tiene 20 entradas/salidas digitales, un cristal de 16 MHz y podemos conectarla a una PC mediante un cable USB.

encuentre libre antes de que una computadora inicie una comunicación. La norma IEEE 802.11n ofrece hasta 600 Mbps nominales en 2.4 GHz y se utiliza en redes LAN inalámbricas que requieren altas tasas de transferencia de datos. Recurre a técnicas de antenas múltiples e incrementa el ancho de banda de trabajo desde 20 MHz a 40 MHz (dos canales simultáneos de 20 MHz separados). Con 300 Mbps de velocidad y 40 MHz de ancho de banda mejora significativamente frente a 802.11b (11 Mbps y 20 MHz) y 802.11g (54 Mbps y 20 MHz).

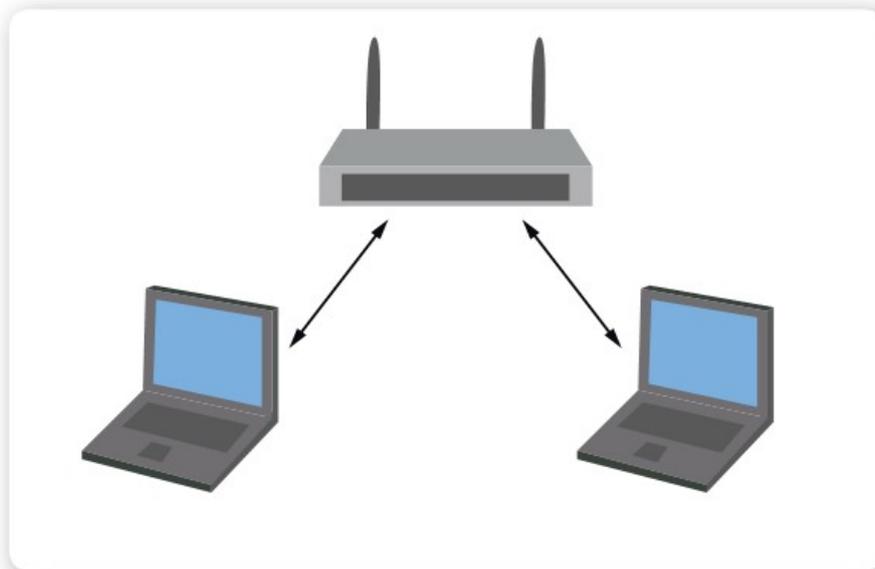
IEEE 802.11n emplea tecnología **MIMO** (en inglés, *Multiple Input Multiple Output* o Entradas Múltiples/Salidas Múltiples) con múltiples antenas transmisoras y receptoras operando con más información respecto de una sola antena al reconocer señales reflejadas, o **multiruta**, que llegan al receptor un instante de tiempo posterior a la señal directa. Al igual que con el protocolo IEEE 802.11 a/b y g, las señales multiruta degradan la habilidad del receptor para recuperar el mensaje a partir de la señal recibida.

Las configuraciones en una red WLAN son dos: independiente e infraestructura. En configuración independiente, ad-hoc, o entre pares (en inglés, **peer to peer**) los equipos se comunican entre sí en forma directa. Un dispositivo únicamente accede a los recursos de otro y el área de cobertura de la red es restringida.



**Figura 14.** En el modo independiente las computadoras se comunican entre sí de forma directa.

El modo infraestructura utiliza un punto de acceso (en inglés, *access point*, o AP) que coordina las comunicaciones. Permite ampliar el área de cobertura ya que un equipo selecciona un AP y se asocia a él. El tráfico de datos entre la red WLAN y la red cableada circula a través del punto de acceso.



**Figura 15.** En modo infraestructura se incorpora un punto de acceso para las computadoras.

Las **antenas** son dispositivos que permiten transmitir y recibir ondas de radio en la banda de 2,4 GHz, y los **puentes** (en inglés, *bridge*) extienden el alcance de la red WLAN.



## SHIELDS PARA ARDUINO



Las **shields** son placas que pueden ser conectadas encima de la placa **Arduino** (plataforma de hardware libre) extendiendo sus capacidades. Las diferentes shields siguen la misma filosofía que el conjunto original: son fáciles de montar y baratas de producir. Algunos ejemplos son las shields WiFi y Ethernet que nos permiten conectar Arduino a Internet.



**Figura 16.** Router inalámbrico en 2.4 GHz para redes WLAN.

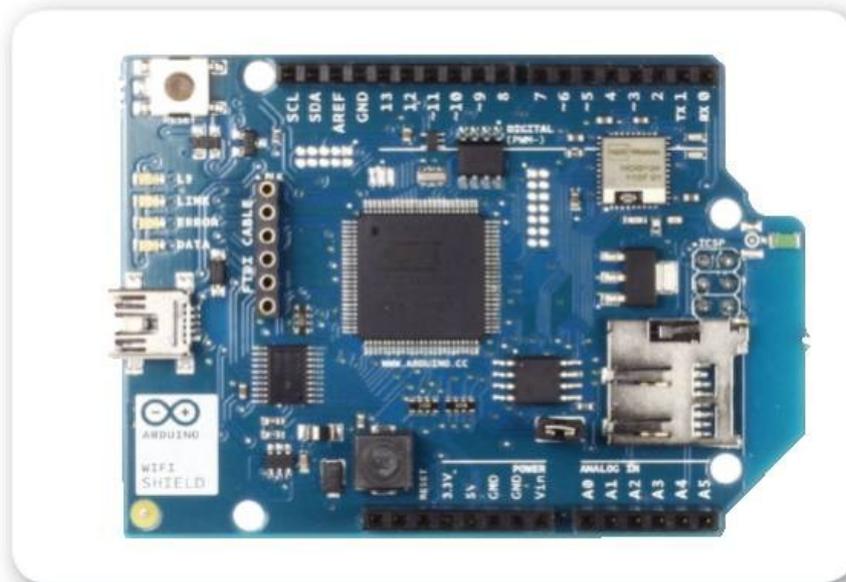
Originalmente el estándar IEEE 802.11 se diseñó para comunicaciones inalámbricas en ambientes interiores. Es importante relevar los aspectos edilicios ya que las columnas y otros objetos sólidos pueden generar zonas de sombra radioeléctrica, utilizar la potencia de RF adecuada para no generar interferencias, no instalar los puntos de acceso en contacto con superficies metálicas, verificar el cierre de los hornos a microondas (ya que pueden generar interferencia de RF por fugas) y considerar la atenuación en la señal de RF producida por la absorción de materiales.

En una comunicación inalámbrica en interiores es importante considerar la atenuación que producen los obstáculos sobre una onda de radio, y que podemos encontrar en el ambiente.



## Enlace en 2.4 GHz

El espacio entre transmisor y receptor se conoce como **ambiente del sistema**. Es importante tener en cuenta que las obstrucciones físicas e interferencias pueden limitar la capacidad de un sistema de comunicaciones para recuperar información.



**Figura 17.** Shield para conectar una tarjeta Arduino a Internet en la banda de 2.4 GHz comercialmente conocida como WiFiTM.

En un sistema de comunicaciones inalámbrico, el rango es la distancia de la transmisión. Los edificios, los árboles, otras obstrucciones y una altura insuficiente en las antenas pueden reducir el nivel de la señal en el extremo receptor. Es por eso que para estimar el rango de la transmisión existen cuatro factores importantes: la potencia del transmisor (medida en watts o en miliwatts), la sensibilidad del receptor (como una medida del nivel de señal mínimo que un receptor necesita para distinguir la señal del ruido), la ganancia de las antenas (como el aumento de señal proporcionado por las antenas) y las pérdidas del enlace.

A mayor distancia del transmisor, el nivel de la señal recibida disminuye. Además, los obstáculos ocasionan pérdidas adicionales.



## PROFESOR EN LÍNEA



Si tiene alguna consulta técnica relacionada con el contenido, puede contactarse con nuestros expertos: [profesor@redusers.com](mailto:profesor@redusers.com)



La atenuación varía con la frecuencia de la señal de RF, el tipo de material y la densidad de la obstrucción. Para igual distancia, potencia del transmisor y sensibilidad del receptor, la atenuación en la banda de 900 MHz es menor que en 2.4 GHz.

El **margen del enlace** (M.E.) es una medida de la confiabilidad de la comunicación. Mide diferencias entre las ganancias del sistema de comunicaciones y sus pérdidas. Una comunicación satisfactoria ocurre cuando M.E. es mayor a cero.

**M.E. [dB] = potencia del transmisor + ganancia de antenas – pérdida del enlace (espacio libre) – sensibilidad del receptor**

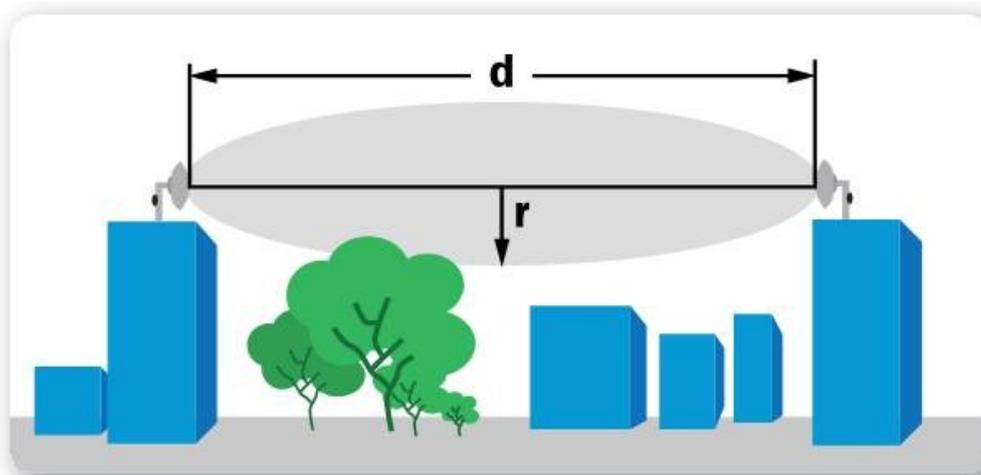
En **comunicaciones en interiores**, la mayor atenuación la produce el material de construcción. Se debe sumar esas pérdidas a la pérdida por espacio libre y comparar este resultado con el M.E. Un M.E. mayor facilitará la comunicación. Esta es una estimación teórica y el resultado final se determina en condiciones reales de funcionamiento del enlace.

La banda ISM en 2.4 GHz se comparte con otras aplicaciones y protocolos como IEEE 802.15.4, ZigBee y Bluetooth. ZigBee es un protocolo empleado en redes inalámbricas de área personal que permite diseñar e implementar aplicaciones de automatización hogareña, o domótica, por ejemplo.

## Zona de Fresnel y despeje mínimo

La distancia en **línea directa de visión** (en inglés, *Line-of-Sight*, LOS, o Línea Directa de Visión) entre las antenas transmisora y receptora es esencial para determinar el M.E. LOS visual es la línea que permite ver, desde el sitio transmisor, el sitio receptor. Se representa como una línea recta que los une. LOS RF no es una línea recta sino que presenta una curvatura consecuencia de la interacción de ondas de radiofrecuencia reales.

El modelo de propagación en LOS es válido siempre que no existan obstáculos que obstruyan la visión ni ocurran reflexiones indeseadas que originen señales que llegan al receptor siguiendo caminos distintos al directo. La diferencia de caminos se representa como una diferencia en la fase. El ingeniero francés Augustin-Jean Fresnel determinó matemáticamente que existe una interferencia constructiva, o destructiva, entre las señales que llegan al receptor siguiendo caminos distintos, tal como se grafica en la **Figura 18**, y se conoce como **Zona de Fresnel**.



**Figura 18.** La zona de Fresnel se representa geoméricamente como un elipsoide de revolución donde las antenas se encuentran en los focos de esta figura.

**¿TE RESULTA ÚTIL?**

Lo que estás leyendo es el fruto del trabajo de cientos de personas que ponen todo de sí para lograr un mejor producto. Utilizar versiones "pirata" desalienta la inversión y da lugar a publicaciones de menor calidad.

**NO ATENTES CONTRA LA LECTURA. NO ATENTES CONTRA TI. COMPRA SÓLO PRODUCTOS ORIGINALES.**

Nuestras publicaciones se comercializan en kioscos o puestos de vendedores; librerías; locales cerrados; supermercados e internet ([usershop.redusers.com](http://usershop.redusers.com)). Si tienes alguna duda, comentario o quieres saber más, puedes contactarnos por medio de [usershop@redusers.com](mailto:usershop@redusers.com)



En el camino entre antenas aparecen zonas con **interferencia constructiva**, donde la energía de cada señal se refuerza, y zonas con **interferencia destructiva**, donde la energía de las señales se cancela. El efecto destructivo de las demás zonas es compensado por el efecto constructivo de la primera zona. Es fundamental dejar libre la primera zona de Fresnel, aspecto conocido como **despeje mínimo**.



## RESUMEN



En este capítulo presentamos las características de las redes de área local cableadas e inalámbricas incluyendo topologías, medios de acceso al medio, protocolos, entre otras. También realizamos algunas consideraciones respecto de enlaces de radiofrecuencia en espacios abiertos y en ambientes cerrados.

# Sistemas de comunicaciones ópticas

En este capítulo analizaremos el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones ópticas por fibra óptica y en su versión inalámbrica.

▼ Comunicaciones por fibra óptica.....	76	▼ Resumen.....	90
▼ Comunicaciones ópticas inalámbricas .....	80		



# Comunicaciones por fibra óptica

En el **Capítulo 2: Modulación, transmisión y demodulación** conocimos diferentes formas de modular una señal previa a su transmisión. La transmisión digital está en constante crecimiento dadas las ventajas de transmitir voz, video y datos por un mismo medio con alto nivel de inmunidad a interferencias. El medio ideal es la **fibra óptica (FO)** que transporta señales luminosas.

## Características de un sistema de FO

Desde siempre, la gran capacidad de transportar información ha impulsado el uso de la fibra óptica (FO) en los sistemas de telecomunicaciones.

El físico irlandés John Tyndall demostró en 1870 la viabilidad de transmitir señales ópticas en trayectorias curvilíneas sin que el transmisor y el receptor estuvieran enfrentados. El físico griego Demetrius Hondros y el físico inglés John Derbye demostraron en 1910 la propagación de la luz por medios físicos transparentes a modo de guía de ondas luminosas. En 1953, el físico hindú Narinder S. Kapany construyó fibras de vidrio con recubrimiento y capacidad de transmitir señales ópticas. En 1966, el físico chino Charles K. Kao y el ingeniero e investigador inglés George A. Hochman experimentaron sustituyendo cables metálicos por

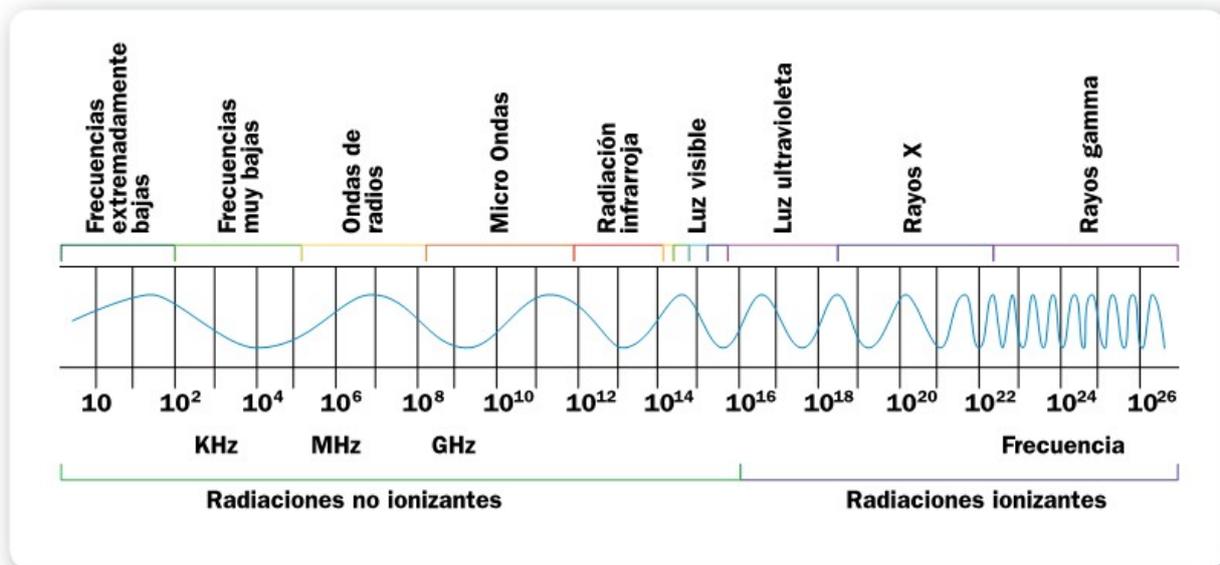


### TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ



En 1864 el físico escocés James C. Maxwell enunció la teoría electromagnética de la luz donde afirmaba que la luz se produce por la vibración de partículas con carga eléctrica que originan una serie de ondas de naturaleza electromagnética.

fibras ópticas. En la década del 70 se concretan los primeros sistemas de comunicaciones por fibra óptica y se desarrollan diodos LED y diodos láser para generar y recibir señales ópticas.



**Figura 1.** Espectro electromagnético con las longitudes de onda y frecuencias involucradas.

Las leyes de la **reflexión** y **refracción** permiten comprender cómo se propaga la luz en el interior de una FO. Cuando un haz de luz impacta en una superficie plana, este cambia de dirección. Este fenómeno se llama reflexión. Si el haz de luz pasa de un medio a otro de distinta densidad, es decir que cambia la dirección de la luz, se denomina refracción. La densidad de un medio se relaciona con su **índice de refracción**.

Una FO consta de un núcleo de material de índice de refracción lo más elevado posible que facilita el movimiento del haz luminoso dentro de ella. El núcleo se recubre con un material de menor índice de refracción para evitar que la luz escape. Todo el conjunto se envuelve con material plástico para proteger la FO de cualquier daño.

La **apertura numérica (AN)** es una medida de la capacidad de una FO para captar luz. El **ángulo de admisión** es el mayor ángulo de ingreso de una onda luminosa a una FO.

La **dispersión modal** es un fenómeno que ocurre porque la velocidad de propagación de la luz por el núcleo de la fibra óptica no permanece en forma constante, sino que tiene distintas velocidades de grupo. La **dispersión del material** se debe a la variación del índice de refracción de la fibra óptica. Como consecuencia, la velocidad de propagación del haz luminoso en el interior de la fibra óptica no es constante.

## Aplicaciones típicas

Los sistemas de fibra óptica ofrecen ventajas de comportamiento y costo en relación con un sistema de transmisión por cable: capacidad para transmitir gran cantidad de datos en una fibra óptica individual, aislamiento eléctrico, alta inmunidad al ruido electromagnético, no irradian señales, son seguros desde el punto de vista eléctrico ya que transmiten luz, y el cable de fibra óptica es de diámetro pequeño y liviano.



**Figura 2.** El tendido de FO por distintas zonas geográficas hace posible acceder a conexiones a Internet de banda ancha.

## Consideraciones de diseño

Para el diseño un sistema de FO debemos conocer la **potencia óptica de salida del transmisor (PO)** medida en  $\mu$ Watts de energía luminosa radiada para un nivel de corriente continua especificado; la **potencia radiada**; la longitud de onda y otras características del diodo utilizado (LED o láser), que están definidas en la hoja de datos del dispositivo; las **pérdidas del sistema** que incluyen las **pérdidas en los conectores** (diodo-fibra y fibra-detector) y las propias **pérdidas en la fibra** (atenuación, apertura numérica y diámetro).

La pérdida diodo-fibra óptica depende de la pérdida en el conector, la apertura numérica del diodo, la superficie de interface de la fibra y su apertura numérica y el diámetro del núcleo de la fibra. La pérdida en ambos conectores depende de la fibra óptica, la separación fibra-diodo/detector y la falta de alineación fibra diodo/detector, apertura numérica de la fibra, diámetro de la fibra y condición de la superficie de la fibra. En las pérdidas de la fibra deberíamos incluir la atenuación de la potencia óptica emitida, apertura numérica, dispersión modal, ancho del pulso y dispersión del material. Para sistemas de longitudes cortas y bajas velocidades de transmisión, la pérdida más importante es la atenuación de la potencia óptica emitida por el diodo.

La sensibilidad del receptor está determinada por el detector o por el diseño del receptor que utilicemos en particular. Establece la

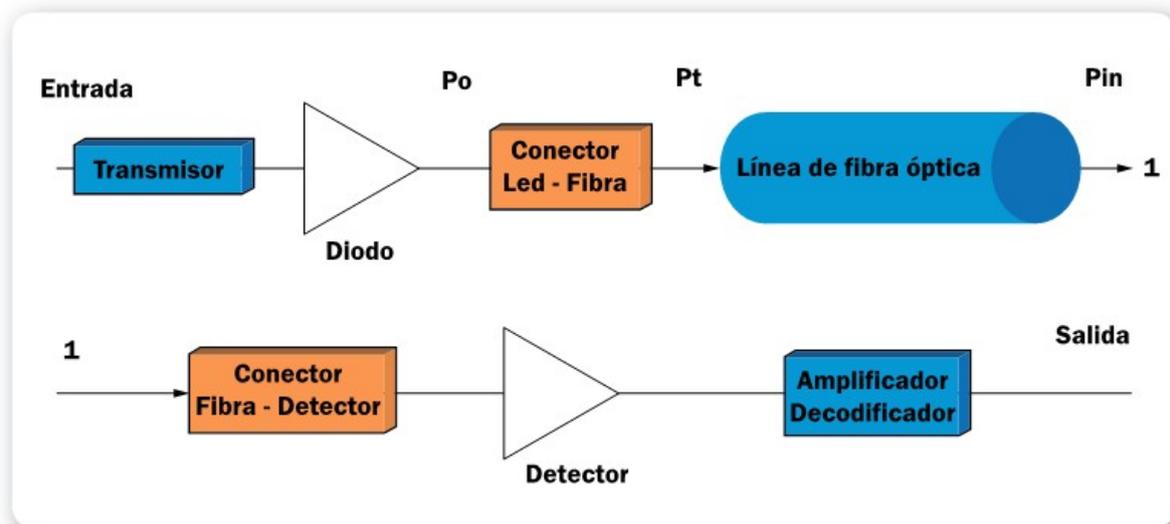


### APLICACIONES TÍPICAS



Algunas de las aplicaciones más comunes de la fibra óptica en los sistemas de comunicación son: la interconexión entre computadoras, el control industrial, los sistemas de seguridad, la electrónica médica, la instrumentación para la industria automotriz, aeronaves y control de máquinas.

base del ruido del sistema receptor y la tasa de error de bit (**BER**, en inglés *Bit Error Rate*) de los datos recibidos.



**Figura 3.** Diagrama básico de un sistema de comunicaciones por FO.

## Comunicaciones ópticas inalámbricas

Una alternativa a las tecnologías anteriores la constituyen los **sistemas de comunicaciones ópticas en el espacio libre** (en inglés, *Free Space Optics*) o conocido por su abreviatura **FSO**, que



### ¿QUÉ ES FSO?

Un sistema de comunicaciones ópticas en el espacio libre (o **FSO**) es una tecnología óptica que sirve para transmitir video, voz y datos a través del aire. Para ello, utiliza láser o diodos LED en forma de pulsos de luz que forman un estrecho haz a través de la atmósfera.

son conexiones inalámbricas que utilizan la atmósfera como medio de transmisión.



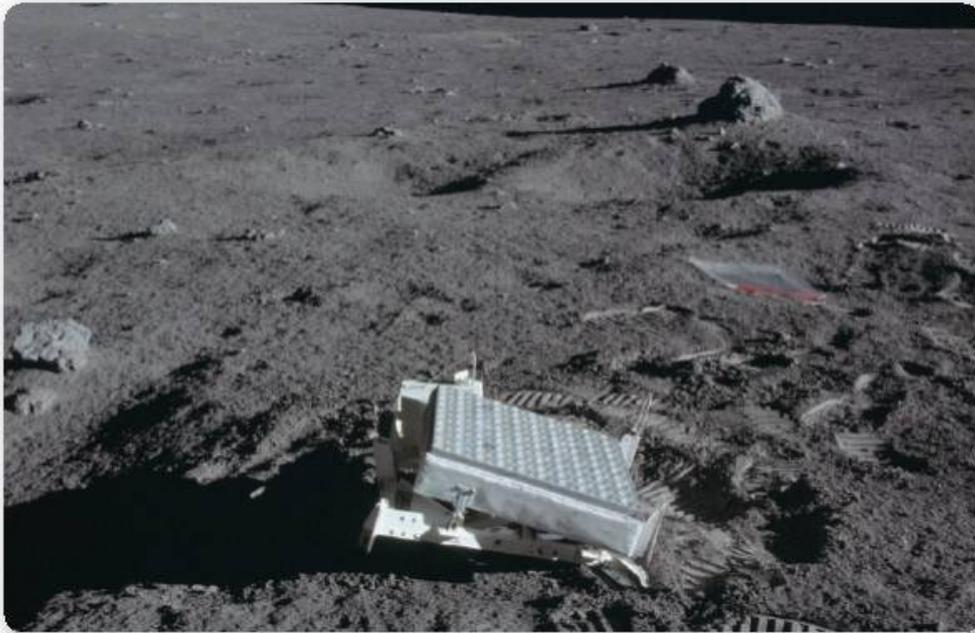
**Figura 4.** Los sistemas FSO permiten implementar rápidamente sistemas de comunicaciones de gran capacidad.

## Características y topologías

La demanda de capacidad de ancho de banda continúa creciendo como consecuencia del aumento en la cantidad de servicios que requieren un mayor ancho de banda, en especial en la última milla, es decir, el tramo final en el acceso de un cliente a una conexión a Internet.

Las tecnologías de cobre/coaxial XDSL y cable módem proveen velocidades de transmisión limitadas. La fibra es costosa y demanda mucho tiempo de instalación.

Los sistemas inalámbricos por debajo de los 40 GHz son limitados en cuanto a capacidad, requieren coordinación y están sometidos a interferencias.



**Figura 5.** Un láser genera un haz de luz coherente formado por ondas luminosas de igual longitud de onda. Una aplicación es el monitoreo de la distancia Tierra-Luna mediante reflectores de luz láser instalados en la Luna durante el programa **Apolo**.

Comercialmente, tenemos sistemas FSO que superan tasas de 600 Mb/s y funcionan bajo el mismo principio de los sistemas de comunicaciones por FO, excepto que la luz se transmite en el espacio libre.



**Figura 6.** Los diodos láser facilitan construir sistemas de comunicaciones ópticas por FO y por espacio libre o FSO.

Un sistema de transmisión óptico de espacio libre (FSO) es una forma de interconexión de dos puntos que se encuentran dentro de una LOS. El sistema opera tomando una señal de datos estándar o convirtiéndola en un formato digital y la transmite a través del espacio libre. La portadora utilizada para la transmisión de la señal es infrarroja y es generada por diodos LED de alta potencia o por diodos láser.

Imaginemos un punto transmisor y otro receptor unidos por cable de FO. Si eliminamos la FO, la comunicación entre ambos puntos se llevará a cabo en el espacio libre. Los principios básicos para la transmisión de una señal en espacio libre son los mismos que para la transmisión por FO. La información se transmite por luz modulada. La portadora óptica es, generalmente, creada por un diodo láser aunque también podrían utilizarse diodos emisores de luz LED. En el caso de una comunicación dúplex, se emplean dos haces de luz paralelos, uno para la transmisión y otro para la recepción. Los sistemas de comunicaciones ópticas por fibra o en el espacio libre operan cerca de la región infrarroja del espectro entre 750 nm y 1550 nm.



**Figura 7.** El conjunto transmisor-receptor utilizado en un sistema de comunicaciones FSO se denomina **transceptor**.

En FSO empleamos topologías de tipo malla, punto-multipunto (PMP), punto-punto (PTP) y anillo. Estas topologías permiten construir rápidamente nuevas redes o extenderlas proporcionando velocidades de fibra óptica.

## Ventajas y limitaciones

Algunas de las ventajas más importantes de los FSO tienen que ver con las longitudes de onda de operación en 780 a 1550 nanómetros (193 - 300 THz, Tera Hertz), un alcance de 300 m a 2 km (dependiendo de la visibilidad entre los puntos transmisor y receptor), funcionamiento dentro del rango de luz visible, seguridad bajo condiciones de visibilidad directa entre transmisor y receptor o LOS, su portabilidad tanto en el exterior de un edificio como en su interior detrás de ventanas, gran inmunidad a las interferencias, gran ancho de banda, no requieren asignación de espectro de RF (se transmiten ondas electromagnéticas en forma de luz) y soportan transmitir cualquier tipo de los protocolos (capacidad multiprotocolo) en una comunicación.



**Figura 8.** Las condiciones climáticas constituyen uno de los factores que mayor influencia tienen sobre la confiabilidad de una comunicación óptica inalámbrica.

Los factores que limitan el alcance de una comunicación FSO pueden disminuir la **disponibilidad del sistema**, el tiempo durante el cual está disponible el sistema FSO, y aumentar la cantidad de errores en la comunicación. Las **condiciones climáticas** constituyen el factor más importante. La niebla ocasiona la atenuación de la señal y tormentas de lluvia o nieve severas podrían interrumpir completamente las comunicaciones ópticas. La **atenuación atmosférica** producida por distintas sustancias en estado gaseoso presentes en la atmósfera que absorben algunas longitudes de ondas frente a otras creando **ventanas atmosféricas**, es decir bandas de frecuencias que pueden atravesar la atmósfera sin gran atenuación.

La **dispersión atmosférica** es el efecto sobre la radiación luminosa producido por pequeñas partículas suspendidas en la atmósfera de modo que la propagación ocurre en distintas direcciones no relacionadas con la dirección principal de la comunicación, lo que produce una disminución en el valor de la energía luminosa que llega al receptor.

El efecto sobre la comunicación depende de la longitud de onda de la radiación y del diámetro de las partículas suspendidas en la atmósfera. Si el diámetro de las partículas es menor que la longitud de onda de la radiación, tenemos dispersión de **Rayleigh**. Por el contrario, las partículas de diámetro igual o mayor que la longitud de onda de la radiación ocasionan la dispersión de **Mie**, también



## ¿CÓMO REDUCIMOS LA CINTILACIÓN?



Para cumplir con este objetivo debemos emplear varios transmisores FSO separados que envíen la misma información hacia el receptor aumentando la probabilidad de que al menos uno de los rayos luminosos que llegue al receptor sea de una intensidad suficiente.

conocida como **interferencia por niebla**, la que más afecta las comunicaciones FSO. La niebla está formada por gotas de agua densas de muy pequeño diámetro que funcionan como prismas que distorsionan y en ocasiones detienen la comunicación por una combinación de absorción atmosférica, dispersión y reflexión de las ondas luminosas. Para disminuir el efecto de la dispersión por niebla, debemos utilizar un láser en 1550 nm. Otra alternativa es emplear pequeños tramos de comunicación de entre 200 m y 500 m y utilizar la cantidad de regeneradores FSO suficientes para cubrir la separación transmisor y receptor.

Por todo ello, resulta importante conocer la atenuación que producen las distintas condiciones atmosféricas sobre una comunicación óptica, tal como detallamos en la **Tabla 1**.

ATENUACIÓN EN DB/KM	
▼ CONDICIÓN	▼ DB/KM
Niebla densa	+ de 60
Niebla moderada	28
Lluvia muy fuerte	17
Niebla ligera	15
Lluvia moderada	10
Niebla escasa	8
Neblina	4
Buen tiempo	0,5

**Tabla 1.** Comparación de las diferentes condiciones climáticas y las atenuaciones producidas. La condición de niebla densa podría interrumpir la transmisión.

Las **obstrucciones físicas** ocasionadas por aves y el crecimiento del follaje pueden causar la interrupción momentánea de una comunicación FSO. La **cintilación** es la variación rápida del índice de refracción por la turbulencia atmosférica ocasionada por viento y variaciones en la temperatura de la atmósfera. Como consecuencia, se produce una variación temporal en la intensidad de la señal luminosa en el extremo receptor similar al parpadeo cuando observamos una estrella lejana.



**Figura 9.** Efecto de las condiciones climáticas adversas sobre una comunicación FSO. Podría suprimir totalmente el haz luminoso.

Dos factores importantes que afectan la dirección del haz desviándolo del receptor son la **limpieza** adecuada de los elementos ópticos que forman el transmisor y el receptor FSO, y el **efecto de oscilación** de los edificios altos, a causa del viento o la actividad sísmica que pueda existir en esa zona geográfica.



## BALANCE NEGATIVO

Un balance de potencia negativo no garantiza el valor específico de la tasa de error de bit (BER) para que el sistema FSO funcione manteniendo el enlace activo y asegurando la confiabilidad en la comunicación.

Una dificultad adicional, si un sistema FSO utiliza radiación láser, es el reducido ancho del haz que complica la orientación inicial entre transmisor y receptor y el mantenimiento de ambos.

## Balance de potencia en un sistema FSO

Para implementar un sistema FSO tenemos que determinar la distancia lineal entre el punto transmisor y el punto receptor al conectar, por ejemplo, dos edificios. Es necesario asegurar que exista una línea de visión directa (LOS), sin obstáculos entre el extremo transmisor y el receptor ya que de lo contrario esto disminuirá la calidad del enlace y hasta podría interrumpirlo. Otro factor a considerar son las condiciones atmosféricas.

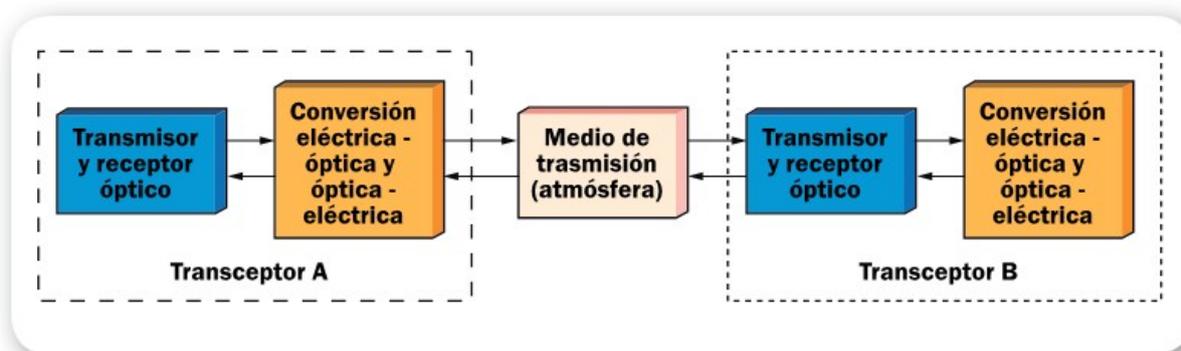
Como vamos a transmitir bits, tenemos que determinar la tasa de error de bit, y debemos conocer la cantidad de datos a transmitir para seleccionar el modelo comercial adecuado. Determinamos la ubicación física de los sistemas FSO en el exterior (terrazas, torres, techos, etc.) o en el interior (detrás de ventanas) y la interconexión del transmisor y del receptor con el equipo terminal de datos, por ejemplo computadoras. Asimismo, debemos considerar las normativas municipales, provinciales y nacionales que pudieran corresponder.

Un aspecto esencial en nuestro enlace es el **balance de potencia** del sistema FSO. La tasa de error de bit es fundamental en la calidad del sistema FSO cuando se transmiten señales digitales binarias. La BER se define como el número de bits erróneos admisibles en el receptor con relación al número total de bits enviados. En sistemas FSO comerciales tenemos BER típicas de  $10^{-10}$ .

**Balance de potencia (dB) = potencia media en el transmisor - potencia media en el receptor**  
(para una BER dada) - pérdidas en el enlace óptico inalámbrico

La disponibilidad de un enlace FSO está dada por el número y la duración acumulada de los cortes. Para una disponibilidad del

99,999% en un año, el tiempo de no disponibilidad como máximo es de 5,2 minutos. Para un sistema FSO de una marca y modelo determinado, un **margen de enlace** dado y una localización geográfica específica, podemos determinar la disponibilidad de dos maneras: dada una distancia de enlace fija determinar la disponibilidad o, a la inversa, dada la disponibilidad calcular la máxima distancia de enlace que el sistema FSO soportará.



**Figura 10.** Esquema general de un sistema de comunicaciones FSO.

El parámetro más significativo para describir la calidad de un enlace FSO es el margen del enlace. Es la cantidad de luz en el extremo receptor necesaria para mantener activo el enlace bajo condiciones de cielo limpio y para una BER especificada. Este margen lo conocemos como **margen con cielo claro** y disminuye bajo condiciones atmosféricas como niebla y lluvia.

$$dB = 10 \cdot \log (\text{potencia recibida} / \text{mínima potencia recibida necesaria para mantener el enlace activo})$$

Supongamos que el receptor necesite 10 nanowatts de potencia óptica para que el enlace FSO se mantenga activo, y que recibimos normalmente 100 nanowatts de potencia óptica. En este caso, el margen del enlace es 10 dB (10 veces la potencia óptica requerida para mantener el enlace activo).

Es importante considerar que la potencia transmitida debe compensar la atenuación de la atmósfera en el camino entre transmisor

y receptor. También se debe tener en cuenta la divergencia del haz transmitido, la apertura y sensibilidad del receptor y las pérdidas ópticas producidas en los elementos ópticos, como por ejemplo lentes, que forman parte tanto del transmisor como del receptor.

La divergencia del haz transmitido determina cuánta luz enviada desde el transmisor impacta sobre el receptor. La apertura del receptor es el área que recibe la señal óptica proveniente del transmisor. La sensibilidad del receptor es el nivel de potencia mínimo que puede detectarse para una BER especificada.



## RESUMEN



En este capítulo presentamos las características de las fibras ópticas y de los sistemas de comunicaciones que las utilizan. También analizamos cómo se propagan señales luminosas en el espacio libre, sus características y el balance de potencia en un sistema FSO.



# Comunicaciones en la práctica

En este capítulo proponemos una serie de proyectos prácticos para implementar en concreto los conocimientos que desarrollamos en los capítulos anteriores.

▼ Proyecto 1: Enlaces en 2.4 GHz .....2	▼ Proyecto 4: Maximizar el enlace..... 13
▼ Proyecto 2: Enlaces FS0 ....6	▼ Proyecto 5: Sistema óptico inalámbrico ..... 14
▼ Proyecto 3: Enlaces por FO.....8	▼ Resumen..... 17



[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)



# Proyecto 1: Enlaces en 2.4 GHz

Supongamos que necesitamos extender la conexión a Internet desde una locación A a otra locación B distantes 5 km entre sí. Utilizaremos la banda ISM de 2.4 GHz ya que no requiere permisos para instalar el enlace. Para establecer la viabilidad del enlace comprobaremos el presupuesto a partir de la expresión:

$$S_{RX} \text{ (dBm)} = P_{TX} \text{ (dBm)} - \text{Pérdida coaxil TX (dB)} + \text{Ganancia antena TX (dBi)} - \text{PEL (dB)} + \text{Ganancia antena RX (dBi)} - \text{Pérdida coaxil RX (dB)}$$

Siendo la SRX (dBm) la sensibilidad del receptor y la PTX (dBm) la potencia transmitida. La pérdida del espacio libre (PEL) es la atenuación de la señal en su camino desde el transmisor hacia el receptor medida en dB. La ganancia de antena en cada locación se mide en dBi. La atenuación del cable coaxil que une cada locación con su antena la determinamos mediante la expresión:

$$\text{Pérdida cable coaxil TX/RX - A (dB)} = \text{atenuación del coaxil (dB/m)} \cdot \text{longitud de cable (m)}$$

$$\text{Pérdida cable coaxil TX/RX - B (dB)} = \text{atenuación del coaxil (dB/m)} \cdot \text{longitud de cable (m)}$$

Y la pérdida en espacio libre (en dB) mediante:

$$\text{PEL (dB)} = 32 \cdot 4 + 20 \cdot \log f \text{ (MHz)} + 20 \cdot \log d \text{ (Km)}$$



## GANANCIA DE ANTENAS



La ganancia de las antenas depende del tipo de antena seleccionada. Las antenas **parabólicas** exhiben una ganancia típica de 12 a 24 dBi, las **omni-direccionales** (irradian energía en todas direcciones) entre 5 y 12 dBi, y las **sectoriales** entre 12 y 15 dBi.

La potencia del transmisor (medida en dBm o en mW) se encuentra en el rango de 30 mW a 200 mW o más, y en general depende de la tasa de datos a transmitir.

La sensibilidad del receptor (dBm) se relaciona con el mínimo nivel de señal recibida que todavía nos permite recuperar la información original y se encuentra en el rango de -75 dB a -95 dB, siendo el primer valor mejor que el segundo. En general, a menores tasas de transmisión de datos (por ejemplo 1 Mbps) mayor sensibilidad del receptor. Finalmente, el margen del enlace (dB) indica la cantidad en dB que se toma por seguridad. Bajo condiciones climáticas adversas recomendamos 20 dB o 15 dB si estamos en la ciudad en presencia de interferencia, ya que 10 dB es el valor mínimo aceptable.

En función de la información anterior seleccionamos los valores de la **Tabla 1** y con ellos realizaremos nuestro primer presupuesto del enlace.

DATOS PARA EL BALANCE DE POTENCIA DEL ENLACE		
▼ PARÁMETRO	▼ EXTREMO A	▼ EXTREMO B
PTX (dBm)	20	15
SRX (dBm)	-89	-82
Antena (dBi)	10	14
Atenuación cable coaxil (dB)	2	2

**Tabla 1.** Datos necesarios para determinar la viabilidad del enlace en la banda ISM en 2.4 GHz, entre dos puntos separados por 5 km.

[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)

El valor de atenuación del cable coaxil incluye la atenuación de los conectores, elementos para conectar un extremo del cable a la antena y el otro extremo al transceptor. La antena seleccionada en la locación A es omnidireccional y para la locación B es direccional.

Es importante estimar las pérdidas de espacio libre en 2.4 GHz de acuerdo a la distancia que separa al transmisor del receptor.

PÉRDIDAS DE ESPACIO LIBRE A 2.4 GHZ SEGÚN LA DISTANCIA	
▼ DISTANCIA (M)	▼ PÉRDIDA (DB)
100	80
500	94
1000	100
3000	110
5000	113
10000	120

**Tabla 2.** Para una distancia de 5000 m la atenuación correspondiente por espacio libre es de 113 dB.

A continuación, obtenemos la ganancia total de antenas sumando los valores individuales de las ganancias de antena en cada locación (en dBi):

DATOS PARA EL BALANCE DE POTENCIA DEL ENLACE		
▼ ANTENA A (DBI)	▼ ANTENA B (DBI)	▼ GANANCIA TOTAL DE ANTENAS (DBI)
10	14	24

**Tabla 3.** Considerando la ganancia de las antenas seleccionadas para la locación A y la B, la ganancia total de antenas es 24 dBi.

Luego, estimamos las pérdidas totales considerando las pérdidas de los cables coaxiales y la pérdida en espacio libre:

PÉRDIDAS TOTALES			
▼ PÉRDIDA COAXIL A (DB)	▼ PÉRDIDA COAXIL B (DB)	▼ PÉRDIDA EN ESPACIO LIBRE (DB)	▼ PÉRDIDA TOTAL (DB)
2	2	113	117

**Tabla 4.** Considerando las pérdidas de ambos coaxiles y en espacio libre obtenemos la pérdida total (dB).

Con la información conseguida hasta ahora podemos elaborar tanto el presupuesto del enlace desde el lado A como desde el lado B, tal como expresamos en la **Tabla 5** y en la **Tabla 6**.

PRESUPUESTO DEL ENLACE LADO A				
▼ POTENCIA TX B (DBM)	▼ (+) GANANCIA TOTAL DE ANTENAS (DBI)	▼ (-) PÉRDIDA TOTAL (DB)	▼ = INTENSIDAD SEÑAL RECIBIDA EN A (DB)	▼ SENSIBILIDAD RECEPTOR A (DBM)
15	24	117	-78	-89

**Tabla 5.** La intensidad de la señal recibida en la locación B es mejor que la sensibilidad del receptor en B. El margen del enlace,  $-89 \text{ dBm} - (-78\text{dB})$ , es aproximadamente  $-10 \text{ dB}$  e insuficiente bajo condiciones climáticas adversas.



## OTRAS HERRAMIENTAS



Si bien hemos desarrollado el presupuesto del enlace para ambas locaciones mediante tablas completadas a mano, podríamos utilizar una planilla de cálculo o herramientas de planificación de enlaces on-line o software específico de planificación de enlaces.

Para la locación B obtenemos los siguientes resultados:

PRESUPUESTO DEL ENLACE LADO B				
▼ POTENCIA TX B (DBM)	▼ (+) GANANCIA TOTAL DE ANTENAS (DBI)	▼ (-) PÉRDIDA TOTAL (DB)	▼ = INTENSIDAD SEÑAL RECIBIDA EN A (DB)	▼ SENSIBILIDAD RECEPTOR A (DBM)
20	24	117	-73	-82

**Tabla 6.** La intensidad de la señal recibida en la locación A es mejor que la sensibilidad del receptor en A. El margen del enlace no es suficiente ante condiciones climáticas adversas.

Obtenemos un resultado aproximado ya que suponemos una trayectoria LOS entre ambas locaciones y el despeje mínimo de la primera zona de Fresnel. Entonces, es necesario aumentar la intensidad de la señal que recibimos tanto en el lado A como en el lado B aumentando la potencia de los transmisores, la sensibilidad de los receptores y/o la ganancia de las antenas, si deseamos mantener la comunicación bajo condiciones climáticas adversas.

## Proyecto 2: Enlaces FSO

Una forma sencilla de expresar la ecuación del enlace en un sistema FSO, excluyendo factores ópticos como eficiencia óptica o ruido en el detector, entre otros, es mediante la expresión:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot \left\{ \frac{d_r^2}{[d_t^2 + (D \cdot R)]^2} \right\} \cdot 10^{(-\alpha \cdot R / 10)}$$

Donde la potencia transmitida y recibida es  $P_{TX}$  y  $P_{RX}$  respectivamente; el diámetro de apertura óptica del transmisor

es  $d_t$  (en m); el diámetro de apertura óptica del receptor es  $d_r$ ; la divergencia del haz es  $D$  y se mide en mrad (mili radianes); el rango  $R$  se mide km y  $\alpha$  es la atenuación atmosférica en dB/km.

¿Cómo interpretamos esta ecuación? La potencia recibida es directamente proporcional a la potencia transmitida y al área óptica del receptor, e inversamente proporcional al cuadrado de la divergencia del haz y el cuadrado del rango del enlace. Además, es inversamente proporcional al exponente del producto entre la atenuación atmosférica y el rango del enlace. Mediante esta ecuación podemos controlar: la potencia transmitida, el diámetro de la apertura óptica del receptor, la divergencia del haz y el rango de la comunicación. La potencia recibida depende exponencialmente del producto del rango por la atenuación atmosférica, factor que no está bajo nuestro control. En situaciones atmosféricas reales y en aplicaciones que requieren una disponibilidad del enlace del 99,9% o más, este producto es quien tiene mayor influencia en la ecuación. Podemos organizar la información del presupuesto del enlace FSO en una tabla como la siguiente:

PRESUPUESTO DEL ENLACE FSO SIMPLIFICADO		
▼ PARÁMETRO	▼ RANGO DEL ENLACE	
	300 m	2000 m
<b>Potencia promedio del láser</b>	10.0 dBm	10.0 dBm
<b>Pérdidas en el sistema</b>	-6.0 dB	-6.0 dB
<b>Pérdidas geométricas</b>	-27.0 dB	-44.0 dB
<b>Potencia de señal en el detector</b>	-23.0 dBm	-40.0 dBm
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-46.0 dBm	-46.0 dBm

## PRESUPUESTO DEL ENLACE FSO SIMPLIFICADO

<b>Margen del enlace con buen tiempo</b>	23.0 dB	6.0 dB
--	---------	--------

**Tabla 7.** Ejemplos de **margen de enlace** para dos rangos específicos de comunicación, 300 m y 1000 m, en condiciones atmosféricas de buen tiempo.

Deberíamos compararlos con la atenuación por la condición atmosférica real y determinar si es suficiente para compensarla.

En los sitios web de los fabricantes de sistemas de comunicaciones FSO podemos encontrar aplicaciones para determinar el margen del enlace ingresando los datos requeridos, similares a los de la ecuación anterior, y también gráficas con curvas que relacionan el margen del enlace en dB, el rango del enlace en m y las condiciones atmosféricas.

Finalmente, recordemos que la disponibilidad del enlace establece el límite práctico en la distancia a la que podemos realizar una comunicación. En general, un sistema FSO bien diseñado es capaz de entregarnos un 99,9% de disponibilidad o más, en rangos entre 500 y 1000 m en la mayoría de las ciudades del mundo.



## Proyecto 3: Enlaces por FO

En las consideraciones que realizamos para diseñar un sistema basado en FO tenemos que incluir la potencia óptica de salida en el transmisor, las pérdidas en el sistema y la sensibilidad del receptor (potencia óptica de entrada). La potencia óptica de salida la expresamos normalmente en  $\mu\text{W}$  de energía luminosa irradiada para un valor de corriente continua específica. En la **hoja de datos** del LED se definen sus características.

Las pérdidas en el sistema incluyen las pérdidas en el conector y las pérdidas en la FO. Las pérdidas en el conector incluyen a los que utilizamos para conectar el LED con la FO y la FO con el detector. Las pérdidas en la FO incluyen la atenuación en dB/Km, la apertura numérica AN y el diámetro de la fibra en  $\mu\text{m}$ .

Las pérdidas en la interfaz LED a FO dependen de las pérdidas en el conector, la AN del diodo LED, la superficie de interfaz de la fibra y su AN, y el diámetro de su núcleo.

Las pérdidas en ambas conexiones, LED a FO y FO detector, dependen de la AN de la FO, la separación fibra-diodo LED y fibra-detector, el diámetro de la FO y la condición de la superficie de la FO en la conexión al LED y al detector. Las pérdidas en la FO deberían incluir la atenuación de la potencia óptica con la distancia, la AN, la dispersión modal, el ancho del pulso transmitido y la dispersión. En tramos cortos de FO y bajas tasas de datos, la pérdida más importante es la atenuación en la potencia óptica al aumentar la distancia.

En cuanto a la sensibilidad del receptor y/o el umbral de potencia de entrada al detector, está determinada por el detector o por el diseño del receptor que utilizamos en particular y define la base de ruido del sistema receptor y la BER de los datos recibidos.

Para determinar la máxima distancia de operación para un sistema dado de FO podemos utilizar la siguiente expresión:

$$\text{Distancia de operación} = (10/\alpha) \cdot \log [ P_0 \cdot R_p \cdot (D/D)^2 \cdot (AN/AN)^2 \cdot L_{c1} \cdot L_{c2} / I_0 ] + L$$

Donde la potencia de salida del detector es 10; la longitud de la FO es L; la potencia total de salida desde el emisor es  $P_0$ ; la sensibilidad del detector es  $R_p$ ; y el diámetro de la FO es D (siempre debemos utilizar la relación D semiconductor a D de la FO, o viceversa, que sea menor o igual a 1). La apertura numérica es AN y siempre tenemos que utilizar la relación AN semiconductor a AN

de la FO, o viceversa, que sea menor o igual a 1. Finalmente, LC1 y LC2 representan las pérdidas en los conectores, incluyendo la pérdida por reflexión de la luz y por falta de alineación con la FO; y  $\alpha$  es la pérdida de la FO en dB por unidad de longitud.

Los datos técnicos que utilizamos se extraen de las hojas de datos de los dispositivos: la sensibilidad del receptor, la potencia óptica de salida del LED y las pérdidas en los conectores y cable de FO.

Es importante conocer que comercialmente disponemos de diferentes tipos de FO, cada uno de ellos con distintas características técnicas, como vemos en la **Tabla 8**.

TIPOS DE FO				
▼ TIPO	▼ MODELO 1	▼ MODELO 2	▼ MODELO 3	▼ MODELO 4
<b>Atenuación (dB/m)</b>	0.5	0.018	0.035	0.1
<b>Apertura numérica (AN)</b>	0.4	0.25	0.35	0.4
<b>Diámetro núcleo (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	368	200	200	200

**Tabla 8.** Características de distintos modelos de FO que podemos utilizar en nuestros cálculos.

Estos valores están determinados para una velocidad de 20 Mbps y  $10^{-9}$  BER.

[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)

En cuanto a los semiconductores, realizaremos nuestras estimaciones empleando diodos LED infrarrojos para el transmisor y detectores infrarrojos para el receptor, tal como expresamos en la **Tabla 9**.

SEMICONDUCTORES PARA FO			
▼ SEMI-CONDUCTOR	▼ FUNCIÓN	▼ POTENCIA DE SALIDA INSTANTÁNEA (MW PARA 100 MA DC)	▼ POTENCIA DE ENTRADA (MW PARA 10 DB DE RELACIÓN SEÑAL A RUIDO)
<b>Diodo LED 1</b>	Emisor infrarrojo	140	*****
<b>Diodo LED 2</b>	Emisor AiGaAs alta potencia	1100	*****
<b>Receptor 1</b>	Preamplificador detector integrado	*****	3
<b>Receptor 2</b>	Preamplificador detector integrado	*****	0.5

**Tabla 9.** Distintos modelos de semiconductores emisores y receptores que podemos utilizar en nuestros cálculos con FO.

A continuación vamos a desarrollar un ejemplo para calcular la longitud de la FO bajo ciertas condiciones. Utilizaremos una FO **modelo 1**, un **diodo LED 1** como LED infrarrojo, un **receptor 1** como detector óptico y **conectores** con un valor típico de pérdidas, que incluyen falta de alineación y pérdidas por reflexión, de 2 dB/8 millas de FO.

En primer lugar convertimos las potencias ópticas del LED y el detector utilizado a dBm y determinamos la **potencia óptica total** en el sistema:

$$\begin{aligned} \text{Entrada de potencia al detector óptico} &: 10 \cdot \log(3\mu\text{W}/1000) = -25 \text{ dBm} \\ \text{Potencia óptica de salida de LED} &: 10 \cdot \log(140\mu\text{W}/1000) = -8.5 \text{ dBm} \\ \text{Potencia óptica total en el sistema} &: \text{dBm salida} - \text{dBm entrada} = -8.5 \text{ dBm} + 25 \text{ dBm} = 16.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

Posteriormente determinamos las **pérdidas totales** en el sistema. Tengamos en cuenta que el diámetro del detector óptico es de

200  $\mu\text{m}$  mientras que el diámetro de la FO utilizada es de 368  $\mu\text{m}$ , por lo cual tenemos que considerar una pérdida adicional cuando se realiza la conexión entre ambos.

**Pérdida en el conector de entrada = 2 dB**

**Pérdida AN LED a AN FO:  $20 \cdot \log(0.40 \mu\text{W}/0.48 \mu\text{W}) = 1.6 \text{ dB}$**

**Pérdida por diferencia de diámetro entre FO y detector:  $20 \cdot \log(200 \mu\text{m}/368 \mu\text{m}) = 5.3 \text{ dB}$**

**Pérdida en el conector de salida = 2 dB**

**Reserva de ganancia para el sistema = 3 dB**

**Pérdidas totales en el sistema = 2 dB + 1.6 dB + 5.3 dB + 2 dB + 3 dB = 13.9 dB**

Ahora restamos a los dB de las pérdidas totales los dB de la potencia óptica total y obtenemos la **pérdida en el cable de FO** en dB:

**Pérdidas en la FO = Potencia óptica total disponible - Pérdidas totales del sistema  
= 16.5 dB - 13.9 dB = 2.6 dB**

Finalmente, determinamos la **longitud del sistema** (LS) utilizando la pérdida en el cable de FO y la atenuación de la FO en dB por unidad de longitud.

Recordemos que el tipo de FO utilizada en nuestro ejemplo tiene una pérdida de 0.5 dB/m.

**Longitud del sistema:  $LS = 2.6 \text{ dB} / 0.5 \text{ (dB/m)} = 5.2 \text{ m}$**



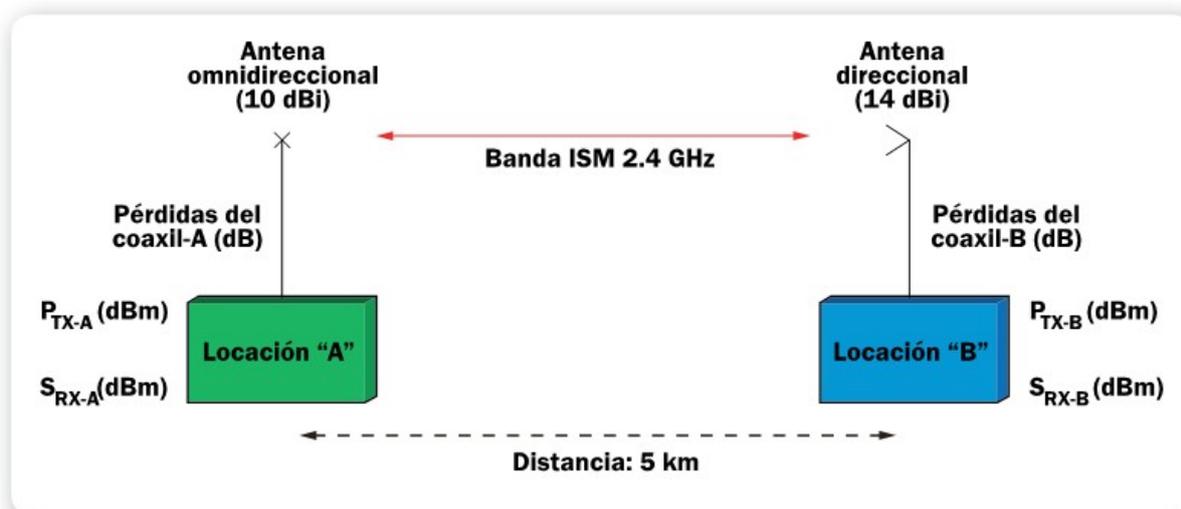
## EXPERIENCIAS ADICIONALES



Podríamos emplear distintas FO, diodos LED y detectores para ver qué ocurre con la longitud del sistema, si utilizamos FO con menor atenuación, y con las pérdidas, si los diámetros de la FO y del detector son iguales.

## Proyecto 4: Maximizar el enlace

Para maximizar el rango de un sistema de comunicaciones inalámbrico tenemos que confirmar, en primer lugar, que la línea de visión entre ambas locaciones no esté obstruida por vegetación, edificios u otras construcciones. Además, es importante que verifiquemos la frecuencia de trabajo a utilizar (900 MHz logran atravesar mejor los objetos y atenúan menos que 2.4 GHz). Respecto de las antenas, podría ser necesario que utilicemos antenas direccionales con mayor ganancia en dBi.



**Figura 1.** Algunas de las antenas direccionales que podemos utilizar en 2.4 GHz.

La ganancia de antena es uno de los factores más importantes para mejorar el rango del sistema de comunicaciones. En circunstancias límite, una antena yagi o cualquier otra de gran ganancia podría ser la mejor solución a nuestro alcance. Un aspecto constructivo que no siempre consideramos es que las antenas se encuentren montadas adecuadamente. Es conveniente que utilicemos solamente la longitud de cable coaxil necesaria puesto que, a mayor longitud de cable, mayores pérdidas. Podríamos utilizar un cable de datos serie junto con un cable coaxil corto

para conectarnos a la antena en la ubicación seleccionada. Si instalamos una antena en las cercanías de una superficie metálica reducimos su rendimiento.

Deberíamos mantener varios centímetros de separación entre la antena y otras estructuras u objetos metálicos.



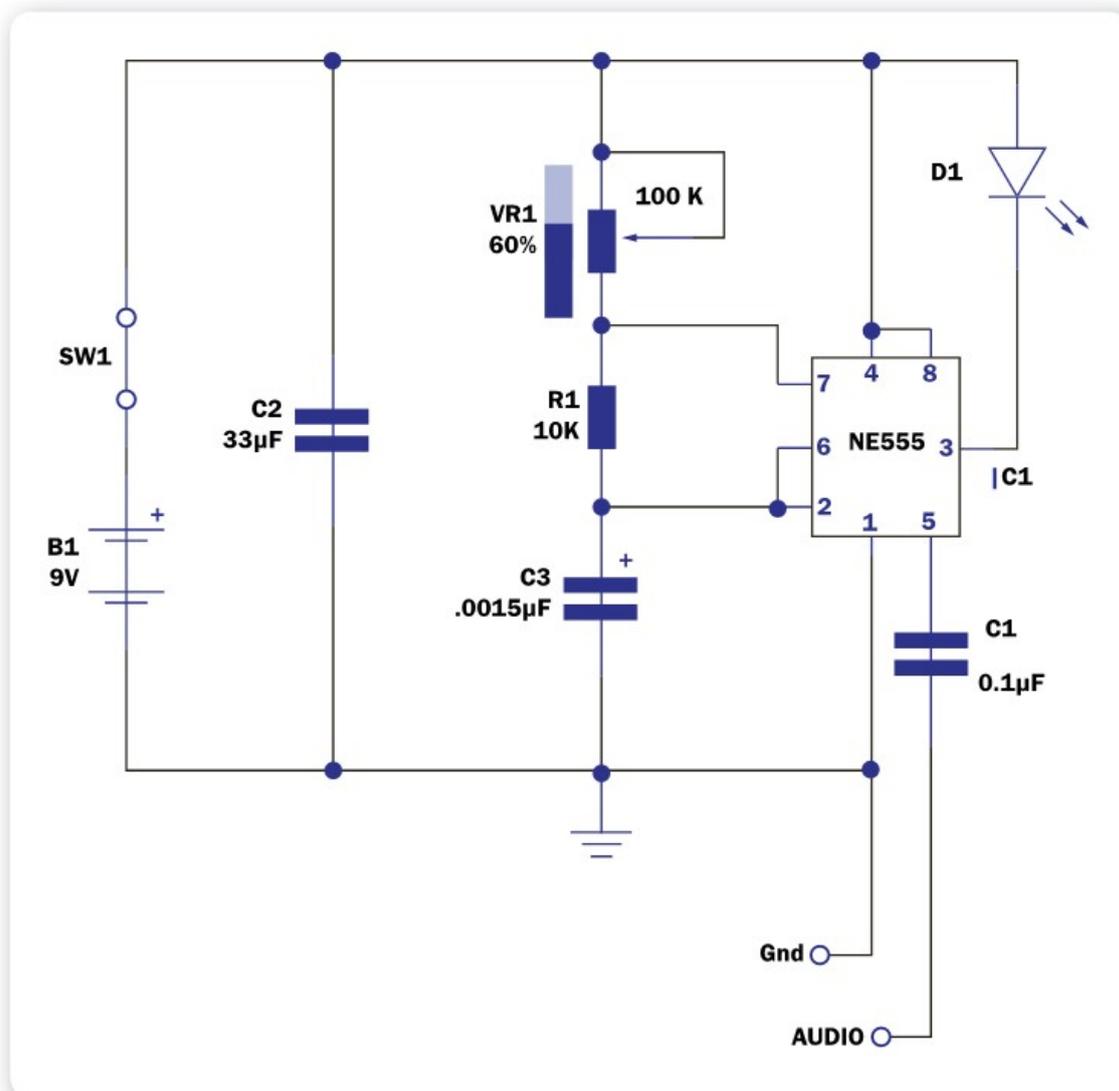
## Proyecto 5: Sistema óptico inalámbrico

Como actividad final de este capítulo desarrollaremos un sencillo sistema de comunicaciones óptico inalámbrico, experimental y de corto alcance. Nuestro sistema consistirá en un transmisor con LED, un fototransistor como receptor y, como medio de enlace, la atmósfera.

La técnica de modulación empleada es PPM, que desarrollamos en el **Capítulo 2**. Recordemos que en modulación PPM se modifica la frecuencia de una onda portadora digital mediante una modulante analógica (en este caso, una señal de audio).

El circuito transmisor, a LED, lo construiremos alrededor de un CI 555 configurado como modulador de ancho de pulsos, donde opera como astable y la frecuencia de la señal se controla mediante una tensión externa aplicada a pin 5 (Control o CNT).

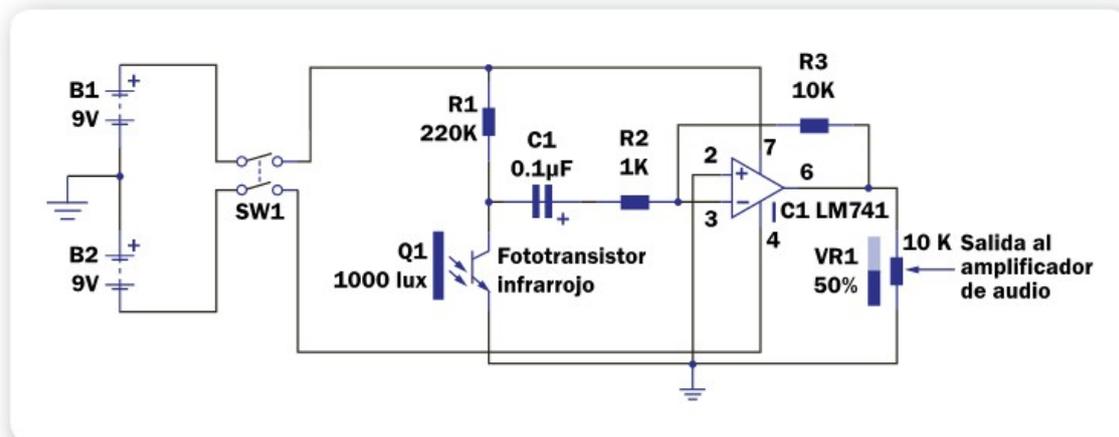
Internamente, esta señal (en nuestro experimento, audio) varía la tensión de referencia del comparador de umbral del CI 555 y desplaza la posición de los pulsos. La señal de audio ingresa al CI 555 por el pin 5. Con los componentes indicados, el CI 555 funcionará entre aproximadamente 10 KHz y unos 50 KHz. Lo interesante es que, modificando la posición del eje del potenciómetro de 10 Kohm, se modifica la frecuencia del CI 555, lo que modifica la corriente entregada al diodo LED. El esquema transmisor se alimenta desde una batería de 9 VCC.



**Figura 2.** Transmisor FSO a LED. Podemos observar los componentes utilizados para construir el transmisor y sus valores.

En cuanto al receptor, así como el transmisor está diseñado alrededor del popular CI 555, utilizamos el muy conocido amplificador operacional 741. Un fototransistor infrarrojo recibe la señal proveniente desde el transmisor a LED y genera una corriente eléctrica muy débil.

Esta corriente sigue la forma de onda modulante (audio) utilizada en el transmisor y se preamplifica diez veces en un operacional 741 alimentado con doble batería de 9 VCC, previa a su amplificación posterior.



**Figura 3.** Receptor FSO con fototransistor. En el esquema eléctrico observamos los componentes utilizados y sus valores.

Para utilizar el sistema, encendemos el transmisor a LED y conectamos a su entrada la señal de audio. A continuación, encendemos el receptor y ajustamos el control de nivel de audio del amplificador, al que conectamos el conjunto fototransistor-CI 741. Enfrentando transmisor y receptor, y ajustando tanto el potenciómetro en el transmisor como el control de volumen en el receptor, deberíamos escuchar la señal de audio transmitida.

El alcance, de entre 1 y 2 metros, dependerá de la potencia del LED visible utilizado. Es importante que realicemos estas experiencias en una habitación con bajo nivel de iluminación para no interferir la comunicación. Si realizamos el experimento en el exterior, la radiación infrarroja del sol podría saturar el fototransistor interrumpiendo el enlace.



## MEJORAR NUESTRO SISTEMA

El sistema mejora notablemente si utilizamos un diodo láser como transmisor y experimentamos recibiendo luz con fototransistores (preamplificados o no) o celdas solares o LDR. Estas modificaciones mejoran el rango de nuestro sistema.

Algunas de las mejoras que podríamos realizar a este sistema se relacionan con la utilización de un LED infrarrojo en el transmisor en lugar de un LED visible que funciona en una longitud de onda de 650 nm, mientras que el fototransistor es sensible a longitudes de onda más cercanas al infrarrojo (entre 780 nm y 950 nm). En este caso, configuramos un sistema similar al utilizado en el conjunto control remoto y aparato de TV, con mayor alcance efectivo de comunicación.

Desde el punto de vista óptico es conveniente que utilicemos lentes en ambos extremos para mejorar el enfoque del haz luminoso, lo que impacta positivamente en el alcance y la confiabilidad de la comunicación.

Finalmente, podría implementarse un sistema de tracking para seguir el movimiento del transmisor en el receptor, manteniendo la comunicación en todo momento, y también diseñar y construir una interfaz electrónica para modular el haz luminoso con distintos protocolos.



## RESUMEN



En este capítulo nos ocupamos de realizar la aplicación práctica de los conocimientos desarrollados anteriormente. Comenzamos con un presupuesto para un enlace en 2.4 GHz y continuamos con los aspectos prácticos de la implementación real de enlaces FSO y por fibra óptica. Por último, construimos un sencillo sistema de comunicaciones óptico para experimentar con la transmisión de señales luminosas. Por supuesto, todos los sistemas de comunicaciones que presentamos se pueden perfeccionar, por lo que dejamos esas mejoras en manos de los lectores ávidos por profundizar la experimentación.



# Servicios al lector

A continuación incluimos un listado de palabras ordenado alfabéticamente que nos permitirá encontrar rápidamente los términos más utilizados en este libro.



▼ Índice temático ..... 92



[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)

# Índice temático

## A

AM .....	28
Amplificador de audio .....	35
Amplificador de radiofrecuencia... ..	35
Ángulo de admisión .....	77
Anillo .....	59
Antenas .....	69
Apantallado .....	18
Apertura numérica.....	77
Arquitectura de red.....	54
ASK.....	43
Atenuación.....	18/86

## B

Balance de potencia .....	88
Banda ancha .....	13
Banda base.....	12/26
Banda ISM .....	66
Bandas laterales.....	29
BLU .....	36
BPSK.....	45
Bus.....	58

## C

Capas.....	54
Cintilación .....	85/87
Circuito sintonizado .....	32
Coaxil .....	18
Codificación bipolar .....	45
Codificación unipolar.....	45
Codificador .....	47
Comparador de fase.....	44

Condensador fijo .....	33
Condensador variable .....	32
Conexión a tierra.....	33
Convertor analógico a digital .....	47
Convertor de nivel.....	45
Convertor paralelo a serie .....	47
CSMA/CD .....	57
Cuantificador.....	47

## D

DAC.....	47
Demodulación .....	12/27
Demodulador PSK .....	45
Despeje mínimo.....	74
Desplazamiento de amplitud .....	43
Desplazamiento de fase.....	43
Desplazamiento de frecuencia.....	43
Detector de envolvente .....	35
Detector de producto .....	37
Difusión .....	56
Diodo de capacidad variable .....	40
Discriminador reactivo .....	41
Dispersión atmosférica .....	85
Dispersión del material .....	78
Dispersión modal.....	78
Distorsión .....	18
DSSS.....	67
Duplex .....	17

## E

Efecto de oscilación .....	87
Electrónica.....	8

Espacio libre .....	21
Estrella .....	57/58
Etapa detectora .....	33
Etapa limitadora .....	41
Ethernet.....	60

**F**

Fast Ethernet .....	60
FDM.....	38
Fibra óptica.....	20/76
Filtro pasabanda.....	41
FME.....	41
Frecuencia intermedia.....	35
FSK .....	44
FSO .....	80
Fuente .....	10
Funciones continuas .....	12
Funciones discretas.....	12

**G**

Gigabit Ethernet .....	60
------------------------	----

**H**

Hardware .....	61
Heterodinación .....	34
Híbridas .....	60
HUB.....	62

**I**

IEEE .....	66
Impedancia .....	19
Índice de modulación .....	30
Índice de refracción .....	77
Interferencia constructiva.....	74
Interferencia destructiva.....	74
ISO .....	53

**L**

LAN.....	56
Ley de Hartley.....	14
LOS.....	72

**M**

MAN .....	56
Margen con cielo claro.....	89
Margen de enlace.....	89
MAU .....	60
MDT .....	38
Medio de propagación .....	18
Medio de transmisión.....	11
Mensaje.....	10
Método de acceso al medio .....	56
MIMO.....	68
Modelo OSI .....	53
Modulación .....	12/26
Modulación 2PSK .....	50
Modulación angular.....	39
Modulación de fase .....	42
Modulación de pulsos .....	46
Modulación multinivel.....	50
Modulación PCM diferencial.....	49
Modulador.....	27
Modulador balanceado.....	37
Múltiplex por división de tiempo...	38
Multiplicador.....	45
Multiplicadoras de frecuencia .....	40

**O**

Obstrucciones físicas.....	87
OFDM .....	67
Oscilador controlado por tensión.	44
Oscilador local .....	36
Osciloscopio .....	39

OSI..... 53

## P

PAM..... 48

Par trenzado ..... 18

Paso de testigo ..... 57

PDM ..... 48

Peer to peer..... 68

Pérdidas del sistema ..... 79

Pérdidas en los conectores..... 79

Portadora ..... 13

Potencia óptica ..... 79

Potencia radiada ..... 79

PPM ..... 48

Protocolo ..... 53

PSK..... 44

Puentes ..... 69

Punto a punto..... 56

## R

Rayleigh..... 85

Receptor (Rx) ..... 11

Red de área amplia..... 56

Red de área local ..... 56

Red de área metropolitana ..... 56

Reflexión..... 77

Refracción ..... 77

Rotación de fase ..... 37

Router ..... 63

Ruido térmico..... 16

## S

Selectividad ..... 34

Semiduplex ..... 17

Simplex ..... 16

Sistema de comunicaciones..... 8

Sistema de filtros ..... 37

Sistema operativo de red..... 61

Software ..... 61

Superheterodino..... 34

Switch ..... 63

## T

TCP/IP.....54/55

Tecnología de transmisión..... 56

Telecomunicación ..... 8

Teorema de la Capacidad..... 15

Teoría de la información..... 10

Token Ring ..... 59

Topología..... 56

Topología física ..... 57

Topología lógica ..... 57

Trama..... 48

Transceptor ..... 83

Transductor de entrada..... 10

Transductor de salida ..... 11

Transmisor (Tx) ..... 11

## U

UTP ..... 18

## V

VCO..... 44

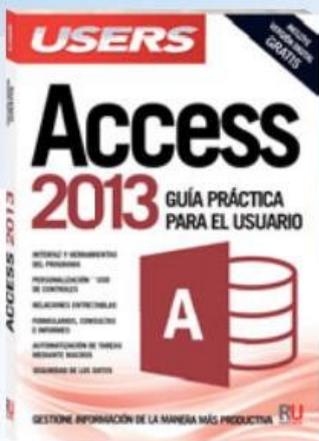
Ventanas atmosféricas..... 85

## W

WAN ..... 56

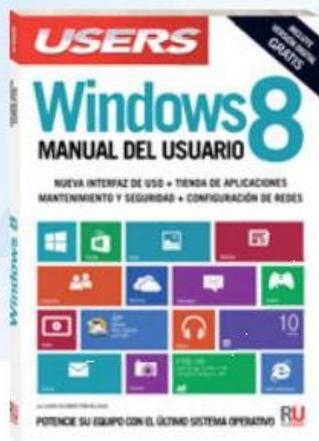
## Z

Zona de Fresnel..... 73



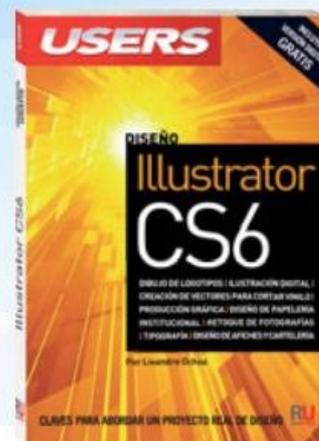
Simplifique tareas cotidianas de la manera más productiva y obtenga información clave para la toma de decisiones.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1949-17-5



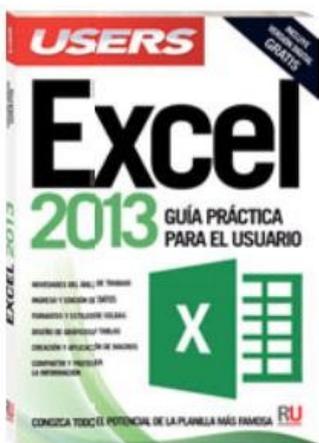
Acceda a consejos indispensables y aproveche al máximo el potencial de la última versión del sistema operativo más utilizado.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1949-09-0



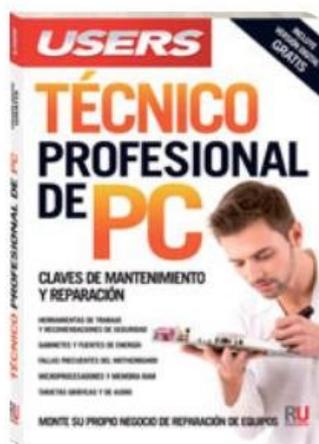
La mejor guía a la hora de generar piezas de comunicación gráfica, ya sean para web, dispositivos electrónicos o impresión.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1949-04-5



Aprenda a simplificar su trabajo, convirtiendo sus datos en información necesaria para solucionar diversos problemas cotidianos.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1949-08-3



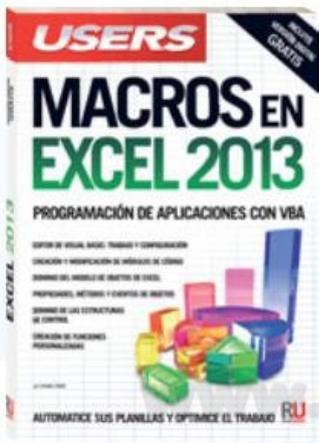
Un libro ideal para ampliar la funcionalidad de las planillas de Microsoft Excel, desarrollando macros y aplicaciones VBA.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1949-02-1



El libro indicado para enfrentar los desafíos del mundo laboral actual de la mano de un gran sistema administrativo-contable.

→ 352 páginas / ISBN 978-987-1949-01-4



Un libro ideal para ampliar la funcionalidad de las planillas de Microsoft Excel, desarrollando macros y aplicaciones VBA.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-99-9



Un libro para maestros que busquen dinamizar su tarea educativa integrando los diferentes recursos que ofrecen las TICs.

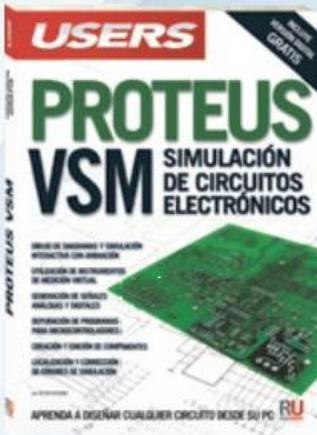
→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-95-1



Libro ideal para introducirse en el mundo de la maquetación, aprendiendo técnicas para crear verdaderos diseños profesionales.

→ 352 páginas / ISBN 978-987-1857-74-6





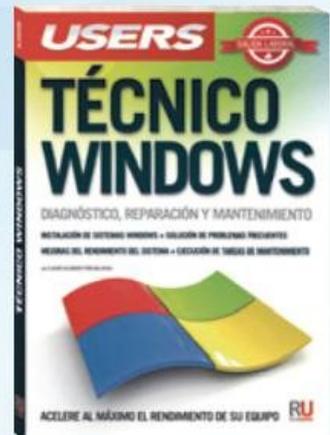
Esta obra nos enseña sobre el diseño y prueba de circuitos electrónicos, sin necesidad de construirlos físicamente.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-72-2



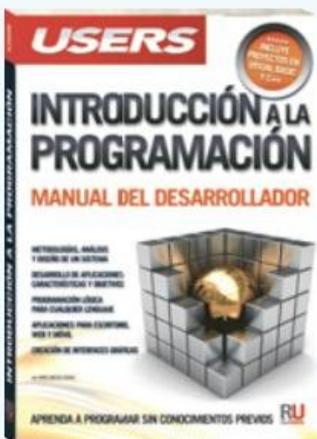
Obra imperdible para crear infraestructura virtual con las herramientas de Vmware según los requerimientos de cada empresa.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-71-5



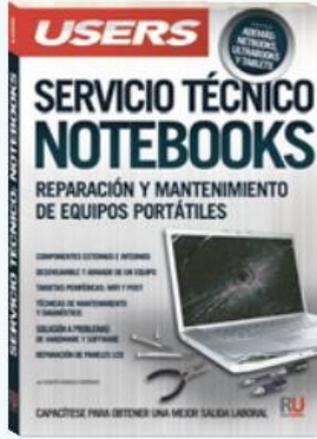
Esta obra reúne todos los conocimientos teóricos y prácticos para convertirse en un técnico especializado en Windows.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-70-8



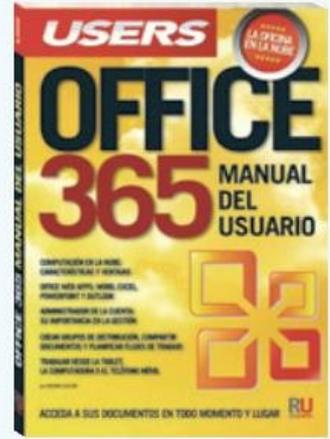
Libro ideal para iniciarse en el mundo de la programación y conocer las bases necesarias para generar su primer software.

→ 384 páginas / ISBN 978-987-1857-69-2



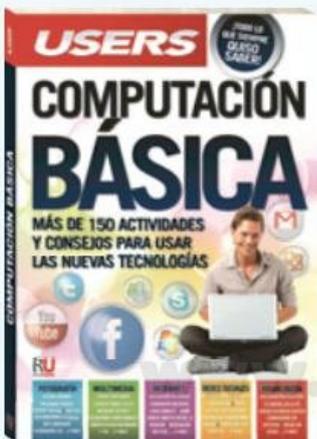
Presentamos una obra fundamental para aprender sobre la arquitectura física y el funcionamiento de los equipos portátiles.

→ 352 páginas / ISBN 978-987-1857-68-5



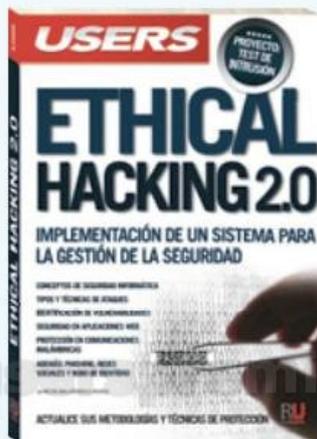
Una obra ideal para aprender todas las ventajas y servicios integrados que ofrece Office 365 para optimizar nuestro trabajo.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-65-4



Esta obra presenta las mejores aplicaciones y servicios en línea para aprovechar al máximo su PC y dispositivos multimedia.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-61-6



Esta obra va dirigida a todos aquellos que quieran conocer o profundizar sobre las técnicas y herramientas de los hackers.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-63-0



Este libro se dirige a fotógrafos amateurs, aficionados y a todos aquellos que quieran perfeccionarse en la fotografía digital.

→ 320 páginas / ISBN 978-987-1857-48-7





# CURSOS INTENSIVOS CON SALIDA LABORAL

Los temas más importantes del universo de la tecnología, desarrollados con la mayor profundidad y con un despliegue visual de alto impacto: explicaciones teóricas, procedimientos paso a paso, videotutoriales, infografías y muchos recursos más.

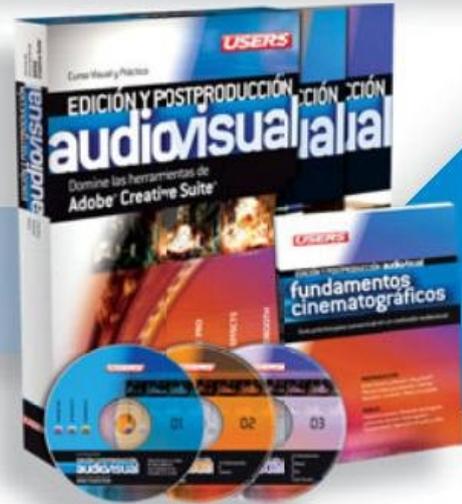


- » 25 Fascículos
- » 600 Páginas
- » 2 DVDs / 2 Libros

Curso para dominar las principales herramientas del paquete Adobe CS3 y conocer los mejores secretos para diseñar de manera profesional. Ideal para quienes se desempeñan en diseño, publicidad, productos gráficos o sitios web.

Obra teórica y práctica que brinda las habilidades necesarias para convertirse en un profesional en composición, animación y VFX (efectos especiales).

- » 25 Fascículos
- » 600 Páginas
- » 2 CDs / 1 DVD / 1 Libro



- » 25 Fascículos
- » 600 Páginas
- » 4 CDs

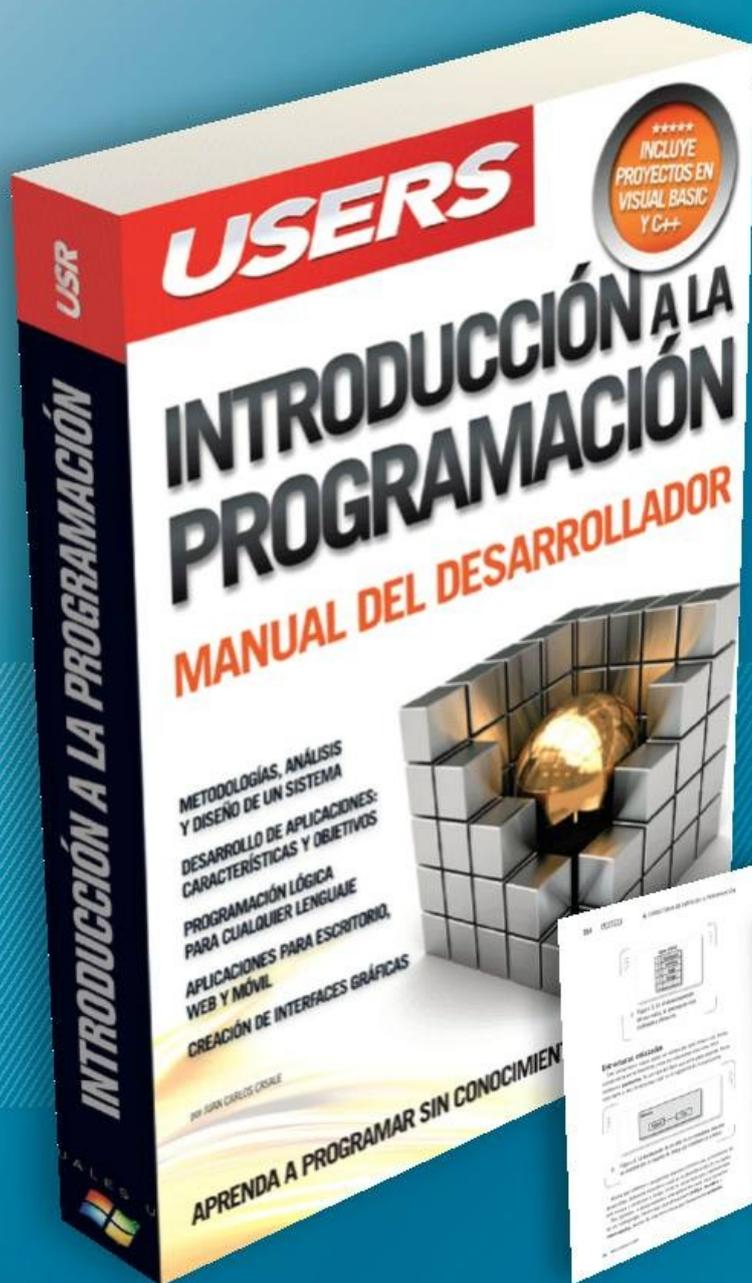
Obra ideal para ingresar en el apasionante universo del diseño web y utilizar Internet para una profesión rentable. Elaborada por los máximos referentes en el área, con infografías y explicaciones muy didácticas.

Brinda las habilidades necesarias para planificar, instalar y administrar redes de computadoras de forma profesional. Basada principalmente en tecnologías Cisco, busca cubrir la creciente necesidad de profesionales.

- » 25 Fascículos
- » 600 Páginas
- » 3 CDs / 1 Libro



APRENDA A PROGRAMAR SIN  
CONOCIMIENTOS PREVIOS



Un libro ideal para iniciarse en el mundo de la programación y conocer las bases necesarias para generar su primer software.

- » DESARROLLO
- » 384 PÁGINAS
- » ISBN 978-987-1857-69-2

[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)



LLEGAMOS A TODO EL MUNDO VÍA **OCA** \* Y **DHL** \*\*

\* SÓLO VÁLIDO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA // \*\* VÁLIDO EN TODO EL MUNDO EXCEPTO ARGENTINA

[usershop.redusers.com](http://usershop.redusers.com) // [usershop@redusers.com](mailto:usershop@redusers.com)

+54 (011) 4110-8700

## CONTENIDO

- 1 PRINCIPIOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES:** bases de los sistemas de comunicaciones.
- 2 MODULACIÓN, TRANSMISIÓN Y DEMODULACIÓN:** fundamentos de la modulación analógica y digital.
- 3 REDES DE ÁREA LOCAL ALÁMBRICAS E INALÁMBRICAS:** funcionamiento de las redes LAN cableadas e inalámbricas.
- 4 SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS:** funcionamiento de los SC ópticos por FO e inalámbricos (FSO).
- 5 COMUNICACIONES EN LA PRÁCTICA:** proyectos de comunicaciones con ondas de radio y luminosas.

## SISTEMAS DE COMUNICACIONES

En esta obra se presentan los fundamentos de los sistemas de comunicaciones cableados, inalámbricos, por ondas de radio y mediante pulsos de luz. Gracias a estos conceptos, el lector comprenderá cómo funcionan y podrá construir distintos proyectos que involucren estas tecnologías. Todos los conceptos se exponen de forma visual y práctica, con fotografías, tablas y ecuaciones. A través de cada uno de los capítulos profundizaremos en los conceptos principales de los sistemas de comunicaciones y también nos encargaremos, para una mejor comprensión de los temas, de realizar proyectos relacionados con los sistemas de comunicaciones por radio y ópticos, tanto por fibra óptica como en el espacio libre (FSO).

**EXCLUSIVO PARA LECTORES**

**Profesores en línea:**  
**[profesor@redusers.com](mailto:profesor@redusers.com)**

[www.reduserspremium.blogspot.com.ar](http://www.reduserspremium.blogspot.com.ar)

