

*DIF U<sub>100</sub>ci@*

**Revista de Difusión Científica**

Vol. 5, No.1, mayo-agosto 2011

ISSN 2007-3585

Difusión

**Nuevas Tecnologías  
de Banda Ancha  
para el Hogar  
Internet al Usuario**

R. Conte G.

Difusión

**Cristales fotónicos**

C. Sifuentes et al.

Por la divulgación de la ciencia y la tecnología

ISSN 2007-3585



---

PRODUCCIÓN  
**Universidad Autónoma de Zacatecas**

PRODUCCIÓN Y DISEÑO

**Gerardo Miramontes de León**

**D.R. de la Presente Edición**

**Gerardo Miramontes de León**  
**Universidad Autónoma de Zacatecas**  
**López Velarde 801, Centro**  
**98000 Zacatecas, Zac. México**

**ISSN 2007-3585**

**DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 5, No.1, mayo-agosto 2011, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", Jardín Juárez 147, Col Centro Zacatecas, Zac. C.P. 98000. [www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm](http://www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm). correo-e:gmiram@ieee.org. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo del Título expedido por el INDAUTOR, Reserva: 04-2010-110314331900-102. Responsable de la última actualización Gerardo Miramontes de León, López Velarde 801, Zona Centro, Zacatecas, Zac. C.P. 98000. Fecha de última modificación 30 de mayo de 2012.**

HECHO EN MÉXICO  
MADE IN MEXICO

---

## DIRECTORIO

---

M. en C. Francisco Javier Domínguez Garay Rector  
I. Q. Armando Silva Cháirez Secretario General  
M. en C. Jesús Octavio Enriquez Rivera Secretario Académico  
M. en A Emilio Morales Vera Secretario Administrativo  
Dra. Isabel Terán Elizondo Coord. Investigación y Posgrado  
Dr. Luis Alejandro Aguilera Galaviz Coord. de Investigación  
Dr. Diego Miramontes de León Coord. de Posgrado

---

## CONSEJO EDITORIAL

---

Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España  
Miguel Andrés, U. de Valencia, España  
Pedro Andrés, U. de Valencia, España  
Luis Tupak Aguilar, CITEDIPN, México  
David H. Covarrubias Rosales, CICESE, México  
Ernesto García Domínguez, U. Autónoma de Zacatecas  
Mireya Sara García Vázquez  
CITEDIPN, México  
Luis García Santander  
U. de Concepción, Chile  
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México  
Lyle E. McBride, CSU, Chico USA  
Oscar Montiel, CITEDIPN, México  
Arturo Moreno Báez, U. Autónoma de Zacatecas  
Claudia Sifuentes Gallardo, U. Autónoma de Zacatecas

## Contenido

Vol. 5, No. 1, mayo-agosto 2011

### EDITORIAL

#### **El avance de la tecnología** 5

El desarrollo tecnológico es un fenómeno que se ha vuelto parte de nuestra forma de vida y lo aceptamos con toda naturalidad. Una forma importante que ha modificado nuestro modo de comunicarnos y nuestros hábitos es la internet. En muy pocos años ha crecido y madurado, y sin embargo se siguen desarrollando formas de aumentar sus capacidades, y nuevos dispositivos prometen un futuro todavía más promisorio.

#### **Nuevas Tecnologías de Banda Ancha para el Hogar** 6

por R. Conte G. pp. 6 – 12

En este trabajo se presenta una visión general de los servicios de banda ancha y de sus aplicaciones. Se describe el desarrollo de los sistemas de transmisión de datos desde sus inicios y cómo se ha ido desarrollando la tecnología. La presentación incluye los siguientes aspectos: Aplicaciones y servicios de banda ancha, Enlaces por modems telefónicos, Líneas dedicadas y Conexión Digital de Abonado (xDSL), Sistemas de TV por Cable, Sistemas Inalámbricos y por Satélite, Servicios y aplicaciones futuras, y finalmente se dan algunas Conclusiones.

#### **Cristales fotónicos** 13

por C. Sifuentes et al. pp. 13 – 17

A largo plazo, la transmisión de información mediante señales eléctricas será cada vez más lenta, limitando la capacidad en las telecomunicaciones, por lo que investigar otras vías para transportar la información es prioritario. Los cristales fotónicos, según sus características podrían ser una de las soluciones a este problema.

### DIFUSIÓN

## El avance de la tecnología nuevos campos de aplicación

**E**L avance de la ciencia y del desarrollo tecnológico a nivel mundial es tal que nos hemos acostumbrado a nuevas aplicaciones de la tecnología que se integran de manera imperceptible en nuestra forma de vida. Ahora resulta completamente natural la comunicación móvil, la transferencia de archivos de datos, texto, y multimedia, desde una computadora de un hogar a otro, sin importar la distancia, el país o el idioma.

En este número se presentan dos artículos que exponen dos aspectos importantes en el desarrollo de la tecnología y su impacto en nuestra forma de comunicarnos. En el primer trabajo, se hace un desarrollo histórico de las comunicaciones en banda ancha, en especial el uso del internet. En el segundo trabajo, se presenta un tema que nos muestra el futuro de datos, no sólo medios ópticos, sino de nuevos dispositivos, los cristales fotónicos. Este tipo de cristales podrían usarse para fabricar procesadores de enrutamiento totalmente ópticos.

Cabe destacar la participación, en este número, de dos dedicados académicos: Claudia Sifuentes Gallardo del grupo de trabajo de Procesamiento e Instrumentación óptica y de Roberto Conte Galván del grupo de Comunicaciones Inalámbricas, del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE, de Ensenada, B.C.

© agosto 2011 G. Miramontes

correo-e: [gmiram2002@yahoo.com](mailto:gmiram2002@yahoo.com)

DIFU100ci@ (léase difuciencia) es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, Col Centro Zacatecas, Zac. Tiene como objetivo difundir conocimientos científicos y tecnológicos del área de la ingeniería, a través de artículos de divulgación y artículos que muestren temas de investigación.

### EDITOR EN JEFE

Gerardo Miramontes de León  
U. Autónoma de Zacatecas

### CONSEJO EDITORIAL

[Leonardo Acho Zuppa](#)

U Politècnica de Catalunya  
España

[Miguel Andrés](#)

U. de Valencia, España

[Pedro Andrés](#)

U. de Valencia, España

[Luis Tupak Aguilar](#)

CITEDI-IPN, México

[David H. Covarrubias Rosales](#)

CICESE, México

[Ernesto García Domínguez](#)

U. Autónoma de Zacatecas

[Mireya Sara García Vázquez](#)

CITEDI-IPN, México

[Luis García Santander](#)

U. de Concepción, Chile

[Geminiano D. Martínez Ponce](#)

CIO, México

[Lyle E. McBride](#)

CSU, Chico USA

[Oscar Montiel](#)

CITEDI-IPN, México

[Claudia Sifuentes Gallardo](#)

U. Autónoma de Zacatecas

*El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores. Se permite la reproducción total o parcial de los contenidos siempre y cuando se cite la fuente, y en los términos de la Ley Federal de Derechos de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables.*



# Nuevas Tecnologías de Banda Ancha para el Hogar

Roberto Conte Galván

## *New technologies of broadband for home*

Recibido: abril 19, 2011

Aceptado: junio 22, 2011

Palabras clave: Banda ancha; internet; xDSL

### **Abstract:**

*This paper presents an overview of broadband services and applications. We describe the development of data transmission systems since its inception and how it has developed the technology. The presentation includes the following topics: Applications and broadband services, links for telephone modems, dedicated lines and Digital Subscriber Connection (xDSL), Cable TV Systems, Wireless and Satellite Systems, Services and future applications, and finally give some conclusions.*

**Keywords:** Broadband; internet; xDSL

**P**ODEMOS comenzar por hacernos varias preguntas ¿Que es Banda Ancha? Es la tecnología de comunicaciones que permite el transporte de información multimedia de alta calidad (384 kbps - 2 Mbps) a distancia. Cada vez más implica acceso rápido a Internet.

¿Porqué al usuario? Escuelas y lugares de trabajo ya ofrecen este servicio, pero aún falta llegar al domicilio de muchos usuarios.

Históricamente la capacidad estaba limitada por varias razones:

- Compañías de telecomunicaciones basadas en la transmisión telefónica al hogar.
- La telefonía básica utiliza cable trenzado telefónico desde la central telefónica hasta el hogar.
- Capacidad máxima del canal telefónico de 4 kHz.
- Transmisión de datos limitada por la capacidad y tecnología del módem telefónico.
- Máxima capacidad teórica en modems actuales: 56 kbps.

- Máxima capacidad real de modems actuales: 28, 33 o 50 kbps.

## Aplicaciones y sistemas de banda ancha

Canal telefónico limitado a 4 kHz, suficiente para transmitir voz con buena calidad (1920's).



*Figura 1. Central telefónica (1920's).*

Redes de Teletipo y Telegrafía de baja capacidad (menor a 50 bps).



*Figura 2. Teletipo (menor a 50 bps).*

Aparición de primeros modems en 1960's (150, 300 bps).

Aplicación inicial en terminales tontas remotas conectadas a mainframes mediante cables telefónicos (datos s/canal de voz).

Uso de modems externos con acopladores acústicos (1966).

Con la revolución de las computadoras personales se inició la demanda de acceso digital desde el hogar. Conectivi-



*Figura 3. Adaptador acústico para modem (1966).*

dad remota sólo mediante red telefónica pública conmutada (RTPC).

Los usuarios pioneros buscaban el acceso remoto a servicios de tableros digitales (Bulletin Board Services, BBS). BBSs permitían intercambiar textos y pocos gráficos. Usaban modems de 600, 1200 y 2400 bps (1980's).

Los impulsores de servicios y aplicaciones de banda ancha son:

- La explosión del Internet en la sociedad global.
- Navegación Web, correo electrónico, charlas (chat).
- Bajo precio de computadoras personales y periféricos (PCs, impresoras, scanners, cámaras de video, teléfonos).
- Popularidad de servicios multimedia (Juegos, videos, CDs, música / MP3, teleconferencia, etc.).

La red telefónica pública conmutada tiene la mayor cobertura a nivel mundial, tanto local como internacional. Esta red, aún con su inmensa area cableada, tiene la limitante de su bajo ancho de banda.

Las redes telefónicas fueron diseñadas para transmitir señales analógicas (voz) a 4 kHz. Las redes telefónicas NO fueron diseñadas para transmitir señales digitales (datos).

## Limitaciones de las redes digitales actuales

La digitalización de la sociedad ha originado una explosión de redes digitales, tanto públicas como privadas, Aunque las redes digitales disponen de mayor ancho de banda que la

RTPC, aún tienen menor cobertura, por lo que ésta se sigue usando para acceso remoto doméstico.

Las redes digitales fueron diseñadas para transmitir señales digitales (datos) a altas velocidades. Las redes digitales no fueron diseñadas para transmitir información analógica (voz).

## Conectividad mediante Modems y Codecs

### REDES ANALOGICAS

Se necesita un convertidor digital/analógico (D/A) para transmitir señales digitales sobre redes analógicas, como datos sobre voz (DoV). A este convertidor se le conoce como MODEM (MODulador-DEModulador).



Figura 4. Red telefónica analógica.

### REDES DIGITALES

De igual manera, se necesita un convertidor analógico/digital (A/D) para transmitir información analógica sobre redes digitales. A este convertidor se le conoce como CODEC (CODificador-DECodificador).

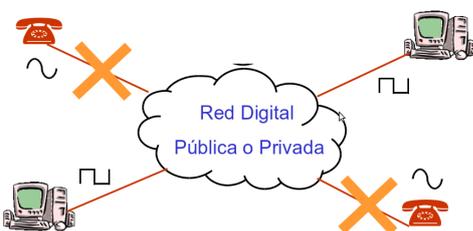


Figura 5. Red telefónica digital.

## Redes de Comunicaciones Analógicas

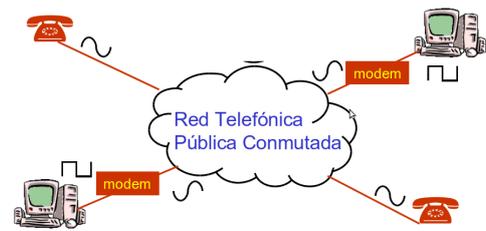


Figura 6. Red analógica y modem.

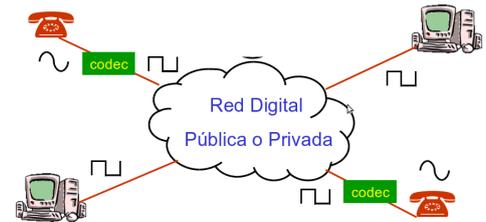


Figura 7. Red digital y codec.

## Redes de Comunicaciones Digitales

### Enlaces por Modems Telefónicos

El usuario está conectado a la RTPC mediante un modem telefónico entre la computadora y la central telefónica.

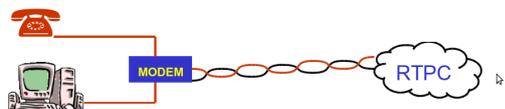
#### Ventajas

- Muy bajo costo de modems por producción en muy alta escala.
- Pueden conectarse en casi cualquier punto de la RTPC global.
- No requieren de ningún tipo de cableado interior extra.
- Se adapta a las velocidades que permita el cableado local.

#### Desventajas

- Acapara y obstaculiza el servicio telefónico de voz a la RTPC.
- Aplicaciones y servicios nuevos requieren mayores velocidades.
- Baja capacidad de ancho de banda, con límite teórico casi agotado.

Limitaciones por ruido en capacidad del enlace de subida. Capacidad de tráfico de RTPC basada en estadísticas de voz, no de datos, causando bloqueos e interrupciones por congestión.



Tecnología	Nombre	Subida	Bajada	Distancia	cable
Modem	V.34	< 33.6 kbps	< 33.6 kbps	> 300 km	1 p.
telefónico	V.90	< 33.6 kbps	< 56 kbps	> 300 km	1 p.

Figura 8. Modem y RTPC.

**Líneas dedicadas y Conexión digital de abonado (xDSL)**

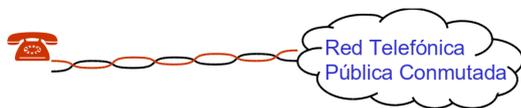


Figura 9. Abonado a red digital.

- El usuario está conectado a la RTPC mediante un par de cables trenzados entre el domicilio y la central telefónica.
- La RTPC tiene filtros de 4 kHz conectados a la entrada del par trenzado en la central telefónica.
- El par trenzado puede llevar señales digitales de mucho mayor capacidad y ancho de banda, pero se reducen con la distancia.

**Líneas dedicadas y Conexión digital de abonado (xDSL)**

El elemento más importante en redes xDSL es el modem DSL en casa del abonado (usuario). La capacidad del enlace DSL depende de la velocidad de datos disponible en cada sentido. La mayoría de las aplicaciones de datos al abonado son asimétricas: El enlace directo del abonado a la red (uplink, upload) suele ser de baja velocidad (¡64 kbps). El enlace de retorno de la red al abonado (downlink, download) suele ser de alta velocidad (¡ 2 Mbps).

**DSL - Basic, Single o Symmetric Digital Subscriber Line**  
 Uso residencial básico, capacidad similar a ISDN - BRI.

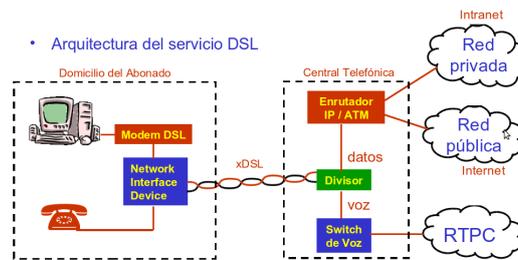


Figura 10. Arquitectura del servicio DSL

**ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line**

Uso residencial a bajo costo, asimétrico hasta 30:1.

**HDSL - High bit rate Digital Subscriber Line**

Uso en PyMEs y trabajo en el hogar (telecommuters).

**VDSL - Very high bandwidth Digital Subscriber Line**

Uso residencial y extensión de Ethernet en campus y edificios. Líneas dedicadas y Conexión digital de abonado (xDSL)

Tecnología	Nombre	Subida	Bajada	Distancia
DSL	Single DSL	128 kbps	128 kbps	6 km
HDSL	High bit rate DSL	2 Mbps	2 Mbps	2.5 km
ADSL	Asymmetric DSL	16 kbps	<2 Mbps	4 km
		<640 kbps	<8 Mbps	2 km
		64 kbps	2 Mbps	4 km
VDSL	Very high DSL	2 Mbps	12 Mbps	1.5 km
		5 Mbps	54 Mbps	300 m
		34 Mbps	34 Mbps	300 m

Figura 11. Tabla XDSL.

**Sistemas de TV por Cable**

Los sistemas de TV por cable proporcionan servicio de TV analógico con amplia cobertura residencial mediante FDM. Amplio ancho de banda disponible debido a privacidad del cable coaxial, y fibra óptica en el futuro próximo. Utilización de segmentos de banda ancha que la TV no ocupa para transmitir telefonía y datos en altas velocidades.

La red de distribución por cable usa una topología de árbol, entregando la señal de TV por colonias, barrios y calles hasta los domicilios de los suscriptores de esa ruta.

Voz, datos y TV utilizan la infraestructura de la red de cable. Los modems por cable envían datos mediante portadoras moduladas digitalmente sobre el cable coaxial. Los modems de cable pueden entregar datos a formato Ethernet (10 o 100 Mbps) y en formato USB. Se puede multicanalizar



Figura 12.

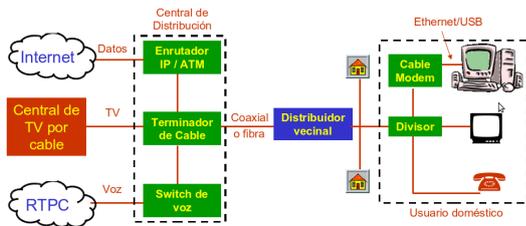


Figura 13. Sistema de TV por cable.

TV, voz y datos en bandas separadas. Usuarios de PyMEs pueden conectar el modem de cable a un switch, hub o enrutador para interconectar PCs y dar cobertura LAN.

**VENTAJAS**

- Funcionan sobre redes de TV por cable existentes.
- Los componentes de RF son baratos y abundantes.
- Permite multicanalizar TV, telefonía y datos.
- Próxima evolución hacia fibra óptica al hogar (FTH).

**DESVENTAJAS**

- Topología en bus obliga a compartir el canal entre usuarios.
- Baja eficiencia en alto tráfico residencial.
- Problemas potenciales de seguridad y privacidad.
- Compañías de cable son casi monopolios locales (poca variedad).

**Sistemas Inalámbricos y por Satélite**

Los sistemas de banda ancha inalámbricos son aquellos que utilizan enlaces de radio para comunicar dos puntos a distancia. El objetivo es interconectar al usuario doméstico con

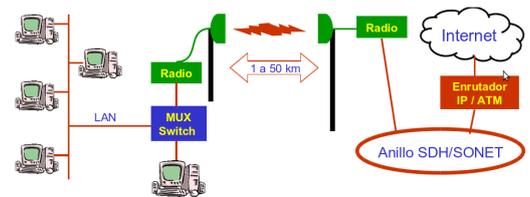


Figura 14. Sistema inalámbrico por satélite.

proveedores de servicios de banda ancha mediante un enlace de radio.

Los sistemas de radio son más rápidos de instalar y operar que los sistemas cableados y, por lo tanto, más baratos. La calidad del servicio depende de las condiciones de propagación que afectan la señal de radio.

Los sistemas inalámbricos utilizan sistemas de radio para dar acceso remoto de banda ancha a usuarios móviles o distantes.

**Sistemas Inalámbricos y por Satélite**

- Los sistemas móviles personales de banda ancha surgen de la evolución en la telefonía celular.

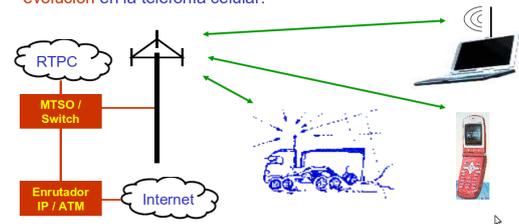


Figura 15. Sistema de telefonía móvil.

Los sistemas inalámbricos de banda ancha se pueden dividir en tres tipos principales:

- Radio enlaces punto a punto.
- Microondas multipunto MMDS, LMDS.
- Espectro extendido (SS-CDMA).

**Sistemas móviles personales de banda ancha**

Los sistemas móviles de banda ancha incluyen:

- Telefonía celular de tercera generación (3G)
- Sistemas vía satélite

- Sistemas fijos GEOS: Enlaces y redes VSAT, DirectPC.
- Sistemas móviles GEOS (Spaceway©) y LEOS (Teledesic©).
- ... y un pariente lejano: Redes Locales Inalámbricas (WLANs).

**Radio enlaces punto a punto**

**LMDS (Local Multipoint Distribution Service):** Radiobase local sirve a una área pequeña. Hasta 54 Mbps con enlaces < 5 km a 30 GHz. Requiere línea de vista entre antenas.

**MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)** Radiobase local sirve a una área urbana mediana. Basado en espectro original para TV restringida. Hasta 40 Mbps con enlaces < 50 km a 5 GHz.

**Espectro extendido (Spread Spectrum - CDMA)**

Enlaces punto a punto de baja capacidad (< 2Mbps) Servicio confiable protegido contra interferencia.

Los sistemas móviles personales de banda ancha surgen de la evolución en la telefonía celular. Brindan mayor capacidad de tráfico para aplicaciones de banda ancha mediante dispositivos inalámbricos portátiles. Tecnología celular de tercera generación (3G) está próxima a implementarse en México. Capacidad variable depende de movilidad: 144 kbps a bordo de vehículos en movimiento. 384 kbps terminal paseando en exteriores. 2 Mbps terminal fijo en interiores.

Los sistemas móviles personales de banda ancha surgen de la evolución en la telefonía celular.

Los sistemas de banda ancha vía satélite permiten la interconexión de usuarios domésticos desde cualquier lugar de la tierra bajo la huella del satélite. Los sistemas geoestacionarios (GEOS) mantienen el satélite fijo sobre el ecuador. Los más comunes emplean tecnología VSAT de mediana y alta capacidad (>2 Mbps). Costoso pero eficiente: (PyMEs).

Los otros usan tecnología DBS/DTH:

- Sistema DirectPC / Direct TV.
- Barato pero limitado (¡2Mbps).

Los sistemas móviles de banda ancha vía satélite están aún en su etapa de desarrollo. Pueden operar mediante satélites GEOS para usuarios móviles tal como el sistema Spaceway©.

Los sistemas móviles de banda ancha vía satélite están aún en su etapa de desarrollo. Pueden operar mediante satélites LEOS para usuarios móviles (Teledesic).

**Sistemas Inalámbricos y por Satélite**

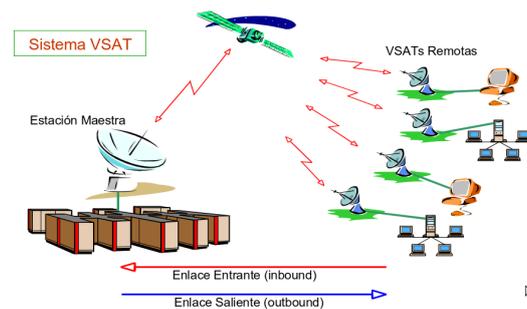


Figura 16. Sistema VSAT.

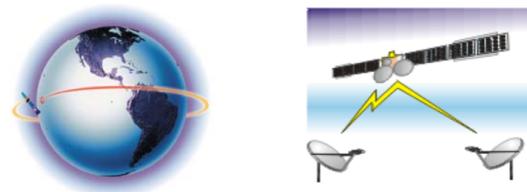


Figura 17. Sistema satelital GEOS.

Las Redes Locales Inalámbricas (WLANs) no son propiamente un sistema de comunicaciones al usuario residencial. Más bien, son un elemento de acceso local una vez que se cuenta con acceso de banda ancha a redes como Internet.

A la fecha no hay gran demanda de servicio de banda ancha al hogar por las siguientes razones: En México aún no se ofrece abiertamente, aunque PSIs y Telcos así lo anuncien (no es banda ancha).

Japón, Europa y E.U. sólo disponen de algunas tecnologías, y también a precios altos. No hay “killer application” que justifique los costos de banda ancha al hogar. Velocidad no es suficiente.

Navegar la web, e-mails y “chatear” no bastan para pagar un servicio más caro.

Bajar música o películas tampoco es negocio (legal).

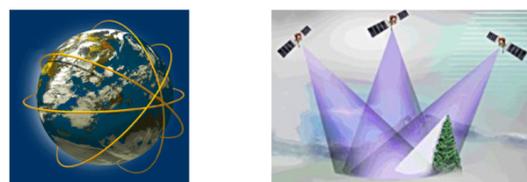


Figura 18.

Internet ha creado tal cambio de paradigma que muy pocos se han beneficiado económicamente.

## Nuevo desarrollo de software

Internet ha creado tal cambio de paradigma que muy pocos se han beneficiado económicamente. El mercado de servicios y aplicaciones al usuario común y corriente debe crecer y madurar. ¡Ya basta de desperdiciar recursos! (ciclos de CPU, memoria, espacio de disco, ancho de banda, etc). Se necesitan BUENOS PROGRAMADORES con imaginación, creatividad y, sobre todo, con buen conocimiento de las distintas áreas necesarias para llevar banda ancha a la sociedad.

## Conclusiones

Banda ancha llegará. La tecnología existe, pero el mercado aún no se convence de pagar extra.

Se necesita creación de nuevos servicios y aplicaciones que justifiquen el mercado de banda ancha. Los proveedores de servicios necesitan bajar sus expectativas de utilidades. La competencia será salvaje, hasta lograr servicios aceptados. Muchas empresas de banda ancha (PSIs, Telcos y fabricantes) quedarán en el camino. Habrá nuevas tecnologías, mejores y más baratas.

Este es un problema interdisciplinario:

¿Áreas necesarias? Casi obligatorias. ¿Todólogos? Puede que no haya de otra. ¿Empleo?

### ¿Qué podemos esperar en el futuro?

Que la tecnología siga avanzando. Debemos seguir de cerca los continuos avances en las tres áreas. Debemos ser expertos en un tema específico y conocer bien los demás. Ya estamos en la primera mitad del siglo XXI, el de la información. Es muy fácil quedar obsoleto.

## Acerca del autor o autores

Roberto Conte es investigador del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, del grupo de Comunicaciones Inalámbricas, del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE, de Ensenada, B.C.



# Cristales fotónicos

C. Sifuentes, J. M. Ontiveros, E. García Domínguez, A. Moreno Báez

## *Photonic crystals*

Recibido: abril 1, 2009

Aceptado: abril 22, 2009

Palabras clave: cristal fotónico; capacidad de transmisión; telecomunicaciones

### **Abstract:**

*In the long run, the transmission of information through electrical signals will become increasingly slow, limiting the ability of telecommunications, so investigate other ways to convey information is a priority. The photonic crystals according to its characteristics could be one solution to this problem*

**Keywords:** Photonics crystals; transmission capacity; telecommunications



A creciente demanda en el intercambio de información por la red (datos, audio, video e internet) ha hecho que la información se trans-

mita cada vez más por medio de luz en específico por medio de fibra óptica, la cual han representado una revolución en las telecomunicaciones. Sin embargo la información llega al usuario final todavía por medios eléctricos lo cual produce problemas en los nodos debido a que no hay, aún, dispositivos totalmente ópticos, esto trae como consecuencia que el servicio sea más costoso en tiempo y energía.

## **Introducción**

A largo plazo, la transmisión de información mediante señales eléctricas será cada vez más lenta, limitando la capacidad en las telecomunicaciones, por lo que investigar otras vías para transportar la información es prioritario. Los cristales fotónicos, según sus características podrían ser una de las soluciones a este problema. La nanofotónica es la disciplina científica técnica que tiene por objeto el estudio de la generación, control y detección de luz en escalas similares o menores que su propia longitud de onda y el estudio de la interacción con la materia a escala nanométrica [1]. En particular sus objetivos tienen que ver con los fenómenos en que la radiación electromagnética o la materia están confinadas en tamaños del rango nanométrico. En este campo

han surgido varias áreas de investigación cuyo objetivo principal es explicar, predecir y aplicar dichos fenómenos y de ellos se destacan los cristales fotónicos [2]. Este tipo de cristales podrían usarse para fabricar procesadores de enrutamiento totalmente ópticos. Por otro lado y dado que los cristales fotónicos son más pequeños que los componentes electrónicos que se usan en la actualidad, los nuevos equipos serían más pequeños, resistentes y menos vulnerables a la interferencia electromagnética [3].

-----

**La nanofotónica es la disciplina científica técnica que tiene por objeto el estudio de la generación, control y detección de luz**

-----

## CRISTALES FOTÓNICOS

Los cristales con características de los fotónicos han sido estudiados desde 1887, pero el término cristal fotónico se originó en 1987 por Ely Yablonovich al trabajar en el confinamiento de la luz y la inhibición de la emisión espontánea [4]. Se demostró que en arreglos periódicos de materiales dieléctricos (idealmente sin pérdidas), la propagación de la luz puede ser totalmente suprimida para ciertas longitudes de onda, sin tomar en cuenta la polarización ni la dirección de propagación. Esta inhibición no se debe a la absorción del material sino a la periodicidad del arreglo y lo que es absolutamente fundamental: en el rango de frecuencias que no se pueden propagar (banda prohibida fotónica), la densidad de estados permitidos para la luz, se desvanecen, así, la emisión espontánea es imposible [5].

Cabe hacer notar que el término cristal fotónico se introdujo originalmente para referirse a materiales con bandas prohibidas fotónicas. Ahora es más frecuente el uso de éste término para referirse a cualquier arreglo periódico de un material dieléctrico o un metal, con o sin bandas prohibidas fotónicas. La última generalización del término considera que en la física del estado sólido, un cristal puede ser llamado así tomando en cuenta la periodicidad de la red, con bandas prohibidas las cuales aparecen en determinados casos. Por lo anterior el término material con bandas prohibidas fotónicas se reserva para un cristal fotónico el

cual siempre tenga bandas prohibidas fotónicas. Para evitar cualquier tipo de confusión se hablará de nanoestructuras dieléctricas ó o metálicas periódicas, debido a que algunas veces las estructuras dieléctricas no siempre son periódicas [4].

Así, pues Los cristales fotónicos [ ] son nanoestructuras ópticas periódicas que están diseñadas para afectar el movimiento de los fotones de un modo similar al que la periodicidad de un cristal semiconductor afecta al movimiento de los electrones. Los cristales fotónicos aparecen en la naturaleza de forma natural y también se pueden fabricar en el laboratorio. Han sido estudiados por los científicos con diversos intereses y se les han dado diversas aplicaciones [6].

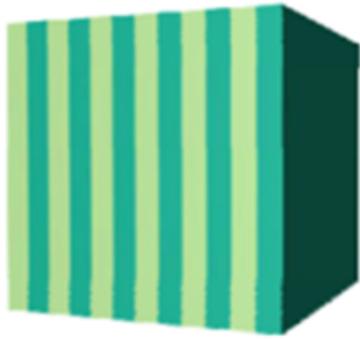
## TIPOS DE CRISTALES FOTÓNICOS

### Unidimensionales: Espejos de Bragg

El dispositivo más simple que usa el principio de los cristales fotónicos es el cristal fotónico unidimensional, mejor conocido como espejo de Bragg o reflector multicapa. Consiste de dos capas dieléctricas alternadas apiladas de forma periódica, como se puede ver en la figura 1. La luz se propaga en dirección normal a las capas sufriendo reflexiones y transmisiones sucesivas en cada interface adyacente a las capas. Al escoger de forma apropiada el grueso de las capas y el índice de refracción, las ondas reflejadas de cada interface están en fase, mientras que las ondas transmitidas están fuera de fase. En ese caso, los componentes de las ondas transmitidas se cancelan y solo la interferencia de las ondas reflejadas es constructiva o sea la luz es totalmente reflejada. Esto ocurre en un rango de frecuencias. Los espejos de Bragg han sido usados por décadas, pero recientemente han sido considerados como un caso especial de cristales fotónicos [7]. Los cristales fotónicos unidimensionales son utilizados ampliamente como láminas ópticas delgadas con aplicaciones que van desde recubrimientos de lentes y espejos con baja y alta reflexión hasta pinturas que cambian de color y tintas [7].

### Bidimensionales: Fibras Óptica Microestructuradas

Los cristales fotónicos de dos dimensiones se hacen usualmente como arreglos periódicos de barras dieléctricas (o metálicas) paralelas separadas por aire o perforando o grabando huecos en un material dieléctrico, Figura 2. En el campo de la óptica integrada, se ha demostrado exitosamente la aplicación de huecos de fracción de un micrómetro



*Figura 1. Un cristal fotónico unidimensional (1D) sería el formado por una secuencia de láminas con dos índices de refracción diferentes.*

grabados en una guía de onda en forma de lámina, para circuitos y mejorar el procesamiento de comunicación tanto dentro como entre los chips [8, 9]. La fabricación de cristales fotónicos bidimensionales ha aprovechando los métodos empleados en la industria de los semiconductores, esto ha permitido que las aplicaciones de este tipo de cristales fotónicos se comercializaran más rápidamente. Más adelante esas mismas técnicas empezaron a emplear cristales fotónicos planares, cristales fotónico bidimensionales perforados en láminas de semiconductores, la reflexión total interna confina la luz en las laminas y permite los efectos de un cristal fotónico, de esa forma se logra usar la dispersión fotónica en las láminas [8, 9].

Los cristales fotónicos bidimensionales han encontrado su uso más comercial y de aplicación más inmediata en forma de fibras de cristal fotónico (también conocidas como fibras microestructuradas). Las fibras de cristal fotónico pueden diseñarse para obtener propiedades mejoradas sobre una fibra óptica convencional [8, 9].

#### **Tridimensionales:** Computadoras Ópticas

Los cristales fotónicos de tres dimensiones son más difíciles de obtener. ya que no ha heredado ni hay ninguna técnica disponible proveniente de la industria de semiconductores para la fabricación de cristales fotónicos tridimensionales. Se ha intentado, de todos modos, adaptar algunas técnicas y se ha llegado a obtener algunos avances<sup>10</sup>. Yablonoitch sugiere taladrar un arreglo de huecos a tres diferentes ángulos en un material dieléctrico, Figura 3. Otro método es la llamada estructura “pila de leña” (“wood-



*Figura 2. Una distribución periódica de motivos de diferente constante dieléctrica (en este ejemplo cilindros de semiconductor separados por aire) posee una distribución con bandas de energías y zonas donde no existen estados permitidos (energías prohibidas para fotones).*

pile”) construidas a base de depositar sucesivas capas de materiales. Otra línea de investigación consiste en fabricar las estructuras fotónicas tridimensionales mediante autoensamblaje, básicamente se trata de permitir que nanoesferas dieléctricas suspendidas en un disolvente se dispongan en estructuras tridimensionales periódicas que posean una banda prohibida fotónica[10, 11].

Las aplicaciones de cristales fotónicos en tres dimensiones están lejos de llegar a comercializarse pero ofrecen características adicionales que pueden dar lugar a un nuevo concepto de tecnología, como por ejemplo la computadora óptica, una vez que se controlen ciertas facetas tecnológicas como su fabricación y los principales problemas como el desorden en las estructuras [?].

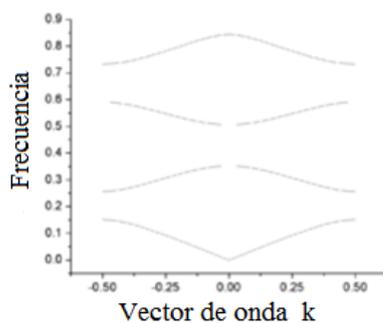
La banda prohibida fotónica es básicamente un salto entre la línea del aire y la línea del dieléctrico en la estructura de bandas de energía debido a la dispersión de la luz al difractarse. Al diseñar un cristal fotónico es necesario pronosticar la posición y el tamaño de la banda prohibida, esto se hace usando métodos como el de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo, el Método espectral de Orden N o Método de Aproximación Escalar, con los que se hacen cálculos de simulación. Básicamente estos métodos calculan las frecuencias (modos) de los cristales fotónicos para cada valor de la dirección de propagación dada por el vector de onda o viceversa, los valores del vector de onda  $k$  para cada frecuencia, en el espacio recíproco [13].



*Figura 3. Cristal fotónico 3D fabricado capa a capa por litografía. Las capas compuestas por agujeros (menores de una micra en diámetro) separados por brazos en estrella y las capas compuestas por columnas se alternan simulando los enlaces químicos de una red de diamante*

## CONCLUSIONES

En el mundo actual, los semiconductores son la base para la microelectrónica, las telecomunicaciones y la computación. Se está comenzando a entender el excitante potencial de sus primos electromagnéticos para el mundo del mañana: los cristales fotónicos. Estos tienen una banda prohibida electromagnética, una banda de frecuencias en las cuales las ondas electromagnéticas están prohibidas. Estructuras de 1D, 2D y 3D se han construido para aplicarlas en áreas entre las que figuran las telecomunicaciones, donde se crearán sis-



*Figura 4. Estructura de bandas de un cristal fotónico unidimensional, espejo de Bragg, calculada usando el método de aproximación escalar.*

temas ópticos cientos de veces más eficientes que los existentes, porque las señales podrán transmitirse y procesarse simultáneamente en muchas longitudes de onda, así como circuitos integrados nanofotónicos que podrán ser insertados en los microchips estándar con lo que estará disponible el prototipo de la computadora óptica.

## Bibliografía

- [1] López, C. (2003) “Materials aspects of photonic crystals”, *Advanced Materials*, 15, 1679. [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)
- [2] Alvaro Blanco, Cefe López, Gaspar Armelles, F. J. García Vidal, *NanoFotónica: hacia el control sub-micrométrico de la luz*, Madrid, 2006. [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org).
- [3] “Photonics for the 21st century”, <http://web13.vdi.net-build.de/pdf/visionpaperPh21.pdf>.
- [4] E. Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics. *Phys. Rev. Lett*, 58(20), 1987.
- [5] S. John, “Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices” *Phys. Rev. Lett.* 58, 2486–2489 (1987).
- [6] E. Yablonovitch and T.J. Gmitter, “Photonic Band Structure: The face-centered-cubic case”, *Phys. Rev. Lett.* vol. 63, 1950-1953 (1989).
- [7] S. John. Electromagnetic absorption in a disordered medium near a photon mobility edge. *Phys Rev Lett*, 53:2169-2172, 1994.
- [8] “Foundations of Photonic Crystal Fibres” Frederic Zolla, Gilles Renversez, Andre Nicolet, Boris Kuhlmeij, Sebastien Guenneau, Didier Felbacq, Imperial College Press, 2005.
- [9] F. Poli A. Cucinotta S. Selleri, *Photonic Crystal Fibers: Properties and Applications*, Springer, 2007
- [10] E. Yablonovitch, *Photonic Crystal, Physics and Technology Frontiers*, pp.6, 2002
- [11] Eli Yablonovitch, *Photonic Crystals: What’s in a Name?*, *Optics—Light Touch*, pp.12-13, 2007.

- [12] “Photonic Crystals: Physics and Technology”, C. Sibia · T.M. Benson · M. Marciniak · T. Szoplik, Springer-Verlag, 2008.
- [13] E. Yablonovitch, T.J. Gmitter, K.M. Leung (1991), Photonic band structure: the face-centered-cubic case employing nonspherical atoms (PDF), Physical Review Letters 67 (17): 2295–2298, doi:10.1103/PhysRevLett.67.2295, <http://www.ee.ucla.edu/~photon/pubs/ey1991prl6717.pdf>

## Acerca del autor o autores

Profesores-investigadores de la Fac. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, y miembros del Cuerpo Académico de Procesamiento e Instrumentación Óptica.

## INSTRUCCIONES PARA AUTORES

DIFU100ci@ (léase difuciencia) es una publicación cuatrimestral del Cuerpo Académico de Procesamiento e Instrumentación óptica, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas. Tiene como objetivo difundir conocimientos científicos y tecnológicos del área de la ingeniería, a través de artículos de divulgación y artículos que muestren temas de investigación. La revista cuenta con el Certificado de Reserva de Derecho al Uso Exclusivo del Título expedido por el INDAUTOR, Reserva: 04-2010-110314331900-102.

Los trabajos pueden ser clasificados, al menos, en tres categorías: Divulgación, Investigación, y Tutoriales.

**Divulgación:** Artículos que no necesariamente contienen resultados de proyectos de investigación propiamente. En esta sección también se podrán incluir trabajos que presenten nuevos enfoques a temas de investigación de modo que permitan ampliar su difusión.

**Investigación:** Se pueden incluir resultados de investigación aunque conservando el enfoque a la divulgación, es decir, no necesariamente con el rigor de un “paper”. Con ese enfoque se pretende motivar aun mayor número de lectores al hacerles llegar los nuevos tópicos que se estudian actualmente. Los trabajos sobre desarrollo tecnológico pueden ser considerados en esta categoría y se recomienda que un mayor número de trabajos correspondan a esa importante tarea.

**Tutoriales:** Se muestran temas novedosos, pero poco conocidos. O bien, nuevos enfoques a temas básicos, con un objetivo didáctico, de modo que permitan ampliar el conocimiento y motiven su aplicación en proyectos de ingeniería (desarrollo tecnológico). Página provisional de la Revista:

<http://www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm> **Sobre el formato del texto:** Los trabajos se pueden enviar en formato txt y las gráficas o figuras en formato jpg con buena resolución. De ser posible debe enviarse un solo archivo rar o zip que contenga tanto el texto como las figuras. En el caso de utilizar Word, se deberá enviar en formato .doc, sin utilizar macros (no se aceptará formato docx). También se aceptarán trabajos en formato OpenOffice. No se solicita ningún formato de página en especial, ya que el texto será llevado al formato de la revista. El trabajo debe incluir

1. Título y Lista de autores.
2. Resumen en un máximo de 200 palabras. El Resumen se utiliza como descripción del trabajo en el índice ampliado, y no aparece en el cuerpo del documento (ver algún número anterior como muestra).
3. Cuerpo del documento: El título de las Secciones será en MAYÚSCULAS, debidamente acentuadas. Las Subsecciones en minúsculas con la primera letra en mayúscula.
4. Las ecuaciones deberán indicarse lo más claramente posible, aun en formato txt. Por ejemplo:  $H(\omega_1) = z^2 / (z - 0.5)$  where  $z = e^{(j)\omega_1}$
5. Biografía de los autores. El lugar de adscripción se incluirá en una sección “acerca del autor” donde se podrá incluir una breve descripción del puesto que desempeña o ha desempeñado cada autor.

El autor principal deberá enviar debidamente llenado y firmado el formato de “cesión de derechos”, manifestando además que el trabajo no ha sido publicado previamente.

#### POLÍTICA EDITORIAL:

Los originales serán sometidos a un proceso editorial en varias fases. En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte del Comité Editorial, quien determinará la pertinencia de su publicación, con base a los requisitos temáticos. En la segunda fase, los artículos son enviados a dos pares académicos externos, quienes determinarán en forma anónima uno de los siguientes dictámenes: a) publicar sin cambios, b) publicar después de cumplir correcciones menores, c) publicar una vez que se haya revisado a fondo, d) rechazar. En caso de discrepancia entre los dos árbitros, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá si es aceptado o rechazado. Los resultados del proceso del dictamen son inapelables en todos los casos.

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

DIFU100ci@ (read difuciencia) is a quarterly publication of the Processing and Optical Instrumentation Academic Group, Faculty of Electrical Engineering, Universidad Autonoma de Zacatecas. It aims to disseminate scientific and technological knowledge in the field of engineering, through application oriented articles and articles showing research topics. The magazine has a certified copyright number for exclusive use of the title issued by INDAUTOR, Reserve: 04-2010-110314331900-102.

**Aims and Scope:** The articles can be classified in at least three categories: Divuligation, Research, and Tutorials.

**Divuligation:** The articles do not necessarily contain results of research projects themselves. This section will also include works that showcase new approaches to research subjects so as to broaden its distribution.

**Research:** The articles include research results while maintaining the focus on disclosure (divuligation), ie not necessarily with the rigor of a “paper”. This approach is intended to motivate even more to bring readers to the new topics that are studied today. Works on technological development can be considered in this category and it is recommended to have more articles related to this important task.

**Tutorials:** These include new issues, but little known. Alternatively, they may include new approaches to basic knowledge, with a didactic purpose, so that will expand knowledge and encourage its application in engineering/technological projects. Provisional Web site of the Magazine: <http://www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm>

**Format for submmision:** The work can be sent in .txt formats and graphics or pictures in .jpg format with good resolution. It will be acceptable to send a single .zip or .rar file containing both the text and figures. In the case of using word, it must be sent in .doc format without using macros (.docx format is not accepted). It will be also accepted as an OpenOffice file. It is not requested any page format, especially since the text will be brought to the format of the magazine.

The article should include:

1. Title.
2. List of authors.
3. Summary in a maximum of 200 words. The summary is used as the article description in the expanded index, and does not appear in the document body (see a previous issue as a sample).
4. Main body of document. The title of the section will be in UPPERCASE, properly spelled. Subsections must be written in lowercase with the first letter capitalized.
5. The equations should be indicated as clearly as possible, even in txt format. For example:  
$$H(\omega_1) = z^2 / (z - 0.5) \text{ where } z = e^{(j)\omega_1}$$
6. Biography of the authors. The actual job position will be included in a section “about the author” which may include a brief description of the position played or had played each author.

The lead author must submit the duly completed and signed form of “transfer of rights”, saying that the work has not been published previously.

#### EDITORIAL POLICY:

Manuscripts will undergo an editorial process in several phases. First of all the items received will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee, who will determine the relevance of its publication, based on thematic requirements. In the second phase, items are sent to two external academic peers, who determine anonymously one of the following opinions: a) accept unchanged, b) accept after serving minor corrections, c) accept once it has been fully reviewed, d) reject. In case of discrepancy between the two arbitrators, the text will be sent to a third arbitrator, whose decision will define if it is accepted or rejected. The results of the opinion process are final in all cases.

