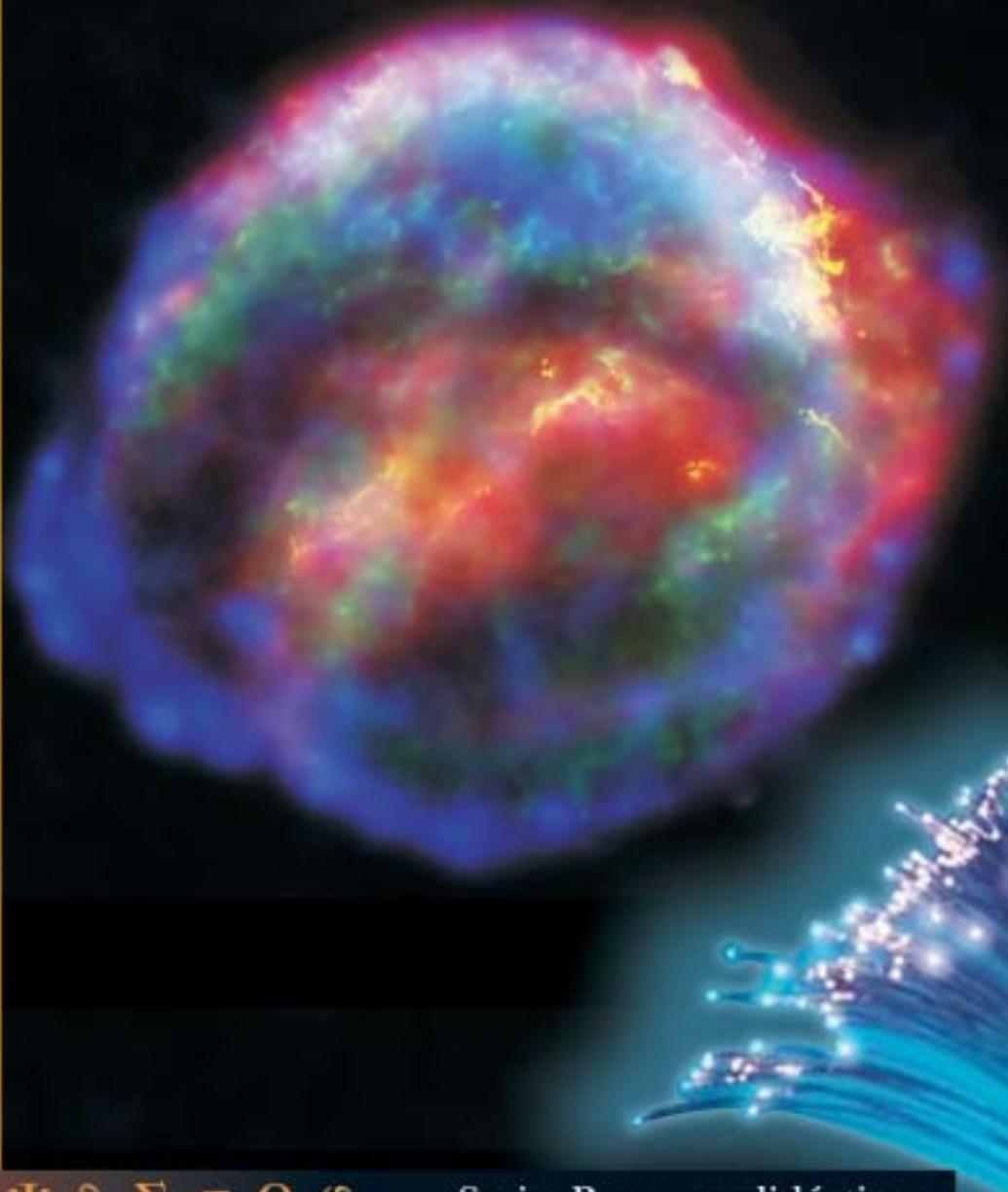




Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras



Serie: Recursos didácticos

Tapa:
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Prof. Alberto E. Sileoni

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras

Ricardo Duchowicz

Sergio Noriega

Colección Serie "Recursos didácticos".
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

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

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

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0500-X

Duchowicz, Ricardo
Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras /
Ricardo Duchowicz y Sergio Noriega; coordinado por Juan Manuel
Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la
Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.

128 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 5)

ISBN 950-00-0500-X

1. Electrónica. 2. Transmisión de datos-Computadoras. 3. Fibra óptica. I.
Noriega, Sergio II. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. III. Título

CDD 621.381 : 004.6

Fecha de catalogación: 12/05/2005

Instituto Nacional de Educación Tecnológica
Centro Nacional de Educación Tecnológica
CeNET-Materiales

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA -Características físicas de los materiales de construcción-
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

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

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

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

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
 - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
 - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
 - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317-.
 - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el periodo 2003-2007:

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

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

Programa 2. Crédito fiscal:

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

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

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

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

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

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

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

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

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

Programa 8. Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

María Rosa Almandoz

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

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

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

El CeNET, así:

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

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

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

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

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web www.inet.edu.ar–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearón la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

Juan Manuel Kirschenbaum

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

LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

1 Problemas tecnológicos en el aula. En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

2 Encuadre teórico para los problemas. En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

4 El equipo en el aula. En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

5 La puesta en práctica. Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

Haydeé Noceti

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".
Centro Nacional de Educación Tecnológica



5. Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Ricardo Duchowicz.

Es Doctor en Física. Fue miembro fundador del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp). Es Investigador Científico del CONICET, responsable del Laboratorio Metrológico para las Comunicaciones Ópticas (LAMECO), destinado a estudio de fibras ópticas y de sus aplicaciones. Ha publicado más de setenta trabajos científicos y participado en más de ochenta congresos nacionales e internacionales. Es profesor adjunto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

Sergio Noriega.

Es Ingeniero en Telecomunicaciones. Se desempeña como Profesional de Apoyo Principal en la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC), con lugar de trabajo en el Laboratorio Metrológico para las Comunicaciones Ópticas (LAMECO) del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp). Es profesor titular en la cátedra “Introducción a los sistemas lógicos y digitales” (Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata) y profesor asociado en la cátedra “Telecomunicaciones I” (Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas. Universidad Argentina de la Empresa).

Coordinación general:

Haydeé Noceti

Diseño didáctico:

Ana Rúa

Administración:

Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:

Laura Irurzun

Diseño gráfico:

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:

Laura Lopresti

Juan Manuel Kirschenbaum

Diseño de CD:

Sergio Iglesias

Pablo Pilotto

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



Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica	VIII
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica	X
La serie "Recursos didácticos"	XII

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	10
• Fibra ópticas	
▪ Características, propiedades y principio de funcionamiento de un conductor de fibra óptica	
▪ Modos de propagación	
▪ Tecnología de las fibras ópticas	
▪ Perfiles de índice de los conductores de fibras ópticas: Tipos de fibra	
▪ Uniones de fibras ópticas	
▪ Sistemas de transmisión por fibras ópticas. Conversión electro-óptica de señales	
• Esquemas actuales de sistemas de comunicaciones digitales. Ejemplo de red de datos tipo Ethernet y de red de telefonía SDH	
▪ Transmisores y receptores usados en comunicaciones por fibras ópticas	
▪ Cable de fibra óptica	
▪ Conectores	
▪ Pérdidas en un enlace óptico	
▪ Aplicaciones con fibra óptica plástica	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	56
• El producto	
• Los componentes	
• El armado	
4 El equipo en el aula	81
5 La puesta en práctica	88

CD Anexo: Programa del Transmisor



1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

En 1860, con la invención del telégrafo, comienza a generarse un profundo interés por conseguir algún método de comunicación confiable que pudiera cubrir la mayor distancia posible.

En 1874, se inventa y patenta el teléfono, que se convierte en el medio de comunicación por excelencia. El teléfono permitía, en principio, la comunicación en un solo sentido entre dos puestos -uno de habla y otro de escucha-, empleando como elementos componentes: un micrófono, un auricular, cables y una batería.

A partir de ese momento, los avances en comunicaciones terrestres son continuos y espectaculares.

En poco tiempo, se logra que el teléfono sea bidireccional, es decir, que permita que dos puestos puedan ser de habla-escucha simultáneamente.

Vislumbrando la posibilidad de convertir este invento en un sistema de comunicación de uso masivo, se van creando, paulatinamente, métodos para lograr que cada vez mayor cantidad de personas puedan comunicarse.

En los inicios del uso del teléfono, es necesario que un conmutador operado manualmente reciba un pedido de conexión desde un teléfono y, con una serie de clavijas en un

tablero eléctrico, conecte al abonado solicitante al abonado destinatario de la comunicación.

Luego de un tiempo, la operación manual es reemplazada por un equipo de conmutación que efectúa el proceso de llamado en forma automática; inclusive, el de liberación del enlace establecido (los cables empleados para esa comunicación) para un uso posible entre otros abonados.

En forma paralela, las comunicaciones por el aire toman cada vez mayor importancia. Su creciente empuje se ve potenciado por la segunda guerra mundial durante la cual resulta vital conseguir comunicaciones confiables a corta y a larga distancia. Para este último caso, la invención del satélite permite establecer una comunicación entre puntos distantes del planeta y, hoy en día, hacia el espacio profundo a través de sondas espaciales

Con la invención del transistor -en la década del '60- y del microprocesador -a fines de la década del '70-, comienza la era de la electrónica digital que da origen a la denominada computación, transformando una máquina que sólo servía para realizar operaciones secuenciales sobre la base de un programa preestablecido en una elemento clave para las comunicaciones de hoy en día.

Desde la década de los '80, las transmi-

siones analógicas migran a paso agigantado a las del tipo digital, permitiendo transportar diferentes servicios como voz, datos y video. De todos modos, la utilización de cables eléctricos como medio de transmisión de la información sigue existiendo en la actualidad, fundamentalmente en lo que se conoce como "última milla", es decir, la conexión entre el abonado y la central de conexión a la red telefónica asociada a él.

Dado que dicha red debe permitir la comunicación simultánea entre la mayor cantidad de abonados posible, se espera que los cables empleados soporten un tráfico tal.

Detengámonos un momento en la consideración de los medios físicos de transmisión.

Para evaluar un medio de transmisión existen dos parámetros clave:

- Atenuación.
- Ancho de banda.

La **atenuación** se refiere a que, cuando una señal electromagnética o eléctrica se propaga por un medio conductor se ve, invariablemente, afectada por la pérdida inherente a dicho medio. En un cable eléctrico, por ejemplo, su resistencia eléctrica -junto con la del transmisor y la del receptor- constituye el factor limitante.

Esto se ve reflejado en una disminución paulatina de la señal que, al llegar al receptor, puede ser comparable con la señal de "ruido", con una calidad no admisible en la recepción (por ejemplo, la voz no resulta inteligible).

Dependiendo del tipo de señal que se transporte y del tipo de información de que se trate, existe una distancia límite tal que, si resulta excedida, ocasiona que la calidad de la información se vea comprometida. En muchos casos, esta pérdida de la señal puede ser reestablecida empleando dispositivos activos tales como amplificadores.

La señal de ruido es, básicamente, una señal "no deseada", que no forma parte de la transmitida y que, al sumarse a ésta, ocasiona que la señal resultante se vea distorsionada. El "ruido" puede tener varios orígenes y puede aplicarse en el transmisor, en el medio conductor, en el receptor o en todos ellos.

Por ejemplo, en transmisión de televisión por cable, si bien se usan conductores especiales, es necesario amplificar la señal de video transmitida, aproximadamente, cada 500 metros hasta un máximo de poco más de 2000 metros, ya que cada amplificador también genera "ruido" que se va sumando a la señal que amplifica.

El **ancho de banda** es el otro parámetro clave. Refiere a que cada medio de transmisión tiene limitada su capacidad de poder transportar información, al igual que el transmisor y el receptor seleccionados. Como ejemplo, podemos decir que un cable tipo par trenzado, empleado en comunicaciones telefónicas entre el abonado y la oficina a la cual se conecta, suele tener un ancho de banda inferior a los 4000 Hertz (4000 Hz).

¿Dónde entra la fibra óptica en todo este proceso?

Un conductor de fibra óptica es, por lejos, la opción ideal para disponer de un medio de transmisión que tenga baja pérdida y gran ancho de banda (Fundamentaremos en detalle esta apreciación global en la segunda parte de nuestro módulo).

- Con respecto a las pérdidas, podemos decir que, comparando la limitación de la transmisión de televisión por cable con cable metálico limitada a unos pocos kilómetros con fibra óptica, es posible llegar a más de 30 kilómetros.
- Respecto del ancho de banda, un cable par trenzado tiene una capacidad de varios cientos de kilohertz (1 KHz = 100 Hz), un cable coaxial varios cientos de megahertz (1 MHz = 1.000.000 Hz) y un cable de fibra óptica denominada monomodo, varias decenas de gigahertz (1 GHz = 1.000.000.000 Hz), es decir varias decenas de miles de millones de Hertz.

Otra característica que es importante a la hora de comparar medios de transmisión, como los de metal, es la alta inmunidad al ruido externo causado por perturbaciones electromagnéticas -caída de rayos cerca del cable, ubicación dentro del campo magnético que genera un motor, etc.-.

También resguarda respecto del crosstalk o acoplamiento entre cables que es común cuando se tienen, por ejemplo, dos cables telefónicos muy cerca uno del otro, lo que ocasiona que sus señales se acoplen de un cable al otro.

En fibra óptica estas perturbaciones no se producen, debido a que lo que se transmite es una señal luminosa por un medio dieléctrico no conductor de la electricidad.

Es más, la fibra es ampliamente utilizada en instalaciones con riesgo de explosión para transmitir información, ya que es imposible que genere chispa.

¿Por qué, entonces, no tenemos fibra óptica en todos lados, si sus características son tan superiores a las de los cables metálicos?

La razón es, básicamente, económica ya que tecnológicamente la opción de cable de fibra óptica es superior.

En principio, se justifica plenamente el uso de fibra óptica cuando el requerimiento de ancho de banda y/o de confiabilidad en la transmisión es elevado.

Y, ¿cómo se estudia la fibra óptica en la escuela?

Veamos...

Desde el taller "Sistemas electrónicos analógicos y digitales", los alumnos están realizando el análisis tecnológico¹ del proceso de transmisión de señales analógicas por un conductor de fibra óptica:

- ¿Cómo se puede utilizar la fibra óptica en el campo de las telecomunicaciones?

- ¿Cuáles son las ventajas que tiene un conductor de la fibra óptica respecto de otros tipos de medios de comunicación?
- ¿Cuáles son sus desventajas?
- ¿Cómo se pueden transmitir señales analógicas por un conductor de fibra óptica? ¿Cómo son y cuáles son las características de los transmisores y receptores digitales empleados en comunicaciones por fibra óptica?
- ¿Qué servicios de comunicaciones existen que empleen transmisión de señales digitales?
- ¿Qué diferencia existe entre un conductor de fibras óptica y un cable de fibra óptica?
- ¿Cuántos tipos de cables de fibra óptica existen y dónde se emplean?
- ¿Cómo se pueden interconectar entre sí los cables de fibras ópticas?

Estos datos permitirán al grupo construir un transmisor de datos bidireccional por fibra óptica para compartir información entre computadoras personales.

En la asignatura "Dispositivos, componentes y circuitos electrónicos analógicos y digitales", los alumnos están diseñando modos de comunicación entre computadoras.

El producto que se sintetice a través de este proyecto tecnológico² debe ajustarse a tres condicionamientos:

- Deben emplear alguna interfaz con salida externa en la computadora que evite tener que abrirla para colocar alguna placa de comunicaciones en su interior.
- La distancia entre las computadoras es de 25 metros.
- El cable pasa por la sala de máquinas de ascensores del edificio.

La distancia entre computadoras constituye un límite para una comunicación que pretenda integrar las interfaces RS-232, USB o paralelo, disponibles en una computadora personal, lo que desconcierta a los alumnos.

La existencia de ruido electromagnético también constituye un escollo a superar.

¹ "Las diversas etapas del método de análisis o lectura surgen como respuesta a interrogantes que, normalmente, un observador crítico se plantearía frente a los objetos en general y a un objeto en particular: ¿Qué forma tiene? ¿Qué función cumple? ¿Cuáles son sus elementos y cómo se relacionan? ¿Cómo funciona? ¿Cómo está hecho y de qué material? ¿Qué valor tiene? ¿Cómo está relacionado con su entorno? ¿Cómo está vinculado a la estructura sociocultural y a las demandas sociales?" Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Prociencia-CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires.
Usted puede acceder a la versión digital de esta obra desde el sitio web:
www.inet.edu.ar

² "Se entiende por proyecto tecnológico el proceso y el producto resultante (escritos, cálculos y dibujos), que tienen como objetivo la creación, modificación y/o concreción de un producto, o la organización y/o planificación de un proceso o de un servicio." Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. Op. Cit.

El recurso didáctico que proponemos

El equipo didáctico de **Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras personales** que estamos proponiéndole incluir en su clase se constituye en un modelo para comprender la transmisión de señales digitales empleando fibra óptica.

A partir de este recurso didáctico, es posible avanzar en la comprensión de los contenidos:

- Mecanismos de generación, propagación y detección de señales para su empleo en la transmisión de información.
- Sistemas de comunicaciones: Estructuras y componentes que forman los diferentes enlaces de comunicaciones.

El equipo permite analizar los medios físicos empleados para lograr la mayor eficiencia posible en la calidad de la comunicación, en particular con el empleo de la fibra óptica.

En este sentido, posibilita a los alumnos avanzar en respuestas a los interrogantes de:

- ¿Cómo se puede transformar energía eléctrica en energía luminosa?
- ¿Cómo es posible conducir una señal luminosa y por qué medio?
- ¿Cómo es posible transformar la señal luminosa recibida en el dominio eléctrico?
- ¿Qué componentes son capaces de lograr todo esto? ¿Cuáles son sus características? ¿Dónde pueden utilizarse y en qué condiciones?

El equipo consta de los tres componentes básicos que permiten lograr una comunicación óptica digital: transmisor, medio y receptor.

Está compuesto por dos bloques idénticos, cada uno de ellos formado por tres módulos:

- **Fuente de alimentación, y circuitos de entradas y salidas digitales:** Este módulo permite alimentar a los circuitos transmisor y receptor, empleando una fuente externa de alimentación de 220 V a 12 V de corriente continua o, eventualmente, una fuente auxiliar mediante la conexión de una batería de 9 V de corriente continua para usar allí donde no sea posible contar con un suministro de energía eléctrica. En este módulo también se ubican los conectores de entradas y salidas para trabajar directamente con señales compatibles con la tecnología TTL - *Transistor-Transistor Logic*; lógica transistor-transistor- y un conector que permite interconectar cada bloque con una computadora personal vía interfaz RS-232 - enlace digital en el que la información se envía en formato serie, es decir, una sucesión temporal de bits; su empleo más conocido es para establecer comunicación entre una computadora personal y periféricos, tales como módem, impresoras, mouse, etc.-.
- **Transmisor digital compatible con fibra óptica plástica:** Está compuesto por los circuitos electrónicos necesarios para poder manejar directamente a la fuente emisora con señales tipo TTL.

- Receptor digital compatible con fibra óptica plástica: Posibilita la conversión óptica-eléctrica y la adaptación a niveles lógicos TTL de la señal recibida por la fibra óptica.



Permite, al menos, dos modalidades de trabajo.

- Realizar la comunicación por fibra óptica entre dos computadoras personales, empleando la interfaz RS-232 de la cual disponen.
- Usar fuentes externas de señal digital compatible con la tecnología TTL.

De esta manera, es posible realizar experimentos con circuitos diseñados por los alumnos con entradas y salidas compatibles con esta norma..

A través de este transmisor de datos, los alumnos pueden:

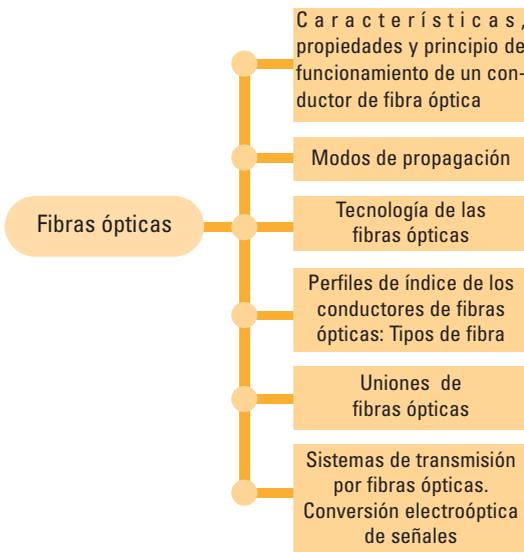
- Comprender cómo es posible convertir una señal eléctrica digital en otra óptica (en particular, para esta experiencia, se ha seleccionado deliberadamente un diodo emisor de luz que emite en el color rojo visible con potencia de emisión inofensiva para el ojo humano).
- Experimentar cómo se transmite dicha señal por un cable de fibra óptica (en este caso, un conductor de fibra plástica, ya que sus dimensiones permiten una manipulación fácil y segura para el alumno).

- Comprender cómo es el proceso de conversión de una señal óptica en eléctrica.
- Verificar el comportamiento que tiene la amplitud de la señal óptica con el grado de acoplamiento de la luz entre la fibra óptica y el transmisor, así como entre aquella y el receptor.
- Analizar un posible esquema de transmisión de información digital asincrónica en forma bidireccional, empleando dos computadoras personales o una sola, haciendo un lazo cerrado *-loop back-*.
- Ensayar la característica que posee la fibra óptica en cuanto a su inmunidad electromagnética.
- Diseñar otras experiencias, empleando las entradas y salidas externas de que dispone el equipo.
- **C o n s t r u i r** otros circuitos, dado que los módulos de los transmisores y receptores son independientes.

En la tercera parte de este módulo, damos un ejemplo de un circuito para la implementación de un enlace unidireccional sincrónico entre un generador de secuencias de datos serie y su correspondiente detector de secuencias.

2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

Fibras ópticas



Las fibras ópticas son conductos, rígidos o flexibles, de plástico o de vidrio (sílice), capaces de conducir un haz de luz inyectado en uno de sus extremos, mediante sucesivas reflexiones que lo mantienen dentro de sí para salir por el otro.

La fibra óptica es una guía de onda y, en este caso, la onda es de luz.

Centrémonos, entonces, inicialmente, en considerar algunos rasgos clave de las ondas.

Desde hace más de un siglo, **las ondas electromagnéticas** son utilizadas para la trans-

misión de información. Su utilidad se debe a que para propagarse no requieren, necesariamente, de un medio conductor metálico sino que pueden hacerlo también tanto en el vacío como en un medio dieléctrico (no conductor), con elevada velocidad.

Dentro del espectro electromagnético, la luz visible ocupa solamente la zona que va desde 380 nm - nanómetros- (violeta) a 780 nm (rojo). La radiación ultravioleta corresponde a longitudes de onda por debajo de este rango espectral mientras que la de radiación infrarroja se encuentra por encima. En telecomunicaciones se utilizan, particularmente, las longitudes de onda del infrarrojo cercano (800 a 1600 nm).

Se entiende a una onda como la propagación de un estado o una excitación de una sustancia sin que ello implique la necesidad de transportar la propia materia o masa de dicha sustancia. La velocidad de propagación de las ondas luminosas depende del medio; en el caso de la luz, el estado es el campo electromagnético que se propaga en una sustancia transparente (medio óptico). La longitud de onda de dicha radiación está vinculada con la frecuencia de oscilación de los campos en un determinado medio, por la relación:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Donde:

- c es velocidad de propagación en el vacío, la cual vale, muy aproximadamente:

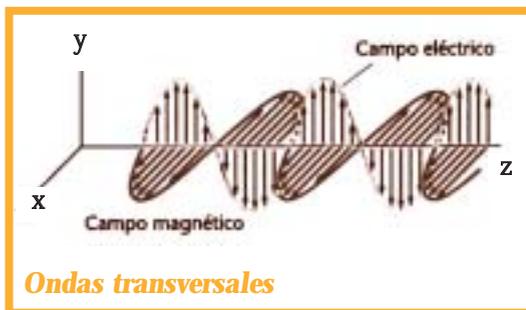
$$c \approx 300000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

En un dieléctrico (por ejemplo, un vidrio transparente), la velocidad de propagación v es menor (en dicho medio, $f = v / \lambda_m$).

El cociente de la velocidad de propagación en el vacío y en el medio, respectivamente, definen el índice de refracción de la sustancia:

$$\eta = \frac{c}{v}$$

La onda electromagnética que representa a la luz es una onda transversal. En una onda transversal, el campo eléctrico y el magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Ambos vectores son, por otro lado, proporcionales y perpendiculares entre sí. Como ambos oscilan en fase, basta representar el comportamiento de uno de ellos para analizar la evolución de dicha onda.

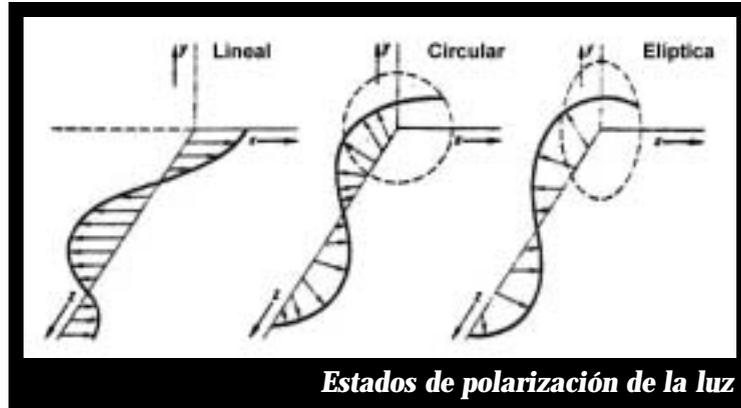


Ondas transversales

Si el campo eléctrico (o el magnético) de la onda oscila siempre en un plano, decimos

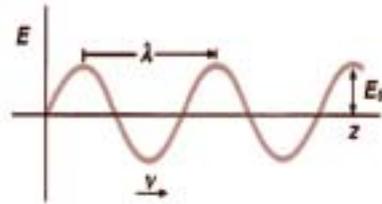
que la onda está polarizada linealmente.

Si el extremo del vector describe una circunferencia o, en general, una elipse, decimos que la luz posee polarización circular o elíptica.



Estados de polarización de la luz

Consideremos la representación más simple de una onda electromagnética propagándose en el vacío. Supongamos que la onda se encuentra linealmente polarizada y que su amplitud E varía de la forma:



$$E = E_0 \cdot \text{sen}(\omega t - kz) = E_0 \cdot \text{sen} 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right)$$

Donde:

- E_0 representa la amplitud máxima del campo eléctrico.
- ω la velocidad angular, en rad/s (s^{-1}).
- t el tiempo, en s.
- k el vector de onda ($k = 2\pi / \lambda$).
- λ longitud de onda en el medio, en m.
- z distancia sobre el eje z , en m.
- T período de la onda.

El valor entre paréntesis ($\omega t - kz$) se denomina ángulo de fase o fase de la onda, y se mide en radianes. Dada su naturaleza periódica, la onda vuelve a tener la amplitud que tenía en un tiempo t en un punto dado de su trayectoria cuando transcurre un tiempo $t+T$ (o $t+2T$, $t+3T$, etc.). De la misma manera, en un instante determinado de tiempo, la onda tiene igual amplitud en puntos espaciales separados por una distancia λ .

La velocidad angular ω está relacionada con la frecuencia f , como $\omega = 2\pi f$. A su vez, f se expresa en s^{-1} o Hz y se relaciona con el período de la onda en forma inversa $f=1/T$.

Un detector de luz mide la potencia luminosa promedio y no el campo de la onda. Dicha potencia es proporcional al promedio del modulo del campo eléctrico al cuadrado ($P \propto \langle |E|^2 \rangle$).

Características, propiedades y principio de funcionamiento de un conductor de fibra óptica

Para entender las propiedades de la propagación luminosa en las fibras ópticas es necesario considerar con cierto detalle **el guiado o confinamiento** de la luz en dichas estructuras de cuarzo cilíndricas.

En una primera aproximación, la explicación del confinamiento luminoso puede darse con conceptos simples de propagación de rayos de la óptica geométrica. Sin embargo, para comprender ciertos

aspectos vinculados con la distribución espacial misma de la radiación luminosa dentro de la fibra -que determina la aparición de los denominados modos guiados-, se necesita una descripción más completa del fenómeno de propagación basado en una teoría electromagnética.

Teniendo en cuenta lo complejo que resulta este enfoque, nosotros llevaremos a cabo un tratamiento simplificado, haciendo uso de algunos conceptos de la óptica ondulatoria:

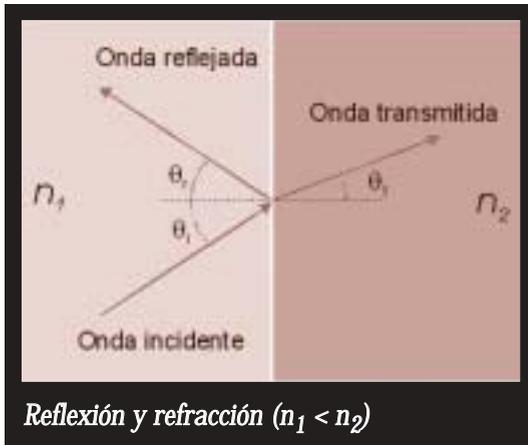
- reflexión y refracción de la luz,
- ángulo crítico,
- propagación de luz en una guía óptica y
- apertura numérica.

Reflexión y refracción de luz

Cuando un haz luminoso incide sobre una interfase generada por dos medios ópticos de índice de refracción distintos, parte de la luz se refracta (se transmite al segundo medio) y otra parte se refleja. Dichos procesos son descritos por ecuaciones que vinculan los índices de refracción de ambos medios con los ángulos de incidencia, refracción y reflexión que determinan las trayectorias de los haces luminosos:

$$\theta_i = \theta_r \quad \text{Ley de reflexión}$$

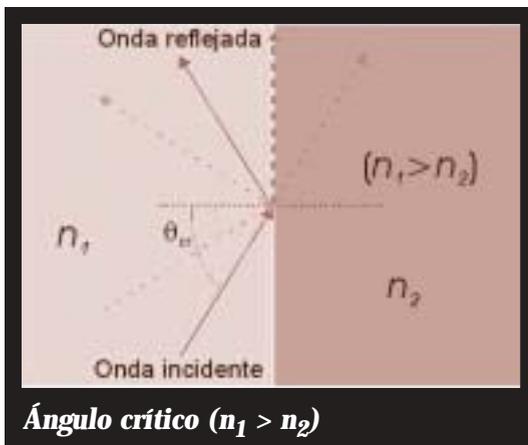
$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_i = n_2 \cdot \text{sen}\theta_t \quad \text{Ley para la transmisión o Ley de Snell}$$



Ángulo crítico

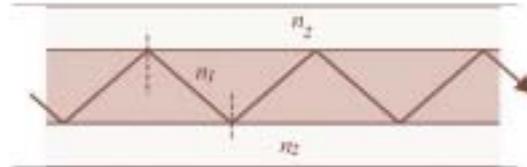
En el caso de que n_1 sea mayor que n_2 ($n_1 > n_2$) y si se cumple que $\text{sen } \theta_i$ sea mayor que n_2 / n_1 , el $\text{sen } \theta_r$ debería ser mayor a 1, lo cual es imposible. Por lo tanto, si $\text{sen } \theta_i \geq n_2 / n_1$ no hay haz transmitido y toda la energía luminosa correspondiente a dicho haz es reflejada en dicha interfase.

El ángulo $\theta_c = \text{arc sen } (n_2 / n_1)$ se denomina ángulo crítico.



Propagación de luz en una guía óptica

Consideraremos, ahora, un medio de índice de refracción n_1 delimitado por dos medios de índice n_2 con $n_1 > n_2$.



Onda guiada

Dado que $\theta_i = \theta_r$, para ángulos de incidencia sobre las interfases mayores al ángulo crítico, los haces luminosos son reflejados en forma consecutiva por ambas superficies, generando una propagación sin pérdidas energéticas por transmisión.

De este planteamiento se concluye que tenemos, al menos, dos clases de rayos:

- Aquéllos que inciden en la interfase de separación núcleo-cubierta con ángulos de incidencia mayores que el ángulo crítico, se reflejan y vuelven a incidir en la superficie de interfase con el mismo ángulo, quedando de esta forma, confinados dentro del núcleo. A estos rayos se los denomina **rayos guiados**.
- Aquéllos con ángulos de incidencia menores que el ángulo crítico en parte se refractan y, en parte, se reflejarán, de forma que después de un cierto número de incidencias en la interfase núcleo-cubierta, la energía asociada con estos rayos prácticamente se habrá extinguido. Por esto se los llama **rayos no guiados**.

De la ecuación se deduce que el valor del ángulo crítico sólo depende del cociente n_2/n_1 , por lo cual, si n_1 es sólo ligeramente mayor que n_2 , entonces, el cociente está próximo a 1 y $\theta_c \cong 90^\circ$. En este caso, hay muy pocos rayos guiados e inciden en la interfase núcleo-cubierta prácticamente en forma rasante, propagándose en la fibra con direcciones casi coincidentes con el eje.

Apertura numérica

Si analizamos las condiciones de propagación de haces guiados, vemos que éstos deben cumplir que:

$$\text{sen } \theta_c = n_2 / n_1$$

La condición límite para el ángulo ($\theta_{I,m}$) que establece el acople de un rayo luminoso desde el exterior ($n = 1$) al núcleo de la fibra ($n = n_1$), según la ley de Snell debe ser:

$$\text{sen } \theta_{I,m} = n_1 \cdot \text{sen}(90^\circ - \theta_c)$$

$$\text{sen } \theta_{I,m} = n_1 \cdot \cos \theta_c$$

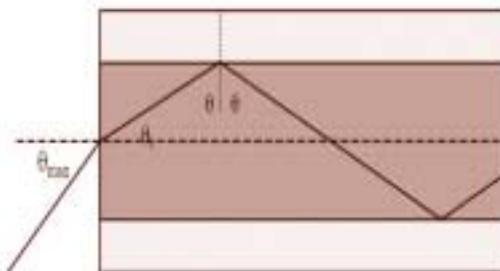
$$\text{sen } \theta_{I,m} = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \theta_c}$$

$$\text{sen } \theta_{I,m} = n_1 \cdot \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}$$

$$\text{sen } \theta_{I,m} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$\text{sen } \theta_{I,m}$ se denomina NA = Apertura numérica.

Habrà reflexión total si $\theta \geq \theta_c$



Apertura numérica

Por ejemplo, para

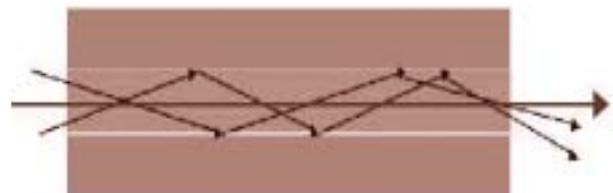
$$n_1=1.47 \text{ y } n_2=1.46 \Rightarrow \theta_{i,m} = 9.9^\circ \text{ y } NA = 0.17.$$

El valor de la apertura numérica define el mayor ángulo que puede tener el cono de entrada de luz en la fibra y, por ende, determina la energía luminosa que es posible acoplar en ella. Como se observa en la expresión, solamente depende de los índices de refracción del núcleo y de la cubierta.

En forma similar, la salida de la luz por el otro extremo de la fibra está dada por un cono cuya base se va expandiendo con la distancia, por lo que es necesario, generalmente, utilizar lentes para colimar el haz -para eliminar su divergencia-.

Modos de propagación

No todos los haces luminosos que inciden sobre las interfases con ángulos mayores a θ_c pueden propagarse. Los campos incidentes deben cumplir ciertas condiciones de contorno en las interfases, lo que determina que el número de ángulos posibles sea finito.



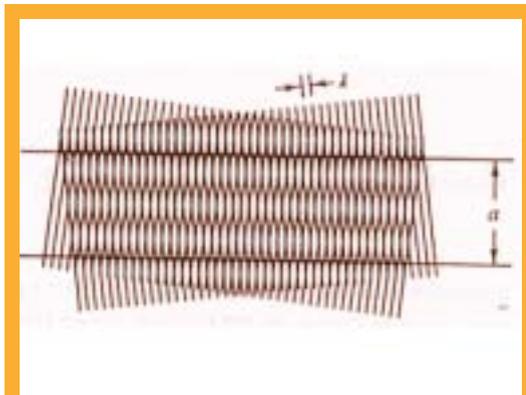
Trayectoria para distintos modos

Por otra parte -como hemos expresado anteriormente-, una descripción más exacta requiere de una matemática más compleja,

particularmente debido a que algunas de las dimensiones de las guías ópticas (por ejemplo, el diámetro del núcleo de una fibra) son cercanas al valor de la longitud de onda de la luz utilizada. Debido a esta relación de dimensiones, ocurren fenómenos de **interferencia** que sólo se pueden describir con ayuda de la óptica ondulatoria.

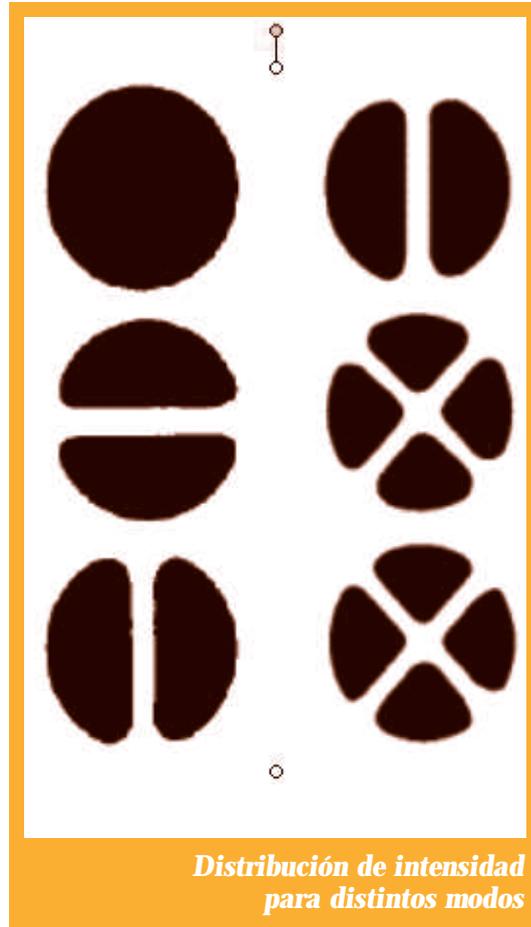
Se denomina **interferencia** a la superposición de dos o más ondas, y su combinación para formar una onda única. Se obtiene solamente cuando las ondas que interfieren tienen la misma longitud de onda y existe una diferencia de fase constante en el tiempo entre ellas. Este tipo de ondas se denomina ondas coherentes. Supongamos que dos ondas de igual amplitud interfieren: Si la diferencia de fase entre ellas es múltiplo entero de 2π , la interferencia es constructiva (habrá un máximo en intensidad); si es igual a un múltiplo entero de 2π más π (por ejemplo 5π), tendremos interferencia destructiva y, por consecuencia, una anulación local de la intensidad.

Un ejemplo de la interferencia de dos haces coherentes que se propagan en el núcleo de la fibra:



Interferencia entre dos haces correspondientes al mismo modo

La interferencia genera zonas estacionarias de máximos y mínimos de intensidad en el núcleo de la fibra, los que determinan la distribución de intensidad de los modos de propagación observados a la salida de la fibra, colocando una pantalla a cierta distancia.



Distribución de intensidad para distintos modos

La distribución de intensidad en la salida es la suma de las distribuciones correspondientes a cada modo, por lo que se observa una mancha similar a la del modo fundamental (HE_{11}) pero con un mayor diámetro al ser observada a igual distancia.

Tecnología de las fibras ópticas

Le recomendamos algunos sitios web:

- Organismos relacionados con las fibras ópticas:

Plastic Fiber Optic Trade Organization:
<http://www.pofto.com/downloads.html>
Club Latinoamericano de Fibras Ópticas
Plásticas:
<http://www.lif.coppe.ufrj.br/es/clapof/index.html>

- Empresas que fabrican conductores de fibra óptica:

Corning www.corningfiber.com
Lucent www.lucent.com
Pirelli www.pirelli.com

- Empresas que fabrican cables de fibra óptica:

Siecor www.corningfiber.com
Fitel www.fitel.com
Pirelli www.pirelli.com

- Empresas que fabrican componentes optoelectrónicos:

Agilent www.agilent.com
Siemens www.siemens.com

La propagación de radiación luminosa por fibras ópticas, tal como se realiza actualmente, tiene antecedentes que datan del siglo pasado.

Entre 1910 y 1920, se propone y verifica experimentalmente la propagación "confinada" de radiación electromagnética en cilindros dieléctricos (es decir, no conductores). Sin embargo, una varilla dieléctrica transparente -como puede ser un cilindro de vidrio de índice de refracción 1,5 rodeado de aire-, resulta una guía de ondas impráctica debido a los problemas de montaje que involucra esa estructura y a las excesivas pérdidas de energía luminosa que se producen en la interfase vidrio-aire.

El interés por las aplicaciones de las guías de ondas dieléctricas en áreas como el diagnóstico por imágenes en medicina (endoscopia) conduce, a mediados de la década del '50, al desarrollo de una cubierta -*cladding*- dieléctrica para resolver estos problemas¹: Un cilindro transparente de índice de refracción n_1 , al que se denomina núcleo, está rodeado por una cubierta transparente, con un índice de refracción n_2 , de valor ligeramente inferior al de n_1 . La función de la cubierta es doble; por un lado, le otorga a la guía mayor estabilidad mecánica y, por otro, permite que la energía luminosa se propague tanto en el núcleo como en la cubierta misma, de forma que las pérdidas de energía en la interfase exterior cubierta-aire sean mínimas.

En 1966, Kao y otros investigadores, proponen el empleo de estas guías de ondas a las que se denomina fibras ópticas, como un medio de transmisión en las telecomunicaciones, aún cuando en aquella época las pérdidas de las fibras existentes eran del orden de 1000 dB -decibeles- por km. A partir de esta propuesta se produce un tremendo desarrollo tendiente a purificar los materiales para reducir la atenuación. A mediados de la década del '70, como consecuencia de los progresos alcanzados en las técnicas de depuración de vidrios de silicio, se obtienen fibras con pérdidas de 4,2 dB/km. Sus aplicaciones son diversas, desde la transmisión de datos hasta la conducción de la luz solar hacia el interior de edificios o hacia donde pudiera ser peligroso utilizar la iluminación convencional por presencia de gases explosivos. También es utilizada en medicina para trans-

¹ La geometría de la guía propuesta corresponde a la de la figura que le mostráramos páginas atrás con el epígrafe "Apertura numérica".

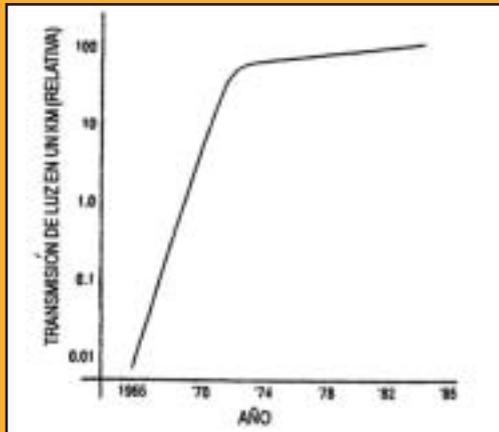
mitir imágenes desde dentro del cuerpo humano.

El decibel es una unidad de medida adimensional y relativa (no absoluta). Relaciona la potencia de entrada y la potencia de salida en un circuito.

$$A \text{ [dB]} = 10 \log (P_S / P_E)$$



Se puede usar para medir ganancia o atenuación. Una ganancia de 3 dB significa que la potencia de salida es el doble de la de entrada. Una atenuación de 3 dB (ganancia de -3 dB) significa que la potencia de salida es la mitad de la de entrada.

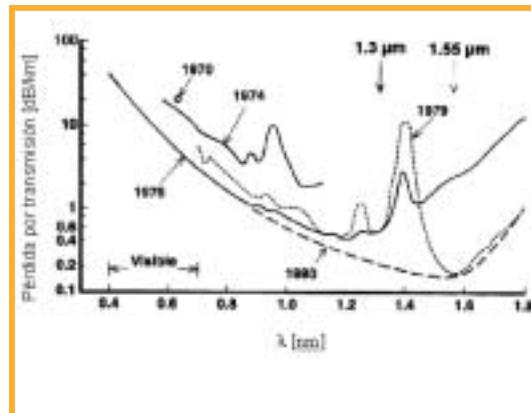


Evolución de la transmisión de una fibra óptica (por km)

La mayor parte de este trabajo se focaliza en el empleo de fibras con luz de longitud de onda en la banda de 0,8 a 0,9 μm (infrarrojo cercano), ya que por entonces las fuentes luminosas disponibles son diodos emisores de luz (LED) de arsenuro de galio-aluminio que emiten en esa región espectral.

El continuo estudio y desarrollo de las fibras de silicio (cuarzo fundido) demuestra que la transmisión luminosa a mayores longitudes de onda (1,1 a 1,6 μm) involucra pérdidas menores y una reducción en la dispersión de la señal. A raíz de esto, se origina un cambio en la tecnología de fabricación de fuentes luminosas y detectores de radiación, para poder operar en esta banda espectral. Para estas longitudes de onda -especialmente, alrededor de 1,55 μm -, se logra obtener fibras con valores de atenuación de 0,15 dB/km. Estos valores de pérdida están muy cercanos al límite teórico de atenuación para las fibras de cuarzo.

Recientemente, se ha podido eliminar totalmente el pico de 1.4 μm vinculado a absorción de restos de agua en el material. La próxima figura muestra la evolución de las pérdidas de la potencia por unidad de longitud, debido a la propagación de la luz en dicho medio.



Evolución de las pérdidas de potencia luminosa por unidad de longitud

La pérdida suele expresarse en dB/km (decibelios/kilómetro). Se obtiene a partir de conocer la fracción de potencia óptica que se detecta luego de atravesar una longitud L de fibra:

$$\alpha [dB / km] = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

Donde:

- P_{out} y P_{in} representan las potencias a la salida y a la entrada de la fibra, respectivamente.
- L la distancia recorrida por la luz en la fibra (en km.).

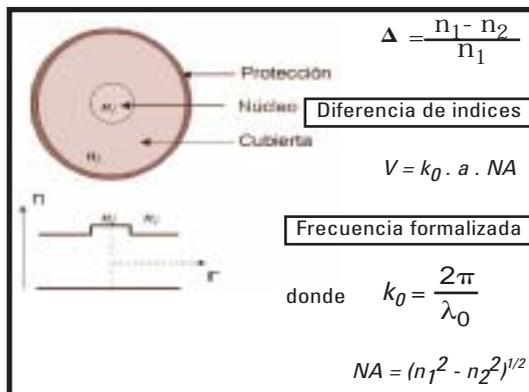
Perfiles de índice de los conductores de fibras ópticas: Tipos de fibra

Consideraremos la variación del índice de refracción en función del radio de la fibra. Este perfil determina la mayor parte de las propiedades de transmisión de la luz en dicho conductor:

- fibra de perfil rectangular,
- fibra de perfil gradual,
- un caso particular: fibras plásticas

Fibra de perfil rectangular

El más simple es el perfil rectangular



Donde:

- Δ representa la diferencia de los índices del núcleo y la cubierta.
- V es frecuencia normalizada, un parámetro muy importante en este tipo de fibras dado que nos permite determinar el régimen modal en que opera la fibra (multimodo o monomodo).
- NA es, como habíamos establecido, la apertura numérica.
- a es radio del núcleo de la fibra.

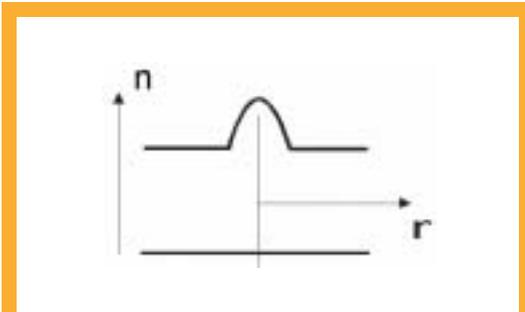
Consideremos el régimen modal en que opera:

- Para valores de $V > 2.405$, la luz se transmite con **régimen multimodal**, es decir, se propagan varios modos. Si $V \gg 1$, el número de modos puede calcularse, aproximadamente a partir de la expresión $N \approx V^2 / 2$. Una fibra típica multimodo posee un diámetro de núcleo de $62.5 \mu\text{m}$ y una cubierta cuyo diámetro es $125 \mu\text{m}$. El número de modos depende de la diferencia de índices; pero, puede encontrarse entre 1000 y 3000 modos que se propagan simultáneamente.
- Si $V \leq 2.405$, la fibra opera en **régimen monomodal**, es decir, solamente se propaga en un modo fundamental el cual es prácticamente coaxial.

Esta distinción tiene mucha importancia a la hora de transmitir información a alta tasa de bits debido a un efecto que ocurre sobre la señal transmitida, denominado **dispersión**-concepto en el que nos centramos en unas páginas más-

Fibra de perfil gradual

El perfil de índices puede diseñarse teniendo en cuenta la prestación de la fibra. En particular, si la distribución de índices en el núcleo es de tipo parabólico, con el máximo en el centro y los extremos coincidentes con el valor del índice de refracción de la cubierta, hablamos de fibra de perfil de índice gradual. Sigue siendo una fibra multimodo, pero sus propiedades de transmisión de información se modifican. El número de modos que son transmitidos (si $V \gg 1$) puede calcularse ahora como $N = V^2/4$.



Fibra de índice gradual

Un caso particular: fibras plásticas

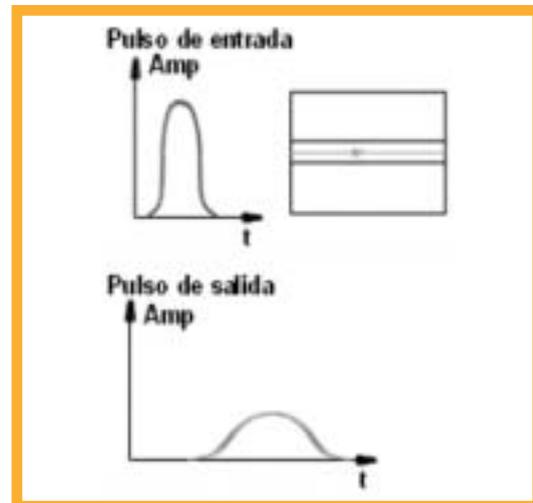
Los casos anteriores han sido diseñados para fibras de sílice (vidrio). Sin embargo y en orden de abaratar costos, se ha realizado también una búsqueda de materiales ópticos alternativos.

Un plástico transparente constituye un material ideal tanto en costo como en la facilidad de fabricación. Las fibras desarrolladas son multimodales (típicamente, con un diámetro de núcleo de $900 \mu\text{m}$ y con el de la cubierta

de $1000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$) y de perfil gradual.

Sin embargo, poseen algunos inconvenientes insalvables, particularmente el de la atenuación. El mínimo de atenuación para las primeras fibras plásticas disponibles en el mercado -que aún se utilizan-, ocurre alrededor de los $0.6 \mu\text{m}$ (visible), por lo que las fuentes y detectores son distintos. La atenuación de dicha fibra es de 0.2 dB por metro (recordemos que el valor típico para una monomodal de vidrio en $1.55 \mu\text{m}$ es 0.2 dB por km). Dicho valor determina que la limitación de dicha fibra no sea la dispersión -pues pueden propagarse pulsos a una velocidad mayor a 1 Gbit/s - sino la atenuación, que determina que la longitud del enlace sea menor a 50 m . Por lo tanto, las aplicaciones de esta fibra están dirigidas a conexiones cercanas (sistemas de control en automóviles, aviones, satélites, conexiones entre PC, etc.).

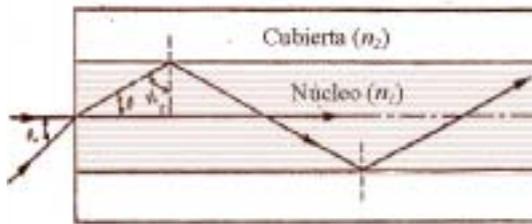
¿Qué es, entonces, la dispersión? Dispersión es el ensanchamiento temporal de pulsos de luz que se propagan a través de una fibra.



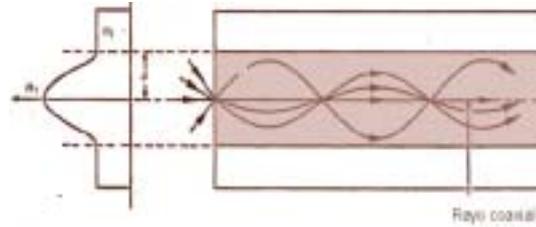
La dispersión es de fundamental importancia en el envío de información, pues limita la velocidad de transmisión. A mayor dispersión, mayor resulta la tasa de error de bit en el receptor (la inhabilidad de distinguir un 0 de un 1).



En fibras multimodo de índice rectangular, la dispersión es causada por las diferentes longitudes de camino de los diferentes modos. Como la velocidad en el medio (núcleo) es constante, diferentes longitudes resultan en diferente tiempos de llegada (dispersión intramodal).



En fibras multimodo de índice gradual, la velocidad depende de la zona donde viaja el haz (o del valor de n en dicho lugar). La variación del índice hace que las trayectorias de haces luminosos que viajan fuera del eje se curven. El diseño del perfil es tal que la dispersión se minimiza, de manera que los tiempos de tránsito para los distintos modos son, prácticamente, idénticos y los ensanchamientos se reducen en dos órdenes.



En el recurso didáctico **Intercomunicador por fibra óptica** se emplea este tipo de fibra óptica multimodo como medio de guía de las señales ópticas que transportan información.



Uniones de fibras ópticas

Las uniones entre fibras ópticas producen una atenuación de valores pequeños; pero, si éstos se acumulan en varios kilómetros de transmisión, puede resultar una variable crítica en la longitud del enlace.

Actualmente, pueden lograrse rollos de fibra de 200 km de longitud; pero, las longitudes mayores empleadas -en particular, en conexiones submarinas- no superan algunas decenas de kilómetros.

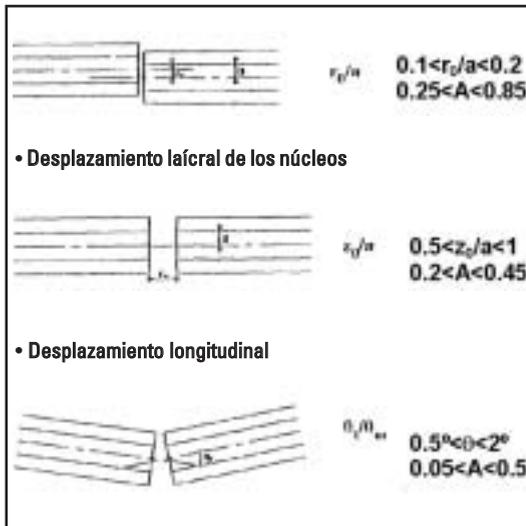
El espaciado entre repetidores (eléctricos u ópticos) es un parámetro en continuo aumento. Los sistemas actualmente instalados poseen espaciados de 40 a 100 km, para velocidades de transmisión entre $100\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$ y $2.5\text{Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$; mientras que, para distancias de hasta 500 km sin repetidores han sido obtenidos en laboratorio.

Es, por esto, importante que las conexiones

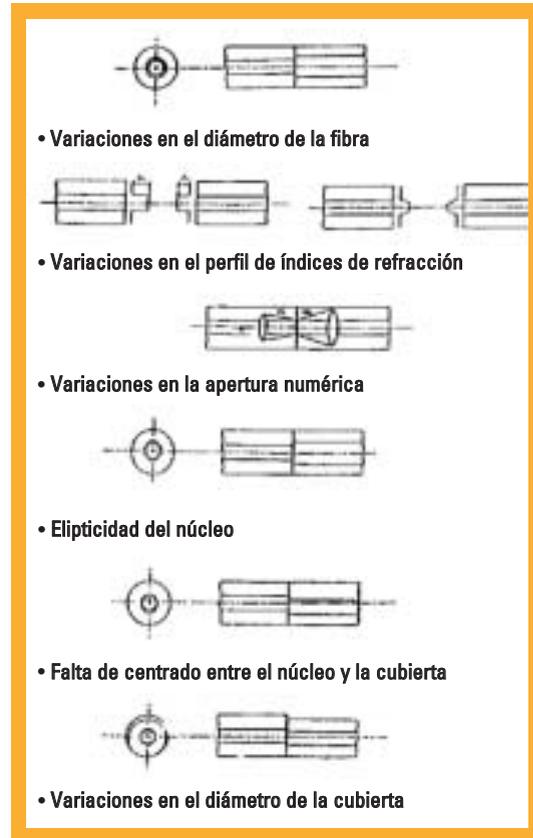
entre fibras produzcan bajas pérdidas y mínima distorsión. Ello permite, a su vez, la introducción de mayor cantidad de conexiones en enlaces y redes. Dichas uniones son bidireccionales e, idealmente, acoplan la totalidad de la luz de una a otra fibra.

En el diseño de tales uniones, es muy importante conocer los mecanismos de pérdidas, los cuales pueden ser de carácter extrínseco e intrínseco.

- **Factores extrínsecos.** Relacionados con inexactitudes en el diseño y control de manufactura. En la figura se resumen los distintos problemas que se presentan en las uniones:



- **Factores intrínsecos.** Están relacionados directamente con las propiedades particulares de las fibras ópticas. La figura ejemplifica los distintos casos. Puede observarse, como ocurre para la variación de diámetros entre fibras, que las pérdidas asociadas dependen, en algunos casos, de la dirección de propagación.



Aún cuando dos fibras posean los extremos a unir perfectamente pulidos y alineados, una pequeña porción de luz puede ser reflejada hacia atrás, produciendo una atenuación del haz que se transmite. Este fenómeno, conocido como **reflexión de Fresnel**, es asociado con el cambio en el índice de refracción en la interfase de unión (por ejemplo, vidrio-aire-vidrio). Su magnitud puede estimarse utilizando la clásica fórmula de Fresnel para un haz de luz de incidencia normal:

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2$$

Donde:

- r es la fracción de luz reflejada en una interfase.
- n_1 es el índice de refracción del medio que separa ambas fibras (para aire $n=1$).

La pérdida en decibeles debida a una reflexión de Fresnel en una interfase, es expresada como:

$$L_{\text{Fres}} = -10 \cdot \log(1 - r)$$

Por ejemplo, si $n_1=1.5$ y $n=1$, $r=0.04$ y $L_{\text{Fres}}=0.18$ dB. En consecuencia, la pérdida por Fresnel en una unión de este tipo es de 0.36 dB.

Se observa claramente que la reflexión de Fresnel puede producir pérdidas grandes a pesar de que los demás aspectos de la conexión sean ideales. Este problema puede reducirse a un valor muy bajo por el uso de un fluido de índice de refracción adecuado, ubicado entre las fibras. Cuando dicho índice es igual al del núcleo de la fibra, las pérdidas debidas a la reflexión de Fresnel son, teóricamente, erradicadas.

Se trata de un gel que tiene un índice de refracción similar al del material de las fibras ópticas (valor aproximado a 1,46). Cuando se quiere evitar al máximo cualquier reflexión producida en la unión mecánica entre dos fibras terminadas en conectores, se intercala este gel entre sus superficies de contacto a fin de seguir dando continuidad al medio que guía la luz.

La calidad en el pulido de las caras es de particular importancia, dado que reduce la pérdida por *scattering* -dispersión de luz por objetos cuyo tamaño es del orden de una longitud de onda-.

Sistemas de transmisión por fibras ópticas. Conversión electroóptica de señales

A fin de transmitir información por un enlace óptico, se requieren, además de la fibra óptica, elementos:

- emisores,
- detectores.

En el extremo emisor, una señal eléctrica modula la intensidad de una fuente luminosa. La señal óptica es acoplada al conductor de fibra y llega al extremo receptor donde un detector de luz la convierte, nuevamente, en señal eléctrica.



Actualmente, tanto los emisores como los receptores utilizados en este campo se basan en elementos semiconductores. Estos materiales son desarrollados a partir de los elementos químicos del tercer, cuarto y quinto grupo de la tabla periódica, y de sus combinaciones (por ejemplo, InGaAsP/InP).

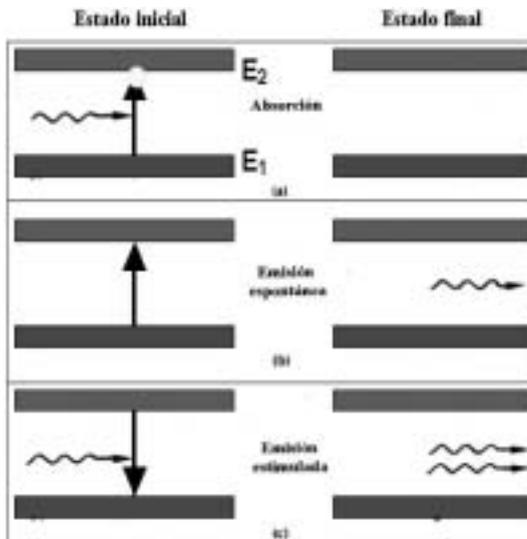
a. Emisores

Los semiconductores poseen dos bandas de energía principales para los electrones:

- la banda de valencia y
- la banda de conducción.

Se encuentran separadas por una distancia E_g -energy gap o salto energético-.

Si analizamos los principales procesos de interacción radiación-materia, podemos establecer tres casos de transferencia de energía por interacción lumínica.



Los casos a y c solamente se producen si el salto de energía entre los estados E_1 y E_2 es igual a la energía del fotón (partículas sin masa de energía $h\nu$ donde h es la constante de Planck y ν es la frecuencia de la radiación). O sea, se debe cumplir que:

$$E_g = E_2 - E_1 = h\nu$$

Los semiconductores pueden ser:

- Energéticamente neutros, o sea, igual cantidad de electrones excitados en la banda conducción que de huecos en la de valencia.
- Con carga neta positiva, si la cantidad de huecos es mayor que la de electrones (semiconductor tipo p).
- Con carga neta negativa, si la cantidad de electrones es mayor que la de los huecos (semiconductor tipo n). Ello se logra dopándolos con impurezas apropiadas.

Tanto los emisores como los detectores se diseñan utilizando capas de materiales tipo p y n. La interfase en una unión entre un material n y uno p se denomina juntura pn. Una unión de este tipo constituye el diseño de un diodo.

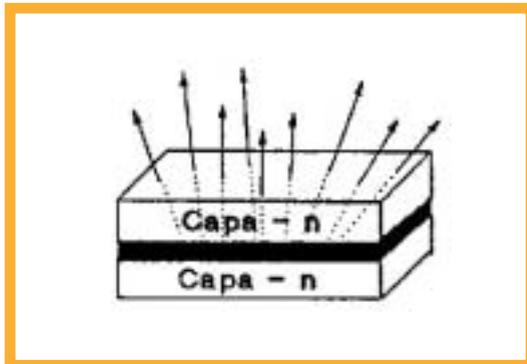
- Un fotón que incide sobre el semiconductor cede su energía $h\nu$ a un electrón en la banda de valencia. Éste incrementa su energía y pasa a la banda de conducción, dejando un "huevo" en la banda de valencia. En este proceso, denominado **absorción**, el fotón desaparece.
- Un electrón que se encuentra en la banda de valencia, tiene una cierta probabilidad de volver a la banda de valencia emitiendo radiación de frecuencia ν . La emisión en el proceso se produce en forma espontánea y, por ende, en forma aleatoria (**emisión espontánea**).
- Este caso representa el proceso de **emisión estimulada**. Al incidir un fotón de frecuencia ν sobre el semiconductor, puede "estimular" a que un electrón que

se encuentra en la banda de conducción decaiga a la banda de valencia, emitiendo otro fotón. La radiación generada posee la misma frecuencia, fase, polarización y dirección de propagación del fotón incidente. En cambio, en el caso b de emisión espontánea, si bien la frecuencia de emisión es dependiente de la diferencia energética, la radiación emitida por un conjunto estadístico de emisores es dirigida con la misma probabilidad en todas las direcciones posibles, con fases también aleatorias.

Estos procesos determinan las propiedades de los emisores de semiconductores utilizados en comunicaciones.

Consideraremos dos tipos de emisores: LED y láser.

El **LED** emite fotones por emisión espontánea. En un diodo con polarización directa, portadores positivos y negativos (huecos y electrones) se desplazan hacia la juntura p-n, donde se recombinan entre sí. Durante la recombinación, los electrones pasan de un estado de energía más alto a uno más bajo, dando como resultado una liberación de energía (emisión espontánea).

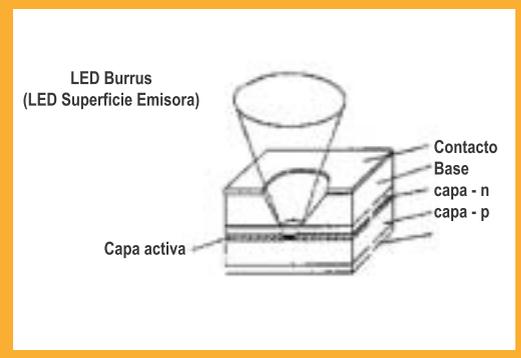
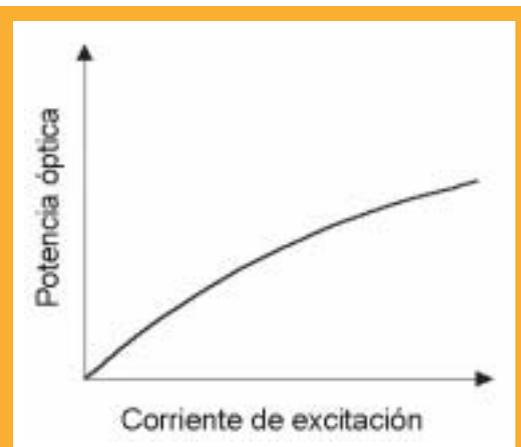


Si se han elegido correctamente los materiales del diodo, la energía se libera bajo la forma de fotones. Básicamente, el chip LED emite la luz en cualquier dirección, y los niveles de potencia de salida son relativamente bajos.

El InGaAs, por ejemplo, es un material semiconductor ampliamente utilizado en los componentes de alto rendimiento para ondas lumínicas.

La emisión de un LED es observada prácticamente a partir de la inyección de corriente en el dispositivo.

La transferencia eléctrico-óptica es lineal sólo al comienzo para, luego, saturarse.



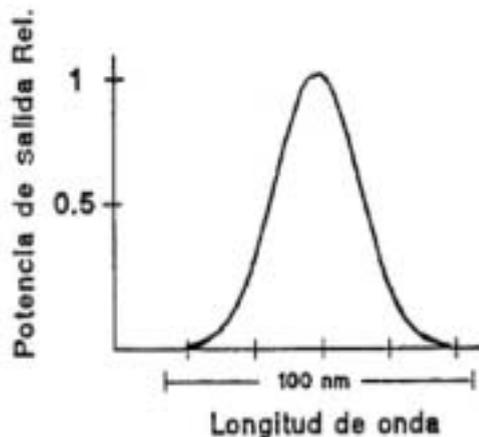
Normalmente, los fotones emitidos serían absorbidos por el material del sustrato, pero el LED está diseñado específicamente para canalizar

los fotones emitidos hacia el exterior. La figura ilustra un diseño de LED que se utiliza comúnmente y que se conoce como *diodo de Burrus*.

El diodo de Burrus posee una perforación grabada por ataque químico en su sustrato, que canaliza la onda luminosa hacia una fibra adosada.

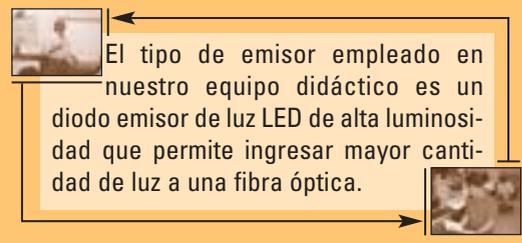
Debido a la emisión espontánea, los LED tienen un espectro óptico continuo de salida, que es relativamente amplio.

Los LED no son adecuados para la transmisión a alta velocidad, dado que no se pueden modular a frecuencias mayores que 200 MHz. Además de ello, el amplio ancho espectral de los LED provocaría una considerable dispersión cromática en las fibras ópticas.



En los últimos años fueron realizados nuevos diseños de LED que permiten mejorar su *per-*

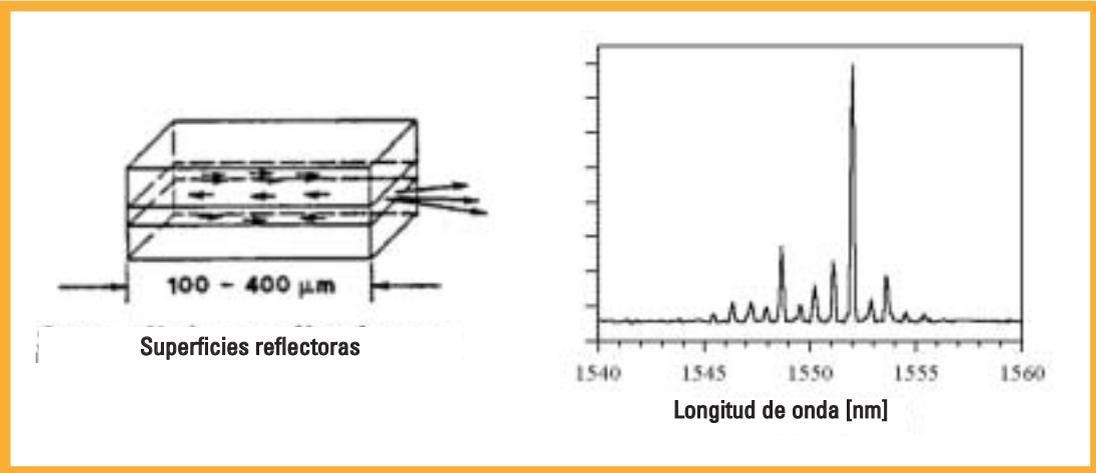
formance. Así, es el caso de los SLED -emisor LED superluminiscente- y los VCSEL - *Vertical Cavity Surface Emitter Laser*-. Ambos se encuentran en la frontera entre un LED y un láser de semiconductor. Poseen mayor potencia óptica que un LED común (1-20 mW) y menor ancho de banda de emisión (30-60 nm). Ambos tipos de dispositivos son utilizados, particularmente, en enlaces que utilizan fibras plásticas



La emisión de un **láser** se basa, fundamentalmente, en los procesos estimulados.

El diodo láser más común es el llamado **láser de Fabry-Perot**, diseñado a partir de un par de caras espejadas parcialmente reflectantes ubicadas en cada extremo de la región activa. Esta cavidad se denomina resonador de Fabry-Perot. Dentro de ella, la luz se refleja en uno y otro sentido, estimula una mayor emisión y abandona, finalmente, la cavidad láser como un haz. Sólo podrán amplificarse las longitudes de onda que estén dentro de la curva de ganancia del material láser.

El resultado es una serie de picos de ancho espectral angosto denominados modos longitudinales. En las fibras monomodales normales, desafortunadamente, el rango de longitudes de onda que abarcan estos modos longitudinales múltiples es suficientemente grande como para provocar una dispersión considerable en 1550 nm.



La separación entre modos longitudinales es:

$$\Delta\nu = c / (2Ln) \text{ o } \Delta\lambda = \lambda^2 / (2Ln)$$

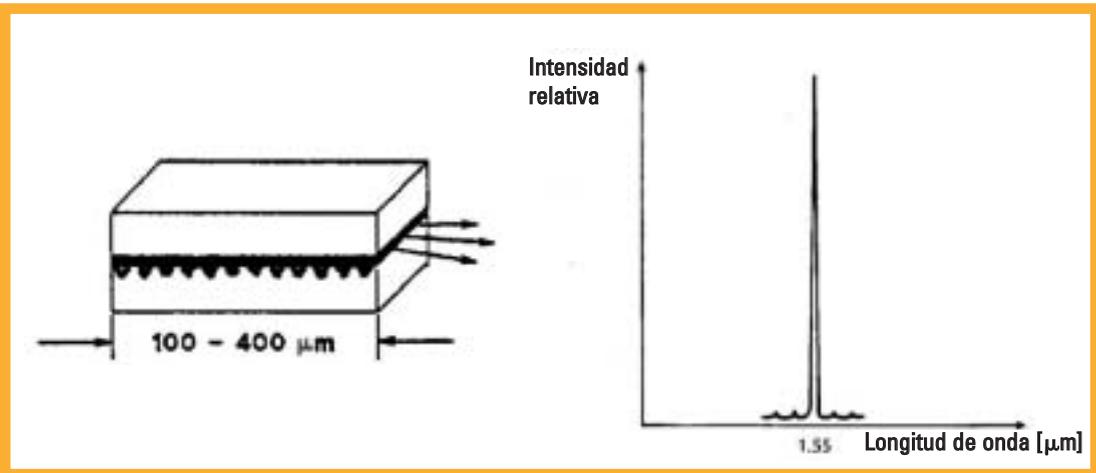
Donde:

- c es la velocidad de la luz,
- L es la longitud de la cavidad y
- n es el índice de refracción del medio.

Cuanto menor sea L , mayor será dicha diferencia.

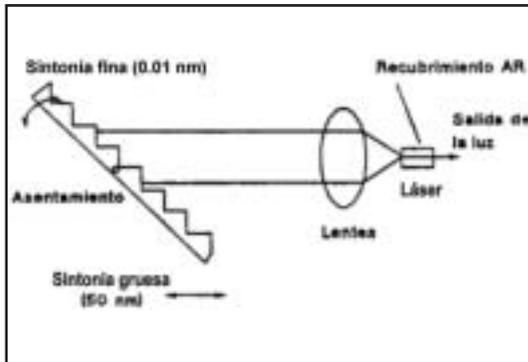
Para restringir la oscilación a un único

modo longitudinal, los investigadores han desarrollado resonadores más elaborados que los simples espejos ubicados en los extremos de un chip semiconductor. Un enfoque común es el **láser de realimentación distribuida** -*Distributed Feedback Laser*. DFB-, que reemplaza las superficies extremas espejadas por una serie de desniveles corrugados a lo largo de la capa activa del semiconductor. Esta retícula corrugada origina reflexiones múltiples. Una geometría de la retícula es tal que sólo puede oscilar una única longitud de onda.



En general, la longitud de onda emitida por las fuentes de luz semiconductoras es fija y queda determinada por los compuestos semiconductores que se utilicen, el dopado y la geometría del chip. No obstante, en algunas aplicaciones resulta de sumo interés poder sintonizar la longitud de onda de salida de la fuente.

Los **láseres de cavidad externa** -*External Cavity Laser*. ECL- son, esencialmente, láseres monomodo; pero, además son sintonizados sobre un amplio rango de longitudes de onda. La óptica externa constituye una cavidad mucho mejor que la de los diodos láser ordinarios; por lo tanto, en el láser se puede hacer oscilar y amplificar sólo una única longitud de onda. La red de difracción se usa como un reflector selectivo de longitud de onda externo. Variando su ángulo, es posible sintonizar la longitud de onda en un rango de hasta 100 nm.



Dado que la operación láser se basa en condiciones de resonancia interna bien definidas, los diodos láser son muy sensibles a la luz que es retroreflejada desde el exterior. Esas retroreflexiones perturban la oscilación interna, lo cual origina ruido y modifica las características espectrales de la luz de salida. Por ello, suelen requerir el empleo de aisladores ópticos. Ello no ocurre con los LED.

La siguiente tabla compara espectralmente las distintas fuentes. El ancho espectral está estrechamente vinculado al límite en la velocidad de transmisión de datos:

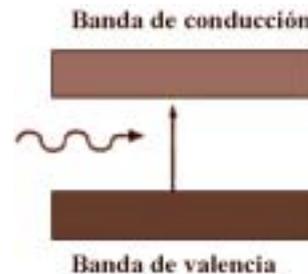
Fuente	Ancho espectral típico
LED	30-100 nm
Láser Fabry-Perot	3-6 nm
Láser DFB	50 MHz-5 GHz (0.04-0.0004 nm)
Láser ECL	<1 MHz (<0.000008 nm)

Por otro lado, las propiedades funcionales de los dispositivos son distintas, como se puede comprobar en la siguiente tabla:

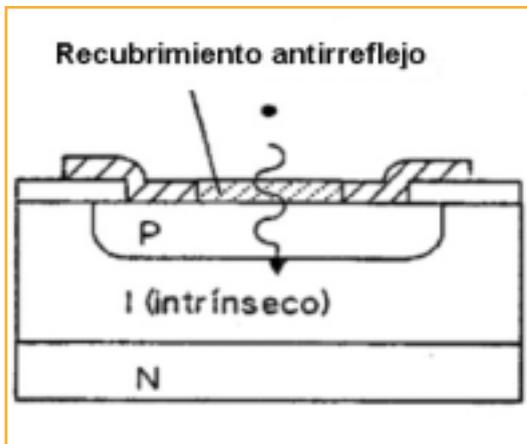
	LED	Láser
Potencia y eficiencia de acople	1 mW- < 10 %	20- 500 mW- 50 %
Sensibilidad a cambios de temperatura	Baja	Alta
Sensibilidad a la retroreflexión	Ninguna	Alta
Coherencia	Incoherente	Coherente
Circuitaria	Simple	Compleja

b. Detectores

Consideraremos los fotodiodos PIN y los fotodiodos de avalancha, APD.



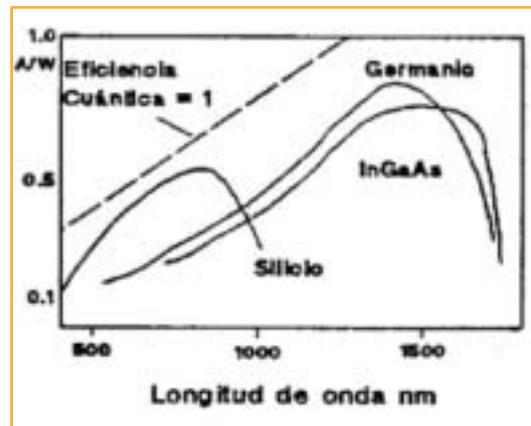
Los **fotodiodos PIN** se usan ampliamente como detectores en los receptores de fibra óptica. Su construcción presenta una región levemente impurificada, denominada región intrínseca, ubicada entre las regiones impurificadas con dopaje de impurezas tipo **p-** y **n-**. De aquí surge la denominación PIN -región P, región intrínseca, región N-. La región intrínseca proporciona un área altamente resistiva y relativamente grande para la interacción de los fotones.



Los fotodiodos PIN convierten la energía lumínica en energía eléctrica, utilizando el fenómeno de emisión espontánea... al revés: Un fotón ingresa en la región intrínseca del fotodiodo y es absorbido, creando un par electrón-hueco y originando, así, una corriente eléctrica. La corriente es proporcional a la intensidad de los fotones incidentes.

Con una eficiencia cuántica de 1 (fotodiodo ideal), se genera un par electrón-hueco por cada fotón. La responsividad (corriente eléctrica por potencia óptica, medida en AW) aumenta linealmente con la longitud de onda. Esto se debe a que la energía del fotón disminuye con la longitud de onda y, por lo

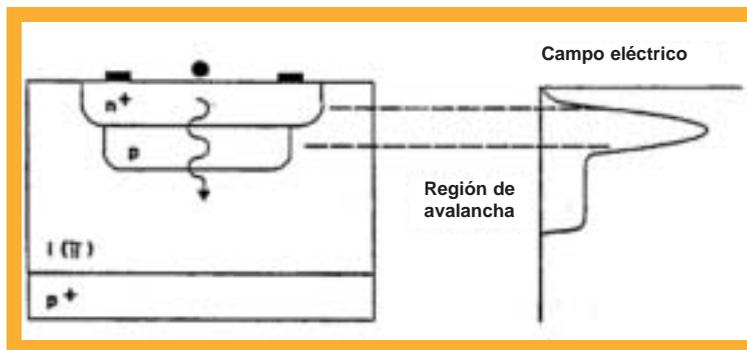
tanto, cuanto mayor sea la longitud de onda, mayor es la cantidad de fotones requerida para obtener el mismo nivel de potencia óptica, generando, así, más pares electrón-hueco.



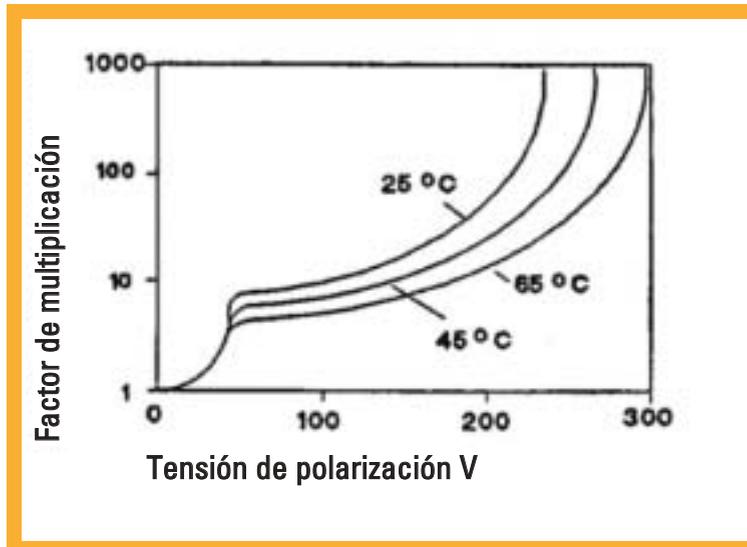
Los fotodiodos reales tienen una eficiencia cuántica comprendida entre 0.5 y 0.9, y sólo se pueden usar en un rango limitado de longitudes de onda, de acuerdo al material semiconductor con que estén fabricados.

- En el extremo superior de longitudes de onda, la energía del fotón no es suficiente como para excitar un electrón de la banda de conducción (energía del fotón < energía de salto de banda).
- En el extremo inferior de longitudes de onda, el coeficiente de absorción del material se vuelve muy alto y los fotones son absorbidos muy cerca de la superficie del detector, donde los portadores se recombinan más rápidamente de lo que pueden ser recogidos.

El **fotodiodo APD** -*Avalanche Photodiode*. Fotodiodo de avalancha-, obtiene su alta sensibilidad por multiplicación interna de los electrones generados por la luz. Un campo eléctrico intenso acelera tanto a los portadores de corriente que éstos pueden expulsar como a los electrones de valencia de la estructura cristalina del semiconductor. El resultado: A tensiones de polarización suficientemente altas, se produce una verdadera avalancha de portadores -de allí su denominación-.



Los APD poseen una dependencia muy alta con la temperatura, tal como se observa:

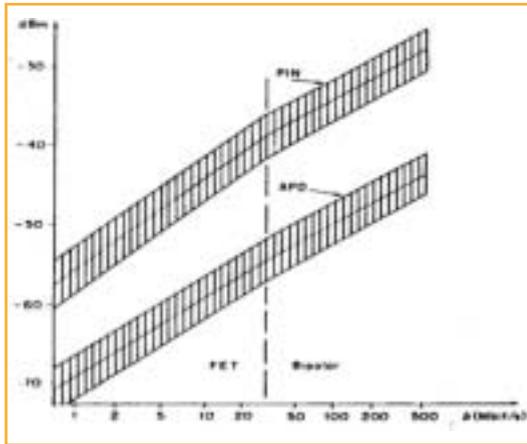


Los factores de multiplicación -grado en que se multiplica un electrón inicial- varían desde 30 hasta, aproximadamente, 100. Nótese que las tensiones requeridas para excitar a los fotodiodos de avalancha son mucho más altas que los pocos volts utilizados normalmente en los electrones de los semiconductores. Tales tensiones van desde 10 V hasta más de 100 V, según el dispositivo y el material.

Para proporcionar la tensión de polarización necesaria para lograr el factor de multiplicación deseado y para compensar las variaciones de temperatura que afectan los parámetros del APD, se requieren circuitos especiales. La selectividad de longitud de onda de un material semiconductor en particular, es la misma que para los diodos PIN.

La sensibilidad del receptor especifica la potencia óptica mínima que necesita un receptor para lograr una cierta relación señal/ruido (en los sistemas analógicos) o una cierta tasa de error de bit -*Bit Error Rate*. BER-típico en un sistema de telecomunicación, es de 10^{-9} . Depende de la velocidad de transmisión de datos, del esquema de codificación y de la longitud de onda. La SNR -relación señal-ruidotípica requerida para los sis-

temas analógicos es de 30 dB a 60 dB.



Debido a su amplificación interna, los APD tienen una sensibilidad más alta. Esto se hace evidente en los sistemas de alta velocidad, en los que cualquier etapa amplificadora adicional agrega una limitación ulterior al ancho de banda.

Resumiremos a continuación las principales consideraciones funcionales para los diodos PIN y los APD.

- **Responsividad.** Define cuánta corriente genera el detector por efecto de la potencia óptica entrante. Se mide en A/W. Los APD tienen una responsividad que es, aproximadamente, 10 a 100 veces mayor que los fotodiodos PIN, lo que hace que, en general, los receptores basados en APD sean más sensibles (PIN ~0.8 A/W, APD ~50 A/W).
- **Sensibilidad.** Especifica la potencia óptica mínima que necesita un receptor para lograr una cierta calidad de señal (SNR o BER). En general, los receptores basados en APD son 5 a 7 dB más sensibles que

los receptores basados en fotodiodos PIN (PIN -38 dBm a 565 Mbit/s, APD -45 dBm a 565 Mbit/s).

- **Sensibilidad respecto de la temperatura.** Es una de las desventajas de los APD. El factor de multiplicación (amplificación) depende mucho de la temperatura; por consiguiente, los APD necesitan sensores de temperatura y circuitos de control.
- **Diseño el circuito.** PIN, simple; APD, complejo.

$$\text{Potencia [dBm]} = 10 \log (\text{Potencia [mW]} / 1 \text{ mW})$$

Dado que el dB es una medida relativa, cuando es necesaria una medición absoluta de potencia óptica -por ejemplo, la que emite un láser- se utiliza el dBm -decibeles referenciados a 1 mW-; es decir, se toma como referencia (0 dBm) a 1 mW -miliwatt-.

Esquemas actuales de sistemas de comunicaciones digitales.

Ejemplo de red de datos tipo Ethernet y de red de telefonía SDH

Redes Ethernet

Desde hace ya dos décadas, las comunicaciones digitales de datos se han hecho cada vez más populares. Hoy en día, prácticamente todas las conexiones de transferencia

de información de datos son digitales -exceptuando, claro está, las que se realizan entre abonados domiciliarios que, en general, por costos, son conexiones analógicas, como es el caso del uso del módem por línea de teléfono, empleando la técnica de *dial-up* o conexión por discado-

En los sistemas de redes de datos concentrados en un edificio o en un campus, a fin de interconectar varios puestos de trabajo, suelen emplearse diversas configuraciones emplazadas en un terminal monitor-teclado con servidores y otros dispositivos tales como *routers* -ruteadores-, *switches* -conmutadores- y *hubs* -distribuidores- que permiten la administración de esta red y su interconexión con el mundo exterior de una manera eficiente.

Hasta no hace mucho tiempo, el medio empleado para la interconexión entre usuarios y servidores, y entre éstos, era el cable metálico. Inicialmente, el cable coaxil, dadas sus bajas pérdidas, era el único que permitía conectar los distintos tipos de dispositivos.

El cable coaxil es un cable metálico que tiene dos conductores -generalmente, de cobre o aluminio- con una cobertura de PVC o de polietileno. Uno de los conductores está ubicado en el centro del cable y el otro, en forma de malla, rodea al anterior. Entre medio de los dos se ubica un material aislante que puede ser aire, teflon (dieléctrico a partir de polímeros), etc.

Con la mejora en el diseño de las redes y de los circuitos electrónicos, y con la integración de los cables UTP -*Unshielded Twist Pair*; par trenzado no blindado o sin blindaje-, se pudieron realizar conexiones entre varios usuarios y un dis-

tribuidor o un *switch*, superando los 100 metros de distancia máxima entre ellos.

- La norma Ethernet, definida en 1975, dispone de una velocidad de transferencia de datos de 10 Mbps (10.000.000 de bits por segundo) que, luego, migra a la Fast-Ethernet, ya en 100 Mbps.
- En la década del '90, la tecnología vuelve a generar un nuevo récord, llegando a diez veces más, y entrando en la era del Gigabit Ethernet, es decir 1.000.000.000 de bits por segundo.
- Actualmente, ya tenemos 10 Gigabit Ethernet, con una tasa de transferencia de 10.000.000.000 de bits por segundo.

Para poder lograr semejantes velocidades, el medio ha tenido que sufrir significativas mejoras tecnológicas, al igual que las estrategias para lograr un incremento de 1.000 veces la velocidad, en dos décadas.

El cable más empleado en la actualidad es el UTP categoría 5; es el tipo de cable más instalado, si bien ya existen UTP de categoría 6 y 7, inclusive.

El primero soporta la actual norma de Gigabit Ethernet pero no más allá de los 100 metros. Por eso, generalmente, se lo utiliza en cableado dentro de un edificio, interconectando equipos de un mismo piso.

Para distancias mayores, las soluciones son dos:

- emplear fibra óptica o
- emplear una conexión *wireless* -inalámbrica-.



Esquema básico de una red LAN -Local Area Network; red de área local-

Generalmente, se emplea una computadora que funciona como servidor; por ejemplo, para gestionar las operaciones de correo electrónico o para correr programas multiusuarios.

Varias computadoras personales y/o estaciones de trabajo se interconectan entre sí a través de un *hub*, *bridge* o *switch*, de manera tal de poder compartir recursos o de intercambiar información con el exterior (por ejemplo, la conexión a Internet).

Si bien algunas conexiones pueden no requerir de alta velocidad, otras sí la necesitan. Por ejemplo, si en el servidor se ejecuta un programa para procesamiento gráfico a tiempo real, demandado simultáneamente por varios usuarios que se encuentran en las estaciones de trabajo, se requiere de mucha velocidad, lo cual justifica emplear un medio de gran ancho de banda, aunque la distancia entre ellos y el servidor sea de unos pocos cientos de metros.

Todo esto es ahora posible gracias a la mejora en cuanto a velocidad de transmisión en redes de datos locales, tales como Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet.

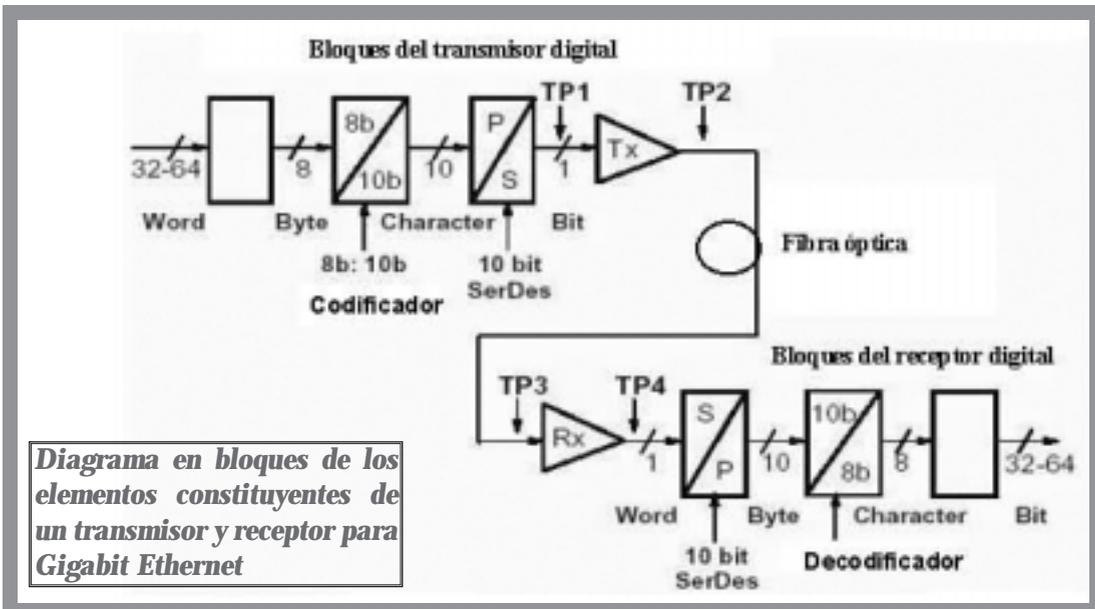


Diagrama en bloques de los elementos constituyentes de un transmisor y receptor para Gigabit Ethernet

En el diagrama en bloques:

- Los datos en formato digital binario son tomados de 32 o 64 bits (word) y convertidos en grupos de 8 bits (byte).
- Luego, a fin de contar con alguna manera para enviar información de sincronismo, cada uno de esos 8 bits son **reemplazados** por otro grupo de 10 bits *-character-*, a fin de garantizar que siempre existan transiciones de "unos" y "ceros" necesarias para que en el receptor se pueda rescatar la señal de reloj requerida para saber cuándo es el momento en el que el receptor debe leer si hay un "uno" o un "cero".
- Una vez que se tiene hecha la conversión de 8 a 10 bits en el transmisor, se **serializa** -de tener esos datos en "paralelo" a través de 10 cables (los 10 bits simultáneamente en el tiempo), se pasa a enviarlos uno tras otro por un solo cable (bit)-; para tal fin se emplea un registro de desplazamiento.
- La etapa **Tx** se encarga de convertir la señal eléctrica en una óptica. Generalmente, en este punto se emplea un diodo láser.
- Luego, **se transmite** la información por fibra óptica.
- La etapa **Rx** es la que recibe la información desde la otra punta del cable de fibra óptica, realizando el proceso ya planteado.
- Una vez que la señal óptica es convertida al dominio eléctrico en el receptor, se la **des-serializa** -se cambia el formato de serie a paralelo con la ayuda de un registro de desplazamiento-.
- Con los 10 bits se procede a pasar, nuevamente, a los **8 bits originales**.

- Por último, se agrupan convenientemente varios paquetes de 8 bits para obtener los **32 o 64 bits iniciales**.

Es importante aclarar que el esquema explicado sirve sólo para una comunicación unidireccional, es decir, desde un punto a otro.

En general, los circuitos de comunicación de redes de datos que emplean fibra óptica -*transceiver*, transceptores- cuentan con un circuito duplicado al anterior, donde existe tanto un transmisor como un receptor en cada extremo de la conexión.

De esta manera, se necesitan dos fibras ópticas para posibilitar una comunicación bidireccional.

La tecnología actual de las redes LAN ha evolucionado a 10 Gigabit Ethernet; en ellas, se ha decuplicado la velocidad de transmisión respecto de sus antecesoras. Los cambios se basan en el empleo de fibra óptica, exclusivamente -en particular, de fibra multimodo (por una cuestión de costo)-.

Descripción	62.5 μm Fibra		50 μm Fibra			Unidad
	850	850	850	850	850	
Longitud de onda	850	850	850	850	850	nm
Amplitud de banda	160	200	400	500	2000	MHz*km
Funcionamiento de gama	2-26	2-33	2-66	2-82	2-300	m

Los modelos más frecuentes son las fibras de 50 μm y 62,5 μm de diámetro de núcleo.

Con la primera se logra mayor ancho de banda; porque, a menor diámetro de núcleo, menor dispersión, ya que viaja menor número de modos.

Si bien parecería que no es posible conseguir un ancho de banda de 10 GigaHertz, éste puede lograrse para distancias de hasta algunos cientos de metros.

La máxima distancia a transmitir se puede obtener, sin embargo, empleando fibra óptica monomodo y diodos láseres del tipo VCSEL -*Vertical Cavity Surface Emitting Laser*-.

Para 1310 nm, se puede llegar hasta 10 kilómetros, mientras que, si empleamos 1550 nm como longitud de onda de transmisión, el alcance es de hasta 40 kilómetros.

Redes FDDI

En otros tipos de redes digitales, la interconexión entre equipos se puede hacer en forma de un anillo de fibra óptica, de modo tal que cada uno de estos equipos tiene una entrada y una salida, las que se van interconectando de tal forma que se configura un cir-

cuito cerrado.

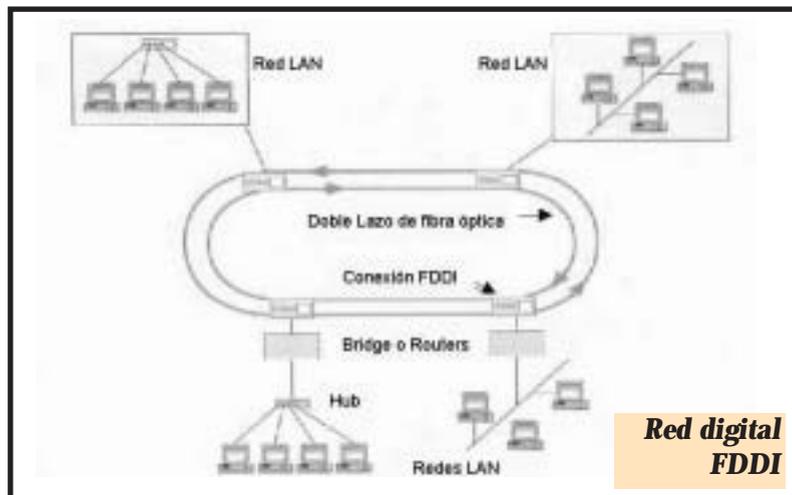
Se tiene, así, una sola dirección por donde la información va circulando.

La información que llega es procesada por el mismo equipo. Si "hay algo" para ese equipo, éste lo toma y pone otra cosa en su lugar; de lo contrario, deja que todo siga como le llegó. De esta manera, se emplea una sola fibra óptica que transporta los datos en forma cíclica.

El primer nodo de comunicaciones del equipo debe esperar que pase por todos los demás para recibir información nueva.

Éste es el caso de la red digital FDDI -*Fiber Distributed Data Interface*; interfaz de datos distribuida por fibra-, que trabaja a una velocidad fija de 100 Mbps.

En la imagen se ilustra la red digital FDDI y se muestra cómo se pueden interconectar varias redes LAN de computadoras a través de un anillo de fibra óptica.



Se indican dos anillos de fibra óptica; pero, sólo uno de ellos está activo. El otro, en caso de falla (por ejemplo, por el corte de una fibra), entra a reemplazar el tramo dañado.

Este tipo de red se está dejando de emplear debido al éxito que ha alcanzado la tecnología Ethernet.

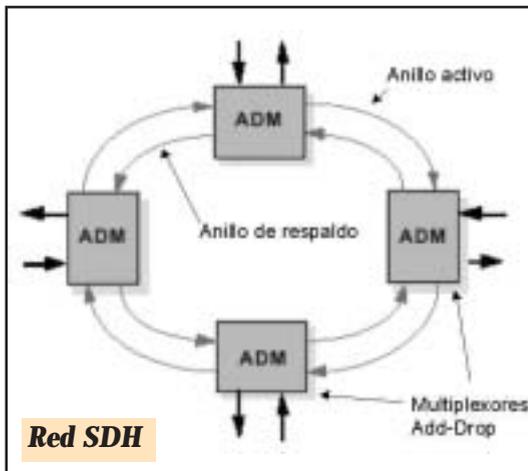
Redes SDH

Otra tecnología digital que es muy empleada en la actualidad, especialmente por los operadores telefónicos, es la red SDH -*Synchronous Digital Hierarchy*; jerarquía digital sincrónica-, diseñada para proveer el transporte no sólo de servicios telefónicos sino, además, de datos y de video.

Su principal característica es que permite transportar estos servicios en forma digital, enviando un bit tras otro a través de transmisiones sincrónicas; es decir, enviando simultáneamente, por un solo canal, datos y señal de reloj.

Dependiendo de las velocidades de transmisión, se pueden emplear diferentes tipos de medios: coaxil, microondas o fibra óptica.

Para velocidades de más de 622 Mbps, las únicas opciones son microondas y fibra óptica, mientras que para 2,5 Gbps en adelante (10 Gbps y 40 Gbps), la fibra óptica es el único medio que puede brindar tanto ancho de banda.



Los bloques ADM -*Add-Drop Multiplexer*; multiplexores con capacidad de subida y bajada de información- se interconectan entre sí a través de un anillo de fibra óptica.

En forma similar a la red FDDI (existen, sin embargo, diferencias de interconexiones y de funcionamiento), tenemos dos anillos, uno de los cuales está activo y el otro en reposo.

La información va circulando progresivamente de ADM a ADM. Cada uno de ellos tiene una entrada y una salida para ingresar o sacar información de la red. Los ADM suelen conectarse a las centrales telefónicas o a otros elementos de la red.

Para el primer caso, si en el ADM de la izquierda se conecta, por ejemplo, una central telefónica de característica 450 y, en la derecha, otra de característica 471, todos aquellos abonados que quieran comunicarse de una central a otra, deben pasar por el ADM de arriba y el de abajo.

Supongamos que:

- El abonado A tiene número 450-xxxx y el abonado B, 471-zzzz.
- La señal de voz del abonado A se digitaliza y se transmite junto a otras señales de otros abonados de la central 450 y se envía al ADM de la izquierda.
- Éste las incorpora al resto de las señales que le llegan por el anillo desde el ADM de abajo.
- Junto con lo demás, la señal del abonado A pasa por el ADM de arriba y llega al ADM de la derecha donde se encuentra conectada la central 471, que es la del abonado B.

- El ADM de la derecha identifica que esa señal es para su central y la saca del tráfico del anillo, enviándola al abonado B.
- Del mismo modo, la señal de voz del abonado B se digitaliza y es enviada, junto con otras señales de otros abonados de la central 471, hacia el ADM.
- Éste la inyecta en el tráfico del anillo y viaja hacia el ADM de abajo.
- Cuando la señal del abonado B llega al ADM de la izquierda, éste identifica que quiere comunicarse con el abonado A que corresponde a la central 450 y la rescata, enviándola hacia ella.
- De esta manera, se logra una comunicación simultánea de voz entre el abonado A y B.

Este procedimiento se puede extender para el caso de múltiples abonados que quieren comunicarse estando en diferentes centrales.

En forma generalizada, al transmitirse señales digitales, se puede pensar que, en vez de voz, se transmiten datos y/o video desde una computadora del abonado A a la computadora del abonado B.

Consideremos un dato para tener una idea de la cantidad de información que es posible enviar: Si, por ejemplo, la velocidad de trans-

misión del anillo óptico es de 2,5 Gbps y cada señal de voz digitalizada se transmite a 64 kbps, se pueden estar enviando, simultáneamente, decenas de miles de comunicaciones vocales; es decir, satisfacer a decenas de miles de abonados que están comunicándose al mismo tiempo.

Transmisores, receptores y medios de transmisión usados en comunicaciones por fibras ópticas en redes digitales

a. Transmisores

Este dispositivo está basado en un láser o en un LED.

Las diferencias entre uno y otro, según planteamos páginas atrás, radica en que el láser es un emisor de luz coherente, lo que se traduce, entre otras cosas, en una mayor concentración de potencia de luz, lo que permite que el haz viaje con mucha menor divergencia y que se abra muy lentamente a medida que recorre el medio. Ésta es la razón por la cual es el componente ideal en sistemas aéreos de comunicaciones.

Un LED, en cambio, es un emisor de luz incoherente. Si descomponemos la luz generada en pequeños "paquetes" de luz denominados fotones, éstos no están sincronizados unos con otros en fase ni temporal ni espacialmente, lo que hace que la luz emitida sea muy divergente y se degrade, por tanto, muy rápidamente.

Le proponemos analizar los sitios web de éstas y de otras empresas que fabrican equipamiento para transmisión de señales digitales:

- Harmonic Lightwave® www.harmoniclightwave.com
- ADC® www.adc.com
- Commscope® www.commscope.com
- Scientific Atlanta® www.sci-atlanta.com

Si pensamos que hay que introducir ese haz de luz en el extremo de una fibra óptica, es necesario, además, disponer de algún tipo de lente óptica para enfocar esa luz.

Recordemos que, en las fibras monomodo, el núcleo es de poco menos de 10 micrones ($1 \mu\text{m} =$ una millonésima de metro). En cambio, en fibras multimodo, el núcleo tiene un diámetro que varía de modelo a modelo entre $50 \mu\text{m}$ y $62,5 \mu\text{m}$, en fibras de sílice, y entre $100 \mu\text{m}$ y $900 \mu\text{m}$ en fibras a base de polímeros (comúnmente llamadas "de plástico").

Tanto si se usa un LED o un láser, lo que debemos conseguir es obtener una señal luminosa proporcional a la señal eléctrica de entrada. Expresado con mas rigurosidad técnica, es necesario convertir la señal eléctrica -que, generalmente, es una tensión- en otra luminosa cuya potencia sea directamente

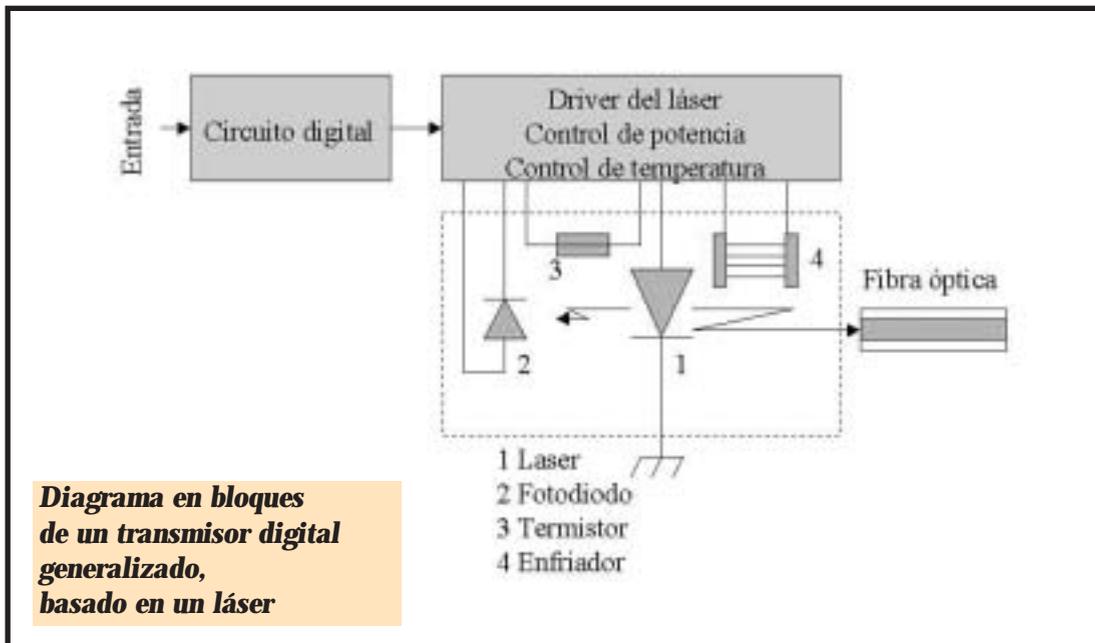
proporcional a la inicial.

Esto debe ser así ya que, como contrapartida, los fotodetectores generan una corriente eléctrica proporcional a la potencia luminosa recibida.

De esta manera, aún si el medio tiene pérdidas, el receptor puede recomponer la señal original transmitida.

En el diagrama en bloques podemos observar diferentes componentes -algunos de ellos no deben incluirse, necesariamente-:

- Diodo láser.
- Fotodiodo de monitoreo.
- Circuito de control de potencia.
- Circuito de control de temperatura.
- Circuito driver del láser.



Principalmente, tenemos el emisor de luz - que, en este caso, es un láser-. En general, estos dispositivos tienen una dependencia con la temperatura, variando así la potencia emitida y experimentando un corrimiento en la longitud de onda que emiten.

Otro punto interesante es que, por envejecimiento, un láser que está siempre ajustado a una determinada corriente eléctrica de excitación, va generando menos potencia óptica con el correr del tiempo. Para evitar esto, algunos diodos láser tienen integrado, dentro del encapsulado, un fotodiodo que sirve como monitor de la potencia de emisión. Esto ayuda a que, si la potencia óptica varía, con esta señal testigo se puede implementar un circuito de realimentación tal que mantenga el nivel promedio.

Por otro lado, como en general es preferible que la longitud de onda de emisión no varíe, también suele integrarse en el encapsulado del diodo láser una celda Peltier y un sensor de temperatura, que, generalmente, es un termistor (resistencia con un alto coeficiente de temperatura).

Conectando el sensor de temperatura dentro del láser a un circuito de control de temperatura, es posible sensarla y mantenerla constante. Para ello, es necesario suministrar la corriente necesaria a

la celda de Peltier, a fin de enfriar al láser.

Por último, tenemos el circuito driver del láser que, básicamente, convierte la tensión de señal en una corriente proporcional a ella.

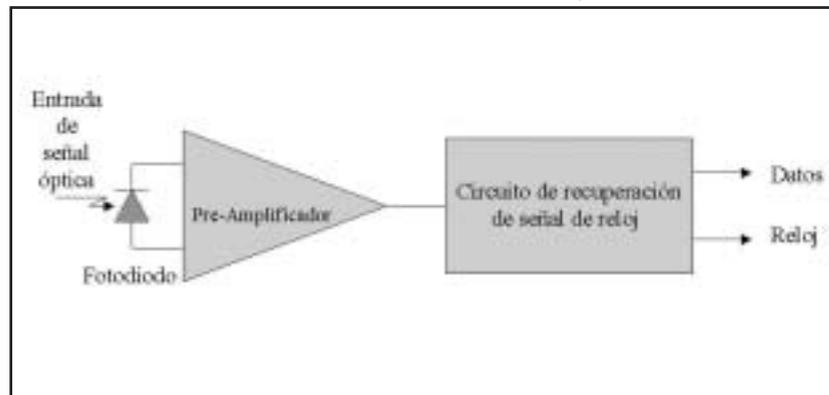
La **celda de Peltier** es un elemento que sirve como un disipador de calor. Si se la excita con corriente eléctrica, una de sus caras se enfría y la otra se calienta, generando una diferencia de temperatura entre ellas, por lo que se consigue un intercambio de calor, desde dentro del dispositivo hacia afuera.

Es necesario considerar que este circuito tiene que manejar la potencia adecuada. Por ejemplo, suele requerirse varios cientos de miliamperes para obtener potencias del orden de algunos miliwatt.

El esquema presentado es general. Existen aplicaciones en las cuales no interesa controlar potencia o temperatura, por lo que el circuito se reduce a un simple diodo y a su driver.

b. Receptores

En la siguiente figura vemos un esquema de un receptor generalizado:

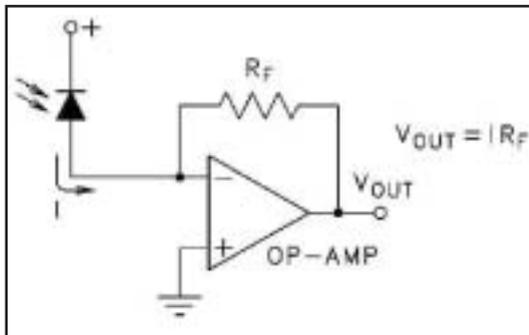


Su base es el fotodiodo, ya sea de tipo PIN o APD. En general, en aplicaciones digitales de alta velocidad -como es el caso de redes SDH-, suele emplearse el fotodiodo APD, ya que tiene mucha más sensibilidad que un fotodiodo PIN, lo que implica que es posible llegar a distancias mayores con el mismo nivel de potencia a la entrada de la fibra.

El fotodiodo PIN se utiliza en aplicaciones digitales donde la velocidad es intermedia o baja (menor a 1 Gbps). Un ejemplo clásico es en redes LAN Ethernet de 100 Mbps en las que se usan, también, diodos emisores tipo LED. La ventaja del uso de estos últimos es su relativo bajo costo y el requerir circuitos electrónicos más simples y baratos que los empleados en diodos APD.

El receptor generalizado, luego del detector, tiene una etapa de preamplificación y, a veces, otra de postamplificación.

Es común encontrarse con un circuito donde el fotodiodo se conecta a un amplificador operacional especial, a fin de convertir la señal óptica en una tensión eléctrica pero ya amplificada.



Este tipo de configuración se denomina de **transimpedancia**, ya que el amplificador

operacional se utiliza en el modo conversor corriente a tensión.

Aquí, el generador de corriente es el propio fotodetector el cual se polariza en inversa.

La corriente que éste genera es el producto de la luz recibida más la propia corriente del fotodiodo -que es considerado como "ruido"-, denominada **corriente oscura**, ya que se puede comprobar que, aún en ausencia de señal óptica, el fotodiodo genera una pequeña corriente.

c. Medios de transmisión

Es la fibra óptica el medio empleado para el transporte de las señales ópticas que contienen la información de video y/o los datos -en caso de disponer de servicio de telecomunicaciones SDH de alta velocidad o de redes de área local para transferencias de alta tasa de bit -*Bit rate*-.

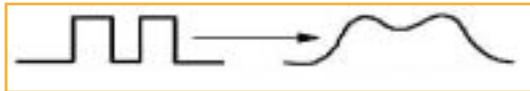
Los tipos de fibra empleados son multimodo y monomodo; su elección depende no de la atenuación sino del ancho de banda que se puede transportar.

En principio, la fibra monomodo tiene mayor ancho de banda que una multimodo, gracias a que sólo se propaga un único modo y así podemos despreciar el efecto de la dispersión modal. Pero, queda la dispersión cromática que -si bien es pequeña- influye en la máxima distancia a la cual podemos llegar con una determinada señal de video.

Como mencionamos en un apartado ante-

rior, la combinación de la característica de una fuente luminosa como su ancho espectral y la dispersión de la fibra hacen que, a medida que la señal óptica viaja por la fibra, ésta vaya experimentando una disminución de su ancho de banda.

Es decir, si fijamos una fuente -por ejemplo, un láser- y le aplicamos una señal digital tal que se transmitan "unos" y "ceros" binarios, a medida que los pulsos viajan por la fibra empiezan a disminuir de amplitud y a ensancharse hasta que, por ejemplo, como se muestra en la figura, se llega a confundir un "cero" (ausencia de señal) con un "uno", dando como resultado un error en el receptor.



Como en el caso de sistemas electrónicos, se mide el ancho de banda óptico a -3 dB de la amplitud con señal sin atenuación.

Si se usara un láser con una fibra multimodo, sólo podríamos llegar a unos cuantos cientos de metros; mientras que, con una monomodo, cómodamente llegamos a decenas de kilómetros.

Si el problema es la combinación del ancho espectral de la fuente y de la dispersión

Esto se conoce como **ISI o interferencia intersímbolo**, un tipo de error que limita la máxima distancia a la cual se puede enviar información: Debería haber recibido una secuencia de 01010 y lee 01110.

El picometro es una unidad de medida de longitud que equivale a 10^{-12} metros.

de la fibra, ¿por qué no disminuimos a ambas? La respuesta es porque hay un límite tecnológico y uno económico. Tecnológico, porque no es posible hacer la dispersión de la fibra totalmente a cero; económico, porque si bien se pueden conseguir láseres de ancho espectral de algunos picómetros (los empleados en CATV tienen anchos del orden de centenas de picómetros), éstos son muy costosos, lo que limita su uso.

En resumen, con los láseres actuales -de un costo razonable para las empresas de servicios de telecomunicaciones- y con la fibra monomodo convencional, es posible llegar a unos 30 km de alcance. Existen, sin embargo, técnicas que permiten superar los 100 km.

En redes de área local, en general, las distancias son muy cortas, en comparación con las redes telefónicas SDH: Una LAN puede tener varios cientos de metros a cubrir, lo cual permite emplear, en algunos casos, fibras ópticas multimodo y diodos LED, con lo cual se logra una importante disminución de costos.

Tecnológicamente hablando, el cable de fibra óptica es la suma del denominado conductor de fibra que ya analizamos y de refuerzos especiales que se van sumando a fin de darle la rigidez adecuada para que pueda ser manipulado e instalado.

Un cable de fibra óptica, en general, viene preparado para soportar diferentes tipos de instalación:

- Cable para instalaciones interiores.
- Cable para instalaciones exteriores.

El cable para instalaciones exteriores es el que más tecnología lleva involucrada. Se puede dividir en tres grupos:

Cable para instalaciones exteriores	<ul style="list-style-type: none">• Cables para instalación aérea.• Cables para instalación subterránea.• Cables para instalación submarina.
-------------------------------------	--

Es importante destacar que no existe un cable de fibra óptica especial para televisión, otro para datos, otro para señales analógicas y otro para señales digitales. Lo que difiere, generalmente, es el tipo de conductor de fibra óptica, que puede ser multimodo o monomodo, y las variaciones que existen de cada uno de ellos.

A partir de aquí haremos una división en el tipo de cable de fibra óptica, desde el punto de vista del material del conductor que se va a emplear:

- Cables de fibra óptica de sílice.
- Cables de fibra óptica plástica.

Dentro de los **cables de fibra óptica de sílice**, encontramos:

- Cables para instalación en interiores.
- Cables para instalación aérea.
- Cables para instalación subterránea.
- Cables para instalación submarina.

Cables para instalación en interiores²

Suelen estar formados por el conductor o conductores de fibra óptica, que ya tienen

² Los datos que incluimos son sólo indicativos, ya que existe una gran variedad de cables.

una primera protección mecánica denominada *coating*, que es una pintura de acrilato que le da una resistencia a la tracción mayor que la del acero y que, además, permite doblar hasta cierto punto al conductor sin que éste se parta.



Ejemplos de cables de fibra para uso en interiores

Rodeando a dicho conductor, tenemos fibra de kevlar que es un material muy resistente a la tracción. Generalmente, si hay que tirar del cable para instalarlo, se hace sobre ese material.

Por último, tenemos una cobertura, generalmente de PVC, ignífugo, denominada *jacket*.

En general, el conductor de fibra se protege con una vaina exterior de material que puede ser PVC o polietileno.

Los cables suelen ser del tipo *duplex* o *simples*; contienen dos conductores de fibra óptica o sólo uno, dependiendo de la aplicación.

Suelen ser flexibles y, por lo tanto, fáciles de manejar.

Cables para instalación aérea

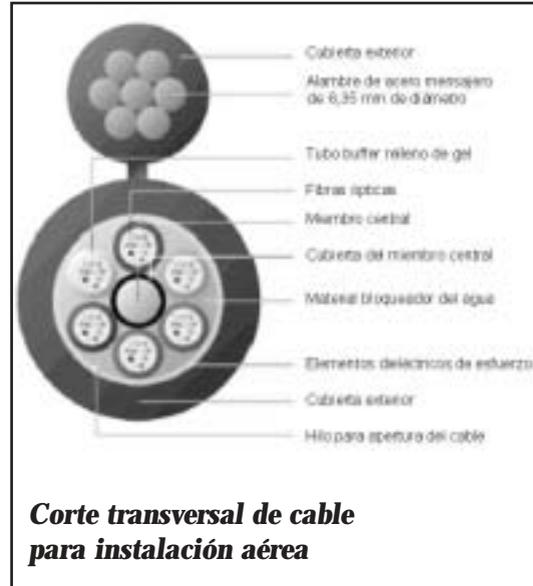
En las siguientes figuras vemos ejemplos de cable de fibra para uso exterior, fabricado especialmente para uso aéreo.



Este tipo de cable suele tener algún elemento autosoportante -es decir, que permite sostener el cable para darle la suficiente rigidez mecánica, ya que va colgado entre postes-.

Si se los mira de frente, algunos cables tienen una estructura en forma de "ocho": Un círculo contiene a la o las fibras. y al otro el material de soporte, que puede ser metálico.

En otros casos, el elemento de soporte directamente está en el centro del cable y es de un material dieléctrico duro -generalmente, de kevlar- que se emplea, además, para tirar de él durante el proceso de instalación.



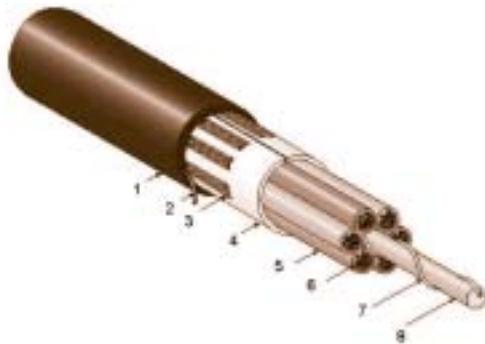
La construcción del cable debe ser tal que pueda soportar las diferencias de temperatura, tanto durante el día como en diferentes épocas del año. Éste, entre otros factores, es importante ya que los coeficientes de dilatación del vidrio, PVC y otros materiales es muy diferente y podrían generarse esfuerzos mecánicos que dañen a los conductores de fibra.

La cantidad de conductores de fibra óptica ("pelos", en la jerga de telecomunicaciones) que pueden albergar varía entre algunas unidades (por ejemplo, 12) y un máximo que para muchas aplicaciones supera el centenar (por ejemplo, 144).

Interesante de apuntar es que, dada la propiedad que posee la fibra óptica con respecto a su inmunidad a campos electromagnéticos, un uso muy particular es el de transporte de datos u otro tipo de señales, emplazando dicha fibra junto con cables de

alta tensión que viajan a los largo de las líneas de transmisión de energía eléctrica de, por ejemplo, 500 kV (500.000 V). Esto se puede hacer dado que la fibra es un material dieléctrico y no conduce electricidad. No hay posibilidad de que se induzcan cargas eléctricas por inducción, como ocurriría si se tratara de un cable metálico. Para las empresas de distribución de electricidad esto encierra, como gran ventaja, aprovechar las instalaciones de tendido de cables -que suelen cubrir grandes distancias- para mandar tráfico de voz, video y/o datos entre ciudades.

Cables para instalación subterránea



En este esquema vemos:

1. Cubierta *-jacket-*, retardadora de flama y resistente a rayos ultravioletas.
2. Cordón *-ripcord-* que ayuda a la operación de apertura de la cubierta del cable.
3. Malla de material de kevlar *-Dielectric Strength Member-* de protección mecánica para amortiguar cualquier golpe externo

sobre el cable.

4. Cinta impermeabilizadora *-Water-Swellable Tape-* que evita el pasaje de agua o humedad.
5. Tubo contenedor *-buffer-*, conducto que aloja a un grupo de conductores de fibra óptica.
6. Fibras ópticas *-fibers-*, conductores formados por el núcleo y cladding con el adicional del recubrimiento de acrilato para darle mayor rigidez mecánica.
7. Cuerda impermeabilizadora *-yarn-*.
8. Cuerpo central de tracción *-Dielectric Central Member-*, material dieléctrico de kevlar cuya resistencia a la tracción es superior a la del acero, con la ventaja de que no es conductor de la electricidad.



En general, este tipo de cable tiene una protección contra el agua mayor que los cables aéreos. Porque, si bien suelen instalarse dentro de conductos enterrados en el suelo a

más o menos un metro de la superficie, puede suceder que queden bajo agua.

Algunos cables vienen con protecciones mecánicas extra contra roedores que podrían llegar a masticarlos; en este caso, luego de la cobertura externa de PVC, suele colocarse un anillo de acero o aluminio.

Estos cables son difíciles de manejar y se requiere de herramientas especiales para el corte de la vaina en los extremos, a fin de realizar las uniones necesarias; para lograr la menor atenuación posible en dichas uniones, se emplean empalmadoras especiales denominadas "de fusión", ya que funden los extremos de los cables a unir, logrando una perfecta "fusión" del vidrio; luego de esto, se protege los empalmes con mangos termocontraíbles especiales, y se alojan dichas uniones en cajas o bandejas, a modo de protección.

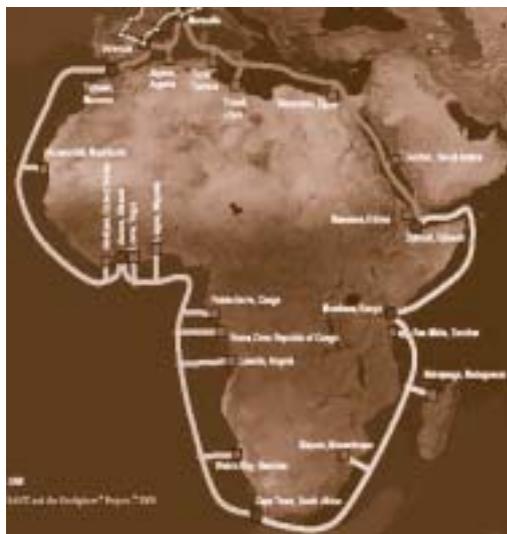
Cables para instalación submarina

Estos cables, en general, son los de mayor diámetro. Se emplean en comunicaciones internacionales (aunque puede darse también el caso de una serie de interconexiones costeras de un mismo país, como en Estados Unidos de Norteamérica), vinculando un país con otro por la costa o cruzando el océano. Como las distancias suelen ser largas, se intercalan amplificadores de señal entre cables.

Estos amplificadores necesitan de energía eléctrica para alimentarse, por lo que suelen agregarse conductores eléctricos dentro de la misma cubierta exterior del cable; en algunos

casos, sólo es un conductor y va en el centro del cable -el otro que se necesita es la misma agua del mar que sirve como retorno-.

En la siguiente figura vemos un ejemplo interesante de utilización de un cable submarino.



El esquema representa el denominado proyecto "África Uno" por el que todo el continente africano es rodeado por un anillo de fibra óptica que está instalado en el mar.

El cable submarino empleado contiene 8 conductores de fibra óptica y un conductor eléctrico de cobre ubicado en el centro del cable para llevar alimentación a los amplificadores de señales que se ubican en el cable cada 50 kilómetros, aproximadamente.

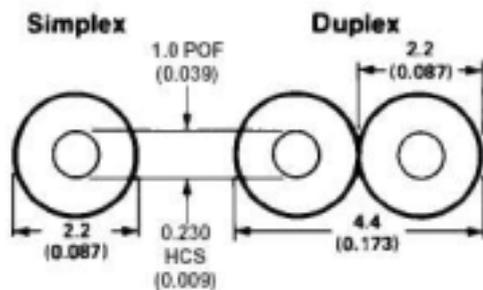
En nuestro país tenemos cable de fibra óptica submarina en el tramo de interconexión de la red de telefonía SDH entre la ciudad de Las Toninas (provincia de Buenos Aires) y Porto Alegre, en Brasil.

Consideremos, ahora, **los cables de fibra óptica plástica**³. Generalmente, este tipo de cable se emplea para instalaciones interiores.

Desde el punto de vista de los materiales empleados, existen dos tipos de conductores de fibra plástica:

- Fibra óptica totalmente plástica (tanto el núcleo -core- como la cubierta -cladding-), generalmente denominada POF -*Plastic Optic Fiber*. Fibra óptica plástica-.
- Fibra óptica con núcleo plástico y cubierta de sílice, denominada HCS -*Hard Clad Silice*. Cubierta de sílice duro- por algunos fabricantes. Tiene un diámetro de núcleo entre 150 μm y 600 μm , generalmente de 200 μm .

En la siguiente figura vemos un esquema de las fibras POF y HCS, tanto para la versión de un solo conductor (*simplex*) como doble conductor (*duplex*).



Las medidas entre paréntesis están expresadas en pulgadas (1 pulgada = 25,4 mm) y las que no, milímetros.

La POF o fibra PMMA -Poli Metil-Meta

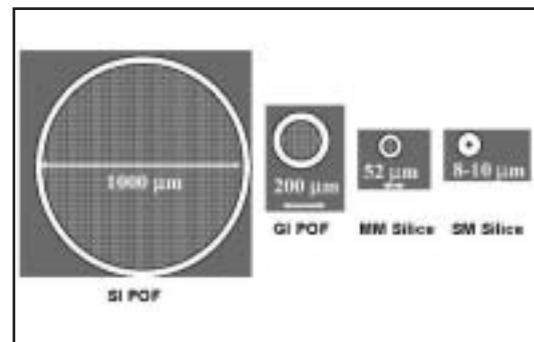
³ Es importante aclarar que algunos autores y empresas suelen llamar fibra óptica plástica -POF- a cualquier conductor de fibra óptica que sea total o parcialmente de plástico.

Acrilato- es totalmente plástica, es decir, tanto en su núcleo como en su cubierta. Suele tener un diámetro de núcleo entre 350 μm y 1000 μm , en general 900 μm .

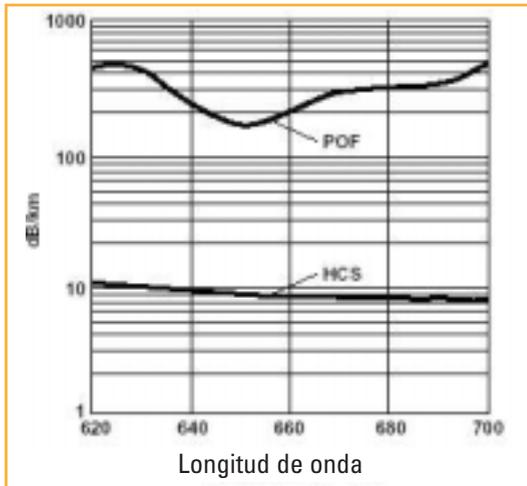
Un primer análisis de estos datos nos dice que, en ambos casos, la fibra óptica funciona como una multimodo.

Por otro lado, ya consideramos que, a menor diámetro de núcleo menor es el número de modos que puedan viajar por la fibra y, por lo tanto, mayor es la velocidad de transmisión (o ancho de banda) que se puede obtener con la fibra HCS respecto de la PMMA.

En la siguiente figura vemos una imagen donde se comparan los tamaños de los diferentes tipos de fibras: de sílice -tanto monomodo (SM Sílice) como multimodo (MM Sílice)- y las POF -tanto de índice de refracción escalonado (SI POF) como de índice gradual (GI POF)-.



La próxima muestra una curva de comparación respecto a la atenuación en función de la longitud de onda de trabajo para un tipo comercial:



Aquí se pueden apreciar las diferencias que existen con las fibras de sílice del tipo multimodo.

La atenuación en las POF puede ser unas 500 veces mayor, mientras que con las HCS hay hasta un orden de magnitud de diferencia, solamente.

En ambos casos, la zona de trabajo se localiza en la región visible del espectro de luz; por lo tanto, la fuente óptica que suele emplearse es un diodo emisor de luz (LED) y, como detector óptico, un fotodiodo de silicio.

Con respecto al alcance que puede obtenerse, éste está limitado por el ancho de banda más que por la atenuación.

Además de esta clasificación de fibras plásticas, en la actualidad -con los avances de las técnicas de fabricación- podemos introducir la siguiente distinción:

- Fibra ópticas plásticas de índice de refracción constante.
- Fibra ópticas plásticas de índice de refracción gradual.

La fibra óptica plástica de perfil de índice gradual, al igual que la de sílice multimodo con el mismo tipo de perfil, tiene la ventaja de disminuir notablemente la dispersión modal respecto de aquélla que tiene perfil de índice de refracción constante. Esto se traduce, en definitiva, en un mayor ancho de banda.

Conectores

Los conectores juegan un papel importante a la hora de permitir la interconexión entre cables de fibra óptica y diversos aparatos, como un transmisor o un receptor óptico.

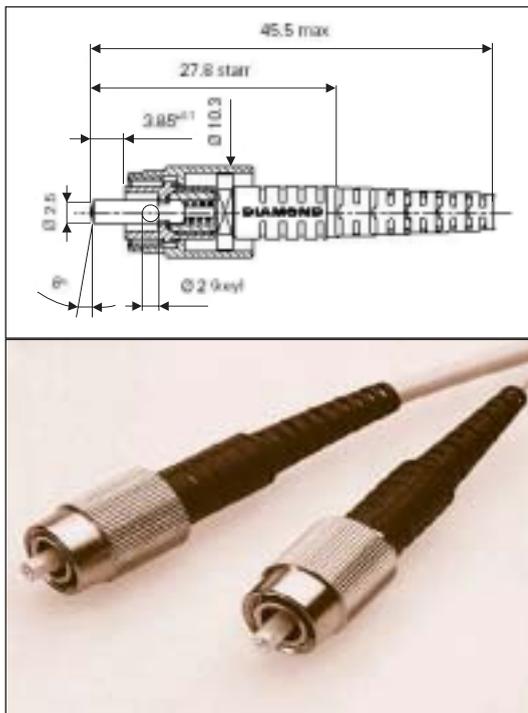
Están comprendidos dentro de la categoría de uniones no permanentes, ya que es posible conectar o desconectar dicha unión las veces que sean necesarias.

Dentro de un enlace, suelen ser los componentes que más pérdidas introducen, por lo que es aconsejable tener mucha precaución al manejarlos, ya sea para evitar que se rompan las puntas o que se ensucien. En general, al realizar las interconexiones empleando conectores se deben efectuar operaciones de limpieza a fin de evitar que la suciedad pueda aumentar aún más las pérdidas. En este punto es importante recordar que lo que se trata de hacer con la conexión, es unir extremos de fibras ópticas que tienen decenas de micrones de diámetro de núcleo; y, las partículas de suciedad pueden tener fácilmente esas dimensiones, por lo que pueden obstruir parcial o totalmente el camino óptico.

Existen varios tipos de conectores. Los más

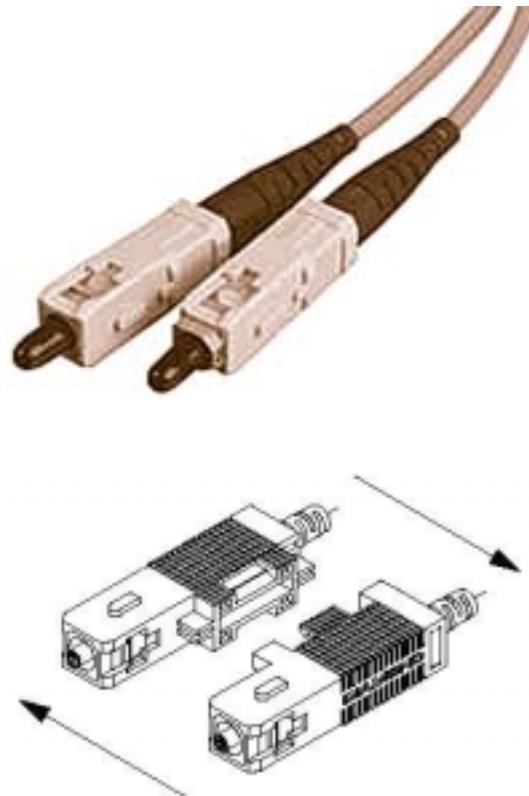
populares en telecomunicaciones son los denominados FC, ST y SC -aunque, periódicamente, aparecen nuevos tipos como por ejemplo el MT-RJ, cuyo nombre coincide con los conectores eléctricos empleados en redes de datos, debido a que su forma es similar a un conector RJ-45-.

- **Conector FC.** Es muy frecuente utilizar este tipo de conector en redes telefónicas de alta velocidad. Tiene un elemento central denominado ferrule, el cual se introduce en el terminal homólogo correspondiente y, luego, se gira la parte exterior -que posee una rosca- a fin de dejarlo firmemente solidario al equipo al cual se conecta.



- **Conector SC simple y doble.** Es muy utilizado en redes de televisión por cable. Tiene la ventaja sobre el anterior de que no es necesario realizar operación alguna

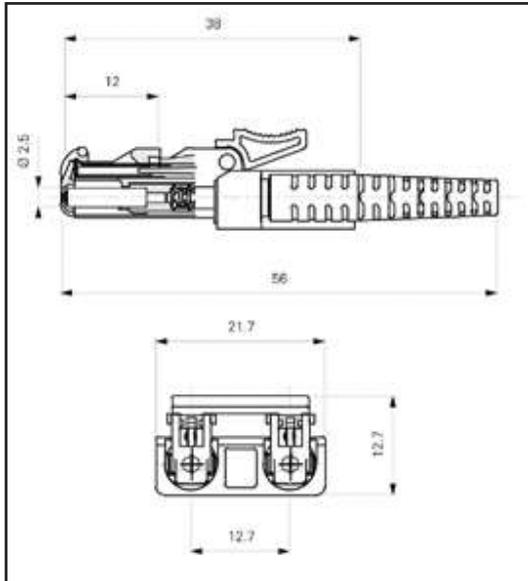
de giro (no existe rosca). El método de conexión se denomina *push-pull*, ya que sólo hay que enchufarlo en la dirección correcta y se enclava solo en el terminal homólogo. Vemos en el siguiente esquema dos conectores de este tipo, los que se pueden acoplar a fin de tener una conexión doble.



- **Conector Europa 2000.** Este conector, similar al SC, tiene la ventaja de que dispone de una tapa en su extremo, lo que lo hace intrínsecamente seguro; es decir, no hay posibilidad de que una persona, descuidadamente, mire por el extremo y reciba luz, ya que la tapa está obstruyendo el paso de la señal óptica. Sólo al enchufar

el conector en el lugar que corresponde, dicha tapa se levanta automáticamente, permitiendo el paso de luz.

En la figura vemos un esquema de este conector en una configuración doble



- **Conector ST.** Este tipo de conector es usado principalmente en redes de datos. Su forma de conexión es similar a la de un conector BNC eléctrico (del tipo a bayoneta). Para enchufarlo, se lo introduce en el terminal correspondiente y se lo gira hasta que hace tope. Está siendo desplazado por el SC y el MT-RJ.



- **Conector MT-RJ.** Este tipo de conector tiene forma física idéntica a la de un conector eléctrico del tipo RJ-45 que se emplea en redes de datos para interconectar cables UTP. La razón de este formato es utilizar, en parte, los mismos bastidores que ya se hacían para cables eléctricos.



Los conectores para fibras ópticas tipo POF, son más simples y económicos. Esto se debe, en principio, a que se manejan diámetros mayores que con fibras de sílice monomodo y multimodo, lo que hace que las posibles desalineaciones sean más tolerables a la hora de interconectar una fibra con otra, o entre ésta y un dispositivo.



Conectores que se emplean en la actualidad. El primer caso es de un conector doble; se trata de dos conectores solidarios en la misma carcasa plástica; permite llegar a un extremo con dos fibras, simultáneamente. Los res-

tantes ejemplos corresponden a conectores simples.

En la siguiente secuencia vemos cómo es el procedimiento para el caso de una fibra óptica totalmente plástica, empleando un tipo de conector preparado para climpeado:

El climpeado es una técnica de armado que permite fijar dos componentes, sujetándolos en forma mecánica sin necesidad de utilizar adhesivos.

- Paso 1. Se procede a quitar la cubierta de PVC, dejando expuesta la cubierta plástica.



- Paso 2: Se abre el conector para climpeado. Éste queda abierto en dos mitades, con su parte interna expuesta. Se puede observar que una de las mitades tiene el tubo donde luego irá alojada la fibra óptica.



- Paso 3: Se introduce la fibra en la mitad que tiene el tubo de salida -ferrule-.



Luego, se cierra el conector haciendo presión.

- Paso 4: Con una trincheta, se corta el extremo sobrante de la punta del tubo.



- Paso 5: Si bien el conector ya puede ser utilizado, a fin de terminar el extremo de la fibra apropiadamente, suele montarse en un disco especial para pasarlo por una lija de grano muy fino, a fin de realizar un acabado de la superficie lo más pulido posible.



Pérdidas en un enlace óptico

Según hemos visto, un enlace de comunicaciones por fibra óptica consta de un transmisor, un medio y un receptor, y éstos son los que definen los niveles de potencia que están en juego en cada punto del trayecto de la señal.

Analicemos cuál es el comportamiento de cada uno de ellos:

Transmisor

Inyecta al medio una señal con una determinada potencia óptica que llamamos P_{tx} . Ésta, generalmente, se mide en una unidad logarítmica, denominada dBm, al igual que la potencia de un transmisor de radiofrecuencia, donde la unidad es el dB.

La diferencia es que aquí la potencia se referencia a una unidad óptica que es igual a 1 mW óptico, tal que para obtener la medida en dBm se debe aplicar la fórmula:

$$\text{dBm} = 10 \log (P/1\text{mW})$$

Como ejemplo, algunos valores:

Potencia en mW	Potencia en dBm
0,00001	-50
0,00010	-40
0,00100	-30
0,01000	-20
0,10000	-10
1,00000	0
10,00000	+10
100,00000	+20

Medio de transmisión

La fibra óptica, como medio físico real, se comporta en ciertas condiciones como un elemento pasivo que absorbe esa energía a medida que la señal va viajando por ella. El comportamiento de la fibra óptica es tal que la pérdida de potencia óptica medida en unidades logarítmicas -dB- que experimenta la señal es proporcional a la distancia.

Si llamamos con la letra griega α -alfa- a la pérdida de la fibra medida en dB/km, entonces tenemos que la pérdida total que se produce en una fibra de longitud L es:

$$\text{Pérdida (dB)} = \alpha(\text{dB/km}) \times L(\text{km})$$

Los valores típicos de pérdidas en fibras multimodo son de 0,35 dB/km y en monomodo de 0,2 dB/km.

Recordemos que las pérdidas son función de la longitud de onda de trabajo.

A mayor longitud de onda, menores son las pérdidas. Ésa es una de las razones por la cual se prefiere trabajar en 1550 nm que en 1310 nm.

Existen otros elementos en el enlace que deben ser considerados; por ejemplo, los empalmes mecánicos o por fusión, y los conectores.

Las pérdidas típicas de estos elementos -que pueden variar según el modelo y fabricante- son:

- Pérdidas en empalmes por fusión: 0,01 dB
- Pérdidas en empalmes mecánicos: 0,1 dB
- Pérdidas entre la unión de dos conectores: 0,3 dB

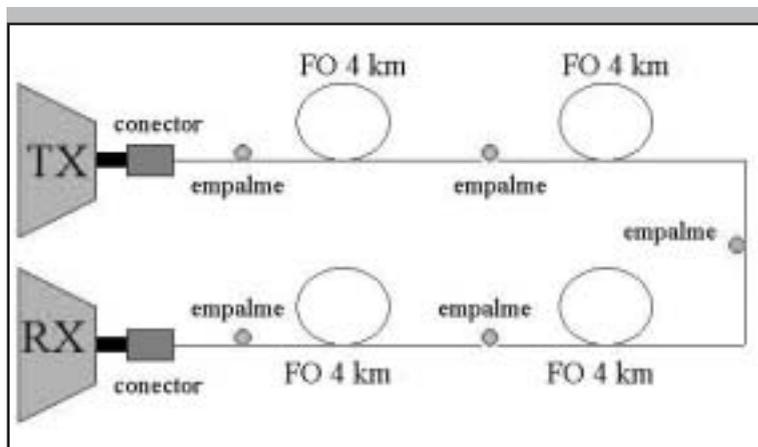
Todos los elementos que estén conectados entre el transmisor y el receptor deben ser considerados, a la hora de calcular cuánto se pierde en el trayecto.

Así, la pérdida total que se obtiene desde un extremo al otro del enlace es:

$$\text{Pérdida desde Tx a Rx (dB)} = \text{PTx} + \alpha(\text{dB/km}) \times L(\text{km}) + \Sigma(\text{Pempalmes}) + \text{PRx}$$

Esta expresión considera que el enlace tiene un conector en el transmisor, un conector en el receptor y varios empalmes distribuidos por todo el trayecto.

Supongamos que hay cuatro rollos de fibra óptica monomodo de 4 km cada uno; entonces, tenemos:



La pérdida por la fibra es de:

$$4 \text{ rollos} \times 4 \text{ km} \times \alpha$$

Es decir, $16(\text{km}) \times 0,2(\text{dB/km}) = 3,2 \text{ dB}$.

Por otro lado, tenemos que hay 3 empalmes para realizar entre los 4 rollos, más los 2 empalmes entre los extremos de la fibra completa y cada uno de los *pigtails* -fibra con terminación en un conector-. Esto da un total de $5 \times 0,01 \text{ dB} = 0,05 \text{ dB}$.

Faltaría considerar las pérdidas en los contactos del transmisor y receptor al enchufar los conectores mencionados. Es decir, $2 \times 0,3 \text{ dB}$.

Sumando todo, tenemos: $3,2 \text{ dB} + 0,05 \text{ dB} + 0,6 \text{ dB} = 3,85 \text{ dB}$ de pérdida total.

Ahora bien, supongamos que el transmisor está generando una señal tal cuya potencia es de 1 mW. Primero, debemos convertir esta unidad lineal en logarítmica.

Empleando la ecuación anterior, tenemos que 1 mW equivale a 0 dBm.

Es decir que la potencia que recibe el receptor es, simplemente, la resta entre la potencia generada por el transmisor y las pérdidas totales del enlace. Es decir:
 $0 \text{ dBm} - 3,85 \text{ dB} = -3,85 \text{ dBm}$.

Generalmente, cuando se hacen cálculos de estimación de potencias *-power budget*; presupuesto de pér-

didadas- se deja un margen de seguridad denominado margen del sistema donde se considera, entre otras cosas, que con el tiempo es posible que el transmisor baje su potencia por envejecimiento o se rompa la fibra en algún lado, y haya que agregar un empalme, etc.

Este valor de margen es variable según el tipo de enlace del que se trate; pero, para dar un valor, digamos que puede rondar en los 3 dB.

En tal caso, si aplicamos esto al ejemplo anterior y consideramos que la potencia de -3,85 dB en el receptor es la mínima que éste debe recibir, tenemos que agregar los 3 dB al transmisor; es decir que éste emite con 3 dBm de potencia para cubrir posibles contingencias negativas.

Aplicaciones con fibra óptica plástica

Las aplicaciones más difundidas para este tipo de fibras de plástico son, básicamente, dos:

- la interconexión de aparatos hogareños -tales como equipos de audio y video- y de datos,
- la interconexión de diversos dispositivos electrónicos en automóviles.

Existe, no obstante, un crecimiento paulatino en las demandas.

Se ha creado, en principio, una norma muy difun-

La POFTO -*Plastic Fiber Optic Trade Organization*- (www.pofto.com) es una organización que nuclea a fabricantes de componentes y equipamientos basados en fibra óptica plástica.

didada, la IEEE 1394 -*International Electrical and Electronic Engineering*-, cuyo propósito es el de estandarizar todo lo referente a comunicaciones de audio y datos a corta distancia.

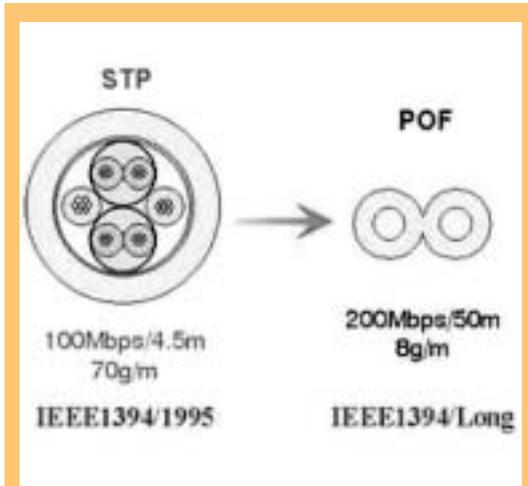
En cuanto al ancho de banda máximo de transmisión que podemos lograr, en la siguiente tabla se muestra una comparación para los diferentes tipos de fibras ópticas multimodo:

Especificaciones	Ancho de banda máximo		
	Material del núcleo / cubierta		
	Plástico/ Plástico	Sílice/ Plástico	Sílice / Sílice
Producto ancho de banda-longitud (MHz-km)	3	20	300 - 1500
Diámetro núcleo (µm)	350 - 1000	125 - 600	50 - 100
Alcance	Corto	Mediano	Largo
Atenuación (dB/km)	250	6	3
Apertura numérica	0.50	0.37	0.3
Longitud de onda (nm)	650	800	1300-1550

Esta tabla permite concluir que, si se necesita gran ancho de banda para transmitir una dada señal a distancias de varios kilómetros, la única opción disponible es la de fibra óptica de sílice multimodo.

Esta especificación es muy generalizada, lo que representa valores promedio de los parámetros expuestos. Se pueden conseguir, por ejemplo, en las fibras MM de sílice, atenuaciones de 1,0 dB/km y, con combinaciones entre fibras plásticas y fuentes láser especiales, anchos de banda de hasta varios gigahertz de ancho de banda con un alcance de 100 m.

Esto es importante ya que, en un futuro, es posible, por ejemplo, llegar al abonado domiciliario con un servicio de banda ancha que termine en una fibra óptica plástica.



Comparación entre cable de cobre tipo STP (par trenzado blindado) y fibra óptica plástica POF

Se puede apreciar que el alcance con el cable STP es de 4,5 metros para una velocidad de transmisión de 100 Mbps; mientras que, con fibra óptica POF se puede doblar dicha velocidad con un alcance 10 veces mayor.

Otra comparación que podemos hacer (también tomando valores promedio) entre conductores de fibras de plástico, sílice y un medio metálico como el cable de cobre tipo par trenzado, se puede resumir en la siguiente tabla:

	Fibra plástica	Fibra de sílice MM	Conductor de cobre
Componentes asociados	Baratos	Caros	Baratos
Atenuación	Alta	Baja	Alta
Alcance	100 m	2 km	100 m
Costo [US\$ x metro]	0,50	1,50	0,57
Terminación	Fácil, barata y rápida	Lenta, cara y especializada	Fácil
Manipulación	Fácil	Necesita entrenamiento	Fácil

La fibra POF tiene una serie de ventajas:

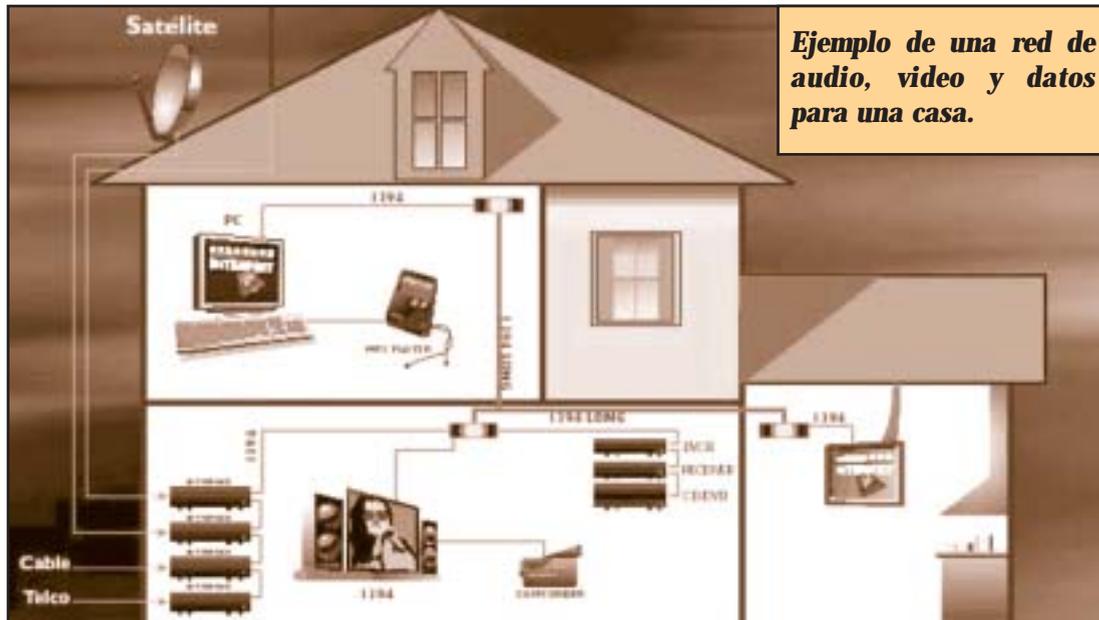
- Puede ser instalada por cualquier persona sin entrenamiento, en pocos minutos y con herramientas normales.
- Es inmune al ruido de corriente alterna y radiofrecuencia.
- Es robusta y durable.
- Opera a velocidades que superan los 500 Mbps.
- Opera a distancias de hasta 400 metros.
- Trabaja con estándares existentes como: FireWire, USB, TCP/IP, Ethernet, RS-232, IEEE1394, etc.

Su empleo más general es en el campo de las comunicaciones; pero, también puede emplearse para aplicaciones de iluminación "fría" (luz que no da calor) sin componentes de infrarrojo.

Una desventaja es el rango de operación de temperatura; aunque, para la mayoría de las aplicaciones en tierra, es más que adecuado (entre -40 a +125 grados Celsius).

Dependiendo del diámetro, material y de la característica del índice de refracción del núcleo (índice abrupto o índice gradual), se pueden conseguir anchos de banda diferentes, alcanzando los 11 GHz para índice gradual y núcleo de sílice hasta 100 metros de distancia. Esto plantea la posibilidad técnica de implementar soluciones económicas, tanto en redes de datos de muy alta velocidad como en transmisión analógica de video.

Las aplicaciones más comunes son en la industria automotriz, naval, aeroespacial y hogareña.



Este caso presenta una red basada en la norma IEE1394 con entrada satelital, video cable y teléfono que es ruteada a diferentes ambientes del hogar (sala de estar, habitaciones y cocina). Toda la instalación se interconecta perfectamente con fibra óptica plástica.

Si bien este cable podría pasarse por la misma instalación eléctrica -ya que es inmune al ruido electromagnético-, no es una técnica recomendable por una cuestión de prolijidad y para evitar posibles complicaciones para los cables eléctricos ya instalados, los que pueden resultar dañados si no hay suficiente espacio en el interior de la cañería.

En la siguiente figura podemos ver una comparación entre diversos tipos de fuente emisoras de luz y una fibra óptica tipo POF totalmente plástica de índice de

refracción constante (SI POF) y 900 micrones de diámetro de núcleo, dando el ancho de banda en función de la distancia del enlace.

Se puede apreciar que existen ciertos límites. Por ejemplo, para el caso de las fuentes emisoras de luz, el empleo de LED comunes limita la velocidad a menos de 200 Mbps; si se usan diodos LED especiales (como el RCLED -Resonant Cavity Light Emitter Diode- LED de cavidad resonante-), se pueden lograr velocidades de hasta 400 Mbps. Para obtener más velocidad, se requiere emplear diodos láser.

Con respecto a la fibra óptica totalmente plástica, existe una limitación en cuanto a la distancia máxima, dada la gran atenuación que posee. Existe una limitación en cuanto al mínimo nivel de potencia óptica que debe recibir un fotodetector, a

fin de que siga respondiendo correctamente: Si la fibra tiene una pérdida que es proporcional a la distancia y el emisor de luz tiene un valor dado de potencia máximo que puede erogar, existe una distancia límite que no puede excederse, a fin de que el receptor siga funcionando bien. Para este tipo de fibra totalmente plástica e índice de refracción constante y de 900 micrones, el valor está en alrededor de los 50 metros.

En la industria automotriz se emplea cada día más la fibra óptica para interconectar

diversos dispositivos electrónicos a la computadora principal de a bordo. Porque, en un automóvil, la inmunidad al ruido es de suma importancia, debido a que en el circuito eléctrico de arranque y de control de la combustión del motor, se generan picos de tensión de varios kilovolts que pueden interferir en el funcionamiento de los circuitos electrónicos. En el caso de usar cables eléctricos, éstos deben estar muy bien aislados a fin de evitar que se induzcan tensiones que puedan ocasionar errores en la transmisión de datos entre la computadora y los demás dispositivos periféricos⁴.

⁴ Si usted desea ampliar estos conceptos, le recomendamos leer:

- Sanz, José Martín. 1996. Comunicaciones ópticas.. Paraninfo, Madrid.
- Killen, Harold. 1991. Fiber Optic Communications. Prentice-Hall. New York.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

El producto

El **Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras** está compuesto por dos bloques funcionales, idénticos, interconectados entre sí a través de dos cables de fibra óptica.

Cada uno de ellos está formado por tres módulos:

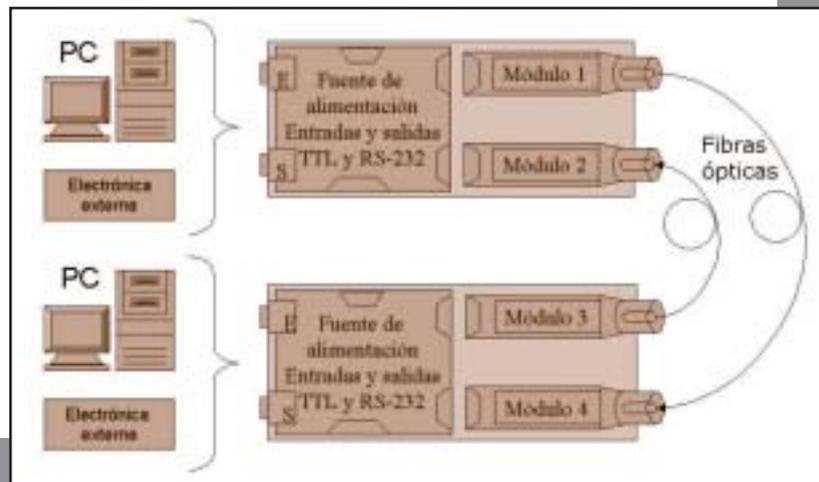
- Fuente de alimentación y circuitos de entrada y salida.
- Transmisor digital de fibra óptica compatible con lógica TTL.
- Receptor de fibra óptica compatible con lógica TTL.

Los componentes

En el siguiente diagrama en bloques se pueden observar los componentes electrónicos y optoelectrónicos que intervienen en las diferentes modalidades de trabajo de este equipo:

Las modalidades son:

1. Realizar la comunicación por fibra óptica entre dos computadoras personales.
2. Usar fuentes y receptores externos de señal digital compatible con la tecnología TTL.
3. Posibilitar la transmisión de señales digitales por dos canales simultáneamente (no implementada directamente en el *kit*).



El equipo se compone de dos bloques funcionales idénticos, cada uno con una placa principal, la cual puede interconectarse a dos módulos que, dependiendo de la aplicación, pueden ser emisores o receptores de fibra óptica.

- Para las **modalidades 1 y 2**, cada bloque dispone de un emisor (módulos 1 y 3) y de un receptor de fibra (módulos 2 y 4). En estos casos, la comunicación se puede realizar en forma bidireccional: Los equipos conectados a cada uno de los bloques funcionales pueden recibir y transmitir señales, simultáneamente.
- Si se implementa **la modalidad 3**, un bloque contiene dos emisores (módulos 1 y 2) y el otro dos receptores de fibra óptica (módulos 3 y 4). En este caso, la transmisión es unidireccional: El equipo transmisor dispone de dos canales para transmitir información al equipo receptor a través de los dos canales de fibra óptica.

Detengámonos en el análisis de la placa transmisora, la placa receptora, la placa fuente, e interfaces de entrada y de salida.

Placa transmisora

Está formada, básicamente, por:

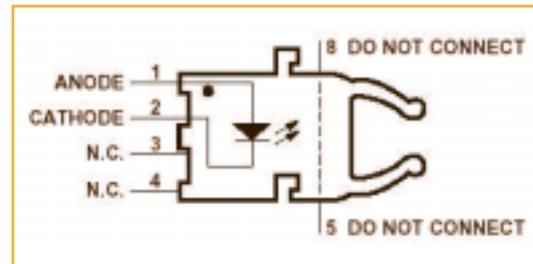
- un emisor de luz tipo LED (HFBR-1521) de la empresa Hewlett Packard® (ahora, Agilent®) y
- un circuito integrado (SN75451) que sirve de driver para poder excitar al LED con la corriente adecuada; actúa, además, como protección, en caso de que se excite la entrada con una tensión que pueda dañar al módulo.

Sus alumnos van a necesitar contar con las hojas de datos de estos productos. Las páginas web que las proveen son:

HFBR1521 y HFBR2521 en www.agilent.com
SN75451 en www.ti.com
MAX232 en www.dalsemi.com

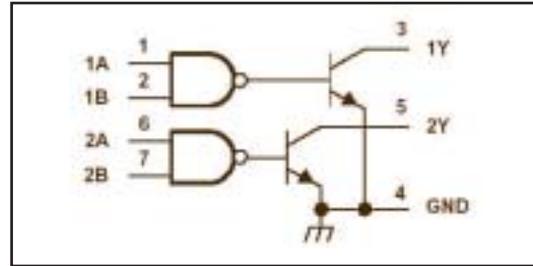
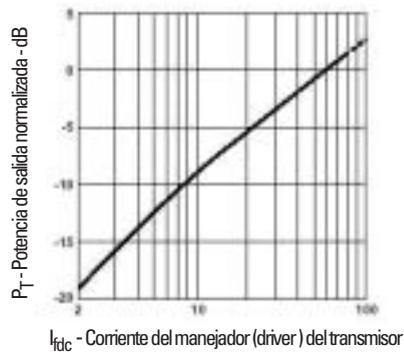
Si tiene problemas para ubicarlas, puede solicitárnoslas a:
materialescenet@inet.edu.ar

El HFBR-1521 emite en la longitud de onda del rojo visible (aproximadamente, en 660 nm), la cual es propicia para interconectar a una fibra óptica plástica, ya que posee bajas pérdidas en esa región del espectro de luz.



Emite con una potencia óptica entre -14 dBm a -8 dBm, a 25 grados centígrados y con una corriente de excitación de 60 mA. Esta variación se debe a la dispersión que existe en la fabricación de los componentes.

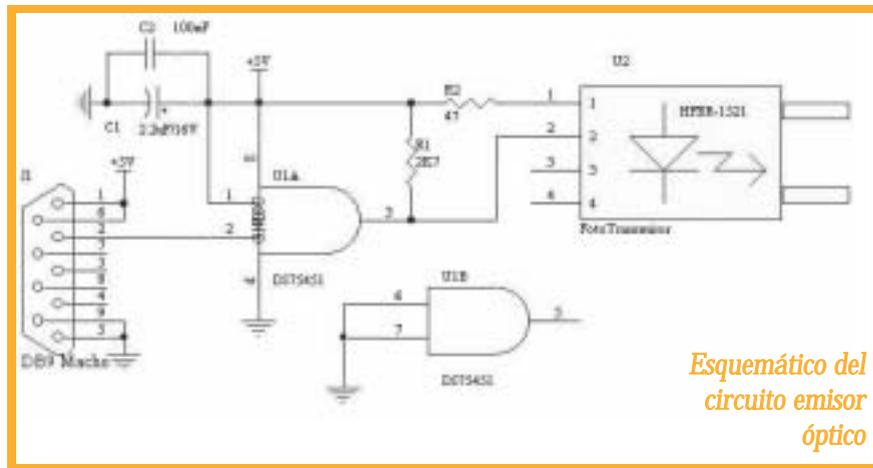
En la siguiente figura vemos la curva función de transferencia de este emisor. La potencia óptica (en el eje de ordenadas) está normalizada. Se puede observar que, a partir de los 10 mA, la curva es, aproximadamente, lineal por lo que podría servir también para transmitir señales analógicas.



Como regla general, debe definirse el estado lógico de las entradas de los circuitos digitales que no se utilicen dentro de un chip, a fin de evitar que, por presencia de ruido, las salidas conmuten aleatoriamente, lo cual, en principio, se traduce en un aumento del consumo del chip.

Este circuito, junto con el receptor HFBR2521, permite realizar un enlace digital de hasta 5 Mbps, a una distancia de 30 metros, a 25 grados centígrados, con una tasa de error de bit de 10^{-9} .

Esto significa que se garantiza que, transmitiendo a esta velocidad y con esa distancia, se puede recibir en el receptor un bit erróneo (un "0" por un "1" o viceversa) por cada 1.000.000.000 de bits enviados.

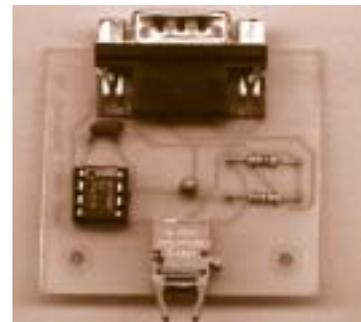


Esquemático del circuito emisor óptico

El SN75451 es compatible con señales tipo TTL. En el chip se disponen de dos circuitos *driver* de corriente, de los cuales -en nuestro caso- se emplea uno sólo.

Cada *driver* se compone de una compuerta NAND de dos entradas y de un transistor NPN de salida con capacidad de corriente tal que puede manejar una carga de hasta 300 mA en el estado lógico bajo ("0" lógico).

El conector DB9 Macho J1 se conecta a la placa principal al conector DB9 hembra que corresponda, según la modalidad en la que se trabaje.



Placa receptora

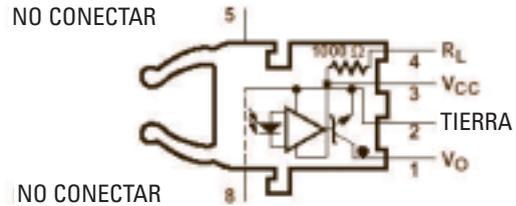
La detección se realiza con el circuito HFBR-2521 de Agilent®.

Este dispositivo consta de un fotodiodo tipo PIN de silicio, el que está preparado para trabajar en la zona del espectro visible e infrarrojo cercano.

Además, dispone de un circuito receptor acoplado en corriente continua que mejora la respuesta ante señales con ruido.

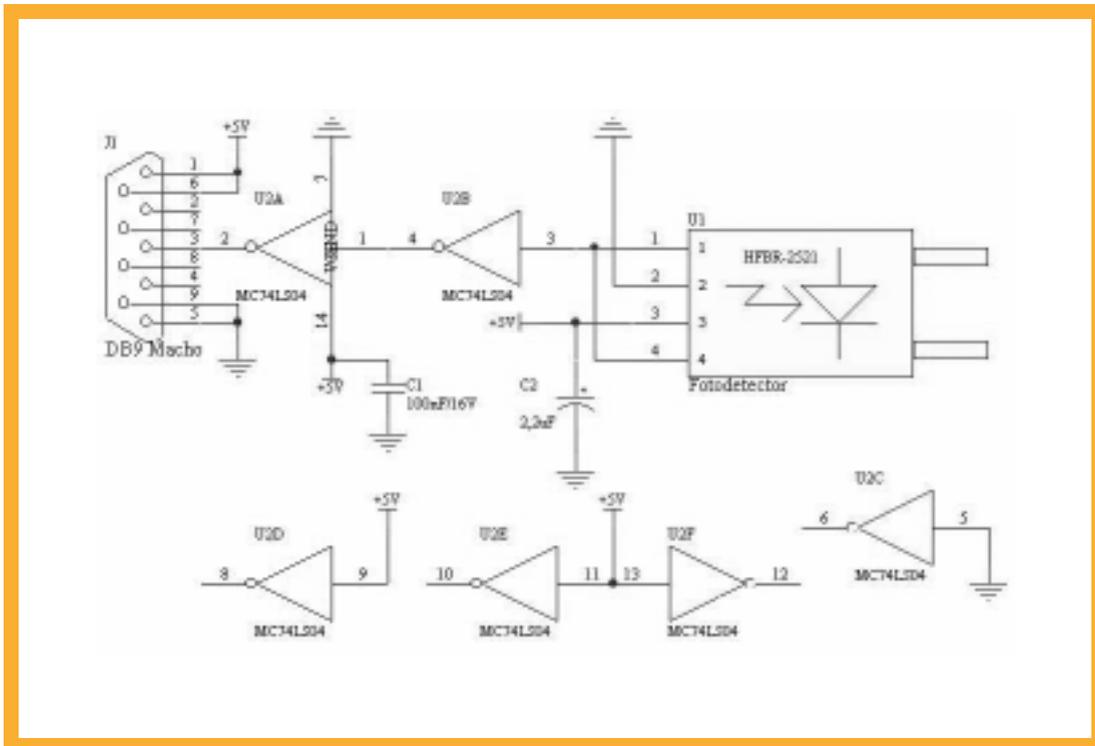
La salida es compatible con lógica TT. Es del tipo colector abierto; es decir, requiere agregar una resistencia de *pull-up* entre +Vcc y la salida (en este caso, ya viene integrada en el mismo chip).

Como se ve en la siguiente figura, emplea un transistor de salida del tipo *Schottky* para obtener mayor velocidad.



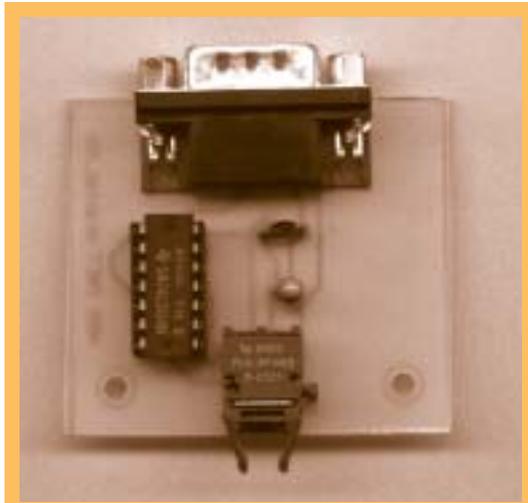
A fin de proteger a la salida del receptor óptico ante posibles cortocircuitos, se utiliza un circuito integrado, el MC74LS04, que es un séxtuple inversor.

Dado que la señal del receptor se debe ingresar al circuito integrado del driver RS-232 sin inversión, se emplean dos inversores MC74LS04.



Como regla general, las compuertas no utilizadas en el MC74LS04 (en nuestro caso, cuatro de ellas) deben conectarse a un nivel lógico definido. En el kit que estamos presentándole, para simplificar el diseño del circuito impreso, se conectaron tres de ellas a +5 V y la restante a 0 V.

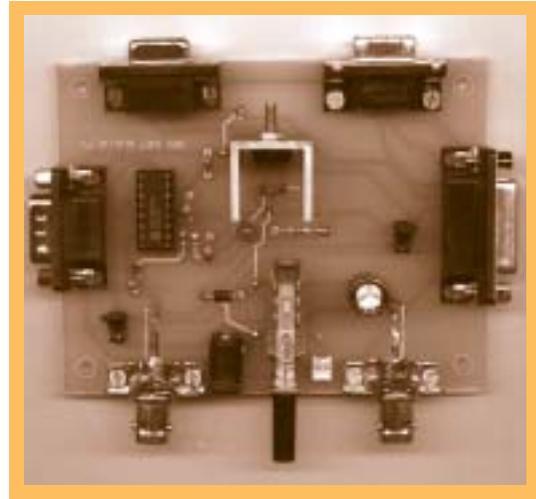
La interconexión con la placa principal se realiza utilizando el conector DB9 macho, J1.



Placa del receptor óptico digital

Placa fuente, e interfaces de entrada y de salida

Tanto la fuente de alimentación -para los módulos transmisor y receptor de fibra óptica- como los demás componentes del *kit* que sirven como interfaz a dispositivos externos, se encuentran alojados en una placa de circuito impreso, denominada "placa principal".



Vamos a describir las diferentes partes que componen esta placa:

- circuito fuente de alimentación,
- circuito para comunicación RS-232,
- circuito para comunicación con los módulos ópticos,
- circuito para comunicación auxiliar externa.

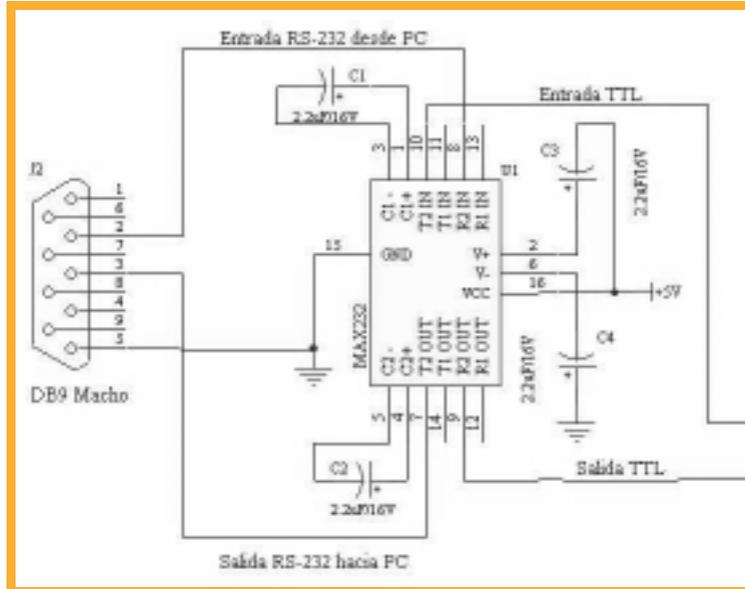
En el **circuito fuente de alimentación**, la alimentación base proviene de una fuente no regulada de 220 VAC (corriente alterna) a 12 VDC (corriente continua) la que, comercialmente, viene encapsulada en una caja con bornera tipo ficha macho de 220 VAC y una terminación para baja tensión con un *plug* de 3,5 mm.

Esta fuente consta de un transformador de tensión, un par de diodos y un capacitor de filtrado, que dan una tensión de corriente continua pero no regulada.

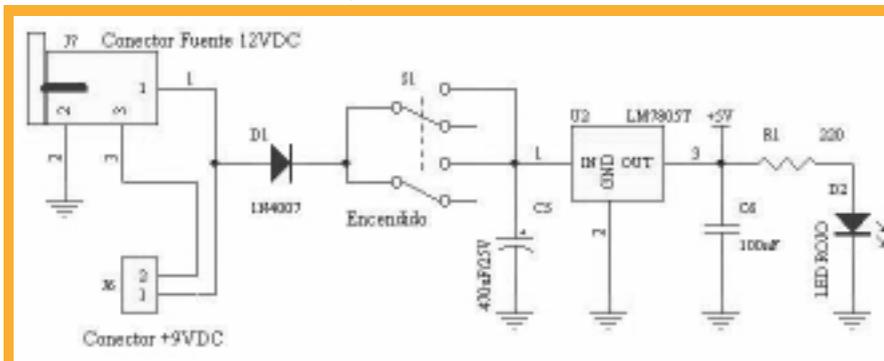
Dado que -tanto en el circuito del transmisor como en el del detector- hay componentes que deben ser alimentados con una tensión lo más estable posible y con mínimo ruido eléctrico, en el diseño se introduce una fuente de tensión regulada de 5 volts, denominada U2 con una capacidad de corriente que excede el ampere -lo que resulta más que suficiente para el consumo previsto-

Es lo posible, es recomendable alimentar cada placa con una batería de 9 VDC. La ventaja de esta decisión es que permite emplear el *kit* sin necesidad de alimentación de 220 V; la desventaja radica en que, dado que en el circuito del transmisor, el HFBR-1521 emite constantemente, consume varias decenas de miliamperes de corriente, lo que disminuye el tiempo de vida de la batería e implica un costo elevado -en comparación con la opción de tomar energía de la red eléctrica domiciliaria-.

Consideremos, en segundo término, el **circuito para comunicación RS-232**. Además de la fuente, en la placa principal se dispone de un conector DB9 macho J2 y de un circuito integrado MAX232, denominado U1, para convertir los niveles de tensión TTL a los que correspondan a la norma de comunicación serie RS-232.



Este circuito integrado provee los niveles de tensión que necesita RS-232 para funcionar. Se trata de tensiones bipolares (por ejemplo +8 V y -8 V), a partir de una fuente de alimentación unipolar de +5V; esto se logra con circuitos internos dobladores e inversores de tensión, necesiándose los capaci-

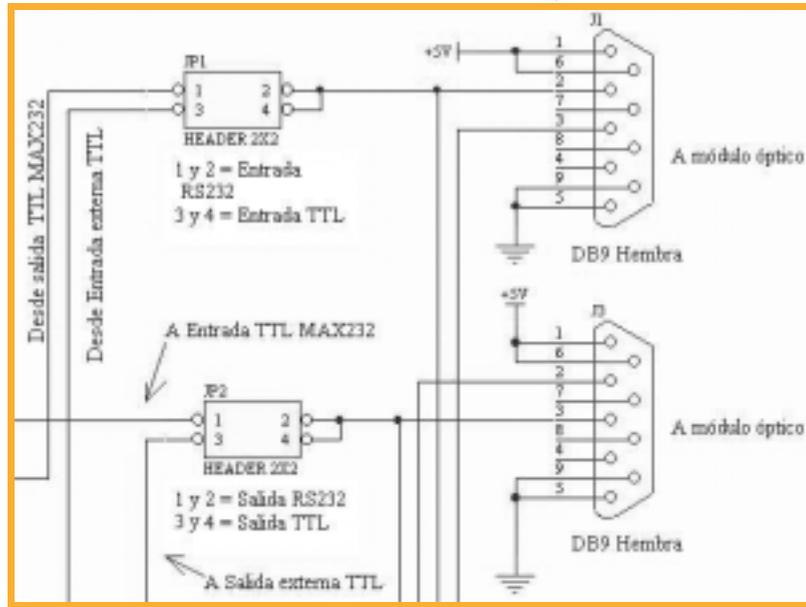


Esquemático de la fuente

tores de 2,2 μF que aparecen en el esquemático.

Con este circuito se puede realizar una comunicación bidireccional en RS-232, entrando con una señal TTL por el pin 10 y saliendo con otra señal TTL por el pin 9.

La placa dispone, además, de un **circuito para comunicación con los módulos ópticos:**



Los conectores J1 y J3 son los que permiten conectar la placa principal con los módulos ópticos.

La selección depende de la modalidad empleada. Por ejemplo, si nos proponemos que nuestros alumnos trabajen con la modalidad 1 (Realizar una comunicación entre computadoras personales vía RS-232) o con la modalidad 2 (Usar fuentes y receptores externos de señal digital compatible con la tecnología TTL), entonces, en cada una de las

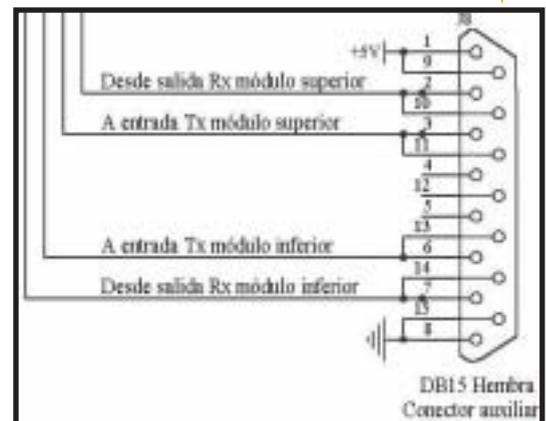
placas principales conectamos el módulo transmisor Tx a J1 y el receptor a J3.

Para la modalidad 3 (Posibilitar la transmisión de señales digitales por dos canales simultáneamente), en una placa se conectan los módulos transmisores a J1 y J3, y, en la otra, los módulos receptores en dichos conectores.

Para emplear la modalidad 1 se deben colocar los *jumpers* JP1 y JP2 en la posición 1-2.

Si se emplea la modalidad 2, es decir, entrando con señales TTL externas vía los conectores BNC, dichos *jumpers* deben colocarse en la posición 3-4.

Un cuarto componente es el **circuito para comunicación auxiliar externa:**



Para aplicaciones de la modalidad 3 (Vamos a centrarnos en ella en unas páginas más, en el título "El equipo en el aula") se dispone de un conector auxiliar DB12 (J8) que permite realizar, en principio, las mismas aplicaciones que con la modalidad 2 y, además, otros tipos de experiencias como la de entrar por una placa principal con dos fuentes de señales TTL, con dos módulos ópticos y realizar la operación inversa en la otra placa.

Reseñemos, entonces, los componentes para el **Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras.**

Componentes de la placa principal:

- C1: Capacitor polarizado de tantalio de 2.2 μ F/16 V.
- C2: Capacitor polarizado de tantalio de 2.2 μ F/16 V.
- C3: Capacitor polarizado de tantalio de 2.2 μ F/16 V.
- C4: Capacitor polarizado de tantalio de 2.2 μ F/16 V.
- C5: Capacitor polarizado electrolítico de 470 μ F/25 V.
- C6: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- D1: Diodo rectificador tipo 1N4007.
- D2: Led rojo 5 mm.
- J1: Conector tipo DB9 hembra a 90 grados para impreso.
- J2: Conector tipo DB9 macho a 90 grados para impreso.
- J3: Conector tipo DB9 hembra a 90 grados para impreso.
- J4: Tira de pines de 2 x 1 línea¹.
- J5: Tira de pines 2 x 1 línea.
- J6: Tira de pines 2 x 1 línea.
- J7: Conector tipo Jack para impreso de 3,5 mm.

- J8: Conector tipo DB15 hembra para impreso a 90 grados.
- JP1: Conector tipo tira de pines de 2 x 2 líneas.
- JP2: Conector tipo tira de pines de 2 x 2 líneas.
- R1: Resistencia de ¼ Watts de 220 ohms.
- S1: Llave tipo BISAL doble inversora para circuito impreso.
- U1: Circuito integrado driver para RS-232 tipo MAX232.
- U2: Regulador de tensión de +5V 1,5A tipo LM7805T.

Componentes de la placa transmisora:

- C1: Capacitor polarizado de tantalio de 2.2 μ F/16 V.
- C2: Capacitor cerámico de 100 nF 16 V.
- J1: Conector tipo DB9 macho a 90 grados para impreso.
- R1: Resistencia de ¼ watts de 2K7.
- R2: Resistencia de ¼ watts de 47 ohms.
- U1: Circuito integrado driver TTL para alta corriente tipo DS75451.
- U2: Transmisor digital de fibra óptica tipo HFBR1521.

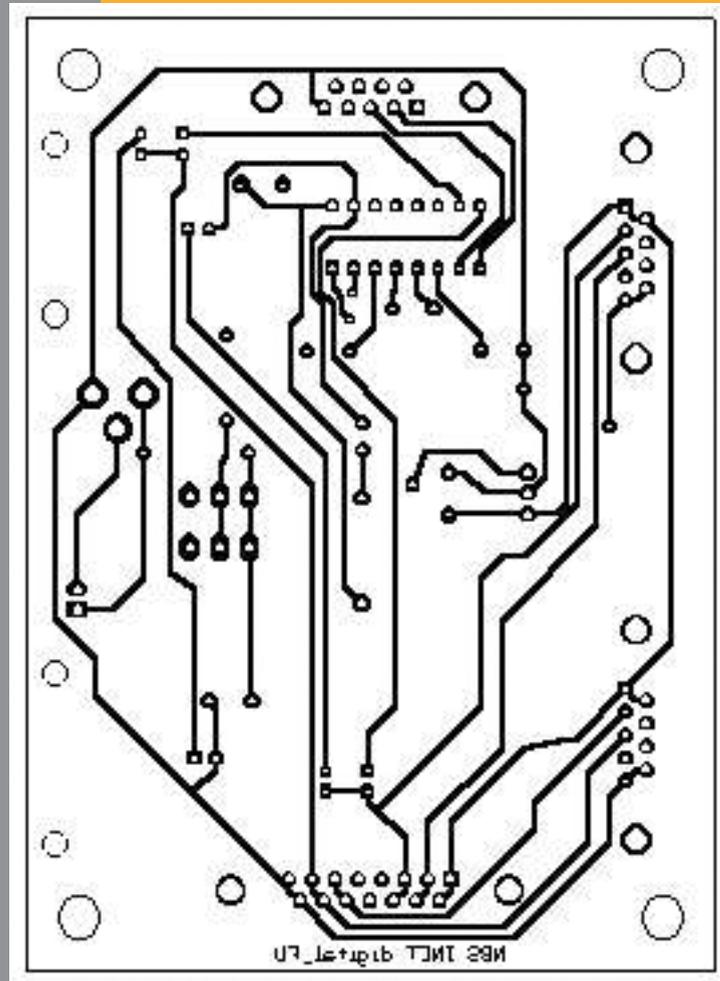
Componentes de placa receptora óptica:

- C1: Capacitor cerámico de 100 nF/16V.
- C2: Capacitor de tantalio de 2,2 μ F/16V.
- J1: Conector tipo DB9 macho a 90 grados para impreso.
- U1: Receptor digital de fibra óptica tipo HFBR2521.
- U2: Circuito integrado digital TTL séxtuple inversor tipo MC74LS04.

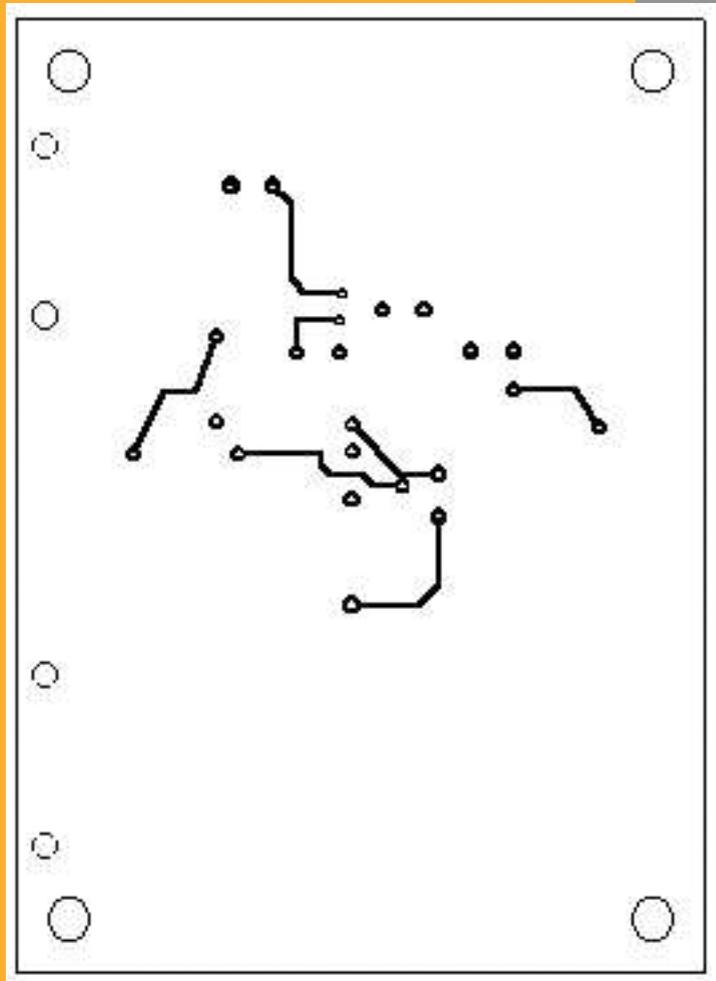
Placas:

- Placa principal: 82,55 mm x 114,30 mm.
- Placa transmisora: 44,32 mm x 50,80 mm.
- Placa receptora: 44,32 mm x 50,80 mm.

¹ Para la "Disposición de pines de componentes" puede consultar el archivo del mismo nombre, en el CD adjunto.

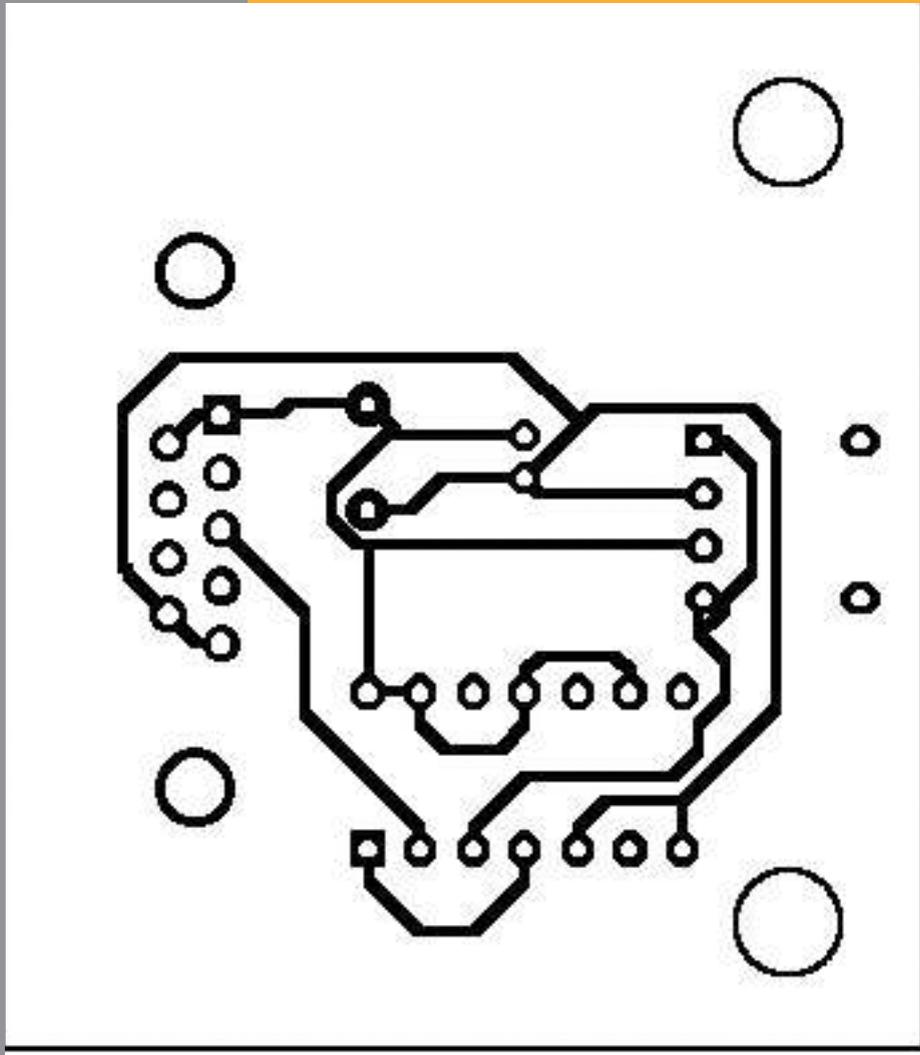


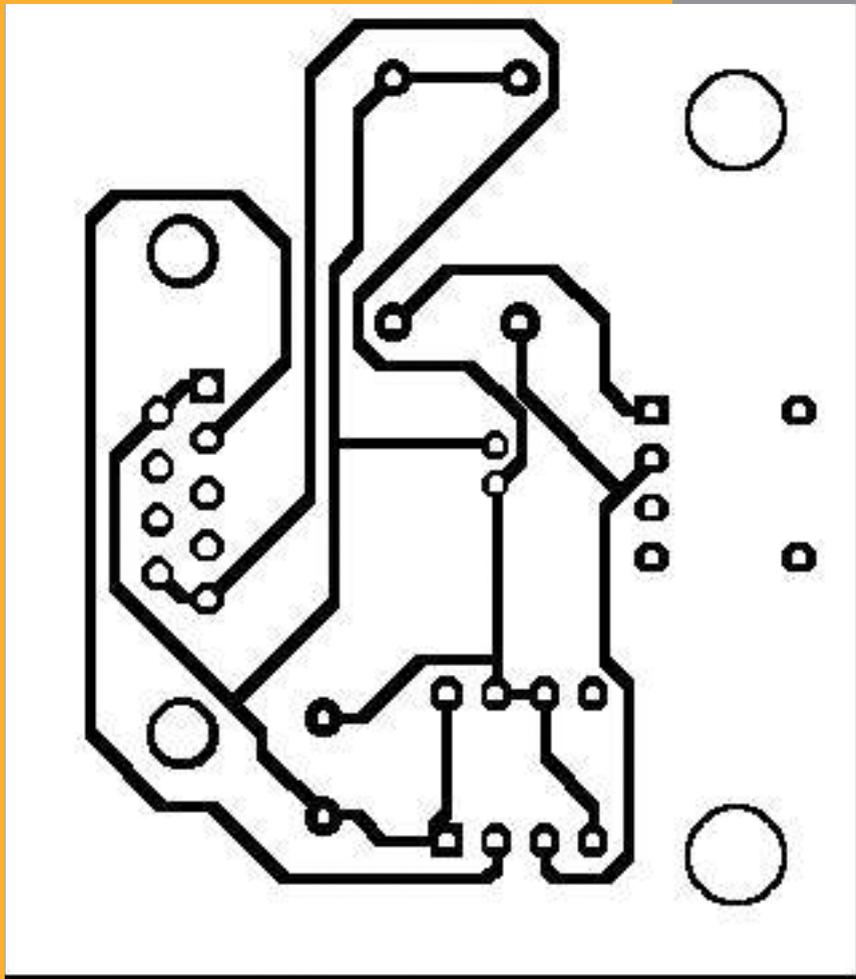
Placa principal lado soldadura



Placa principal lado componentes

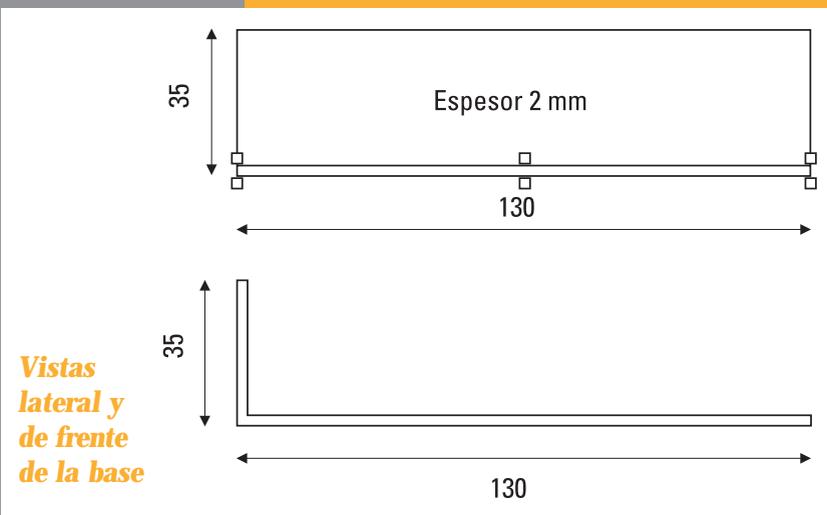
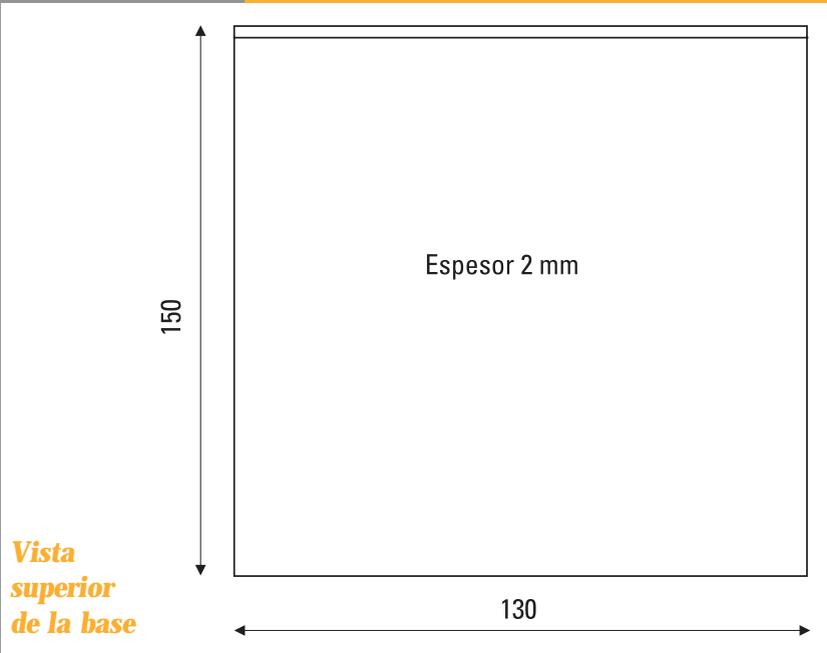
Placa receptora lado soldadura





Placa transmisora lado soldadura

Base de acrílico:
Ancho: 130 mm.
Largo: 150 mm.
Alto: 35 mm.
Espesor: 2 mm.



El armado

Vamos a organizar las tareas de armado en cinco etapas:

1. Conexión del cable eléctrico para la comunicación entre el equipo y la PC.
2. Conexión del cable de fibra óptica.
3. Armado de la placa principal.
4. Armado de la placa del transmisor óptico.
5. Armado de la placa del receptor óptico.

1. Conexión del cable eléctrico para la comunicación entre el equipo y la PC

El cable de conexión entre el *kit* y la entrada de comunicación RS-232 de la computadora personal, está compuesto por un cable de, al menos, dos pares conductores.

Aquí empleamos sólo tres cables:

- uno de transmisión de datos (TD),
- otro de recepción de datos (RD) y
- la tierra de señal (SD).

Los colores elegidos son rojo, azul y negro. El negro se emplea para la tierra de señal.

En ambos extremos, los conectores son del tipo DB9 hembra:

- En un conector conectamos el rojo al pin número 2 y el azul al número 3, el negro al número 5.

- En el otro conector, el negro también al número 5; pero, invirtiendo la ubicación de los cables rojo y azul, es decir, el rojo al pin número 3 y el azul al número 2.



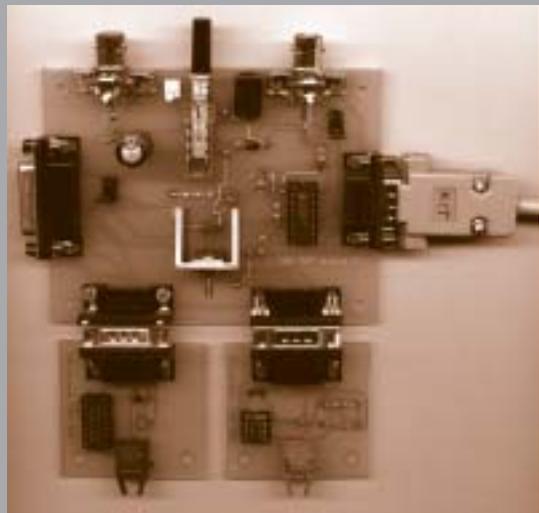
Disposición de conexión

Finalmente, terminamos de armar el cable, poniendo las tapas:



En la conexión del cable entre la PC y el *kit*, es indistinto el conector utilizado.

Cable ya armado



Conexión a la placa principal



Conector DB9 de puerto serie PC



Cable RS-232

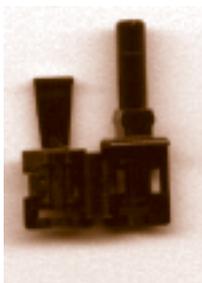
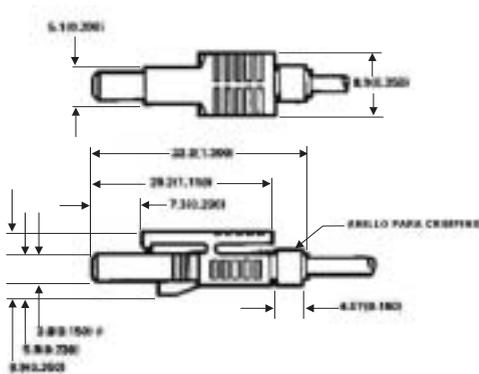
Conexión del cable a la PC

2. Conexión del cable de fibra óptica

El *kit* utiliza dos dispositivos electroópticos para funcionar como transmisor y receptor ópticos, el HFBR-1521 y HFBR-2521, respectivamente.

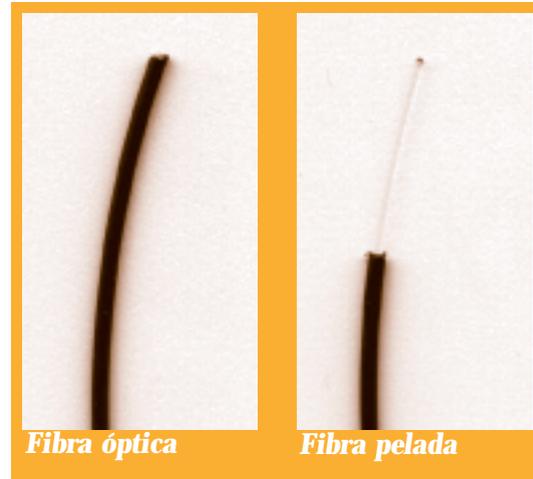
Éstos vienen preparados para permitir la conexión de una fibra óptica POF terminada en un conector que también provee la empresa Agilent®.

El que mostramos es el conector HFBR-4513, para conectar una sola fibra óptica -*Simplex Latching Conector*-.



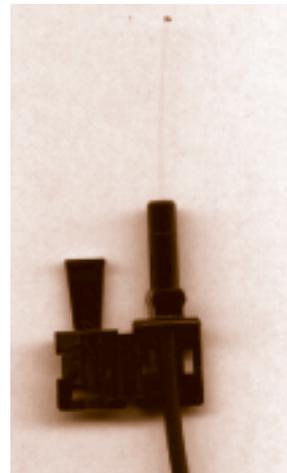
Consta de dos partes unidas por el mismo material plástico. Cuando se doblan en un sentido -una cara contra la otra-, se tiene el conector cerrado; con una leve presión final, éste queda automáticamente sellado y asegurado, para evitar que se abra.

Para conectarle la fibra es necesario haber retirado la cubierta de PVC.



También es posible "pelarla" con una trincheta o *cutter*, haciendo un corte en todo el contorno del cable y, luego, retirando la cubierta. No debe quedar daño evidente en el cable. Caso contrario, debemos repetir la operación.

La fibra expuesta debe tener, aproximadamente, unos 3 centímetros de longitud.



Así, se inserta en el conector hasta que la cubierta hace tope con la parte interna de éste.

Posteriormente, se cierran las tapas hasta que se hace tope y se logra el encastre que evita que el conector vuelva a abrirse.



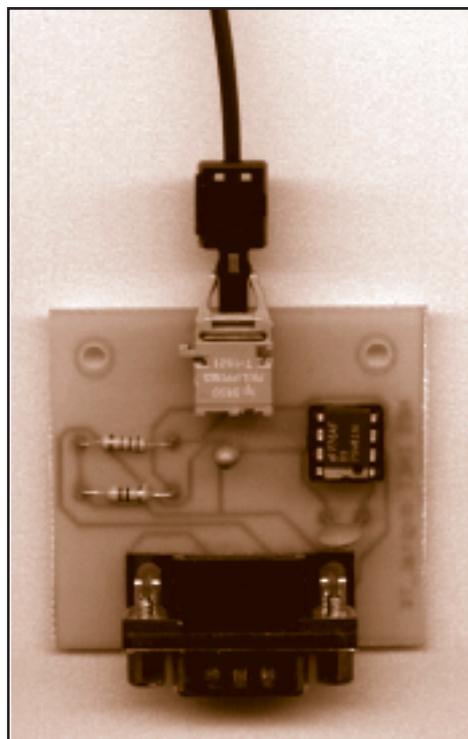
El paso siguiente es el de cortar el extremo sobrante de fibra, utilizando una trincheta o *cutter*².

Esta operación debe realizarse en los dos extremos del cable.

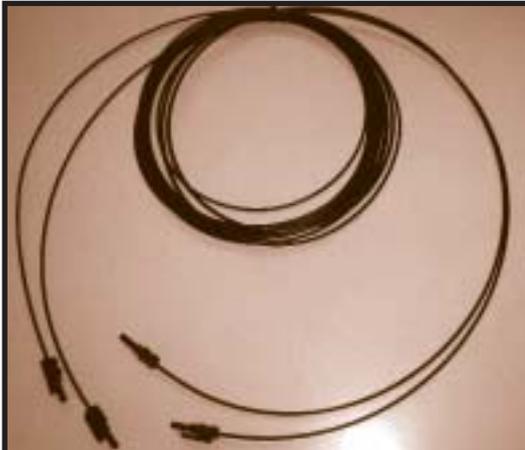
La siguiente figura muestra cómo se reali-

² Para la terminación definitiva del conector, puede emplearse un disco de plástico para pulir el extremo de la fibra cortada; la empresa comercializadora, además, provee lijas junto con este disco. Pero, para los fines didácticos de este kit, esto no es -en general- necesario ya que se obtienen buenos resultados aunque la terminación quede sólo con el corte de la fibra.

za la conexión entre el conector terminado con el módulo HFBR-1521 (El procedimiento es exactamente idéntico para el HFBR-2521).



Si en su escuela no dispone del mencionado conector, puede emplear, por ejemplo, cinta aisladora negra y enrollarla sobre los extremos del cable hasta dar un diámetro de, aproximadamente, 3,75 mm lo que es suficiente para poder conectar el cable con los módulos. Para este fin, también puede emplearse una combinación de cinta aisladora y tubo termocontraíble, o utilizar otros componentes como, por ejemplo, una vaina de PVC de un conductor de cobre que se pueda insertar en el cable óptico para darle el diámetro necesario.



Cables de fibra óptica plástica terminados

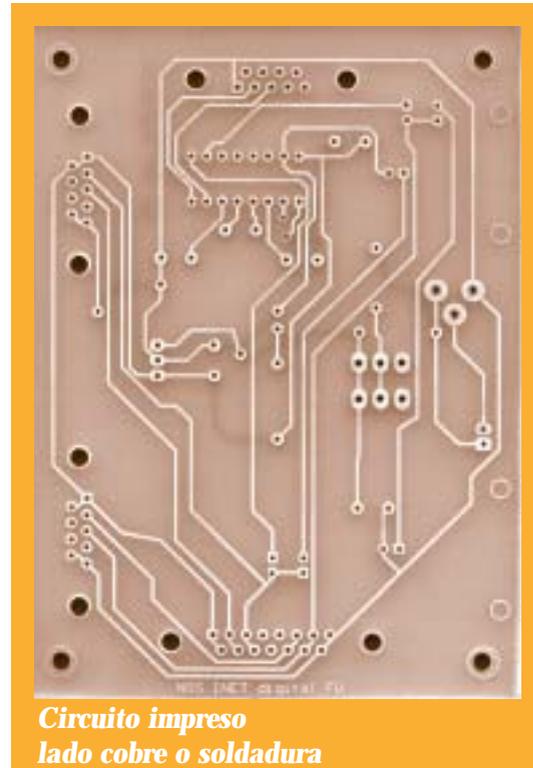
3. Armado de la placa principal

La placa principal es un circuito impreso doble faz.

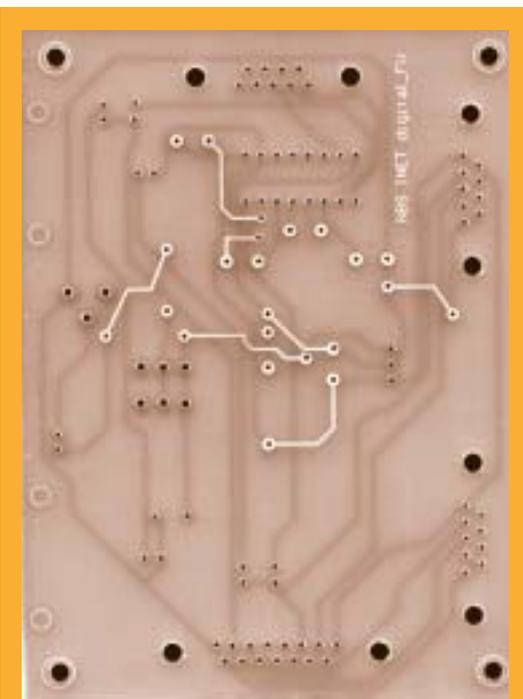
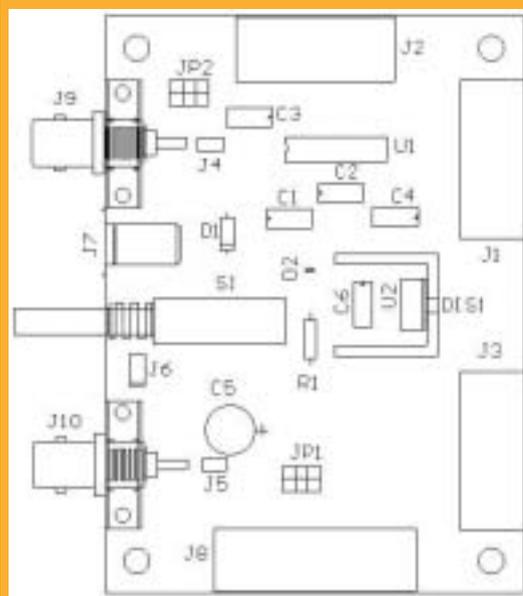
Consideremos algunas pautas para su armado:

- La secuencia de armado recomendada implica comenzar con los componentes de la fuente de alimentación: llave de encendido, jack de alimentación, diodo rectificador, regulador de tensión, disipador, diodo LED, resistencia del LED, capacitor de alimentación; y el soldado de todas las vías.
- Compruebe que el LED encienda y que la tensión sea de alrededor de +5 V.
- Luego, prosiga con los conectores DB9, DB15 y BNC, jumpers y zócalo del driver RS232.
- Vuelva a medir tensiones en el integrado y en el regulador.
- Por último, suelde los capacitores de tantalio de 2,2 μF y repita la medición de tensión.

- Tenga precaución en el conexionado de los capacitores de tantalio de 2,2 μF ya que son polarizados y se emplean para que el circuito del driver RS-232, MAX232, pueda generar las tensiones bipolares necesarias para establecer la comunicación.
- En la placa hay 7 vías que deben soldarse en ambas caras del impreso, empleando alambre estañado de cobre.
- Suelde todos los pines de los conectores, aún los que no se emplean. Esto le dará mayor rigidez mecánica al montaje.
- Asegúrese que la fuente de alimentación externa de 12 V, 500 mA que adquiera tenga el mismo diámetro de conector que el del jack de alimentación, ya que existen varios modelos diferentes.



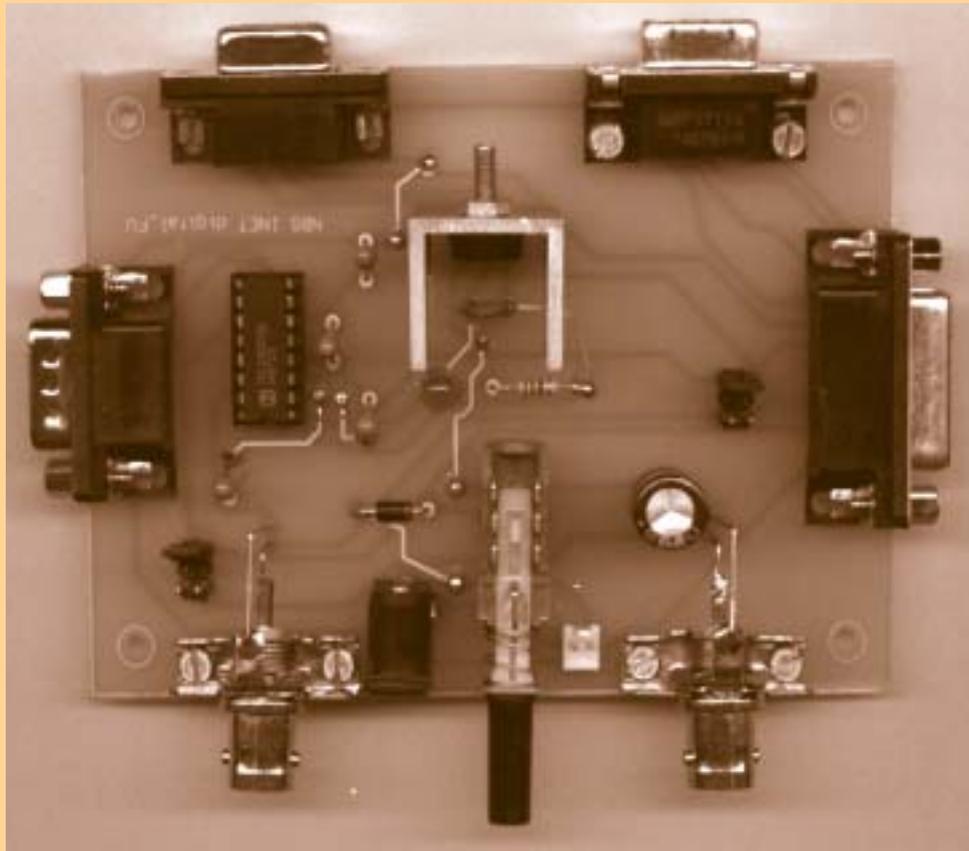
*Circuito impreso
lado cobre o soldadura*



Circuito impreso lado componentes

- J1: Conector DB9 hembra a 90 grados para impreso con conexión con módulo óptico.
- J2: Conector DB9 macho a 90 grados para impreso con conexión a PC.
- J3: Conector DB9 hembra a 90 grados para impreso con conexión con módulo óptico.
- J4: Conector doble (opcional) para conexión a conector BNC.
- J5: Conector doble (opcional) para conexión a conector BNC.
- J6: Conector doble para alimentación externa con batería de 9 V.
- J7: Jack de alimentación de 3,5 mm.
- J8: Conector auxiliar DB15 hembra a 90 grados para impreso.
- J9: Conector BNC hembra para chasis para entrada externa de señal TTL.
- J10: Conector BNC hembra para chasis para salida externa de señal TTL.
- JP1: Jumper para selección de entrada TTL o RS-232.
- JP2: Jumper para selección de salida TTL o RS-232.
- C1 a C4: Capacitor de tantalio de 2,2 $\mu\text{F}/16\text{ V}$ para alimentación del integrado driver RS-232.
- C5: Capacitor electrolítico polarizado de 470 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ para filtrado de alimentación.
- C6: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- DIS1: Disipador de aluminio anodizado, perfil en "U" de 20 x 20 mm.
- S1: Llave doble inversora tipo BISAL para impreso de montaje horizontal.
- D1: Diodo rectificador tipo 1N4007.
- D2: Diodo emisor de luz de 5 mm color rojo.
- U1: Circuito integrado cuádruple driver RS-232 tipo DIP de 16 pines (MAX232 ó ICL232CPE).
- U2: Circuito integrado regulador de tensión de 5 V 1,50 A, encapsulado TO-220 tipo LM7805T.
- Varios: Perfiles para montaje de conectores BNC a impreso.

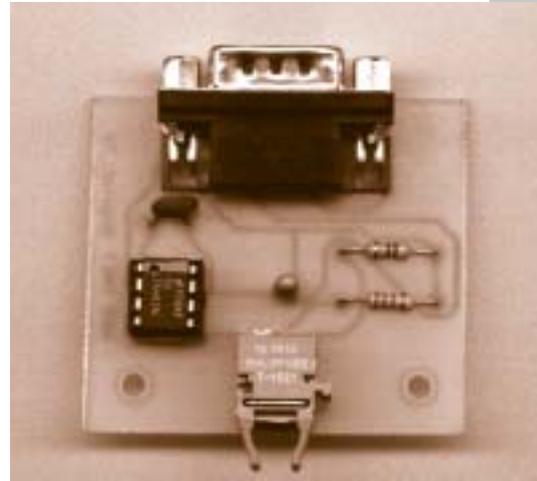
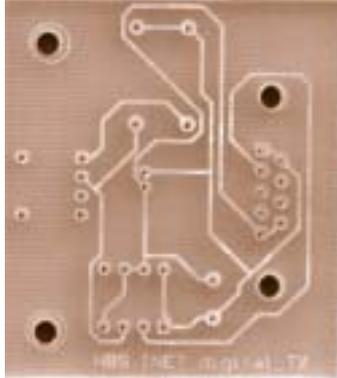
Para este diseño se emplean las chapas de anclaje de las llaves doble inversoras tipo BISAL usadas como anclaje para los conectores BNC. También se pueden emplear perfiles en "L" de aluminio para la fijación.



Placa terminada

4. Armado de la placa del transmisor óptico

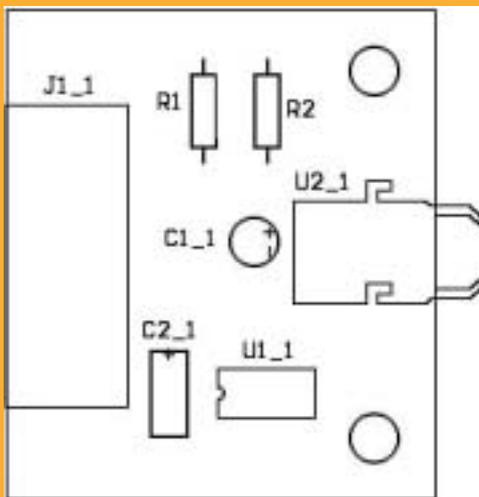
La placa del transmisor óptico es un circuito impreso simple faz, con pistas del lado soldadura.



Placa terminada

Recomendaciones para el armado:

- Respete la polaridad del capacitor de tantalio de 2,2 μ F
- Suelde con cuidado todos los pines del emisor de fibra HFBR1521, a fin de darle mayor rigidez mecánica al montaje.



Disposición de componentes de la placa transmisora

J1_1: Conector DB9 macho a 90 grados para impreso con conexión con placa principal.

C1_1: Capacitor de 2,2 μ F/16 V de tantalio.

C2_1: Capacitor de 100 nF/16 V cerámico.

U1_1: Driver TTL DS75451N tipo DIP de 8 pines (*National Semiconductors, Philips*®).

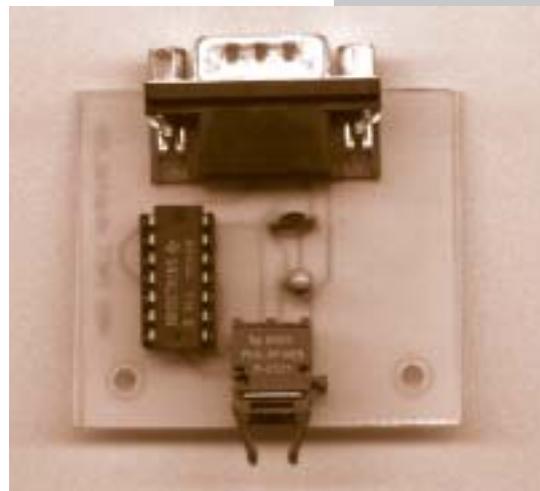
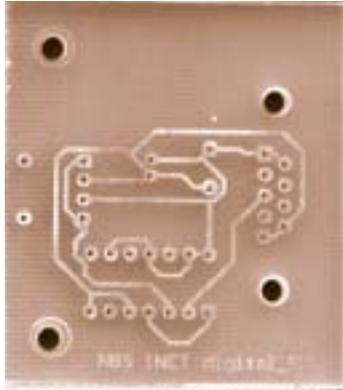
U2_1: Emisor de luz compatible con TTL, HFBR1521 (*Agilent*®).

R1: Resistencia de 47 ohms $\frac{1}{4}$ W.

R2: Resistencia de 2K7 ohms $\frac{1}{4}$ W.

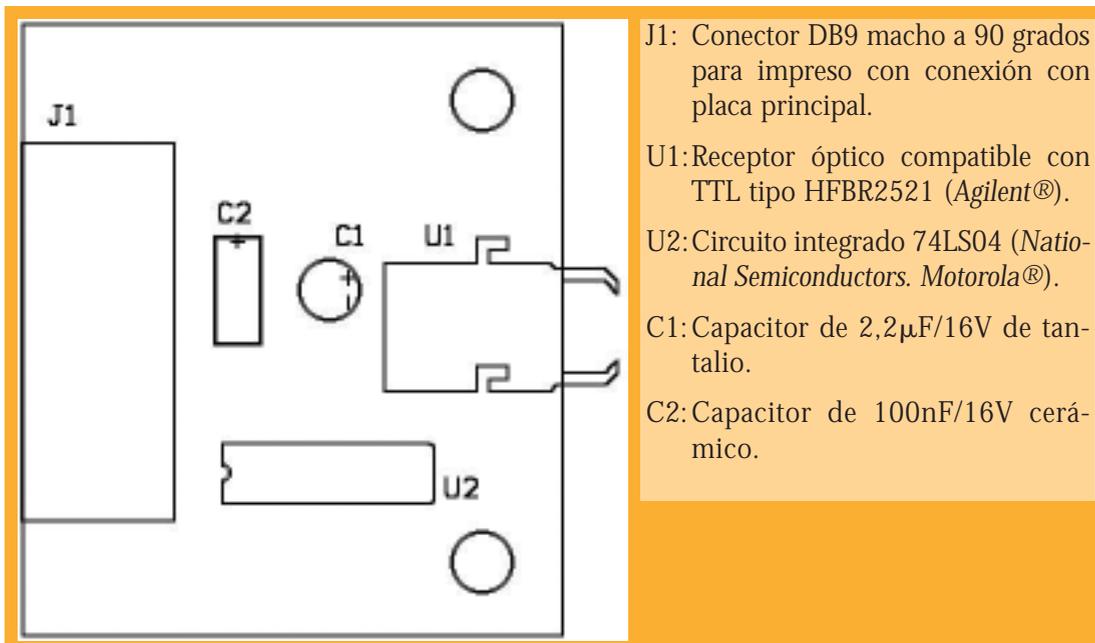
5. Armado de la placa del receptor óptico

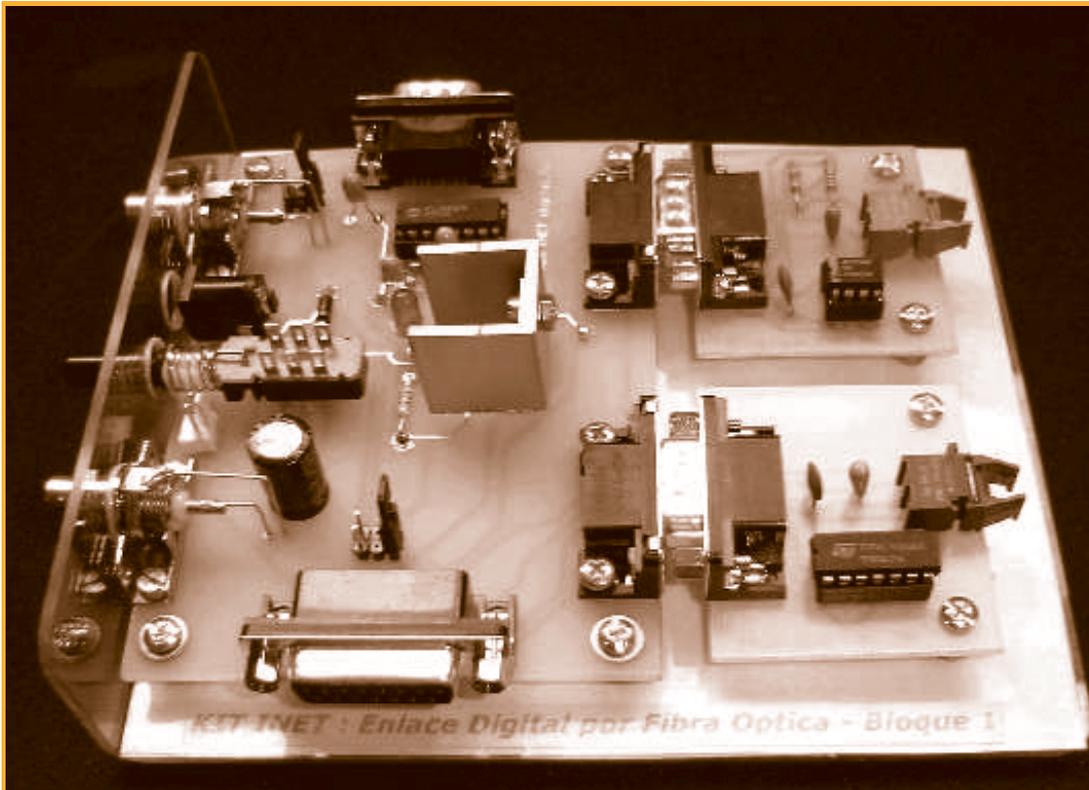
La placa del receptor óptico es un circuito impreso simple, con pistas del lado soldadura.



Placa terminada

En la siguiente figura se ve la disposición de componentes de la placa receptora:



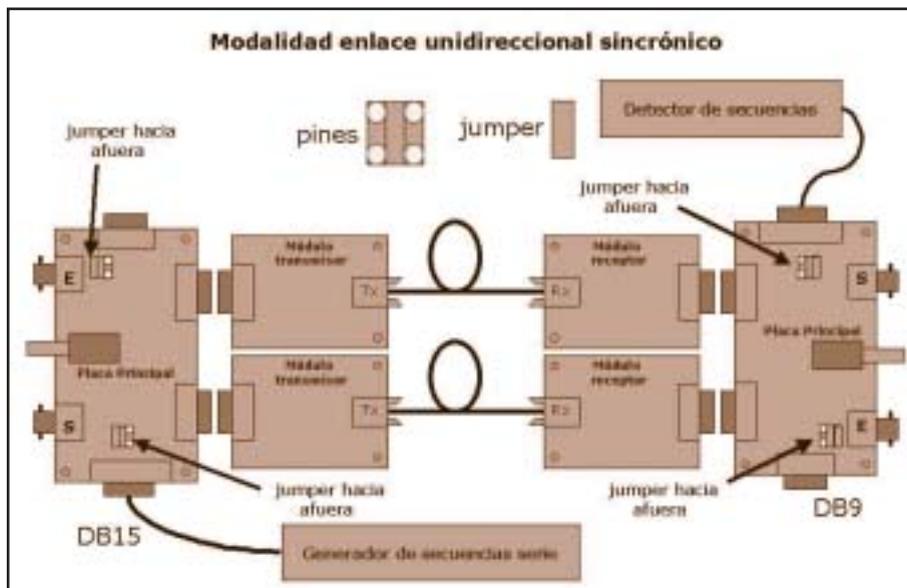
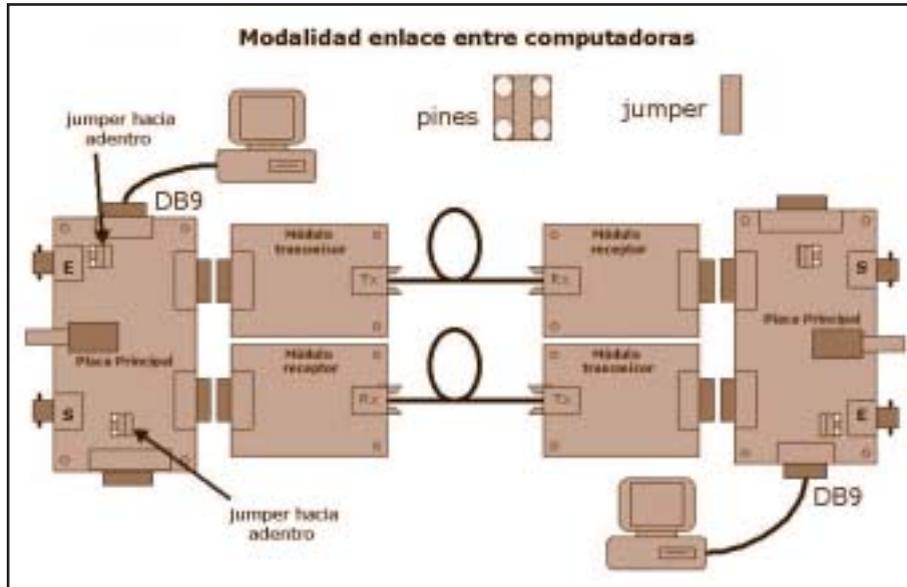


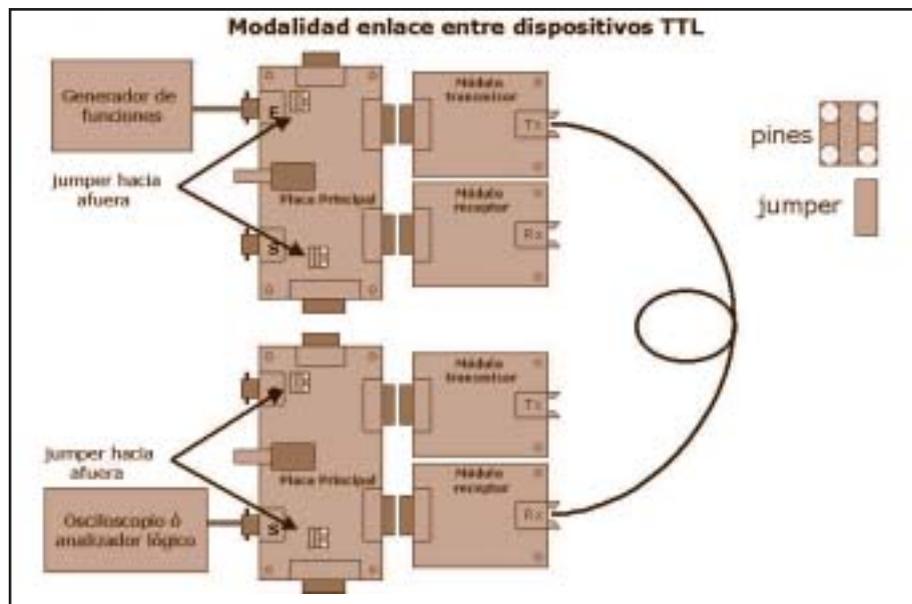
Uno de los bloques; en él se muestran los dos módulos ópticos transmisor y receptor



Parte inferior de uno de los bloques donde se indican sus entradas y salidas

Las siguientes imágenes corresponden a esquemas de conexión del kit para las diferentes modalidades de funcionamiento:





4. EL EQUIPO EN EL AULA

Vamos a acercarle sugerencias para el uso del kit de enseñanza de comunicación digital por fibra óptica, de acuerdo con sus tres modalidades de implementación.

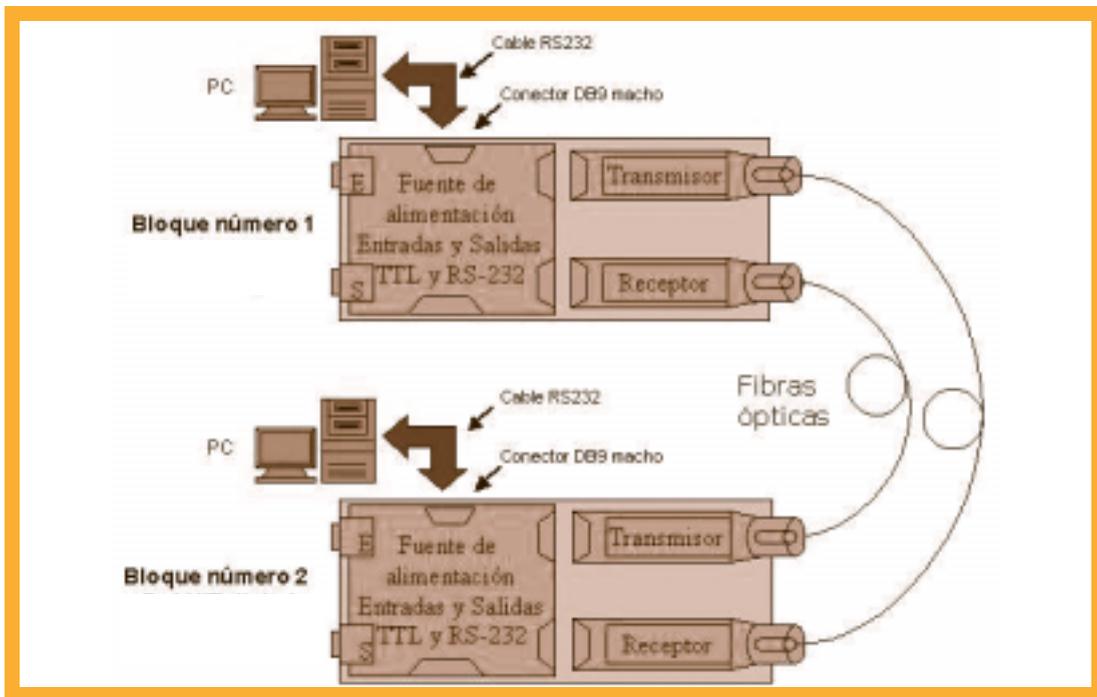
Modalidad 1. Comunicación por fibra óptica entre dos computadoras personales

Se utilizan los dos bloques conectados cada uno a una computadora personal (PC) vía interfaz RS-232.

Cada bloque está formado por una placa principal, y por un módulo transmisor y otro receptor de fibra óptica.

De esta manera, se puede realizar una comunicación bidireccional entre las dos PC.

Se dispone, además, un programa ejecutable en PC¹ para correrlo en plataforma Windows 95/98/Me. Con éste corriendo en cada una de las computadoras, es posible establecer una comunicación bidireccional simultánea mediante el intercambio de textos (conocido como chat) ingresados a través del teclado.



¹ Lo encontrará en el CD anexo a esta publicación.

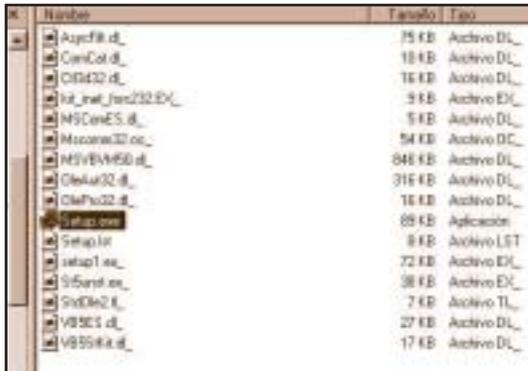
Ponga especial cuidado en la configuración de los puertos seriales en el setup de las PC. Esto es: COM1 y COM2 deben estar habilitados (enabled).

Nuestro recurso didáctico fue probado con esta configuración de puerto serial en el setup:

COM2 → Enabled
 Dirección de memoria 3F8
 IRQ 4.

Para la **instalación del programa** que permite la comunicación entre las computadoras personales, le recomendamos seguir estos pasos:

1. Copie en un subdirectorio de los discos rígidos de cada una de las computadoras, los archivos para la instalación del programa kit_inet_fors232.exe.



Archivos a copiar

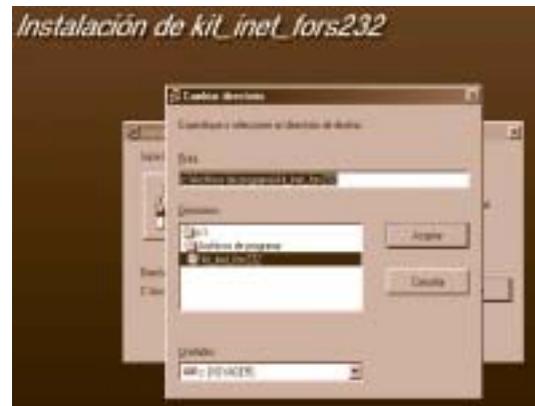
2. Haga doble clic en el archivo Setup.exe. Va a aparecer una ventana de bienvenida a la instalación del programa.

3. Va a tener acceso a dos botones: *Aceptar* y *Salir*. Si desea continuar, presione *Aceptar*.



Al hacerlo, aparecerá otra ventana de diálogo. Tiene usted la opción de cancelar la instalación con *Salir* o cambiar el directorio donde instalar todos los componentes para la ejecución del programa.

Si presiona *Cambiar directorio*, aparece otra ventana:



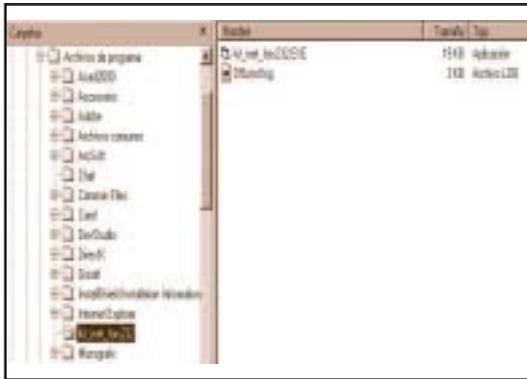
Desde ella, usted puede cambiar de subdirectorio, seleccionándolo a través la ventana desplegable de la izquierda.

Una vez que lo ha modificado, presione *Aceptar*; va a volver a la anterior ventana.

Presionando sobre el icono de la computadora, comienza la instalación del software.

Si no hizo ningún cambio de directorio, la instalación, por defecto, crea un subdirectorio llamado "kit_inet_for232" dentro de "Archivos de programas", en el directorio raíz C.

En este subdirectorio aparecen archivos, uno de los cuales es el ejecutable: kit_inet_for232.exe.



Para la **puesta en marcha** del hardware:

4. Conecte cada bloque a una computadora personal, utilizando los cables RS-232.

Hágalo al conector DB9 correspondiente.

5. Los bloques deben estar configurados con un transmisor y con un receptor óptico, cada uno.

Verifique que los jumpers estén colocados correctamente.

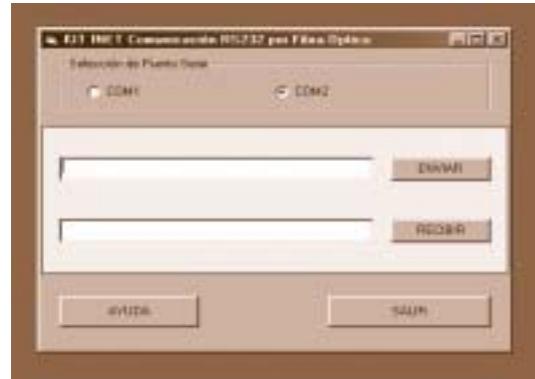
6. Conecte cada cable de fibra óptica entre el transmisor de un bloque y el receptor del otro.

7. Conecte la alimentación principal.

Para la **ejecución del programa**:

8. Una vez que ha conectado los cables RS-232 a las computadoras -configurando correctamente los bloques del equipo- y que éstos se enciendan, puede proceder a correr el programa.

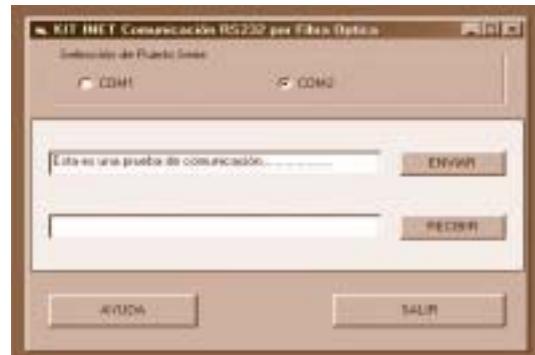
Al hacerlo, va a ver:



En la parte superior, puede usted ubicar el sector de configuración del puerto serie.

Por defecto, está ajustado a COM 2; pero, se puede cambiar haciendo clic sobre la opción COM 1.

9. Para transmitir un texto, haga clic sobre la



ventana al lado del botón Enviar.

Luego de escribir el texto, presione el botón de la derecha. La computadora envía el mensaje vía RS-232, a través del enlace digital de fibra óptica.

10. Para poder ver el mensaje enviado, presione *Recibir* en la computadora receptora.



Si no dispone de dos computadoras personales, puede realizar esta experiencia con una sola. Simplemente, emplee un solo bloque conectando el cable RS-232 -como antes- y una el transmisor y el receptor óptico con el cable de fibra óptica.

Esto hace que lo que envíe por el puerto serie salga de la PC, pase por el módulo transmisor y -vía fibra- llegue al receptor óptico, el que deriva la señal, nuevamente, al mismo puerto serie.

Este modo de funcionamiento se denomina *loop-back*.

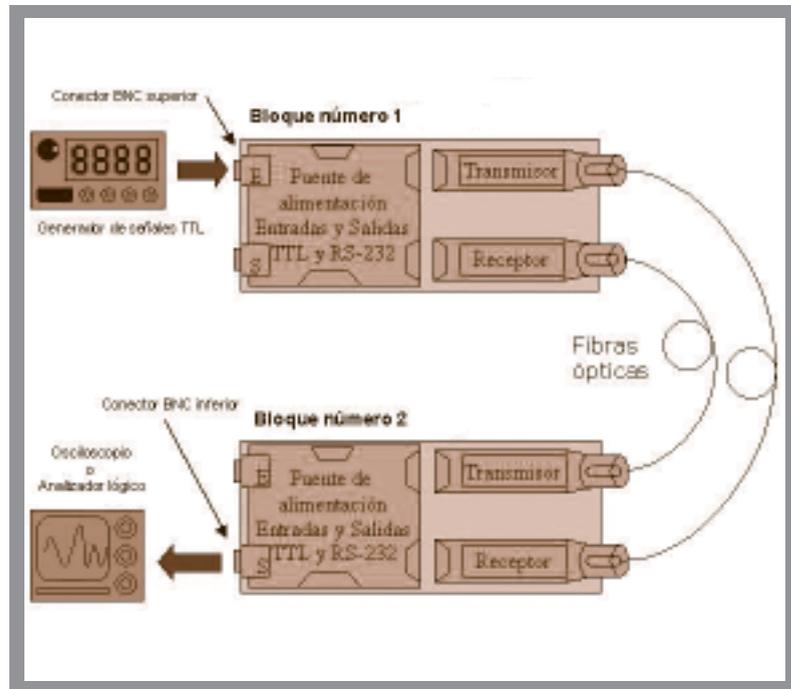
Modalidad 2.

Comunicación entre fuentes y receptores externos de señal digital compatible con la tecnología TTL

Mediante los jumpers ubicados en las placas principales, se seleccionan la entrada y la salida TTL de la cual dispone cada una de ellas.

De este modo, los alumnos pueden realizar una comunicación tanto unidireccional como bidireccional, pero, ahora, empleando transmisores y receptores externos.

Por ejemplo, pueden experimentar con la inyección de señal TTL a uno de los bloques, desde un generador de señales y observar la salida en el otro bloque con un osciloscopio.



Le acercamos dos propuestas

1. Máxima frecuencia de operación del enlace. Para este ensayo se puede emplear uno sólo de los bloques:

- Se inyecta una señal TTL proveniente de un generador de pulsos en su entrada y se conecta un canal de un osciloscopio a su salida. El otro canal puede servir como referencia conectándolo también a la entrada del bloque en cuestión.
- Se conecta uno de los cables de fibra óptica entre el módulo transmisor y el receptor.
- Se va aumentando la frecuencia del generador de pulsos, hasta que se compruebe que la señal a la salida del receptor tiene ya una deformación inadmisibile. Esa será la frecuencia máxima de operación.

2. Efecto de la desalineación de terminales de fibra óptica. Con el mismo instrumental y el mismo esquema anterior, es posible comprobar los efectos que tiene la desalineación de los terminales de fibra óptica:

- Con el osciloscopio se va analizando la señal a la salida del receptor, a medida que se va retirando el conector de contacto al emisor, lentamente.
- A partir de determinada distancia se pierde la señal, debido a que la potencia es muy pequeña y el fotodetector -y su electrónica asociada- no la puede detectar correctamente.
- Es válido repetir lo mismo para el extremo receptor.
- Una variante a esta propuesta consiste en emplear los dos cables de fibra,

conectando el extremo de uno con el emisor y el extremo del otro con el receptor. Los extremos restantes de ambos cables se unen.

- Desalineándolos en forma axial y longitudinal, es posible comprobar cómo es el efecto que introduce en la degradación de la señal final obtenida en el receptor.

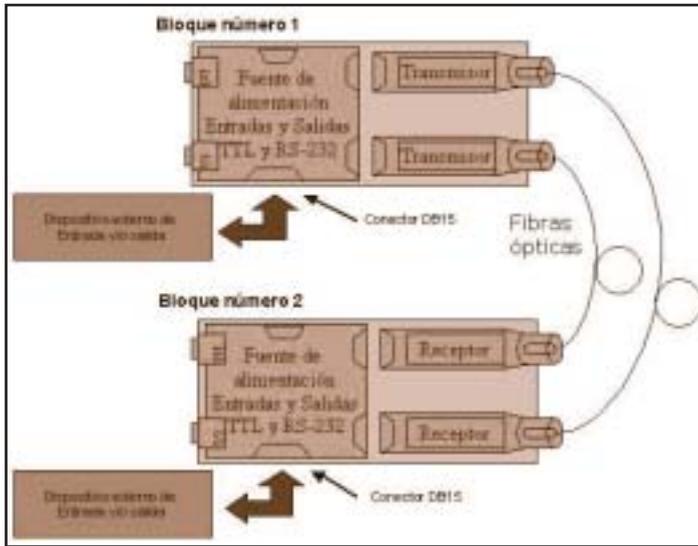
Modalidad 3. Transmisión de señales digitales por dos canales, simultáneamente

Este tercer uso implica la inclusión de un conector auxiliar tipo DB15, que permite experimentar con otros esquemas de transmisión digital.

En este conector se dispone de las señales de alimentación +5 V y GND, así como de acceso a las señales que puedan provenir de cada uno de los conectores de interfaz con los módulos.

En las dos modalidades anteriores, en cada uno de los conectores DB9 hembra -que posee cada placa principal para conectarse a los módulos ópticos- se usa un transmisor y un receptor. Aquí, es posible conectar, en una misma placa, dos transmisores y, en la otra, dos receptores ópticos.

Esta opción permite, por ejemplo, realizar una experiencia de transmisión de datos en forma sincrónica, utilizando un canal de fibra para enviar datos y el otro canal para enviar la señal de sincronismo necesaria para que, en el lado del receptor, se pueda "enganchar" a fin de saber en qué momento debe leer los datos.



Se trata de un transmisor y receptor serie síncrono.

El transmisor consta de un generador de secuencia binaria serie, que transmite en forma cíclica un patrón de 8 bits que se repite en el tiempo.

Este patrón de bits se puede programar a través de *dip-switches* -llaves binarias-, de tal manera que es posible enviar cualquier combinación de "unos" y "ceros" en 8 bits -es decir, 256 números *diferentes*-.

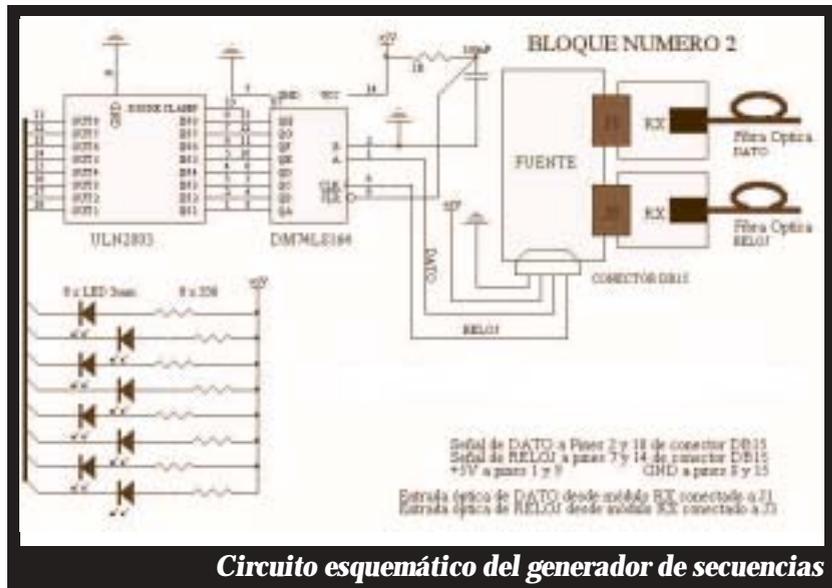
El generador de secuencias es, simplemente, un registro de desplazamiento

de 8 bits del tipo PISO (entrada paralela-salida serie). La velocidad de transmisión se controla con el timer LM555, que genera una señal de reloj que marca los momentos en los cuales pueden cambiar los datos.

El receptor, por su parte, está formado por otro registro de desplazamiento tipo SIPO (entrada serie-salida paralelo).

Cada una de las 8 salidas de este registro están conectadas a un buffer óctuple (ULN2803) que puede manejar la corriente necesaria para alimentar directamente a un diodo LED.

La salida de datos del registro de desplazamiento del generador de secuencias implementado se inyecta a un emisor de fibra óptica en uno de los módulos principales, a través del conector DB15.



Circuito esquemático del generador de secuencias

Por el otro lado, la entrada de datos del receptor está conectada con un detector de fibra óptica, ya que resulta necesario reconvertir la señal óptica -de nuevo- en eléctrica.

Una vez hecho esto, se saca la señal eléctrica de datos por el conector DB15 hacia el circuito del detector de secuencias.

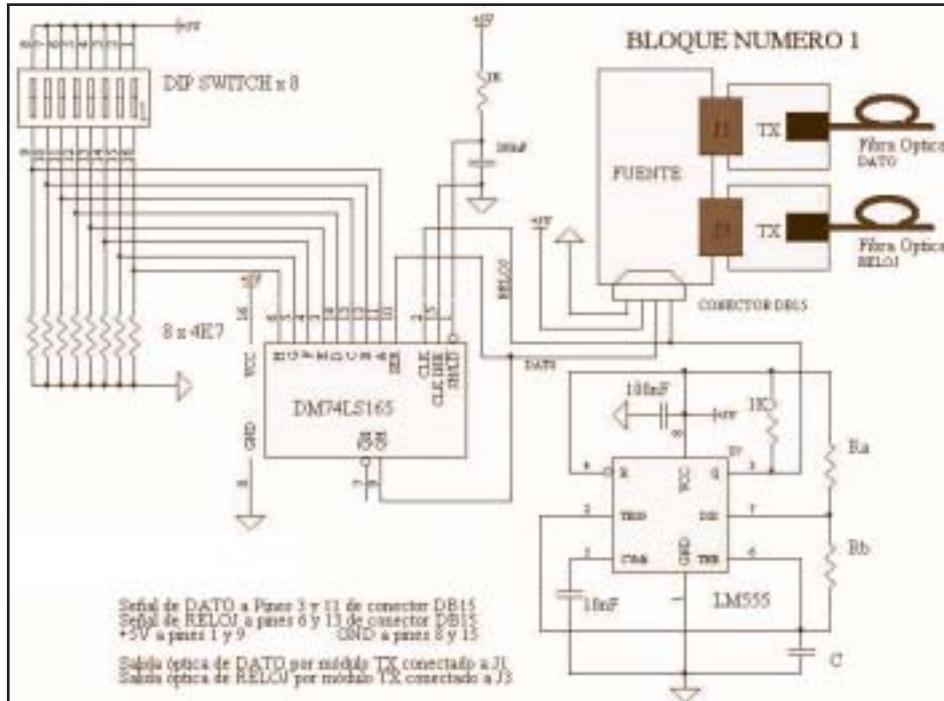
Pero, todavía falta una operación para que se pueda recuperar la secuencia de datos enviada.

El transmisor debe, de alguna

forma, enviar la señal de reloj que marca en qué instante de tiempo el registro de desplazamiento cambia el dato actual por el siguiente. Para esto, en este ejemplo, la información de temporización requerida -que no es, nada más ni nada menos, que el reloj original con el cual funciona el registro del transmisor- se transmite por otro canal de fibra óptica.

Debemos, entonces, conectar al módulo principal del bloque del transmisor, la señal de reloj y enviarla a otro módulo emisor de fibra óptica.

En el receptor se hace lo mismo. Con otro módulo receptor de fibra, reconvertimos la señal óptica de reloj en una señal eléctrica y la enviamos al circuito desarrollado a través del conector DB15.



Señal de DATO a Pines 3 y 11 de conector DB15
 Señal de RELOJ a pines 6 y 13 de conector DB15
 +5V a pines 1 y 9 - GND a pines 8 y 15

Señal óptica de DATO por módulo TX conectado a J1
 Señal óptica de RELOJ por módulo TX conectado a J3

Circuito esquemático del detector de secuencias

▶ Dado que los conectores DB9 en cada módulo de fibra tienen diferente conexión de señal -dependiendo de si es emisor o receptor-, es posible realizar las interconexiones citadas anteriormente.

Los bloques denominados "Circuito generador de secuencia" y "Circuito detector de secuencia" son los que el alumno puede implementar.

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–
Oficina 112
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a evcenet@inet.edu.ar, enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

Desde ya, muchas gracias.

Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

- | | |
|--|--|
| 1. Nivel educativo | 5. Documentación |
| 2. Contenidos científicos y tecnológicos | 6. Otras características del recurso didáctico |
| 3. Componentes didácticos | 7. Otras características del material teórico |
| 4. Recurso didáctico | 8. Propuestas o nuevas ideas |

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

Nivel educativo	EGB 2	EGB 3	Polimodal (*)			Escuela técnica (*)						Trayecto técnico- profesional (*)	Formación profesional (*)	Otra (*)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6				
Nivel en el que usted lo utilizó															

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....

.....

(*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.

.....

2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....



3. Componentes didácticos:



3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario):

.....

.....

.....

.....

.....

¹ Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No



4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?		
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?		
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?		
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?		
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?		
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?		
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?		
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?		

Sí	No

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

- | | |
|--|---|
| a. <input type="checkbox"/> Planificación. | b. <input type="checkbox"/> Diseño en dos dimensiones. |
| c. <input type="checkbox"/> Construcción, armado. | d. <input type="checkbox"/> Ensayo y control. |
| e. <input type="checkbox"/> Superación de dificultades (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material). | |
| f. <input type="checkbox"/> Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.). | |

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Sí	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

a. <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.	b. <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.
c. <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.	d. <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a. Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b. Es más económico.

c. Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d. Es más adaptable (a diversos usos).

e. Otra (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....

.....

.....

.....

.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas):

.....

.....

.....

.....

.....

4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):



Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable ⁴	Otro ⁵
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

⁴ NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

⁵ Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				



5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):



5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV ⁶	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....



6.3. Didácticas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)



	Sí	No
a. Congruencia. Tiene relación con los testimonios de realidad incluidos en el módulo de capacitación.		
b. Pertinencia. Los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional.		
c. Integración. Posibilita el tratamiento asociado de los conocimientos científicos y tecnológicos propuestos en el material.		
d. Escalabilidad. Es posible utilizarlo con proyectos o problemas con diferentes niveles de complejidad.		
e. Complejidad creciente. Las soluciones alcanzadas para una parte del problema, sirven de base para las siguientes o permite que, agregando componentes, sea utilizado como solución a problemas más complejos.		
f. Adaptabilidad. Permite su adaptación a soluciones diversas en torno a las problemáticas planteadas.		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificándola con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB ⁷	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

⁷ Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo

8. Propuestas o nuevas ideas:



Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

- a. docente a cargo de un grupo de alumnos b. directivo
- c. responsable de la asignatura: d. lector del material

.....

- e. otro (especifique):

.....

.....

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.		
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)		
c. Planificación de las experiencias didácticas.		
d. Trabajo con resolución de problemas.		

En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for writing the response.

Títulos en preparación de la serie “**Recursos didácticos**”.

- Arquitectura bioclimática
- Ascensor
- Banco de carpintero
- Biodigestor
- Biorreactor para la producción de alimentos
- Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- Celda de combustible
- Celda solar
- Entrenador en lógica programada
- Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- Equipamiento para matricería
- Generador de biodiesel
- Generador eólico
- Instalación sanitaria de una vivienda
- Manipulador neumático
- Máquina de vapor
- Programador visual para microcontroladores PIC
- Relevador de las características de componentes semiconductores
- Simuladores interconectables basados en lógica digital
- Sismógrafo
- Sistemas SCADA para el control de procesos industriales
- Tren de aterrizaje