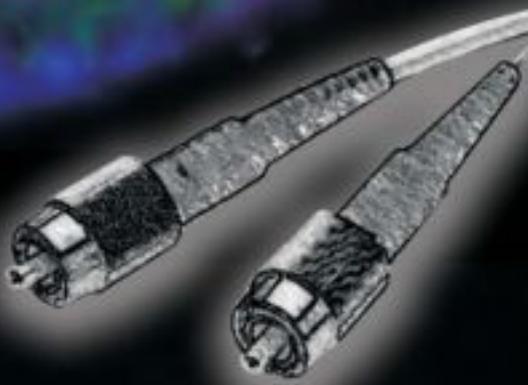
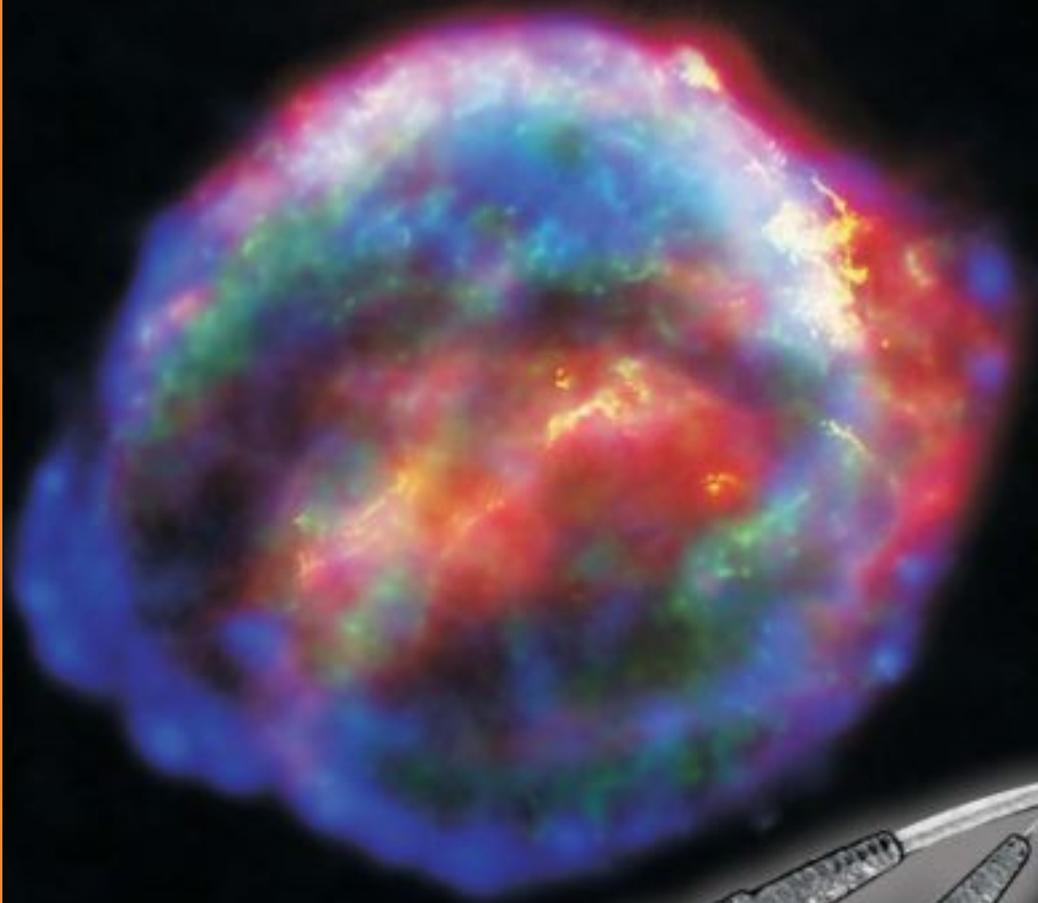




# Intercomunicador por fibra óptica



# 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**



# Intercomunicador por fibra óptica

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 950-00-0499-2

Duchowicz, Ricardo  
Intercomunicador por fibra óptica / 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; 4)

ISBN 950-00-0499-2

1. Intercomunicación-Computadoras. 2. Fibra Optica. I. Noriega, Sergio II. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. III. Título

CDD 004.6

Fecha de catalogación: 12/05/2005

Impreso en Gráfica Pinter S. A., México 1352 (C1097ABB), Buenos Aires, en julio 2005

Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares

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 fibre 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

---

# 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 educativos ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

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

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

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

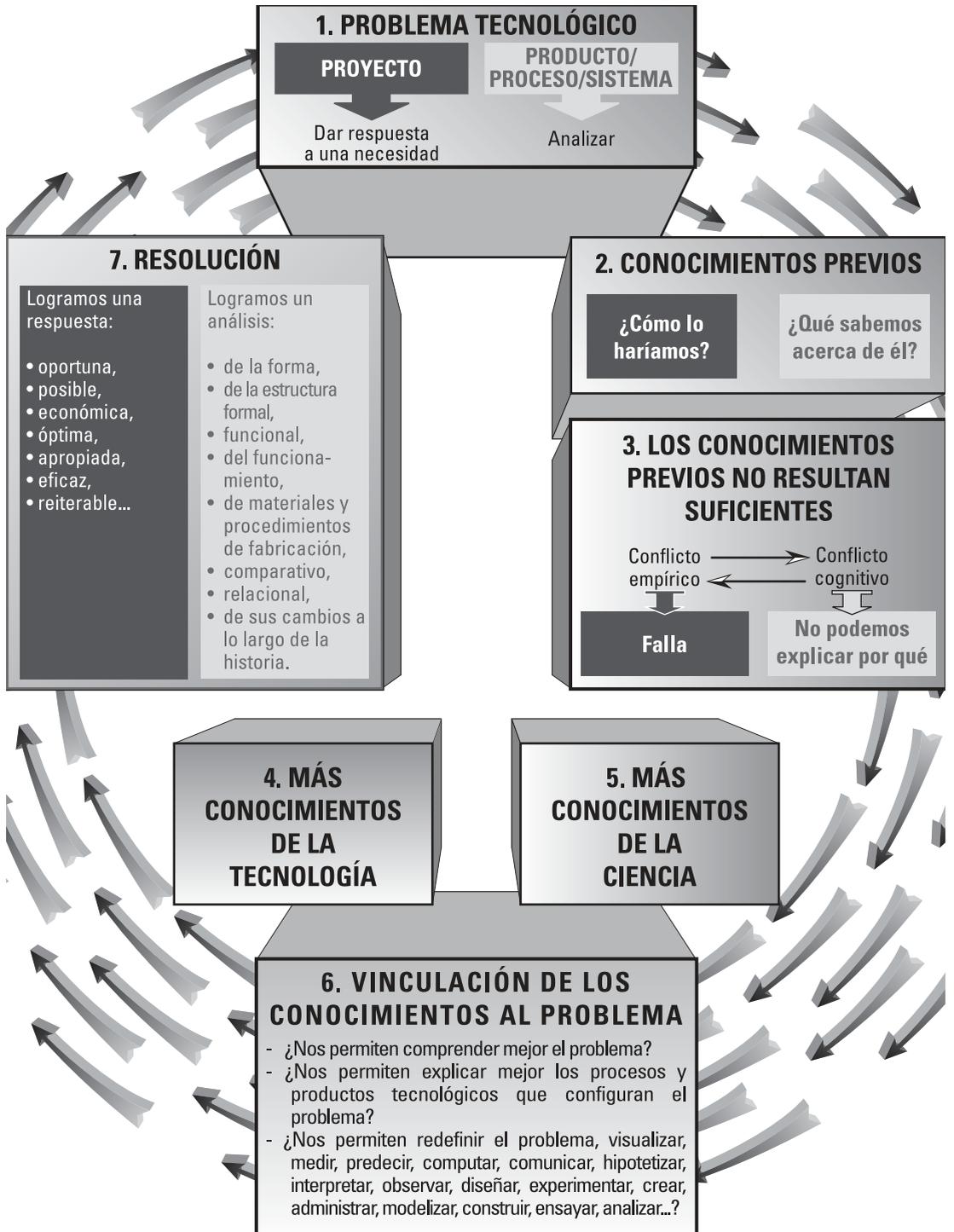
**3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.**

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





## 4. Intercomunicador por fibra óptica

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

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

<b>1 Problemas tecnológicos en el aula</b> .....	4
• El recurso didáctico que proponemos	
<b>2 Encuadre teórico para los problemas</b> .....	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 analógicas. El ejemplo de la red de televisión por cable	
▪ Transmisores, receptores y medios de transmisión usados en comunicaciones por fibras ópticas en la red de televisión por cable	
▪ Conectores	
▪ Pérdidas en un enlace óptico	
<b>3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo</b> .....	54
• El producto	
• Los componentes	
• El armado	
• La calibración de los módulos	
<b>4 El equipo en el aula</b> .....	83
<b>5 La puesta en práctica</b> .....	88

# 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 transmisiones

analógicas migran a paso agigantado a las del tipo digital, permitiendo transportar diferentes servicios como audio, 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.

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.

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.

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 = 1000 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** -descargas atmosféricas cerca del cable, ubicación cerca 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...

Los alumnos de "Sistemas de telecomunicaciones" del Trayecto Técnico-Profesional *Electrónica*, están tomando decisiones acerca del diseño de un intercomunicador.

Este intercomunicador debe poder usarse en una zona eléctricamente muy ruidosa -cercana a una red de alta tensión y a un generador eléctrico- y en lugares donde el ambiente es propenso

a explosiones, por lo que no debe haber posibilidades de generación de chispas.

Sustentando sus decisiones en material bibliográfico muy actualizado, los alumnos van avanzando en dar respuesta a:

- ¿Qué tipos de empresas de comunicaciones conocen?
- ¿Qué información es la que se envía?
- ¿Cómo les parece que se puede transmitir cada tipo de información de un lugar a otro?

El grupo logra diferenciar dos tipos de portadores empleados en conductores diferentes: En un conductor eléctrico, los que viajan llevando la información son los electrones. En un conductor óptico, en cambio, son fotones.

A partir de la comprensión de que existe un cable óptico que puede transmitir luz -que contiene la información tanto de audio, video como de datos-, el profesor plantea:

- Vamos a evaluar cuál es el mejor transmisor para el intercomunicador que desarrollaremos desde nuestro proyecto tecnológico<sup>1</sup>.

Desde el taller "Dispositivos, componentes y circuitos electrónicos analógicos y digitales", los alumnos están rea-

lizando el análisis tecnológico<sup>2</sup> del producto fibra óptica:

- ¿Cómo se propaga la luz por un conductor de fibra óptica?
- ¿Cuántos tipos de conductores de fibra óptica existen y cuáles son sus diferencias?
- ¿Cómo se puede generar luz desde una señal eléctrica, tal que se pueda introducir en un conductor de fibra óptica?
- ¿Cómo es posible reconvertir dicha señal óptica, de nuevo, en una señal eléctrica?
- ¿Cuáles son los factores que limitan la máxima velocidad de transmisión por fibra óptica?

Estos datos permitirán al grupo construir un intercomunicador.

<sup>1</sup> "Se entiende por proyecto tecnológico el proceso y el producto resultante (escritos, cálculos y dibujos), que tienen como objetivo la creación, modificación y/o concreción de un producto, o la organización y/o planificación de un proceso o de un servicio." Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Prociencia-CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires.  
Usted puede acceder a la versión digital de esta obra desde el sitio web: [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)

<sup>2</sup> "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. Op. Cit..

# El recurso didáctico que proponemos

¿Qué se necesitaría para aprender cómo se transmiten señales por una fibra óptica?

El equipo didáctico de **Intercomunicador por fibra óptica** que estamos proponiéndole incluir en su clase se constituye en un modelo para comprender la transmisión de señales de audio empleando este medio de comunicación.

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.

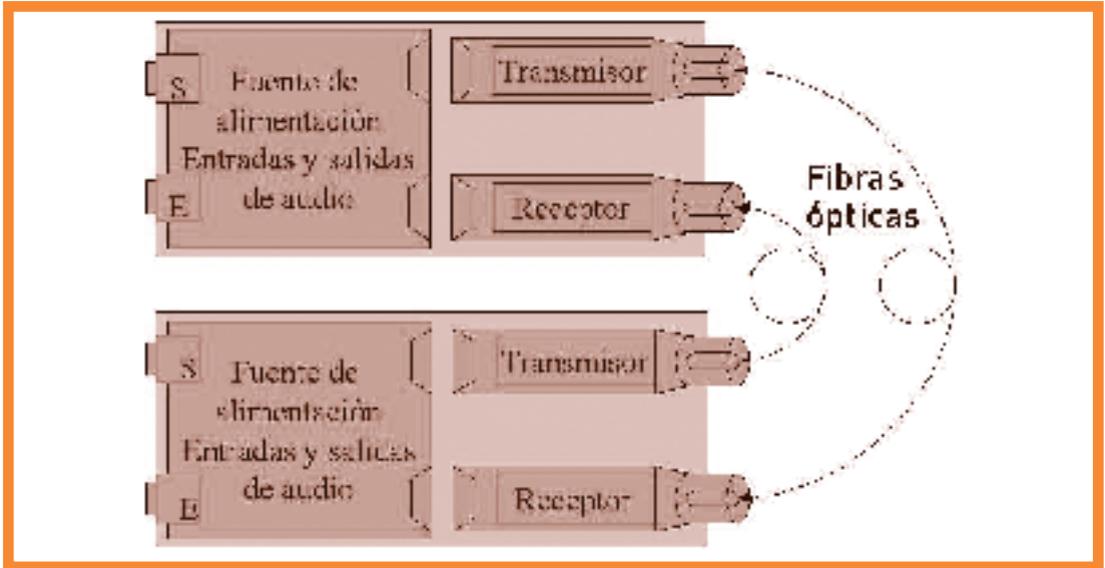
En este sentido, posibilita a los alumnos avanzar en respuestas a los interrogantes de:

- ¿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 analógica: 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 de audio:** 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 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 de audio, las que van ser configuradas según la experiencia que se quiera realizar.
- **Transmisor compatible con fibra óptica plástica:** Está compuesto por los circuitos electrónicos necesarios para poder amplificar y adaptar las señales eléctricas provenientes del módulo anterior -ya sea de un micrófono como de un reproductor tipo *discman* o *walkman* -al diodo emisor de luz.
- **Receptor compatible con fibra óptica plástica:** Posibilita la conversión óptico-eléctrica de la señal recibida por la fibra óptica. Amplifica dicha señal y permite seleccionar dos tipos de salidas: una para excitar directamente a un parlante de 8 ohms empleando un amplificador de potencia para audio o una salida para excitar a un sistema de audio externo.



Su diseño modular permite modificar la configuración del equipo para trabajar:

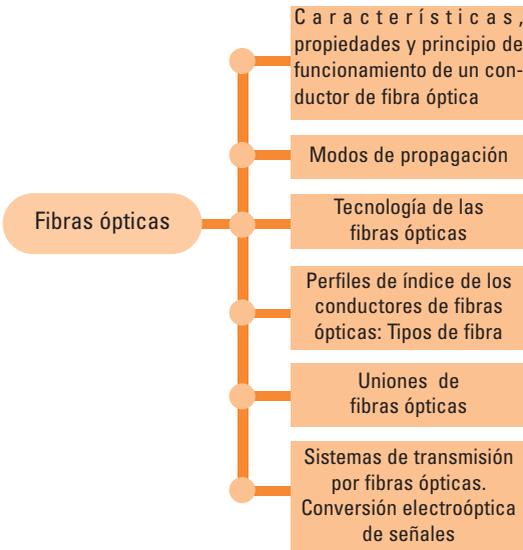
- **En la modalidad de intercomunicador.** En este caso, cada bloque se conecta con un micrófono, un parlante y un juego transmisor-receptor.
- **En la modalidad de transmisor estéreo de audio.** En este caso, un bloque está compuesto por dos transmisores y el otro por dos receptores. Aquí es necesario usar una fuente externa de señal de audio estéreo y es posible emplear los dos parlantes del equipo.

A través del recurso didáctico **Intercomunicador por fibra óptica**, los alumnos pueden realizar las siguientes experiencias:

- Comprender cómo se puede convertir una señal eléctrica en otra óptica (En nuestro kit, hemos optado por un diodo emisor de luz que emite en el color rojo visible cuya potencia es inofensiva para el ojo humano).
- Experimentar cómo se transmite esa señal por un cable de fibra óptica (En nuestro 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 la fibra y el receptor.
- Componer un posible esquema de transmisión de información en forma bidireccional (intercomunicador de voz entre dos puestos de habla-escucha).
- Analizar un ejemplo de comunicación unidireccional, transmitiendo en estéreo una señal de audio, empleando dos fibras ópticas.
- Entender uno de los posibles mecanismos de modulación de señales analógicas que se emplean en la actualidad.

## 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:

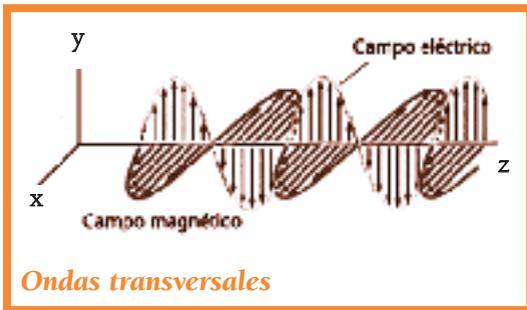
$$c \approx 300000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

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:

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

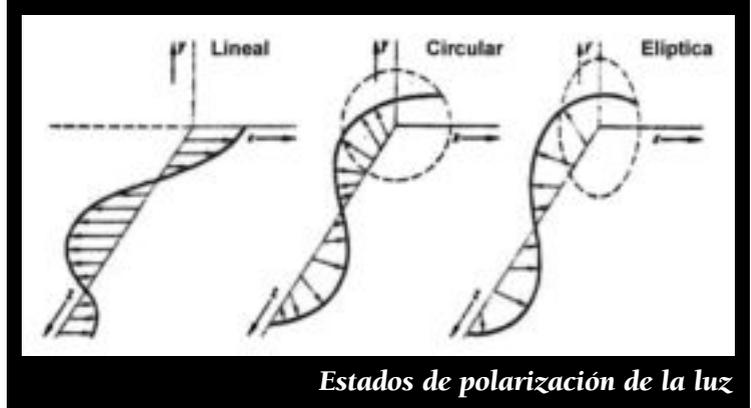
La onda electromagnética que representa a la luz es una onda transversal. En una onda transversal, el campo eléctrico y el magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Ambos vectores son, por otro lado, proporcionales y perpendiculares entre sí. Como ambos oscilan en fase, basta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



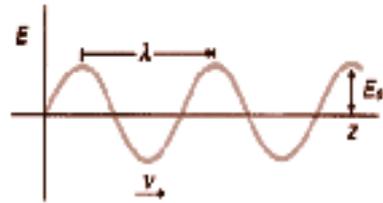
Si el campo eléctrico (o el magnético) de la onda oscila siempre en un plano, decimos

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.



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.
- $\omega$  la velocidad angular, en rad/s ( $s^{-1}$ ).
- $t$  el tiempo, en s.
- $k$  el vector de onda ( $k = 2\pi / \lambda$ ).
- $\lambda$  longitud de onda en el medio, en m.
- $z$  distancia sobre el eje  $z$ , en m.
- $T$  periodo 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  $\lambda$ .

La velocidad angular  $\omega$  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:

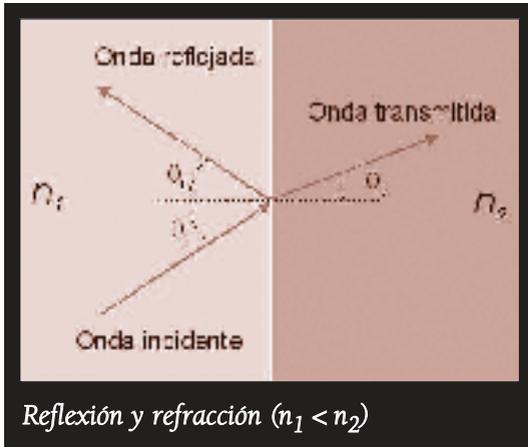
- reflexión y refracción de la luz,
- ángulo crítico,
- propagación de luz en una guía óptica y
- apertura numérica.

### 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:

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

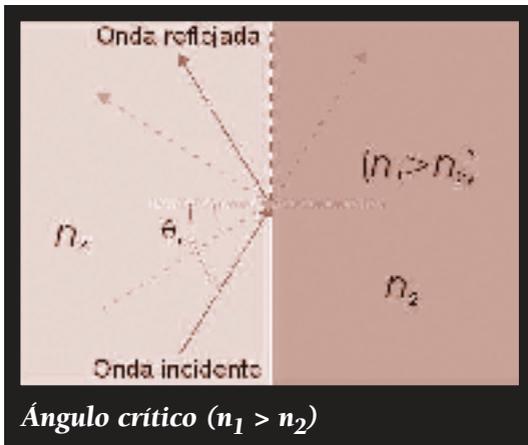
$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_i = n_2 \cdot \text{sen}\theta_t \quad \text{Ley para la transmisión o Ley de Snell}$$



## Ángulo crítico

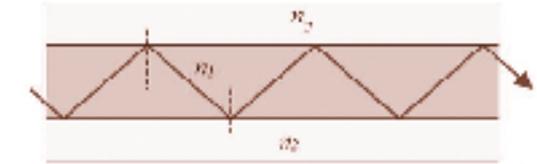
En el caso de que  $n_1$  sea mayor que  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ) y si se cumple que  $\text{sen } \theta_i$  sea mayor que  $n_2 / n_1$ , el  $\text{sen } \theta_t$  debería ser mayor a 1, lo cual es imposible. Por lo tanto, si  $\text{sen } \theta_i \geq n_2 / n_1$  no hay haz transmitido y toda la energía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

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

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

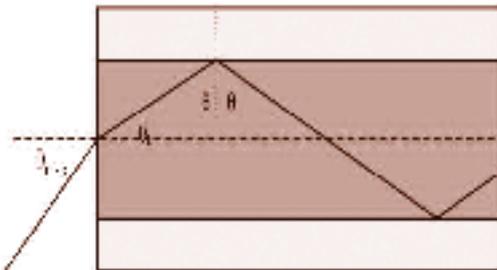
$$\text{sen } \theta_{I,m} = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \theta_c}$$

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

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

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

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



**Apertura numérica**

Por ejemplo, para

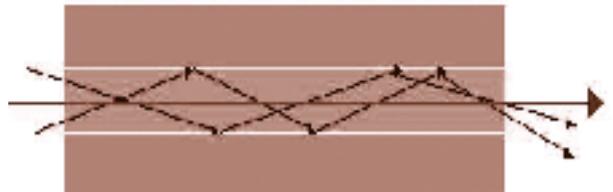
$$n_1=1.47 \text{ y } n_2=1.46 \Rightarrow \theta_{i,m} = 9.9^\circ \text{ y } NA = 0.17.$$

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  $\theta_c$  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.



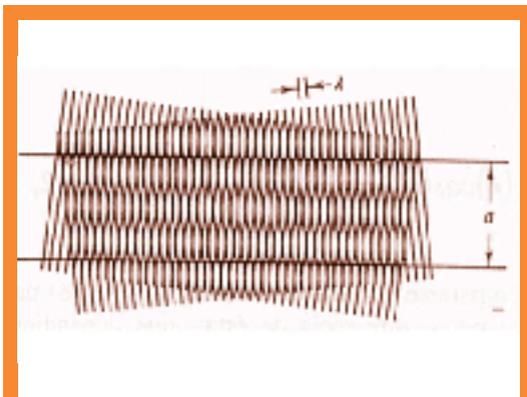
### Trayectoria para distintos modos

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.

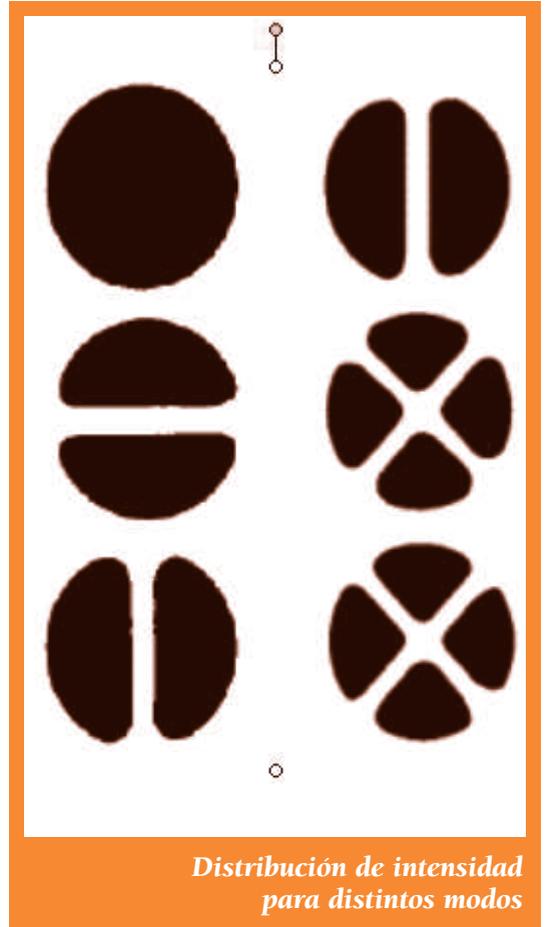
Se denomina **interferencia** a la superposición de dos o más ondas, y su combinación para formar una onda única. Se obtiene solamente cuando las ondas que interfieren tienen la misma longitud de onda y existe una diferencia de fase constante en el tiempo entre ellas. Este tipo de ondas se denomina ondas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



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](http://www.corningfiber.com)

Lucent [www.lucent.com](http://www.lucent.com)

Pirelli [www.pirelli.com](http://www.pirelli.com)

- Empresas que fabrican cables de fibra óptica:

Siecor [www.corningfiber.com](http://www.corningfiber.com)

Fitel [www.fitel.com](http://www.fitel.com)

Pirelli [www.pirelli.com](http://www.pirelli.com)

- Empresas que fabrican componentes optoelectrónicos:

Agilent [www.agilent.com](http://www.agilent.com)

Siemens [www.siemens.com](http://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 problemas<sup>1</sup>: 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-

<sup>1</sup> La geometría de la guía propuesta corresponde a la de la figura que le mostrábamos páginas atrás con el epígrafe "Apertura numérica".

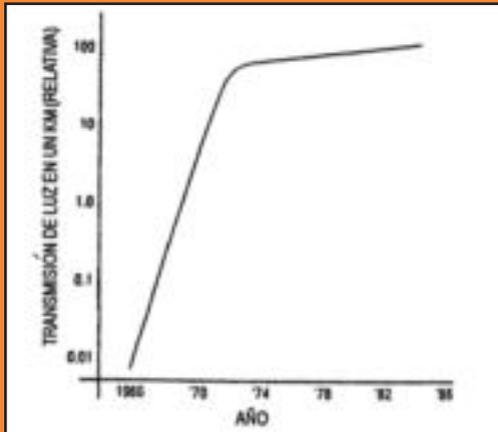
mitir imágenes desde dentro del cuerpo humano.

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.

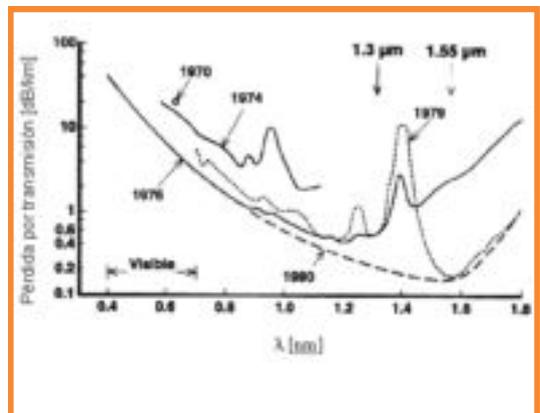


**Evolución de la transmisión de una fibra óptica (por km)**

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  $\mu\text{m}$  (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  $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ -, 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  $\mu\text{m}$  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:

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

Donde:

- $P_{\text{out}}$  y  $P_{\text{in}}$  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.).

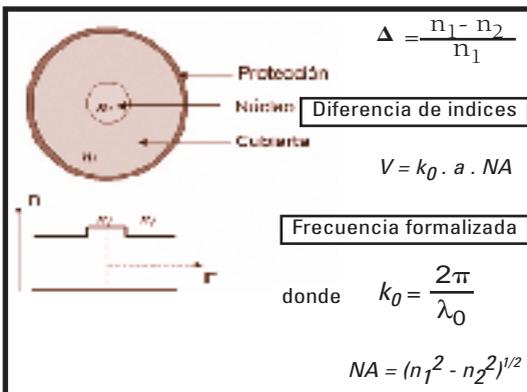
## Perfiles de índice de los conductores de fibras ópticas: Tipos de fibra

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:

- $\Delta$  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.

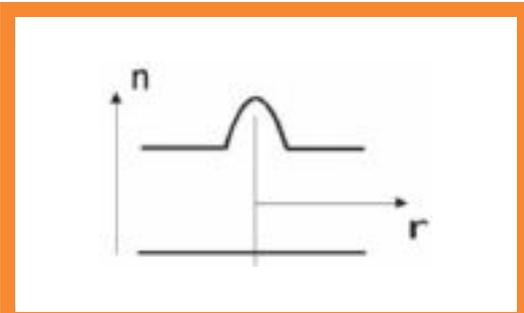
Consideremos el régimen modal en que opera:

- 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

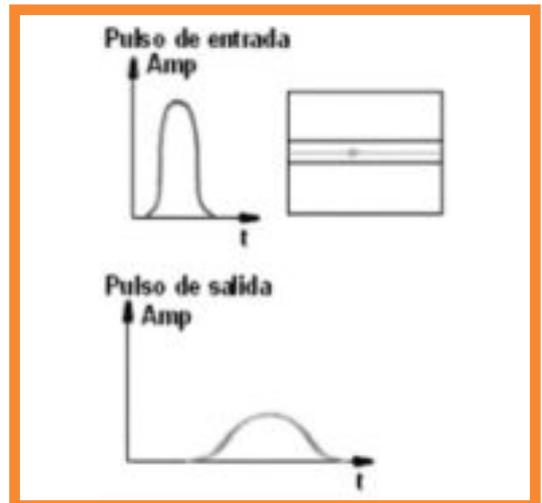
Los casos anteriores han sido diseñados para fibras de sílice (vidrio). Sin embargo y en orden de abaratar costos, se ha realizado también una búsqueda de materiales ópticos alternativos.

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

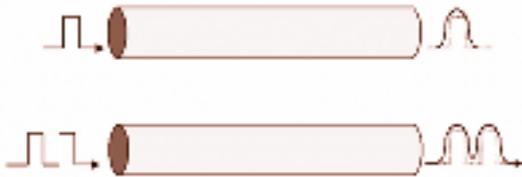
de  $1000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$ ) y de perfil gradual.

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  $0.2 \text{ dB por metro}$  (recordemos que el valor típico para una monomodal de vidrio en  $1.55 \mu\text{m}$  es  $0.2 \text{ dB por km}$ ). Dicho valor determina que la limitación de dicha fibra no sea la dispersión -pues pueden propagarse pulsos a una velocidad mayor a  $1 \text{ Gbit/s}$ - sino la atenuación, que determina que la longitud del enlace sea menor a  $50 \text{ m}$ . Por lo tanto, las aplicaciones de esta fibra están dirigidas a conexiones cercanas (sistemas de control en automóviles, aviones, satélites, conexiones entre PC, etc.).

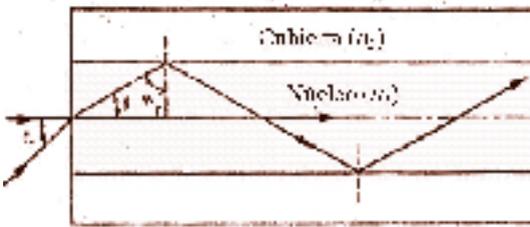
¿Qué es, entonces, la dispersión? Dispersión es el ensanchamiento temporal de pulsos de luz que se propagan a través de una fibra.



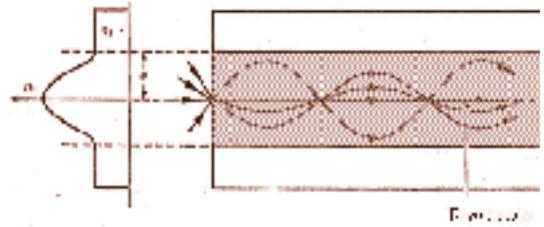
La dispersión es de fundamental importancia en el envío de información, pues limita la velocidad de transmisión. A mayor dispersión, mayor resulta la tasa de error de bit en el receptor (la inhabilidad de distinguir un 0 de un 1).



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.

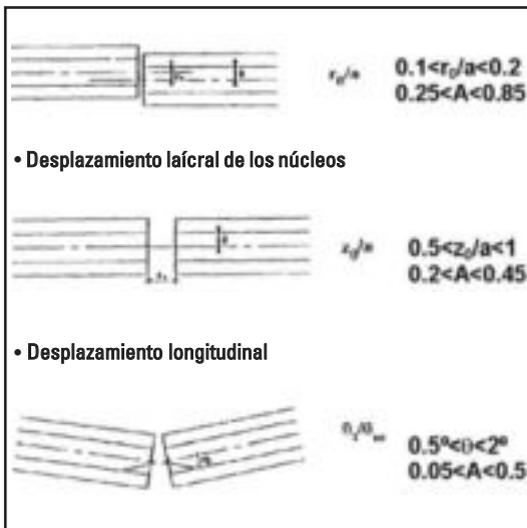
El espaciado entre repetidores (eléctricos u ópticos) es un parámetro en continuo aumento. Los sistemas actualmente instalados poseen espaciados de 40 a 100 km, para velocidades de transmisión entre  $100\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $2.5\text{Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$ ; mientras que, para distancias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

Es, por esto, importante que las conexiones

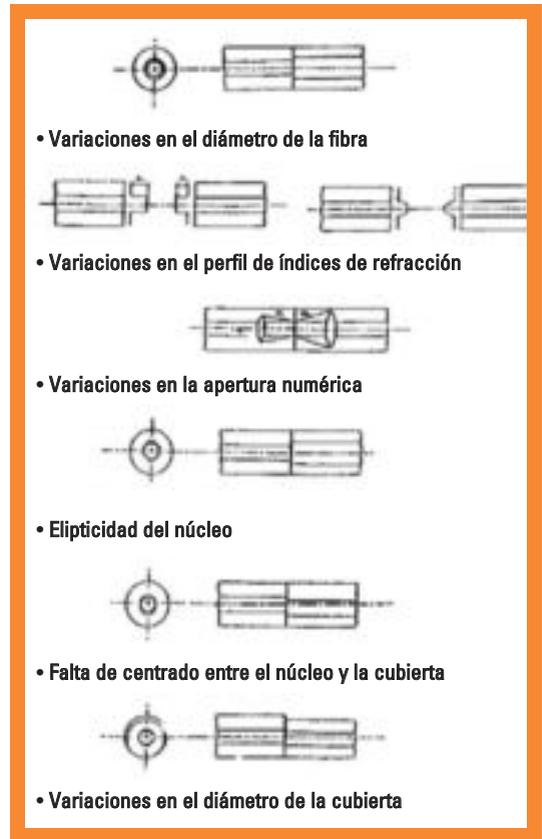
entre fibras produzcan bajas pérdidas y mínima distorsión. Ello permite, a su vez, la introducción de mayor cantidad de conexiones en enlaces y redes. Dichas uniones son bidireccionales e, idealmente, acoplan la totalidad de la luz de una a otra fibra.

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 decibels 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.

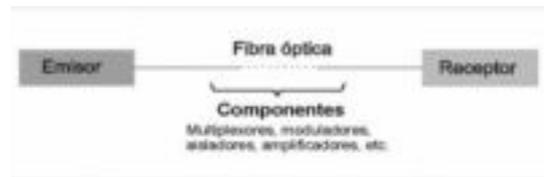
La calidad en el pulido de las caras es de particular importancia, dado que reduce la pérdida por *scattering* -dispersión de luz por objetos cuyo tamaño es del orden de una longitud de onda-.

## 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).

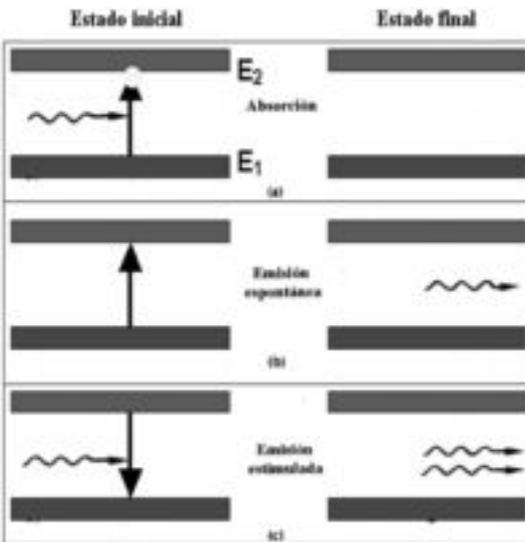
## a. Emisores

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 Plank y  $\nu$  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.

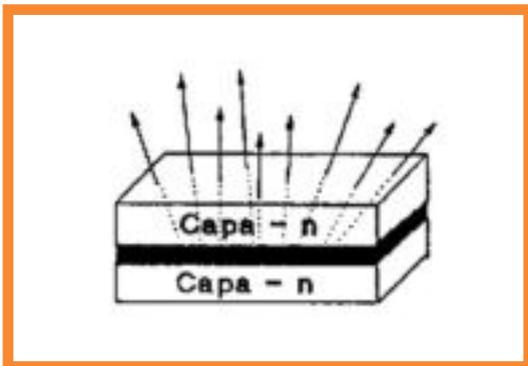
- Un fotón que incide sobre el semiconductor cede su energía  $h\nu$  a un electrón en la banda de valencia. Éste incrementa su energía y pasa a la banda de conducción, dejando un "hueco" en la banda de valencia. En este proceso, denominado **absorción**, el fotón desaparece.
- Un electrón que se encuentra en la banda de valencia, tiene una cierta probabilidad de volver a la banda de valencia emitiendo radiación de frecuencia  $\nu$ . 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  $\nu$  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).

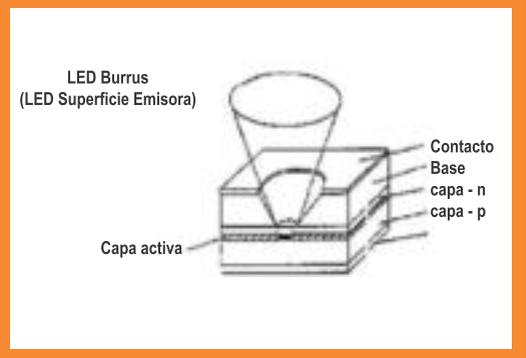


Si se han elegido correctamente los materiales del diodo, la energía se libera bajo la forma de fotones. Básicamente, el chip LED emite la luz en cualquier dirección, y los niveles de potencia de salida son relativamente bajos.

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.



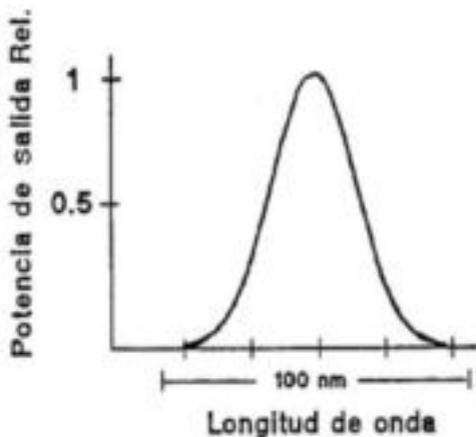
Normalmente, los fotones emitidos serían absorbidos por el material del sustrato, pero el LED está diseñado específicamente para canalizar

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

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*.

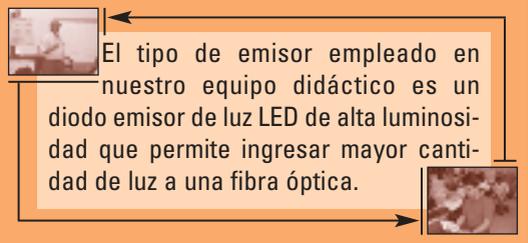
Debido a la emisión espontánea, los LED tienen un espectro óptico continuo de salida, que es relativamente amplio.

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-*

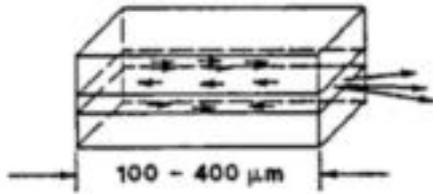
*formance*. Así, es el caso de los SLED -emisor LED superluminiscente- y los VCSEL -*Vertical Cavity Surface Emitter Laser*-. Ambos se encuentran en la frontera entre un LED y un láser de semiconductor. Poseen mayor potencia óptica que un LED común (1-20 mW) y menor ancho de banda de emisión (30-60 nm).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



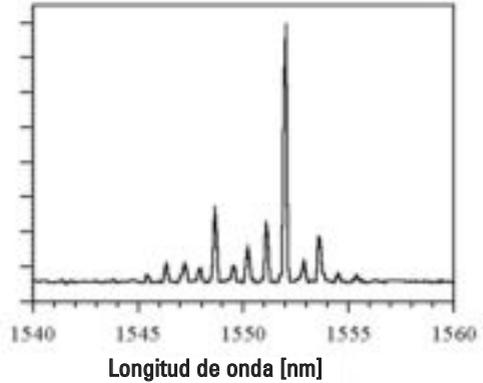
La emisión de un **láser** se basa, fundamentalmente, en los procesos estimulados.

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.



Superficies reflectoras



La separación entre modos longitudinales es:

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

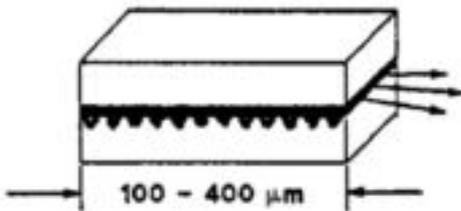
Donde:

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

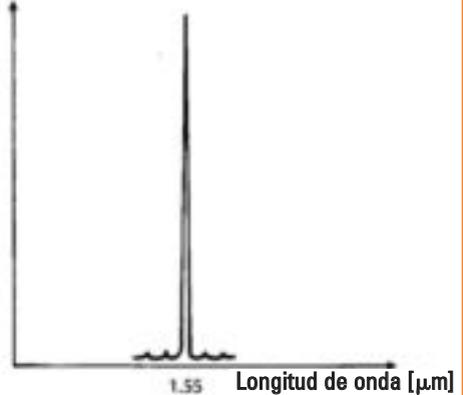
Cuanto menor sea  $L$ , mayor será dicha diferencia.

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.

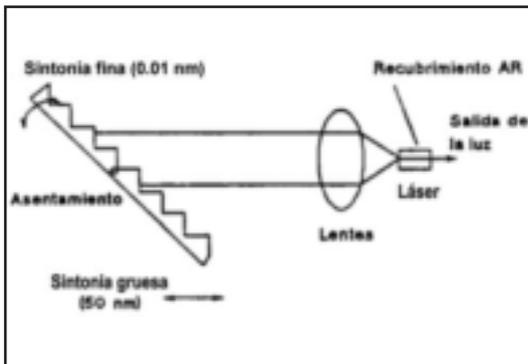


Intensidad relativa



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:

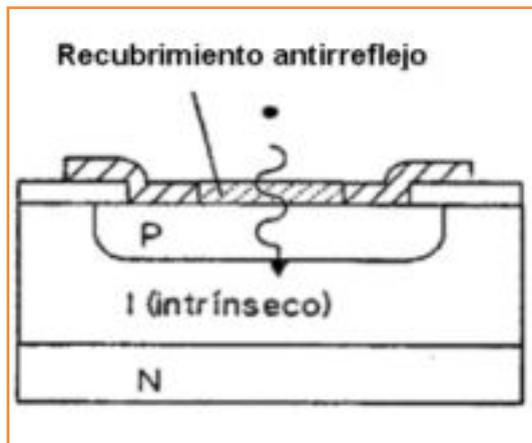
	LED	Láser
Potencia y eficiencia de acople	1 mW- < 10 %	20- 500 mW- 50 %
Sensibilidad a cambios de temperatura	Baja	Alta
Sensibilidad a la retroreflexión	Ninguna	Alta
Coherencia	Incoherente	Coherente
Circuitería	Simple	Compleja

## b. Detectores

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



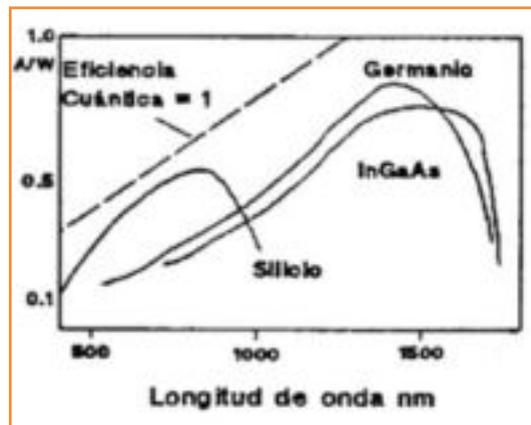
Los **fotodiodos PIN** se usan ampliamente como detectores en los receptores de fibra óptica. Su construcción presenta una región levemente impurificada, denominada región intrínseca, ubicada entre las regiones impurificadas con dopaje de impurezas tipo **p-** y **n-**. De aquí surge la denominación 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.

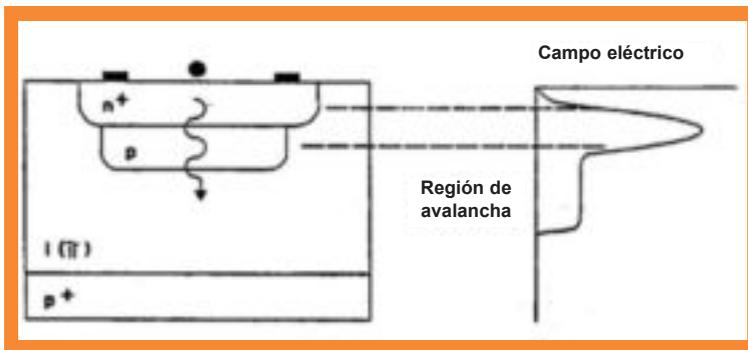


Este tipo de fotodetector es el que se utilizamos en nuestro intercomunicador, ya que permite detectar señales de relativa baja sensibilidad con un circuito electrónico asociado que resulta sencillo y económico.



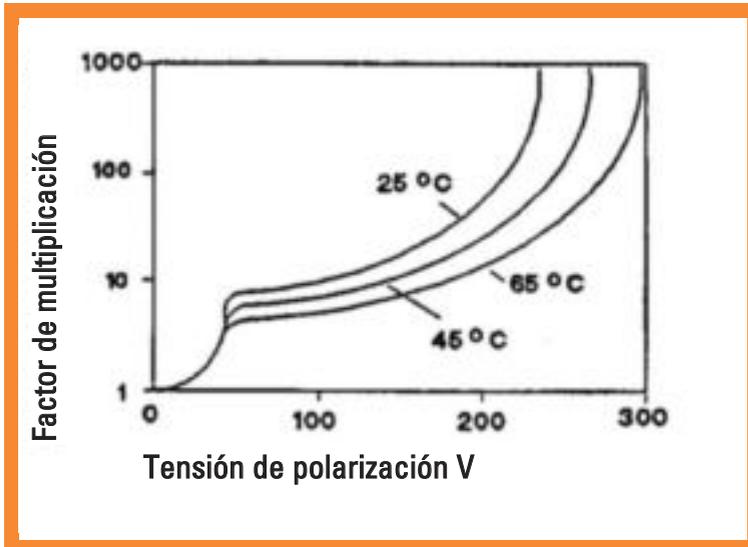
El **fotodiodo APD** -*Avalanche Photodiode*. Fotodiodo de avalancha-, obtiene su alta sensibilidad por multiplicación interna de los electrones generados por la luz. Un campo eléctrico intenso acelera tanto a los portadores de corriente que éstos pueden expulsar como a los electrones de valencia de 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 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.



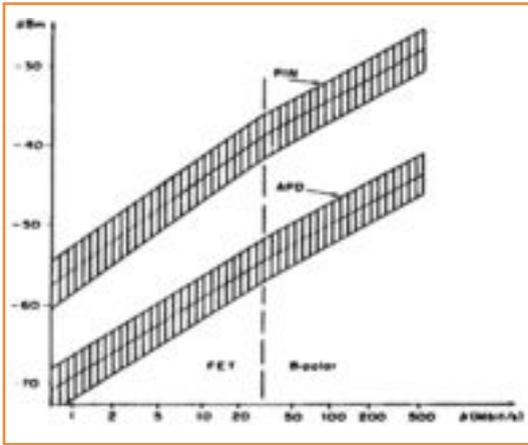
Para proporcionar la tensión de polarización necesaria para lograr el factor de multiplicación deseado y para compensar las variaciones de temperatura que afectan los parámetros del APD, se requieren circuitos especiales. La selectividad de longitud de onda de un material semiconductor en particular,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

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



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 analógicas. El ejemplo de la red de televisión por cable

Como ya planteamos, a comienzos de la década del '80, luego de varios años investigando un nuevo tipo de medio de comunicación, se consolida la fibra óptica como la forma de transmisión alternativa para suplir todas las deficiencias que tenían los medios tradicionales por cable eléctrico,

incluidas las de algunos tipos de transferencias vía satélite.

Las grandes ventajas de la fibra óptica como medio transmisor de señales son:

- Bajas pérdidas por kilómetro.
- Gran ancho de banda (al menos 1.000 veces superior al cable coaxil, empleando técnicas especiales).
- Precio muy bajo, considerando el ancho de banda a transportar.
- Inmunidad a las radiaciones electromagnéticas externas.
- Seguridad en el transporte de información.
- Peso y dimensiones inferiores a un cable metálico.
- Posibilidad de reemplazar a cientos de cables metálicos, a igual ancho de banda a transportar.

Para analizar el costo de transmitir información por una fibra óptica, resulta imprescindible considerar:

- **Precios de transmisores y de receptores.** En su forma más simple, un enlace de fibra óptica consta de un transmisor, un receptor y el cable. Dependiendo de las prestaciones, el costo de un transmisor de fibra óptica a velocidades de gigabits por segundo, puede costar miles de dólares estadounidenses, ya que emplea diodos láser como fuente de luz. Para aplicaciones menos exigentes como la de algunas redes de computadoras de hasta algunos cientos de bits por segun-

do, es posible emplear diodos emisores de luz -DEL. LED, en inglés- cuyo precio es de decenas a centenas de dólares estadounidenses. Éste es el caso de Ethernet (10 Mbps: 10 Mega Bits por segundo) y de Fast Ethernet (100 Mbps: 100 Mega Bits por segundo).

- **Precios de cables, conectores y otros componentes.** El precio por metro de un cable metálico del tipo par trenzado sin blindaje denominado UTP -*Unshielded Twist Pair*- puede ser de algunos centavos de dólares estadounidenses mientras que un cable de fibra óptica puede valer algunas decenas de centavos de dólar. Pero, por ejemplo, el precio de un cable metálico para transporte de señales de televisión por cable es comparable al de uno de fibra óptica donde, inclusive, este cable lleve no sólo un conductor de fibra sino, por ejemplo, 12). Para la interconexión de cables metálicos, en general, se usan "borneras" donde, o se atornilla el extremo de un cable con el extremo de otro para dar continuidad al enlace, o se termina cada extremo con un conector. Hasta uno mismo podría retorcer ambos extremos y conseguiría, de la forma más económica, hacer contacto -lo cual no es recomendable-. En fibra esto no se puede hacer. Sólo hay dos formas de unir dos cables de fibra óptica y es mediante empalmes mecánicos o por fusión. Para lograr conexiones permanentes entre cables de fibra óptica se introducen los extremos de las fibras a unir en dispositivos especiales que para el caso de empalme mecánico las fija y

adapta -con el gel especial del que hablábamos- el índice de refracción del vidrio, a fin de disminuir al máximo posible las pérdidas y reflexiones. Si se usa un empalme por fusión, se emplea un equipo especial muy sofisticado que las alinea y funde de tal forma que, a simple vista, no quedan rastros de la unión. Para conexiones que no son fijas, es decir, cuando se requiere que los extremos de las fibras puedan ser reubicables en otras partes del circuito, se emplean conectores especiales. Para emplazar estos conectores en un extremo de un cable de fibra óptica, primero hay que prepararla, realizando una serie de operaciones: "Pelado" de la cubierta exterior, "corte" de precisión del extremo, "pegado" o "climpeado" de la fibra en el conector, y "pulido" del extremo del conductor de fibra óptica que sobresale. Otra opción es conseguir los denominados **patchords**, formados por un cable de fibra óptica con sus dos extremos conectados. Su precio varía, según se trate de fibra multimodo o monomodo, siendo su precio de algunas decenas de dólares.

- **Costo de herramientas especiales para montaje.** Como se dijo, tanto las operaciones de conexión como los empalmes de cables de fibras ópticas, requieren de equipos más sofisticados que en el manejo de cables eléctricos, lo que implica un costo adicional que debe ser considerado. Por ejemplo, una empalmadora mecánica puede costar algunos cientos de dólares mientras que una empalmadora por fusión algunas decenas de miles de dólares.
- **Costo de hora-hombre especializado** para operaciones de instalación y de puesta en marcha de sistemas que utilizan fibra óptica. Dado que se requieren procedimientos especiales para manejar un cable de fibra óptica, es necesario que el operador sea una persona capacitada para tal fin, lo que implica una instrucción adicional a aquél que sabe trabajar con cables metálicos. No sólo es importante realizar las tareas de ensamblado y conexión sino aquéllas relacionadas con las mediciones. Es común realizar pruebas de los componentes y equipos, tanto en el momento de la instalación como posteriormente, cuando se pone en marcha el sistema. Además, a fin de mantener el sistema en condiciones, se requiere de capacitación adecuada para poder realizar tareas de mantenimiento tanto predictivo (previendo qué puede fallar) como correctivo (cuando se produce una falla).

En la actualidad:

- En el hogar, donde haya una conexión telefónica, una conexión a televisión por cable y alguna de las dos para acceso a datos -Internet, por ejemplo-, el medio es, generalmente, metálico (par trenzado o coaxial).
- En oficinas con redes de computadoras, suele emplearse el par trenzado tipo UTP o STP como medio de interconexión entre una computadora y un punto de acceso que suele ser un *switch* (conmutador) o un *hub* (concentrador). En cambio conexiones entre *switches* y/o *hubs* suelen hacerse por fibra óptica, ya que el ancho de banda a manejar es, en general, más

grande (de 1 GHz a 10 GHz).

- En redes de televisión por cable, desde la cabecera hasta un punto dado, suelen transmitirse las señales vía fibra óptica y, de allí en más, con cable coaxil hasta el abonado.
- En redes telefónicas, las conexiones entre centrales suelen hacerse, hasta cierta velocidad, empleando coaxil y, desde algunos centenares de bits por segundo, microondas o fibra óptica (actualmente, se está usando, por ejemplo, un solo conductor de fibra y un solo transmisor en enlaces que transmiten a una velocidad de 40 Gbps = 40.000 Mbps: 40 Giga Bits por segundo; es decir, 40.000 Millones de bits por segundo).

Algo aún más asombroso, es el empleo de la técnica de **multiplexado por longitud de onda** (en inglés, conocida como WDM: -*Wavelength Domain Multiplexing*-, en la que es posible utilizar un solo conductor de fibra óptica por el que viajan diferentes señales, cada una proveniente de un transmisor distinto, lográndose, así, incrementar el ancho de banda del canal. Esto se obtiene haciendo que cada transmisor emita en una longitud de onda del espectro de la luz diferente a la de los otros.

Volviendo al ejemplo de los 40 Gbps, se pueden transmitir, por ejemplo, 100 canales de 40 Gbps cada uno, lo que equivale a 4000 Gbps ó 4 Tbps (4 Tera Bits por segundo = 4.000.000.000.000 bps).

Para esto se requieren, entonces, 100 transmisores emitiendo, cada uno, en una longitud de onda diferente e inyectando esas 100

señales a una sola fibra, empleando un combinador *multiplexer*. En el extremo opuesto, con un *demultiplexer* se rescatan nuevamente esas 100 señales que van a 100 fotodetectores diferentes.

En los sistemas de comunicaciones analógicos, se modula una señal eléctrica denominada portadora (generalmente, senoidal) con otra que es proporcional a la información que se quiere transmitir, denominada modulante.

Los esquemas posibles de modulación son:

- Amplitud.
- Fase.
- Frecuencia.

Se refieren directamente al parámetro de la señal portadora que es posible modificar.

En un principio, había sólo dos tipos de información: audio y video. Con el advenimiento de las técnicas digitales, desde hace dos décadas, se ha sumado un tercer grupo, el de los datos.

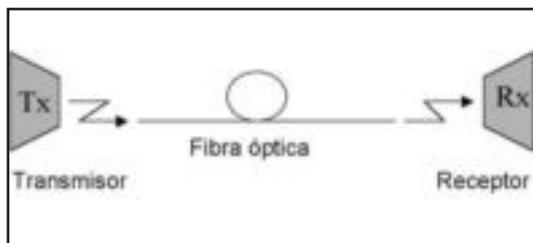
Para este último caso, hoy en día, se emplean uno o una combinación de los esquemas que hemos mencionado.

Los sistemas de comunicaciones ópticos emplean a la fibra óptica como medio de transmisión por excelencia; pero, también existen algunos sistemas que usan al aire como conductor de la luz. Es el caso de algunas conexiones punto a punto empleadas, por ejemplo, para conectar dos estaciones. El emisor de luz empleado es, generalmente, un

láser de potencia, ya que hay que vencer las pérdidas del aire hasta llegar al detector. Se pueden conseguir distancias de algunos miles de metros, en condiciones meteorológicas aceptables.

En principio, como planteábamos páginas atrás, en todo enlace de comunicaciones por fibras ópticas tenemos, al menos, tres componentes básicos:

- transmisor
- receptor
- medio de transmisión



El **transmisor** es un dispositivo que está basado en un emisor de luz, ya sea un diodo emisor tipo LED o un láser, con la adición de los circuitos electrónicos asociados necesarios para adaptar la señal electrónica que contiene la información a transmitir y otras funciones que vamos a explicar más adelante.

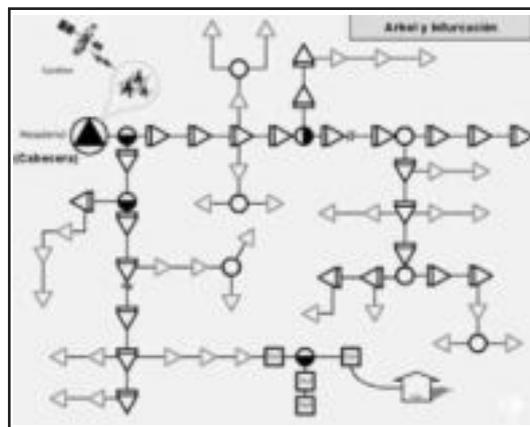
El **receptor**, por su parte, está formado por un fotodiodo tipo PIN o APD, y la electrónica necesaria para la amplificación y adaptación de la señal eléctrica generada.

El **medio de transmisión** es una fibra óptica, ya sea monomodo o multimodo, dependiendo de la aplicación en cuestión.

Un ejemplo de sistema actual de comunicaciones por fibra óptica analógico es el de CATV -Televisión por cable o cable televisión-.

Cuando se diseña este tipo de servicio -desde cuatro décadas antes, existía la televisión por aire-, la idea es tratar de emplear, en lo posible, el mismo equipamiento de transmisión y recepción. Esto implica, en principio, que el abonado siga usando su mismo televisor.

El servicio se ofrece, inicialmente, a una zona que cubre sólo algunos kilómetros cuadrados, dada la limitación impuesta por el medio de transmisión empleado, el cable coaxial de bajas pérdidas.



Este esquema se denomina *Tree and Branch* -árbol y bifurcación-, ya que la señal que sale de la cabecera -headend- parte de un solo cable y se va ramificando como lo hacen las ramas del tronco de un árbol, empleando divisores -splitters-.

En este modelo, la mayoría de las señales se recibe vía satélite o a través de microondas.

Cada una de las señales es modulada en amplitud, a una frecuencia portadora diferente comprendida entre los 150 MHz y 850 MHz, aproximadamente.

Luego, se combinan y se les aplican a un transmisor cuya terminación es un cable coaxial -en lugar de la antena tradicional-.

La topología de este tipo de red es "en árbol" porque, del cable principal, la señal se va bifurcando y amplificando varias veces hasta llegar a un amplificador final, por cada extremo que alimenta varias decenas de abonados.

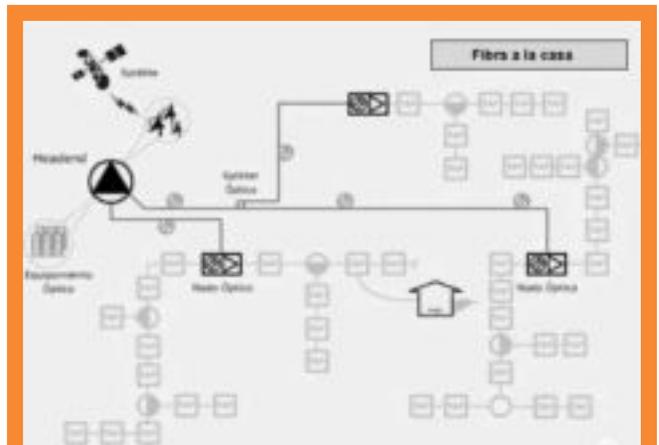
Este mecanismo de transmitir señales de TV por un cable, dadas las frecuencias portadoras empleadas (del orden de cientos de MHz), tiene la desventaja de que el cable metálico se comporta como una antena; es decir, a medida que crece la frecuencia de la señal que se aplica, la corriente eléctrica que fluye tiende a circular por la periferia del cable, hasta un punto en que a los pocos metros ya irradia toda la energía que recibe. Esto se conoce como **efecto pelicular** y se traduce en una pérdida de cable, variable con la frecuencia transmitida.

Por ejemplo, un canal que es transmitido a 200 MHz de frecuencia de portadora, tiene menos pérdidas que transmitiendo otra señal a 500 MHz. Es por eso que, cada 500 metros, aproximadamente, se debe intercalar en el camino de la señal, un amplificador de video que, además, compense esta pérdida dependiente de la frecuencia.

Dado que cada vez que intercalamos un amplificador estamos agregando ruido a la señal, existe un límite práctico de algunos kilómetros en el alcance de este servicio. Más allá de este límite, la calidad de la señal no es aceptable, viéndose con lluvia (relación señal-ruido muy baja) y distorsionada.

En la década de los '90, con la popularidad que toma la fibra óptica, los diseñadores de redes conciben una estrategia para emplearla en lugar del cable metálico -en principio, en la etapa inicial del troncal-.

Las ventajas son mayor alcance y confiabilidad en la distribución de señales.



*Esquema inicial de una red de CATV empleando fibra óptica*

Al igual que en CATV tradicional, las señales de cada uno de los canales de video que se quiere transmitir son modulados en amplitud por una portadora diferente, de cientos de MHz de frecuencia.

La diferencia, ahora, radica en que la señal resultante de combinar todas ellas se aplica a

un diodo láser y de éste sale una o varias fibras ópticas con un alcance de hasta varias decenas de kilómetros, sin requerir amplificación o compensación alguna -como ocurría con el cable metálico-.

A cada extremo de los cables de fibra se conecta un receptor óptico que termina con un amplificador de video de salida, para continuar con la distribución de la red, como se hacía antes.

Hoy en día, en esencia, la última etapa de distribución hasta el abonado no ha cambiado mucho. La razón por la cual no se llega con fibra óptica hasta el abonado es meramente económica y no tecnológica. Se supone que, algún día, la fibra óptica se extenderá a algún aparato domiciliario, no sólo con información de video sino, además, con voz y con datos.

El camino de señal que va desde la cabecera -donde llegan todas las señales de TV y se distribuyen a los abonados- se denomina downstream -corriente hacia abajo-.

Generalmente, las señales enviadas suelen ser las de broadcast -difusión- que son recibidas por todos los abonados, simultáneamente.

En algunos casos, existen otras señales que van desde el usuario hacia la cabecera. Este camino es denominado *upstream* -corriente arriba- y, generalmente, se emplea para que el usuario envíe información hacia "arriba" (como, por ejemplo, un canal de respuesta a una conexión de Internet), mientras recibe datos desde la web por el camino inverso -*downstream*-.

¿Por qué se emplea un diodo láser en lugar de un diodo LED?

Las razones son tres:

- Con el láser se puede inyectar mayor potencia a una fibra óptica que con un LED.
- El ancho de banda de un LED está restringido a poco más de 400 MHz. Ya hemos planteado que el rango de frecuencias portadoras empleadas es de hasta casi el GHz. Esto es, a medida que aplicamos una señal de frecuencia variable, la respuesta en frecuencia del LED comienza a decaer, a partir de algunos cientos de MHz, hasta extinguirse. Esto es debido al principio de su funcionamiento.
- Existe un efecto combinado entre el ancho espectral del diodo LED -que es mucho más ancho que el de un láser- y la característica de dispersión de la fibra óptica.

¿Por qué no puede usarse fibra multimodo? Porque la dispersión que tiene una fibra de este tipo es tan grande que, combinada con el ancho espectral del LED, produce un efecto de degradación del ancho de banda de la señal que está viajando por la fibra.

En resumen: En CATV, para lograr varios kilómetros de alcance (mínimamente, 30 km, por dar un número), sólo es posible emplear dichos láseres y fibras ópticas tipo monomodo, ya que si bien éstas también tienen dispersión, son 1000 veces inferiores a las multimodo.

# Transmisores, receptores y medios de transmisión usados en comunicaciones por fibras ópticas en la red de televisión por cable

## 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, permitiendo que el haz viaje con mucha menor divergencia, que el haz de luz 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. Esto hace que la luz emitida sea muy divergente y se degrade, por lo tanto, muy rápidamente.

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 dicha 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 uno debe conseguir es obtener una señal luminosa proporcional a la señal eléctrica de entrada. Dicho con más rigurosidad técnica: Es necesario convertir la señal eléctrica -que, generalmente, es una tensión- a 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 por el transmisor. ▼

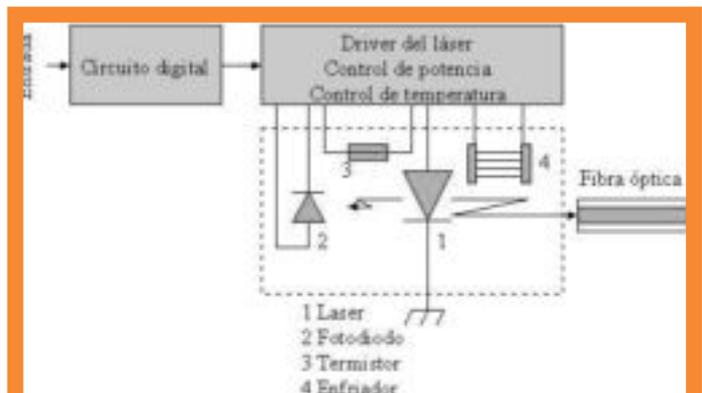


Diagrama en bloques de un transmisor analógico generalizado, basado en un láser

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 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 pueda 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

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.

diodo láser una celda Peltier y un sensor de temperatura -suele ser 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 sensorarla 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.

Hay que 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 su driver.

En aplicaciones de CATV, además del esquema anterior se necesitan otros circuitos adicionales.

La señal de radiofrecuencia que contiene la información de todos los canales de televisión se inyecta al transmisor -en este caso, un modulador óptico-, el cual, para el ejemplo que se muestra, dispone de dos fibras de salida, lo que permite alcanzar mayor distancia en el enlace, combinando la información de ambas en el receptor óptico.

El transmisor emite las señales ópticas hacia los abonados que, en general, son los programas de televisión y/o datos -si se dispone del servi-

cio de Internet por cable-, mientras que el receptor recibe información que éstos devuelven (por ejemplo, requiriendo algún servicio de *pagar por ver* -*pay per view*- o de *video bajo demanda* -*video on demand*- y/o datos, si se dispone de dicho servicio de Internet).



**Transmisor y receptor de múltiples salidas que se emplea en la cabecera**

Entre la señal de tensión a convertir (por ejemplo, una señal con todos los canales de TV ya combinados) y el emisor, suele haber una etapa conversor tensión-corriente denominada *driver* o manejador, que es la que se encarga de inyectar directamente una corriente eléctrica al emisor, con magnitud suficiente como para generar la potencia óptica necesaria para vencer las pérdidas del medio (por ejemplo, la fibra óptica) y llegar al receptor con suficiente nivel como para que sea aceptable la calidad de dicha señal convertida nuevamente al dominio eléctrico.

Si queremos lograr una transmisión analógica de buena calidad, es necesario que tanto el transmisor como el medio y el receptor no distorsionen la señal original. Esto es crítico en comunicaciones de video.

Función de transferencia es aquella relación que vincula la señal de salida de un dispositivo con la de entrada. En el caso de los emisores, la salida es una señal óptica (potencia) y la excitación o entrada es la corriente eléctrica. En los detectores, es al revés.

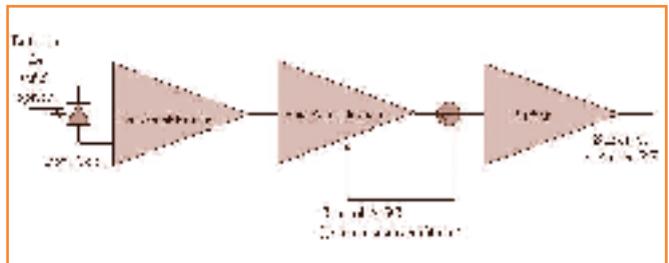
Si bien se usan láseres para transmitir en CATV y éstos tienen una respuesta bastante lineal de potencia versus corriente, no resultan del todo suficientes. Por esto, se debe intercalar un circuito que linealiza la respuesta del láser, entre el driver del láser y la señal de tensión.

En general, un LED tiene una respuesta más lineal que el láser; pero, como ya mencionamos, en aplicaciones de video en CATV (donde se necesita transmitir hasta cerca del gigahertz), su exclusión se debe a su limitación en el ancho de banda.

Para otras aplicaciones analógicas menos rigurosas puede ser utilizado.

## b. Receptores

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



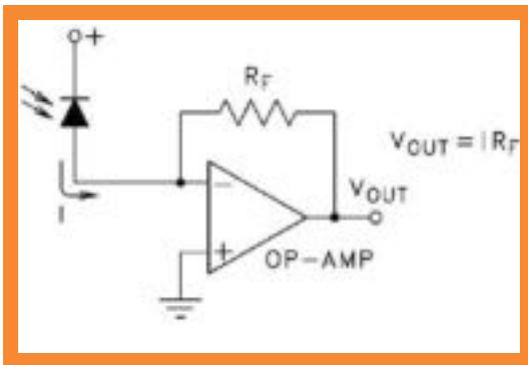
Su base es el fotodiodo, ya sea tipo PIN o APD.

En general, en aplicaciones analógicas como es el caso de CATV, suele emplearse el foto-diodo tipo PIN que es más barato y se concreta una circuitería electrónica más simple, ya que no es necesario disponer de una fuente de alimentación de alta tensión (aquí, alta tensión se refiere a una fuente que genere varias decenas de volts).

El APD se suele utilizar en aplicaciones digitales donde los niveles de señal que llegan son varios órdenes de magnitud menores en potencia óptica.

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 que 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.

La tensión a la salida del amplificador operacional " $V_{out}$ " es igual al producto entre la corriente " $I$ " generada por el fotodiodo (si despreciamos la de entrada del operacional) por la resistencia de realimentación " $R_f$ ".

En aplicaciones analógicas, por ejemplo la de CATV, se suelen utilizar receptores ópticos que emplean fotodiodos tipo PIN.

Esto es debido a que, en transmisiones de televisión analógica, la potencia de la señal óptica debe llegar a dicho receptor con un valor lo suficientemente elevado como para que el ruido no perjudique la imagen final que ve el abonado en su aparato de televisión.

Este nivel es de cerca del miliWatt (mW), el que es posible manejar con un fotodiodo tipo PIN, más barato que uno del tipo APD, al igual que el circuito electrónico asociado a él.

Otra justificación de emplear el diodo PIN es debido a su mejor adaptación a las etapas electrónicas siguientes.

En aplicaciones digitales, por el contrario, los niveles de señales que suelen recibirse son del orden de los microWatts ( $\mu W$ ), siendo necesario emplear fotodiodos del tipo APD que tienen una ganancia intrínseca de corriente de, al menos, 10 veces superior al tipo PIN.

Una consideración importante a tener en cuenta en el diseño de los receptores ópticos es el ruido y el ancho de banda que pueden manejar los fotodiodos.

Existe una situación de compromiso entre el área fotosensible del fotodiodo, la frecuencia máxima de trabajo y la eficiencia que puede obtenerse de él.

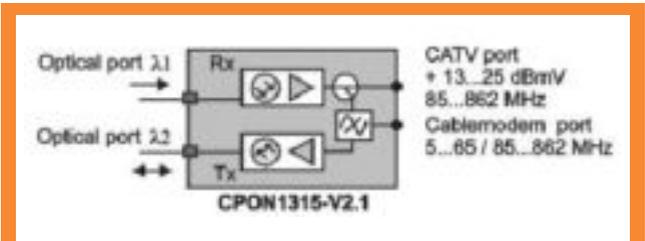
La responsividad es un parámetro que nos habla de la habilidad con que un fotodetector puede generar una señal eléctrica, cuando su área fotosensible es iluminada. Se mide, generalmente, en Ampere (unidad eléctrica) por Watt (unidad luminosa).

Típicamente, en diodos PIN tenemos una responsividad de unos  $0,9 \text{ A/W}$  ó  $0,9 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ .

Este parámetro depende del área fotosensible en forma directamente proporcional: Cuanto más grande es el área, mayor es la corriente generada para el mismo nivel de potencia de luz recibida.

La mejor solución tecnológica sería, entonces, ¿hacer un fotodiodo lo más grande posible a fin de obtener la mayor corriente? Esto es verdad; pero, el problema es que también hay una relación directa entre la capacidad eléctrica que se forma en el fotodiodo y su área, la que se traduce en una disminución del ancho de banda de la señal luminosa que puede seguir este dispositivo a medida que aumentemos su área.

Para tener una idea, el área empleada para poder seguir con señales de  $2,5 \text{ GHz}$  suele ser del orden del milímetro cuadrado. En aplicaciones donde se requiere alta sensibilidad y no importa la respuesta temporal, tenemos un área de poco menos de un centímetro cuadrado.



**Circuito empleado en la recepción de la señal óptica que se transmite desde la cabecera de la red de CATV**

Este dispositivo, denominado **nodo óptico** es el que se utiliza en el *downstream* -camino de señal que va de la cabecera hacia el abonado-. En este nodo se tiene el fotodetector tipo PIN, preamplificadores de señal y un amplificador de potencia de video denominado *bridger*, el que en general dispone de varias salidas para cable coaxial, a fin de ramificar la señal ya reconvertida.

De allí en más, la señal sigue empleando medio metálico, abasteciendo hasta varios cientos de abonados.



En algunos casos, también se dispone de un segundo enlace por el cual los abonados pueden enviar señales hacia la cabecera *-head-end-* (Esto se ve en la figura como dos puertos de fibra óptica).

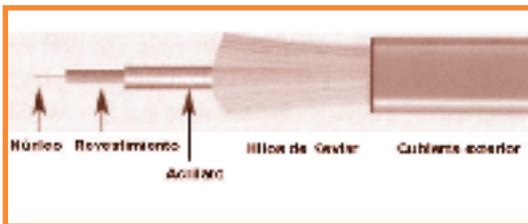
Generalmente, todos los equipos están protegidos dentro de carcazas especiales a prueba de golpes y estancas, que suelen montarse sobre los postes de distribución de cables.

### c. Medios de transmisión

El medio empleado para el transporte de las señales ópticas que contienen la información de video y/o datos, en caso de disponer del servicio de CATV, es la fibra óptica.

El tipo de fibra empleada es la monomodo. La 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 que podemos llegar con una determinada señal de video.



Como mencionamos en un apartado anterior, 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 de 100 MHz, a medida que la señal viaja por la fibra se llega a un punto donde ésta empieza a disminuir de amplitud hasta extinguirse.

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 de la fibra, ¿por qué no disminuimos a ambas?

La respuesta es porque hay un límite tecnológico y 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.

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

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.

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	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:

Tenemos, entonces:

- 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 interiores<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Los datos que incluimos son sólo indicativos, ya que existe una gran variedad de cables

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*.

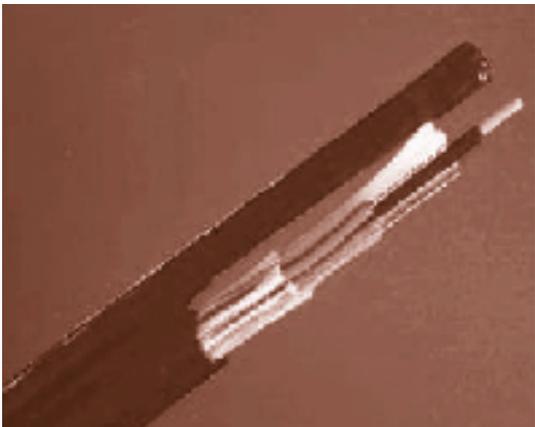
En general, el conductor de fibra se protege con una vaina exterior de material que puede ser PVC o polietileno.

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

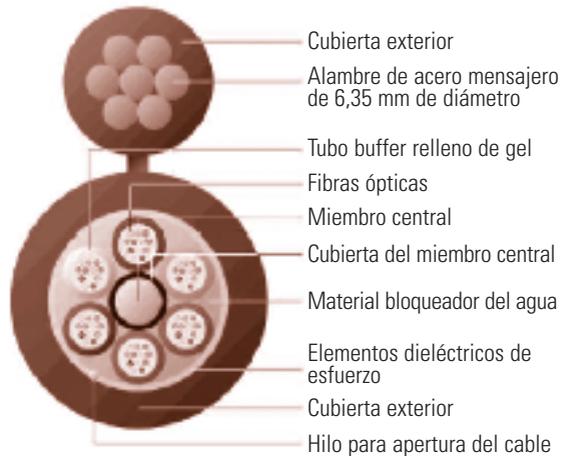


Este tipo de cable suele tener algún elemento autosoportante -es decir, que permite soste-

ner 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 a las fibras, y el otro al 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.



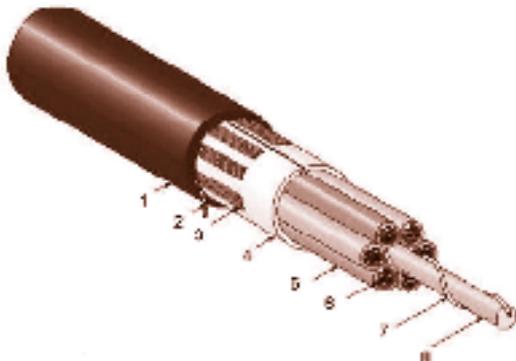
La construcción del cable debe ser tal que pueda soportar las diferencias de temperatura, tanto durante el día como en diferentes épocas del año. Este factor -entre otros- es importante ya que los coeficientes de dilatación del vidrio, PVC y otros materiales son muy diferentes y podrían generarse esfuerzos 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 lo 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; entonces, no hay posibilidad de que se induzcan cargas eléctricas por inducción, como ocurriría si se tratara de un cable metálico. Esto tiene como gran ventaja para las empresas de distribución de electricidad que pueden aprovechar las instalaciones de tendido de cables -que suelen cubrir grandes distancias- para enviar tráfico de voz, video y/o datos entre ciudades.

## Cables para instalación subterránea

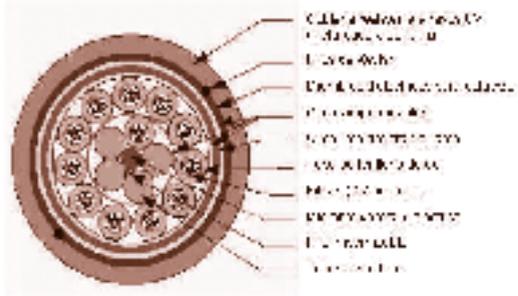


En este esquema vemos:

- 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 la figura se ilustra el corte transversal de un cable de fibra de 144 pelos; se muestran, dentro de la cubierta exterior, 12 tubos que contienen 12 pelos de fibra óptica cada uno.

## Cables para instalación submarina



En general, este tipo de cable tiene una protección contra el agua mayor que la de 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 extras, para protección 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; pero, 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.

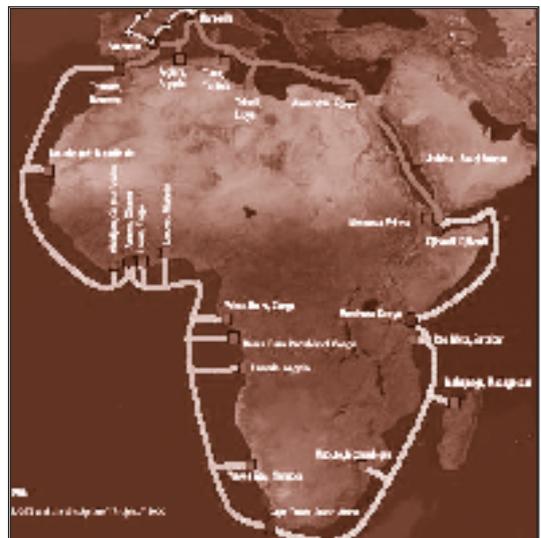
Para lograr la menor atenuación posible en dichas uniones, se emplean empalmadoras especiales denominadas "de fusión", ya que funden los extremos de los cables a unir, logrando una perfecta "fusión" del vidrio.

Luego de esto, se protegen los empalmes con mangos termocontraíbles especiales, y se alojan dichas uniones en cajas o bandejas a modo de protección.

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), interconectando un país con otro por la costa o cruzando el océano. Como las distancias suelen ser largas, se intercalan amplificadores de señal entre cables.

Como estos amplificadores necesitan de energía eléctrica para alimentarse, 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 necesitaría es suplido por la misma agua del mar, la 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", a través del cual todo el continente africano es rodeado por un anillo de fibra óptica 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.

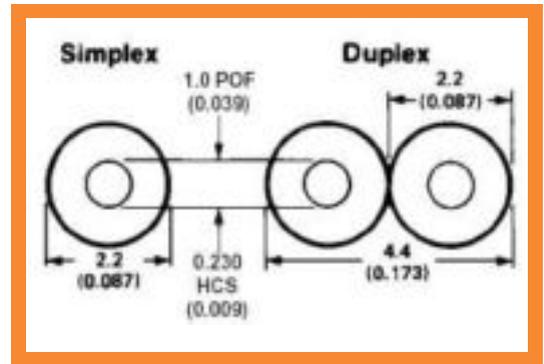
En nuestro país, tenemos cable de fibra óptica submarina en el tramo de interconexión de la red de telefonía SDH entre la ciudad de Las Toninas (provincia de Buenos Aires) y Porto Alegre, Brasil.

Consideremos, ahora, **los cables de fibra óptica plástica**<sup>3</sup>. 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  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$  -generalmente, 200  $\mu\text{m}$ -.

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, indican milímetros.

La POF o fibra PMMA -Poli Metil-Meta Acrilato- es totalmente plástica -tanto en su núcleo como en su cubierta-. Suele tener un diámetro de núcleo entre 350  $\mu\text{m}$  y 1000  $\mu\text{m}$  -en general, 900  $\mu\text{m}$ -.

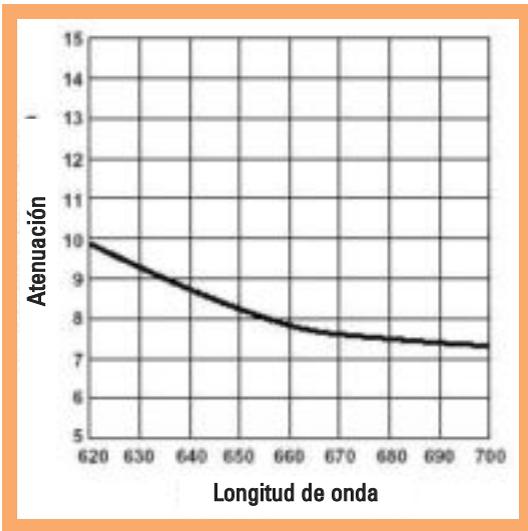
Un primer análisis de estos datos nos dice que, en ambos casos, la fibra óptica funciona como una multimodo.

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 mostramos una curva de comparación respecto a la atenuación en función de la longitud de onda de trabajo

<sup>3</sup> 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.

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

La segunda (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 aquella que tiene perfil de índice de refracción constante. Esto se traduce, en definitiva, en un mayor ancho de banda.

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.

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

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

Se ha creado, en principio, una norma muy difundida, la IEEE 1394 -*Institute of 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:

Ancho de banda máximo			
Especificaciones	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 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.

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

## Conectores

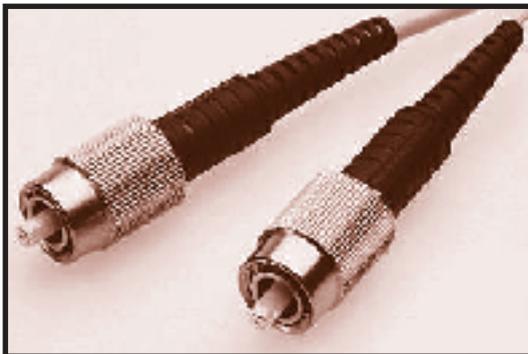
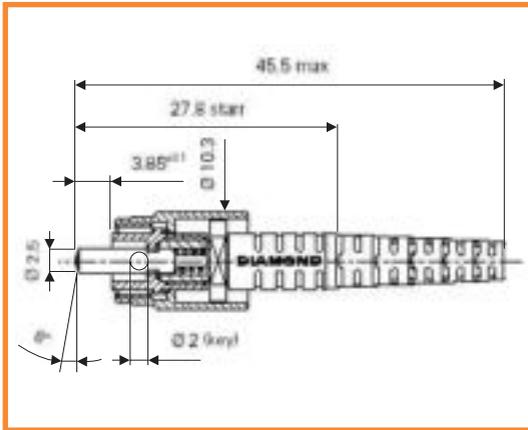
Los conectores juegan un papel importante a la hora de permitir la interconexión entre cables de fibra óptica y diversos aparatos, como un transmisor o un receptor óptico.

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

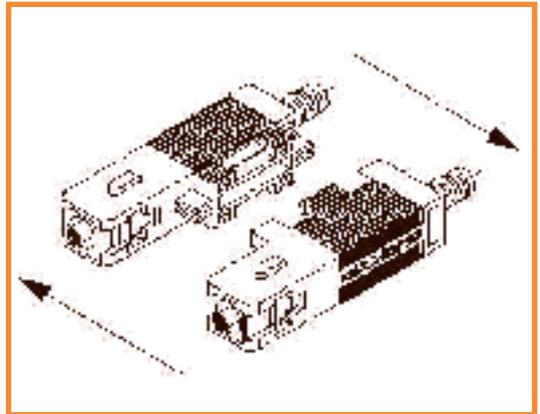
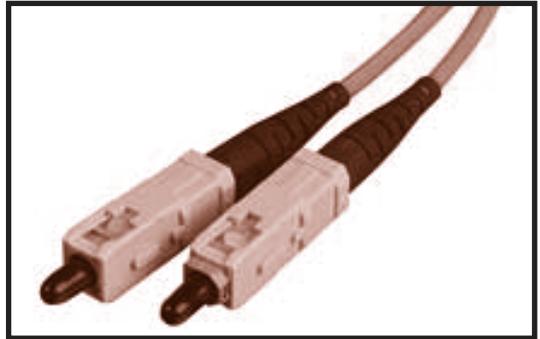
Dentro de un enlace, suelen ser los componentes que más pérdidas introducen, por lo que es aconsejable tener mucha precaución al manejarlos, ya sea para evitar que se rompan las puntas o que se ensucien. En general, al realizar las interconexiones empleando conectores, se deben realizar operaciones de 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. 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 que 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.



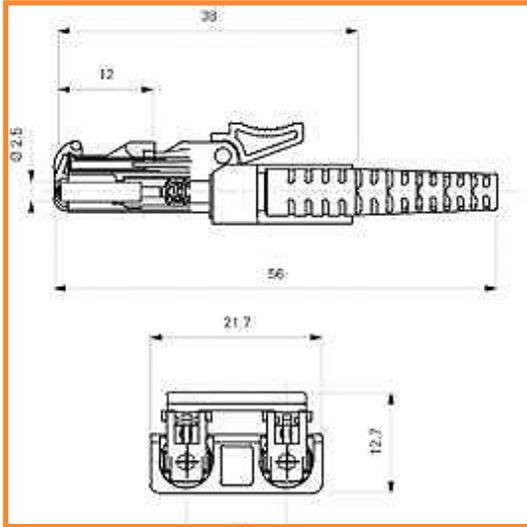
**Conector SC.** Es muy utilizado en redes de televisión por cable. Tiene una ventaja sobre el anterior: No es necesario realizar operación alguna de giro (no existe rosca). El método de conexión se denomina *push-pull*, ya que sólo hay que enchufarlo en la dirección correcta y se enclava en el terminal homólogo. En el siguiente esquema vemos dos conectores de este tipo, los que se pueden acoplar a fin de tener una conexión doble.



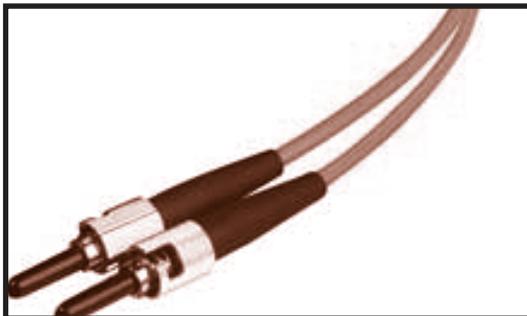
**Conector Europa 2000.** Este conector, similar al SC, tiene la ventaja de disponer una tapa en su extremo, lo que lo hace intrínsecamente seguro; es decir, no hay posibilidad de que una persona, descuidadamente, mire por el extremo y reciba luz, ya que la tapa

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. Es similar en su forma de conexión al de un conector BNC eléctrico (del tipo a bayoneta). Para enchufarlo, debe introducirse en el terminal correspondiente y girarse hasta que haga 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 que permite utilizar, en parte, los mismos bastidores que ya se hacían para cables eléctricos.



## 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 Ptx. 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. 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  $\alpha$  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, menor son las

pérdidas. Ésa es una de las razones por la cual se prefiere trabajar en 1550 nm más que en 1310 nm.

En el enlace, existen otros elementos 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 el 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

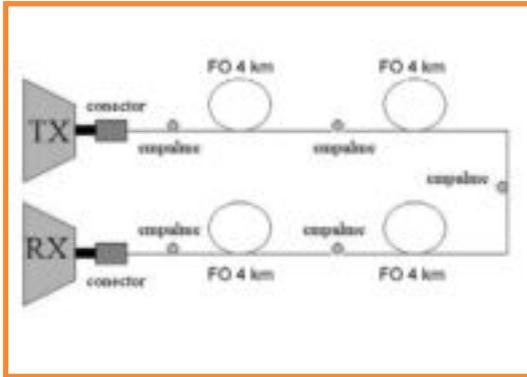
A la hora de calcular cuánto se pierde en el trayecto, todos los elementos que estén conectados entre el transmisor y el receptor deben ser considerados, Así, la pérdida total que se obtiene desde un extremo al otro del enlace es:

$$\text{Pérdida desde Tx a Rx (dB)} =$$

$$P_{Tx} + \alpha(\text{dB/km}) \times L(\text{km}) + \sum(P_{\text{empalmes}}) + P_{Rx}$$

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, como lo muestra la figura siguiente, tenemos:



La pérdida por la fibra son 4 rollos x 4 km x  $\alpha$

Es decir, 16 (km) x 0,2 (dB/km) = 3,2 dB.

Por otro lado, consideremos 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 x 0,01 dB = 0,05 dB.

Faltaría considerar las pérdidas en los contactos del transmisor y receptor al enchufar los conectores mencionados.

Es decir, 2 x 0,3 dB.

Sumando todo, tenemos: 3,2 dB + 0,05 dB + 0,6 dB = 3,85 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 pérdidas-, 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 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<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Si usted desea ampliar estos conceptos, le recomendamos leer:

- Jardón Aguilar, Hildeberto; Linares y Miranda, Roberto. 1995. *Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas*. Alfaomega. Bogotá.
- Hecht, Eugene. 2000. *Óptica*. Addison Wesley. México.

- Killen, Harold. 1991. *Fiber Optic Communications*. Prentice-Hall. New York.

- Sanz, José Martín. 1996. *Comunicaciones ópticas*. Paraninfo. Madrid.

- Senior, John. 1992. *Optical Fiber Communications: principles and practice*. Prentice Hall. New York

# 3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

## Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

### El producto

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

Cada uno de estos bloques está formado por tres módulos:

- Fuente de alimentación y circuitos de audio de entrada y salida.
- Transmisor analógico de fibra óptica.
- Receptor analógico de fibra óptica.

El equipo permite dos modalidades de trabajo:

1. Realizar la comunicación vocal por fibra óptica entre dos puestos de trabajo.

2. Realizar una transmisión analógica estéreo entre una fuente de audio - *discman, walkman* o radio AM/FM-.

### Los componentes

El equipo intercomunicador se compone de:

**Emisor de luz.** Se usa del tipo LED-*Light Emitter Diode*; diodo emisor de luz- que emite en la zona del rojo visible (aproximadamente, en 670 nm de longitud de onda

de emisión en el espectro visible). Dado que hay varios modelos, se ha seleccionado el LED de alta eficiencia que tiene como ventaja, con respecto al LED de uso común que, para la misma corriente de excitación, produce mayor intensidad de luz, con lo cual se logra mayor distancia en un enlace de fibra óptica, inclusive, empleando como medio el aire (es el caso de los controles remotos de televisores, por ejemplo).

**Detector de luz.** Este dispositivo contiene un fototransistor de silicio tipo NPN, el cual convierte la luz en cargas eléctricas y, posteriormente, amplifica la corriente generada.

**Medio conductor de luz.** Fibra óptica multimodo de polímero de 900 micrones de diámetro de núcleo.

**Electrónica asociada al emisor.**

Amplificadores operacionales para proveer las ganancias y ajustes necesarios para trabajar con diferentes fuentes de señal.

**Electrónica asociada con el detector.**

Amplificador operacional de entrada para proveer una preamplificación de la señal proveniente del fototransistor. Amplificador de audio de baja potencia para excitar directamente a un parlante.

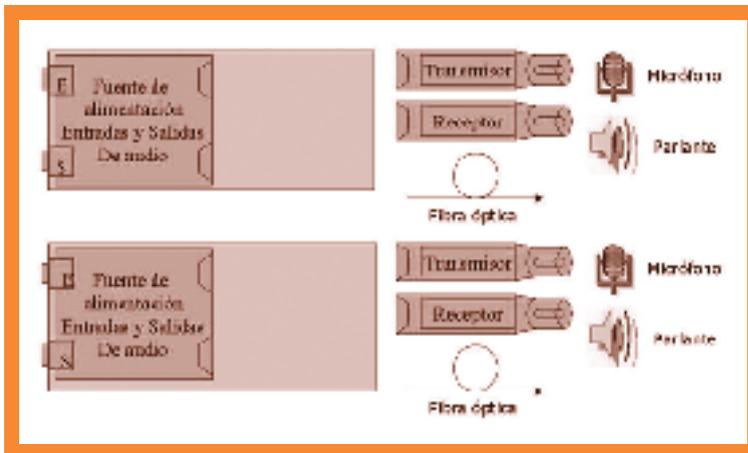
**Transductores.** Micrófonos y parlantes para posibilitar la comunicación vocal y de audio en general.

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

- LM386 en Fairchild® [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)
- LM324 en Fairchild® [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)
- LM358 en Fairchild® [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)
- PT202C en Everlight Electronics co®. [www.everlight.com](http://www.everlight.com)
- LED alta eficiencia en Vishay® [www.vishay.com](http://www.vishay.com)
- LM7805T en Fairchild® [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)
- Fotodetectores, LED y display para uso general en Vishay® [www.vishay.com](http://www.vishay.com)

Si tiene problemas para ubicarlas, puede solicitárnoslas a:  
[materialescenet@inet.edu.ar](mailto:materialescenet@inet.edu.ar)

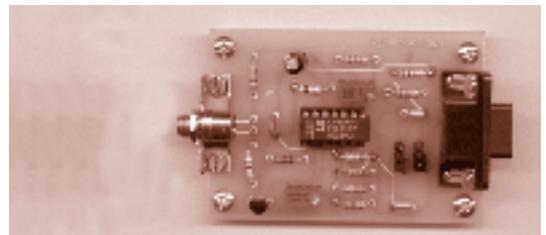
En el siguiente diagrama en bloques se pueden observar los componentes electrónicos y optoelectrónicos que intervienen en las diferentes modalidades:



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

## Placa transmisora

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, resultan emisores o receptores de fibra óptica:



- Para la **modalidad 1**, cada bloque (llamémoslos bloques 1 y 2) dispone de un emisor y de un receptor de fibra. Para este caso, la comunicación se puede realizar en forma bidireccional: Los equipos de audio conectados a cada uno de los bloques funcionales pueden recibir y transmitir señales, simultáneamente.
- Para la **modalidad 2**, un bloque va a contener los dos emisores y el otro los dos receptores de fibra óptica. 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. Un ejemplo de aplicación inmediata es la transmisión de audio estéreo desde una fuente -un discman, por ejemplo- conectada al bloque 1, a dos parlantes conectados al bloque 2

Está formada, básicamente, por:

- un emisor de luz tipo LED de alta eficiencia de 3 mm,
- un circuito integrado (LM324) que es un amplificador operacional cuádruple que se puede alimentar con fuente de alimentación simple -en este caso, con +5 V-; se lo utiliza aquí para cumplir las funciones de preamplificador, en caso de emplear micrófono tipo *electret*, y como amplificador y convertidor tensión-corriente junto con el transistor NPN 2N3904.

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

Según el fabricante y el modelo, puede emitir con una potencia óptica de unos -20 dBm, con una corriente de excitación de 20 mA.

El conector DB9 hembra J1 se conecta al conector DB9 macho que corresponda, según la modalidad en la que se trabaje.

Para el caso en que la fuente de audio sea un micrófono capacitivo tipo *electret*, se emplea esta etapa a fin de que la señal tenga suficiente amplitud para que pueda ser manejado por el LED en la segunda etapa.

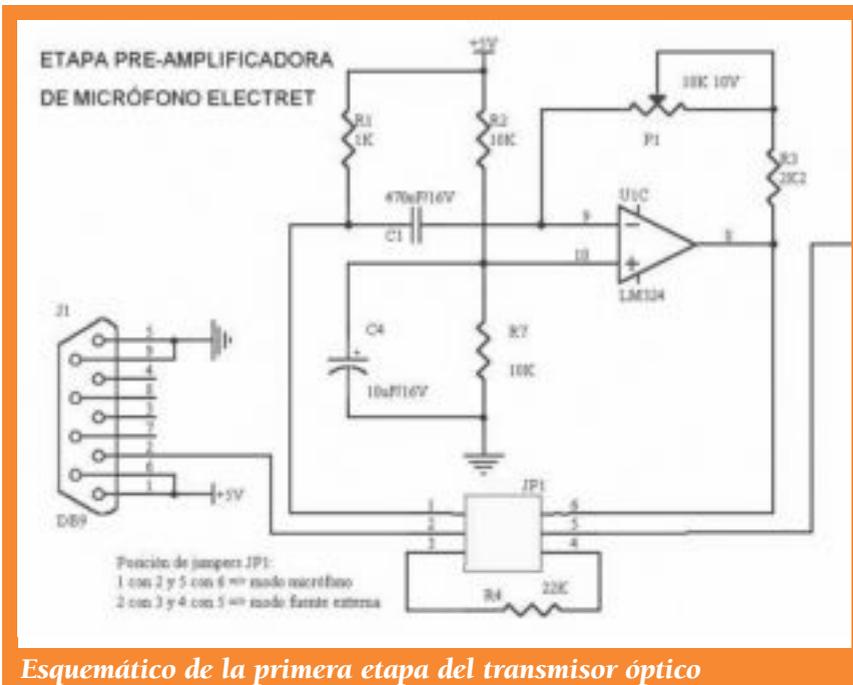
El jumper JP1 selecciona si la entrada de señal proveniente de la placa principal pasa por el preamplificador o va directamente a la etapa amplificadora siguiente.

La señal que entra desde la placa principal, llega al jumper JP1.

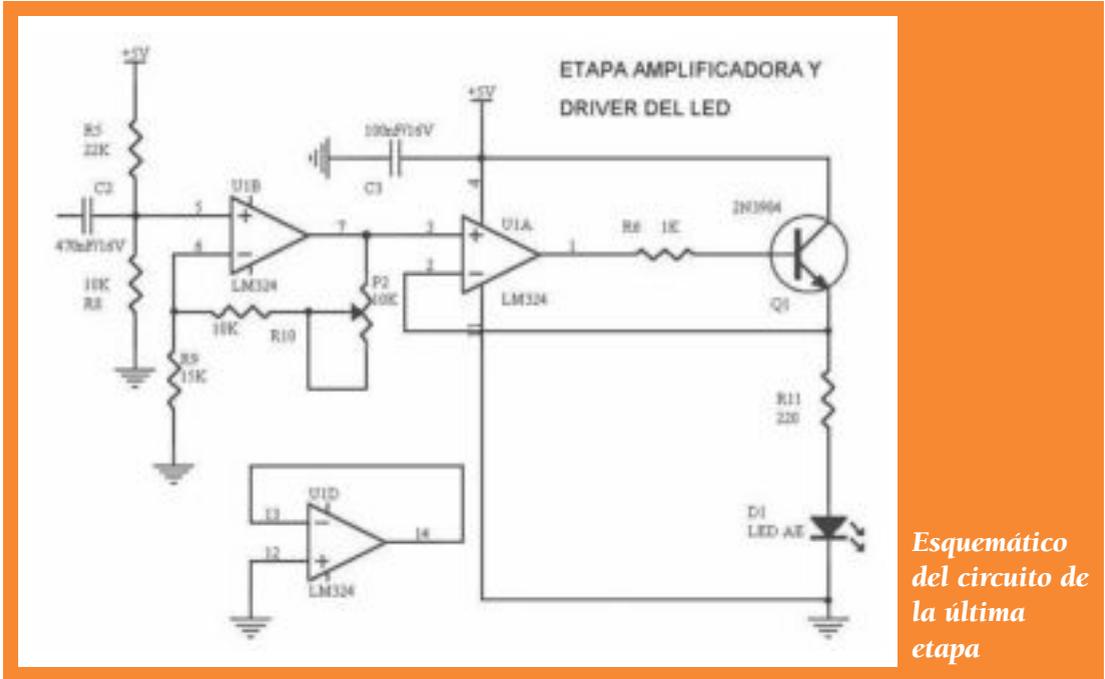
Si se usa el micrófono, la señal debe pasar por el preamplificador; si no, el jumper JP1 conecta en serie, con la entrada de audio, una resistencia de 22 kΩ.

La corriente continua de la señal proveniente de la etapa anterior se elimina con el capacitor C2.

El amplificador U1B da una ganancia adicional.



Esquemático de la primera etapa del transmisor óptico

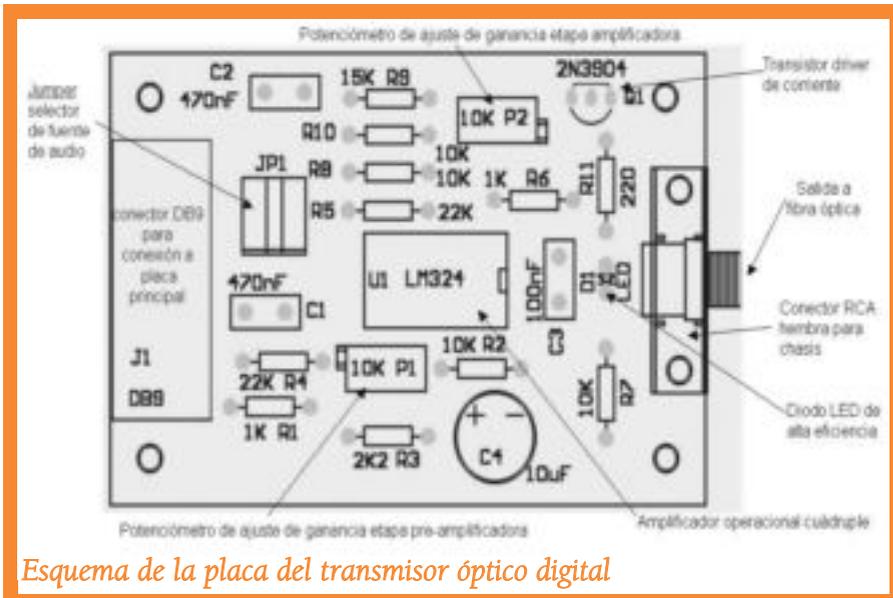


*Esquemático del circuito de la última etapa*

Por último, el conjunto amplificador U1A y el transistor Q1 forman un convertidor tensión-corriente que tiene como fin el de linealizar la curva de transferencia del diodo LED y darle la

corriente necesaria para que éste funcione.

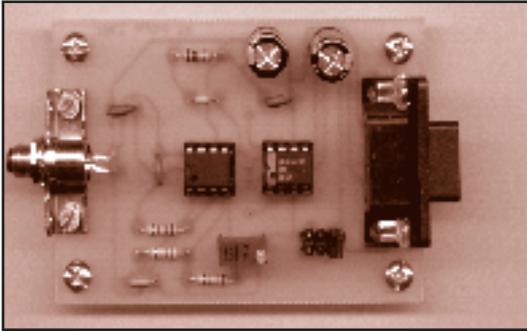
La resistencia R11 es la que limita la corriente máxima del LED.



*Esquema de la placa del transmisor óptico digital*

En caso de requerirse mayor señal óptica, se puede bajar su valor hasta alcanzar la máxima dada por el fabricante. El tercer operacional no se utiliza; por esto, se lo anula a fin de que no consuma corriente innecesariamente ni que pueda generar una oscilación en el circuito.

## Placa receptora



Este receptor óptico se puede dividir en dos etapas:

- Etapa de detección con preamplificación de señal.
- Etapa amplificadora de audio.

En la **primera etapa**, la detección se realiza con el fotodetector PT202C, denominado Q1. Este dispositivo consta de un fototransistor tipo PIN de silicio, el que está preparado para trabajar en la zona del espectro visible e infrarrojo cercano.

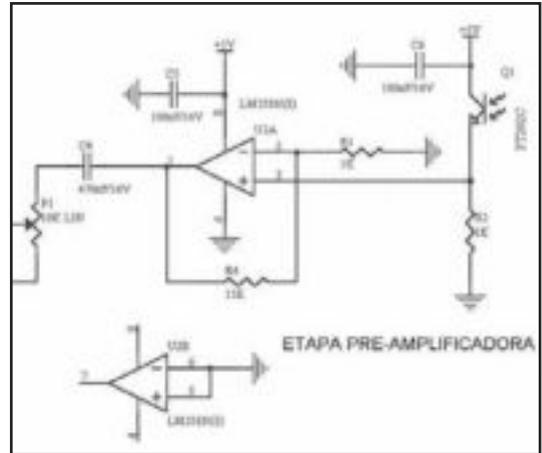
Dado que este fototransistor genera una corriente proporcional a la potencia óptica recibida, para convertirla en una tensión se emplea una resistencia (R2 de 1 k $\Omega$ ).

Se realiza, luego, una preamplificación de la señal que es de unos pocos miliVolts.

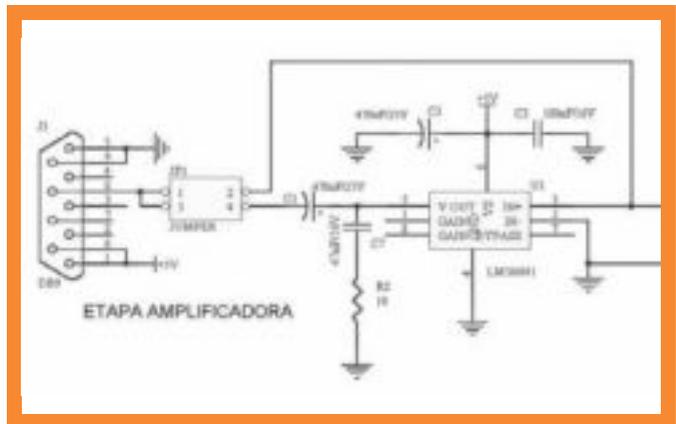
Con uno de los dos amplificadores operacionales del LM358, se puede tener una ganancia lo suficiente elevada como para poder excitar, por ejemplo, a un dispositivo externo como son los parlantes potenciados

(con amplificación de tensión incorporada).

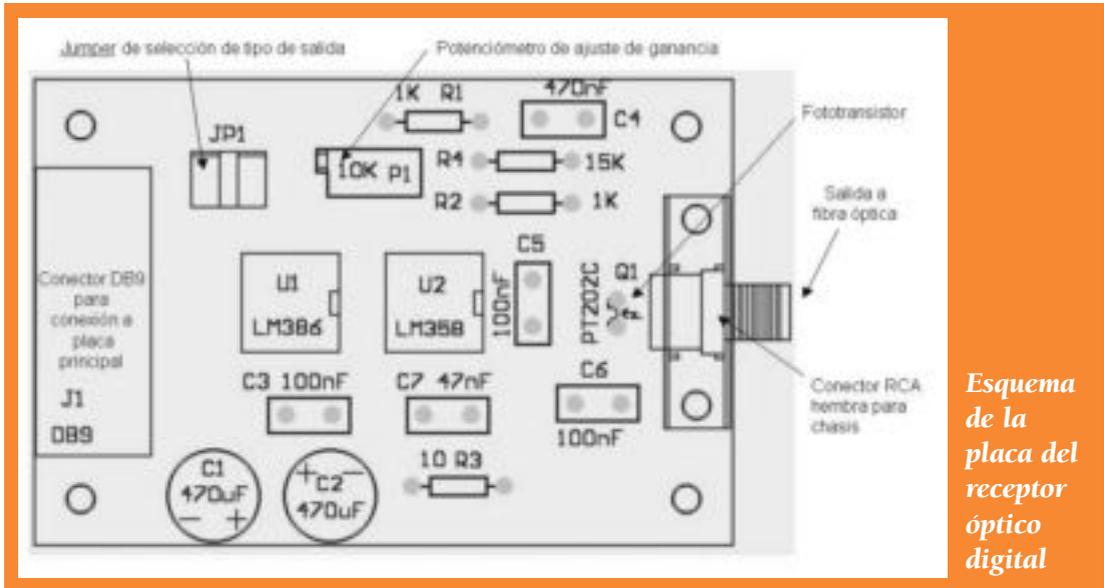
La señal que se inyecta a la siguiente etapa puede ser modificada a través del potenciómetro P1.



La **segunda etapa** está basada en un amplificador de audio de potencia, el LM386, que tiene suficiente potencia para excitar un parlante de 500 mW.



Dado que la salida puede ser diferente si se quiere excitar a un dispositivo que tenga amplificador o no, el jumper JP1 cumple la función de seleccionar si la salida pasa o no por el amplificador LM386.



Si se requiere de potencia para excitar a parlantes, entonces se debe integrar el puente entre los contactos 3 y 4.

Si no se requiere amplificación extra, entonces el puente debe ponerse entre los contactos 1 y 2.

## Placa fuente, e interfaces de entrada y de salida

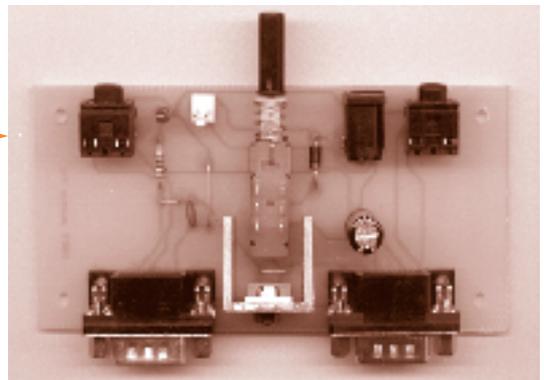
Tanto la fuente de alimentación para los módulos transmisor y receptor de fibra óptica como los demás componentes del *kit* que sirven como interfaz a dispositivos externos, se encuentran alojados en una placa de circuito impreso, denominada "placa principal".

A continuación, describimos las diferentes partes que componen esta placa:

- circuito fuente de alimentación,
- circuito para entradas y salidas de audio.

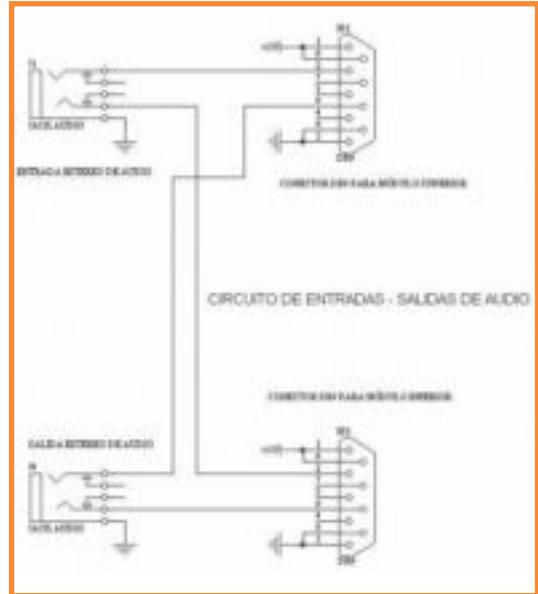
En el **circuito fuente de alimentación**, la alimentación base proviene de una fuente no regulada de 220 VAC (corriente alterna) a 12 VDC (corriente continua) la que, comercialmente, viene encapsulada en una caja con bornera tipo ficha macho de 220 VAC y una terminación para baja tensión con un plug 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, se introduce en el diseño una fuente de tensión regulada de 5 V, denominada U2 con una capacidad de corriente que excede el amper -lo que resulta más que suficiente para el consumo previsto-.

Es posible alimentar cada placa con una batería de 9 VDC. La ventaja es que permite emplear el kit sin necesidad de alimentación de 220 V; pero, tiene la desventaja de que, en el circuito del transmisor, emite constantemente, consumiendo varias decenas de miliAmperes de corriente. Esto disminuye el tiempo de vida de la batería, la cual tiene un costo elevado -en comparación con la opción de tomar energía de la red eléctrica domiciliaria-.

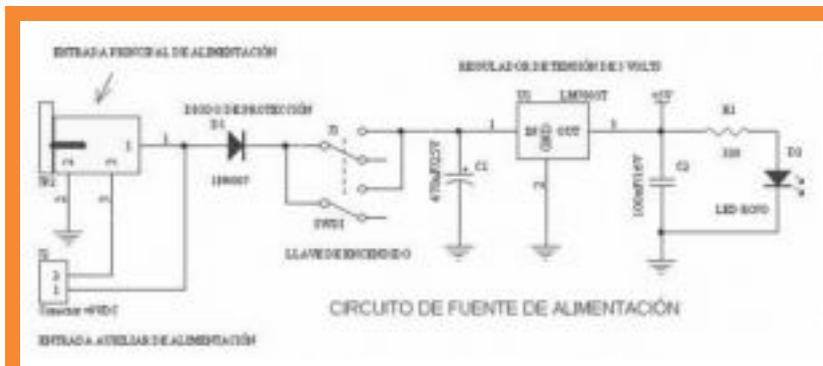


*Esquemático del circuito*

Para que el *kit* pueda trabajar con dos modalidades diferentes, cada canal de entrada de audio se envía a un conector DB9 distinto. Lo mismo sucede con los dos canales de la salida.

En cada modalidad hay dos bloques funcionales. Cada bloque está constituido por una placa principal y dos módulos ópticos.

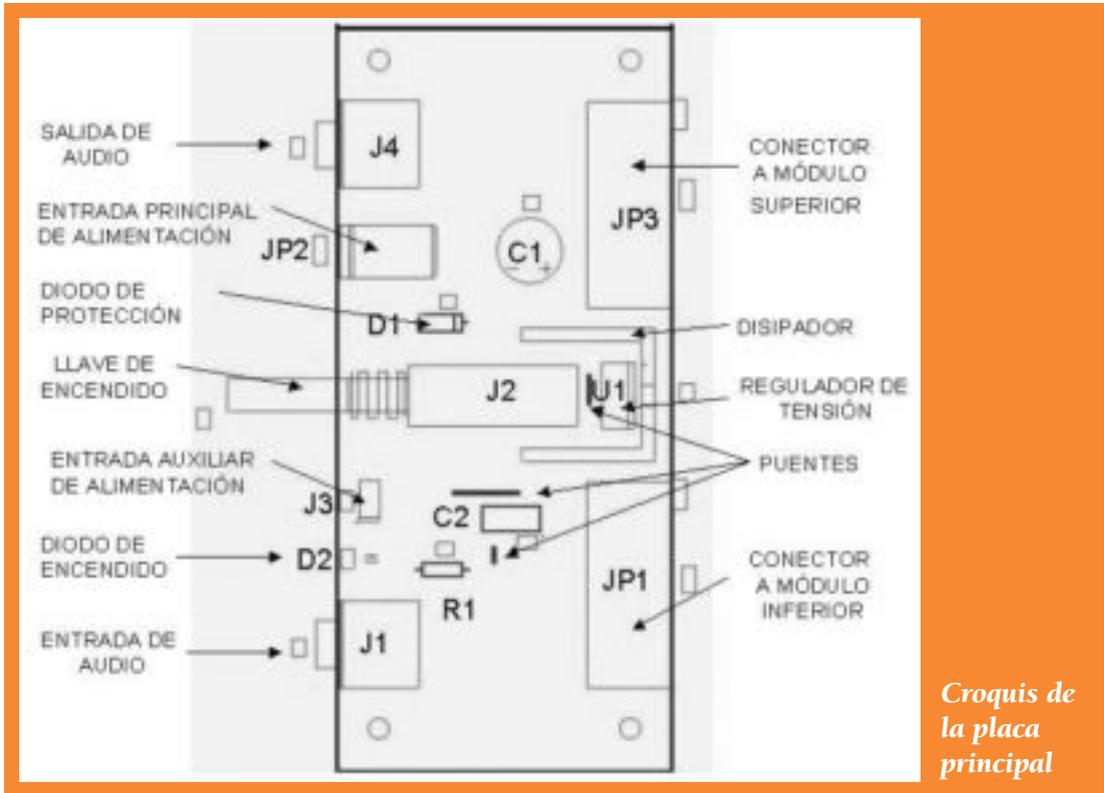
Si se desea armar el intercomunicador, en cada módulo se debe conectar un transmisor y un receptor óptico, a fin de lograr una comunicación bidireccional simultánea.



*Esquemático de la fuente*

Consideremos, en segundo término, el **cir-cuito de entradas y salidas de audio**. Las entradas de audio ingresan por el jack estéreo J4; las salidas de audio lo hacen por el conector J1 que también es un jack estéreo.

Las señales desde estos conectores se derivan hacia los diferentes módulos, gracias a los conectores DB9, JP1 y JP3.



*Croquis de la placa principal*

Si, por el contrario, se desea configurarlo como un transmisor estéreo, entonces uno de los bloques (el que genera la transmisión) debe contener los dos módulos transmisores ópticos y el otro bloque (el que recibe la señal óptica) debe contener los dos módulos ópticos receptores.

Para lograr todo esto, cada módulo tiene un pin asociado al conector DB9.

Por ejemplo: Ambos módulos transmisores ópticos tienen sus entradas conectadas al pin 2 del DB9 correspondiente, mientras que ambos módulos receptores tienen conectadas sus salidas al pin 8 del conector DB9 propio.

Reseñemos, entonces, los componentes para el **intercomunicador por fibra óptica**.

### Componentes de la placa principal:

- C1: Capacitor polarizado electrolítico de 470  $\mu$ F/25 V.
- C2: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- D1: Diodo rectificador tipo 1N4007.
- D2: Diodo tipo led de 5 mm color rojo.
- J1: Conector tipo Jack de audio estéreo de 3,5 mm para circuito impreso.
- J2: Tira de pines de 2 x 1
- J3: Llave tipo Bisal, doble inversora para circuito impreso.
- J4: Conector tipo Jack de audio estéreo de 3,5 mm para circuito impreso.
- JP1: Conector tipo DB9 macho para circuito impreso a 90 grados.
- JP2: Conector tipo Jack para circuito impreso de 3,5 mm para entrada de alimentación.

- JP3: Conector tipo DB9 macho para circuito impreso a 90 grados.
- R1: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 330 ohms.
- U1: Regulador de tensión de 5 V 1,5 A tipo LM7805T, montaje TO220.

### Componentes de placa transmisora:

- C1: Capacitor cerámico de 470 nF/16 V.
- C2: Capacitor cerámico de 470 nF/16 V.
- C3: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- C4: Capacitor polarizado electrolítico de 10  $\mu$ F/16 V.
- D1: Diodo led de alta eficiencia de 3 mm color rojo.
- J1: Conector tipo DB9 hembra a 90 grados para circuito impreso.
- JP1: Tira de pines doble de 3 x 2 líneas.
- P1: Potenciómetro multivuelgas tipo Trimpot de 10 k $\Omega$  lineal montaje vertical.
- P2: Potenciómetro multivuelgas tipo Trimpot de 10 k $\Omega$  lineal montaje vertical.
- Q1: Transistor tipo NPN tipo 2N3904
- R1: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 1 k $\Omega$ .
- R2: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 10 k $\Omega$ .
- R3: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 2K2.
- R4: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 22 k $\Omega$ .
- R5: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 22 k $\Omega$ .
- R6: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 1 k $\Omega$ .
- R7: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 10 k $\Omega$ .
- R8: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 10 k $\Omega$ .
- R9: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 15 k $\Omega$ .
- R10: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 10 k $\Omega$ .
- R11: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 220 ohms.
- U1: Circuito integrado tipo LM324, montaje 14DIP

### Componentes de placa receptora óptica:

- C1: Capacitor cerámico de 470  $\mu$ F/25 V.
- C2: Capacitor cerámico de 470  $\mu$ F/25 V.
- C3: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- C4: Capacitor cerámico de 470 nF/16 V.
- C5: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.

- C6: Capacitor cerámico de 100 nF/16 V.
- C7: Capacitor cerámico de 47 nF/16 V.
- J1: Conector tipo DB9 hembra a 90 grados para circuito impreso.
- JP1: Tira de pines de doble línea 2 x 2 líneas.
- P1: Potenciómetro multivuelgas tipo Trimpot de 10 k $\Omega$  lineal montaje vertical.
- Q1: Fototransistor tipo PT202C.
- R1: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 1 k $\Omega$ .
- R2: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 1 k $\Omega$ .
- R3: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 10 ohms.
- R4: Resistencia de  $\frac{1}{4}$  watts de 15 k $\Omega$ .
- U1: Circuito integrado amplificador de audio de potencia tipo LM386N1, montaje 8DIP.
- U2: Circuito integrado amplificador operacional tipo LM358N, montaje 8DIP.

### Componentes externos a las placas:

- > 8 metros de cable de fibra óptica plástica de 900  $\mu$ m de diámetro de núcleo.
- > 4 conectores para fibra óptica plástica tipo agilent HFBR-4503 o HFBR-4513.
- > 2 bases de acrílico en forma de "L" de 130 mm de ancho x 150 mm de largo x 35 mm de alto y de 2 mm de espesor.
- > 2 micrófonos capacitivo tipo electret.
- > 2 parlantes o auricular de 8 ohms de, al menos, 250 mW de potencia.
- > 2 tubos de teléfono o caja para instalar micrófono y auricular.
- > 4 conectores tipo plug de 3,5 mm para audio.
- > 4 metros de cable blindado de dos vivos, para audio.
- > 2 fuentes de alimentación de 220VAC/12VDC de, al menos 200 mA, con vivo en el pin interno y masa en la carcasa.
- > 2 cajas pequeñas para interconectar cada teléfono a un bloque del *kit*.
- > 4 conectores tipo jack estéreo para chasis para instalar en cada caja adaptadora.
- > 24 separadores para montaje entre las placas y cada base de acrílico.

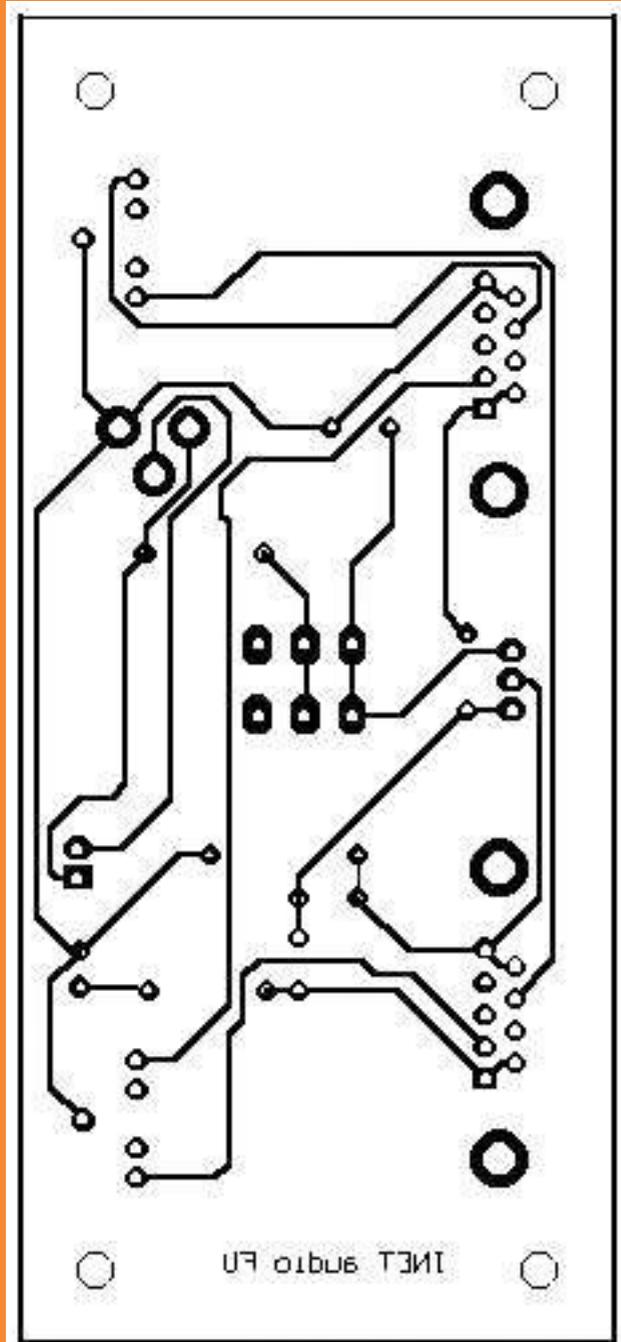
Placas:

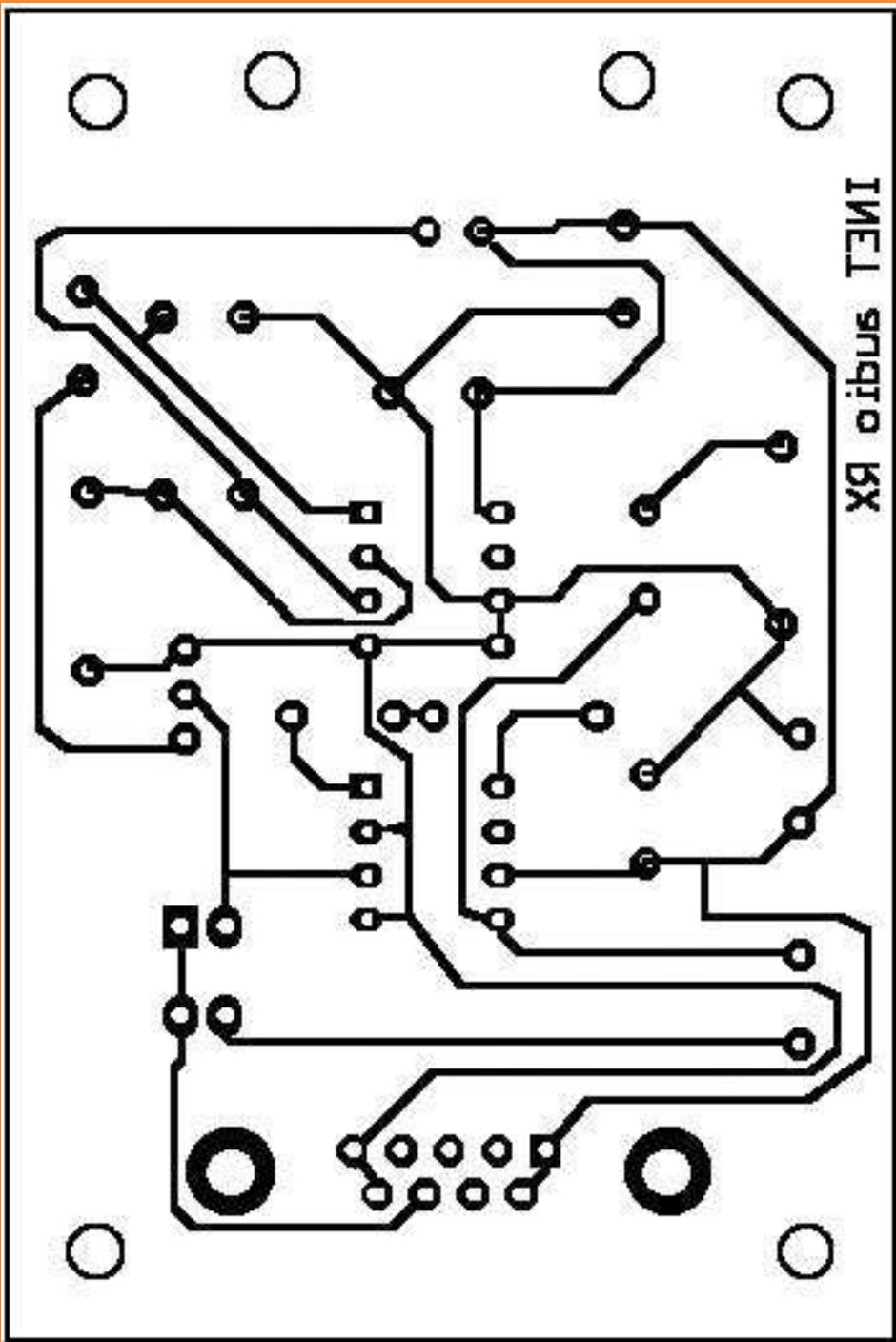
Placa principal:  
50,8 mm x 114,3 mm.

Placa transmisora:  
76,2 mm x 50,8 mm.

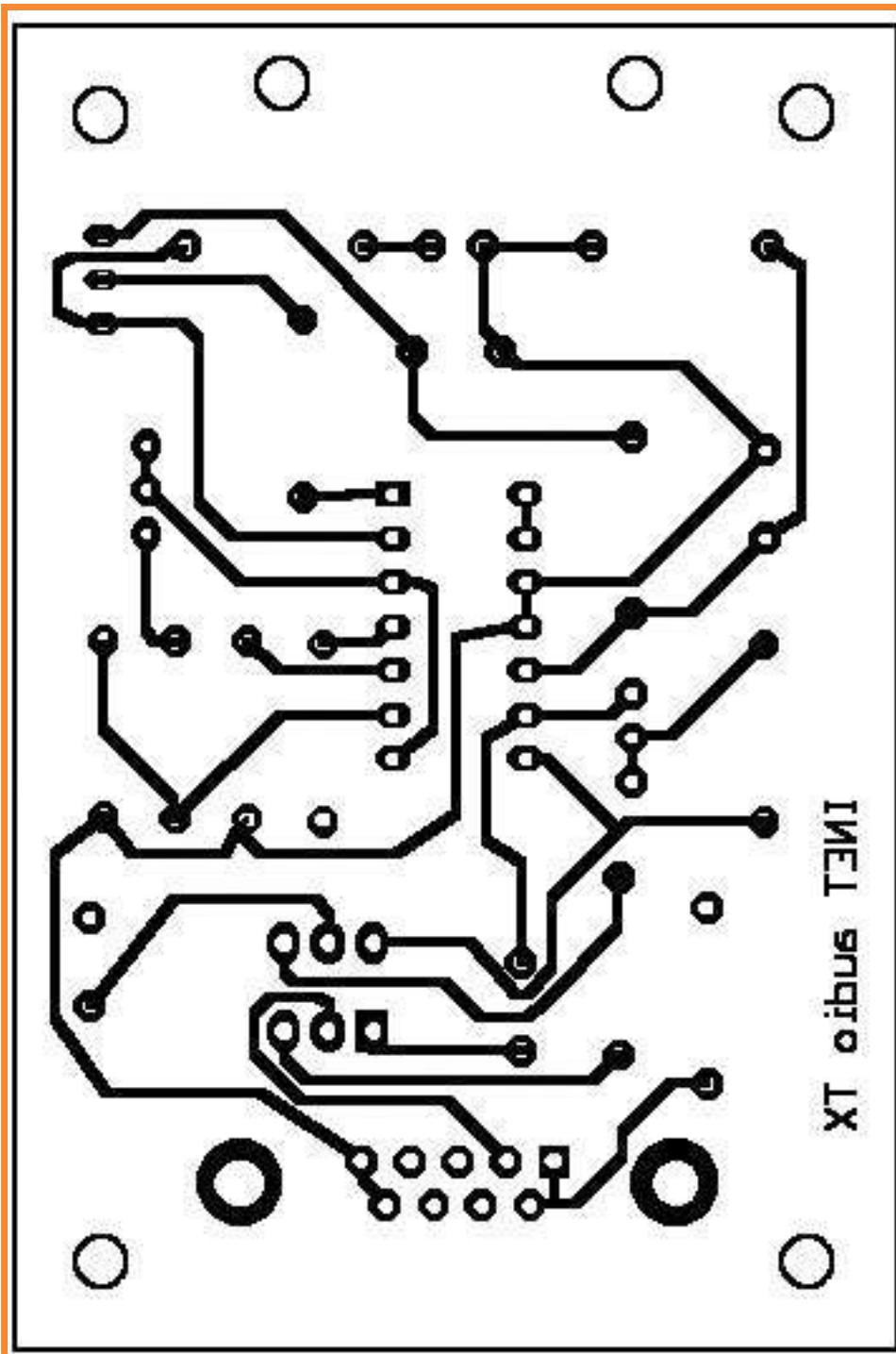
Placa receptora:  
76,2 mm x 50,8 mm.

*Placa  
principal;  
lado  
soldadura*

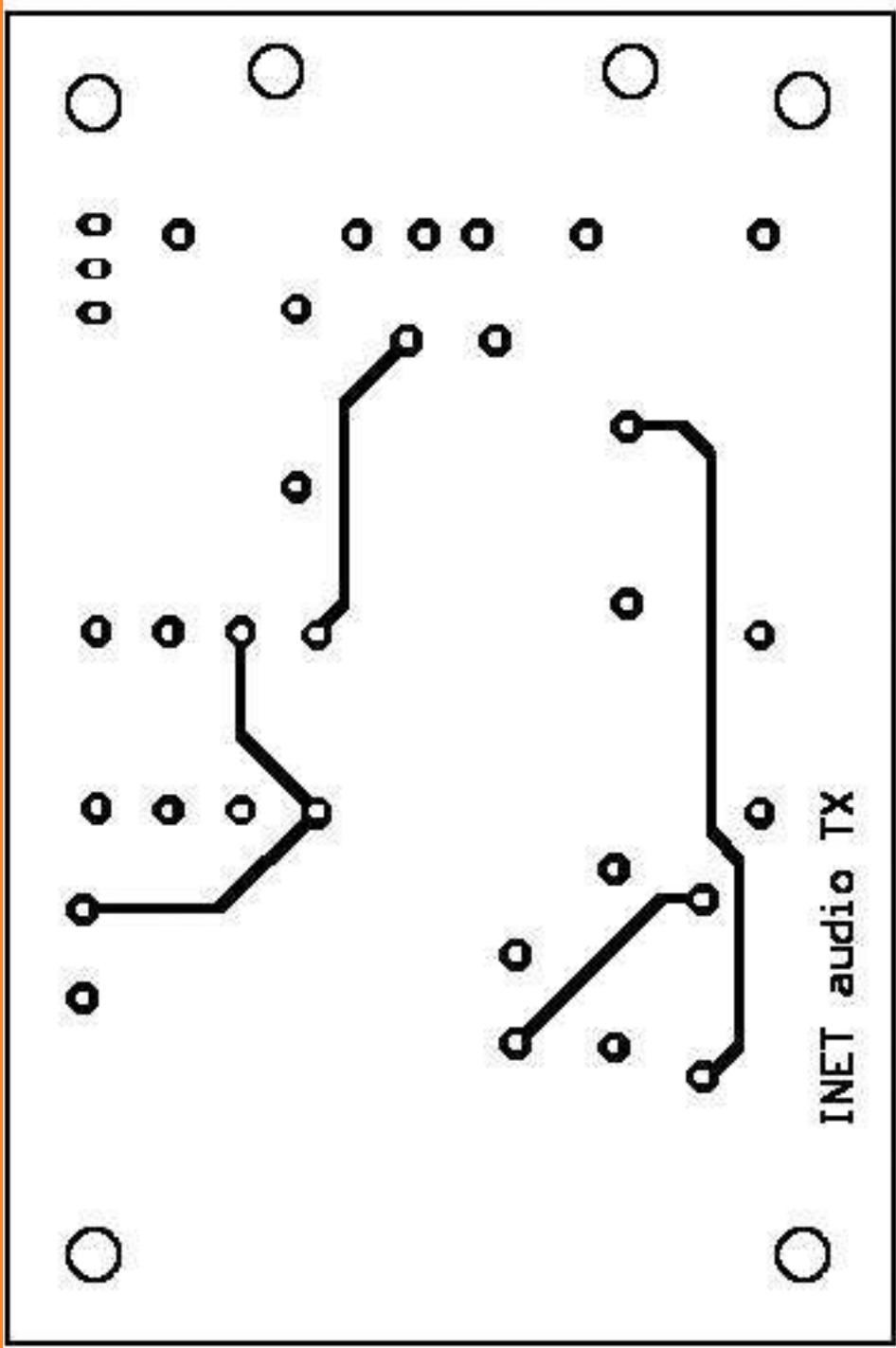




Placa receptora; lado soldadura



Placa  
transmisora; lado  
soldadura



*Placa transmisora; lado componentes*

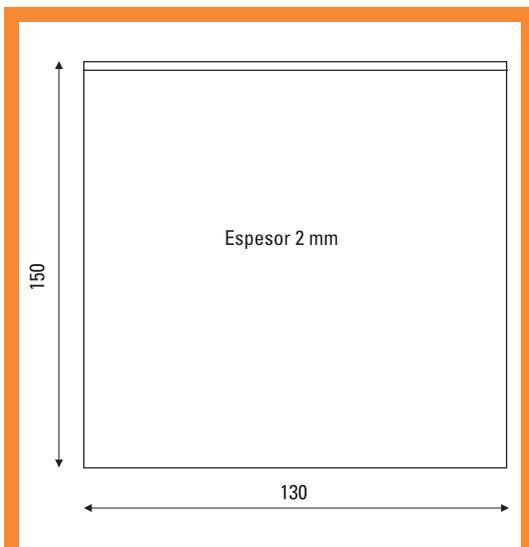
Base de acrílico:

Ancho: 130 mm.

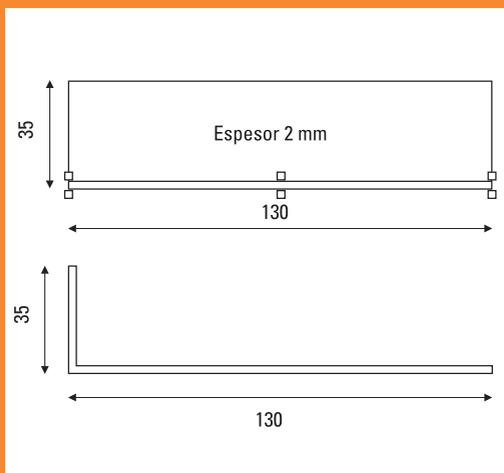
Largo: 150 mm.

Alto: 35 mm.

Espesor: 2 mm.



Vista superior  
de la base



Vistas lateral y  
de frente de la base

## El armado

Vamos a organizar las tareas de armado en seis etapas:

1. Conexión del cable eléctrico para la comunicación entre el equipo y los dispositivos externos de audio
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.
6. Adaptación de tubo de teléfono para su uso en el intercomunicador

### 1. Conexión del cable eléctrico para la comunicación entre el equipo y los dispositivos externos de audio

El equipo dispone de una entrada y de una salida de audio, ambas estéreo.

Esto permite entrar a cualquiera de los bloques funcionales con un *plug* estéreo común de 3,5 mm.

De igual forma, la salida puede conectarse a parlantes de 8 ohms, ya sea potenciados (incluyen un amplificador de audio para las señales) o no.

En la modalidad de uso del *kit* como intercomunicador, cada uno de los puestos de trabajo tiene asociado un micrófono y un auricular externos por los cuales se puede establecer la comunicación.

Para que el diseño del intercomunicador a fibra óptica sea más realista, en nuestro *kit*

hemos adaptado un tubo de teléfono normal -el que consta de un auricular y de un micrófono- para cada puesto de trabajo.

Algunos tubos de teléfonos comerciales que pueden conseguirse (los más antiguos) poseen micrófono tipo resistivo; los más modernos, en cambio, son capacitivos. En nuestro recurso didáctico consideramos el primer caso, donde se reemplaza el micrófono resistivo por otro capacitivo tipo *electret* de dos contactos.

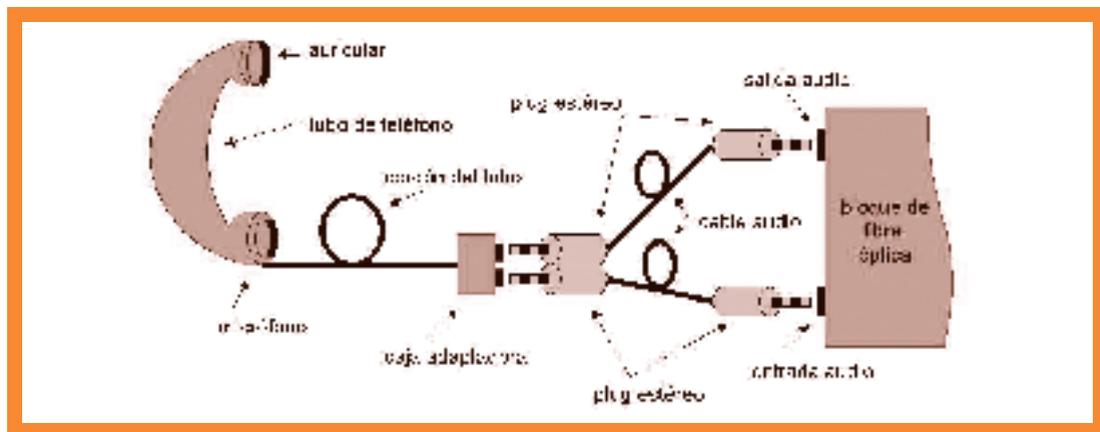
A fin de interconectar dicho tubo al *kit*, es necesario enviar las señales del auricular y micrófono por separado, para que cada una de ellas entre por los conectores tipo jack que correspondan. Para ello, se emplea una pequeña caja adaptadora que tiene como entrada al extremo final del cordón eléctrico del tubo y como salida dos conectores tipo jack estéreo de 3,5 mm.

Mediante dos *patchcords* -cable de audio estéreo con conectores tipo *plug* de 3,5 mm en los extremos- se interconecta dicha caja con el bloque de fibra óptica que le corresponda.

Para el armado del cable *patchcord*, se ha empleado un cable blindado de doble vaina, cada una con un cable interior denominado "vivo" y otro exterior denominado "malla" y, además, un conector tipo *plug* metálico estéreo.

Con sus alumnos, puede seguir los siguientes pasos para su construcción:

- Cortar un tramo de cable estéreo blindado de un metro de longitud.
- Cortar unos 3 centímetros de la vaina exterior de PVC del cable.
- En cada extremo, unir las mallas de cada vaina y estañar el extremo resultante.
- Pelar las puntas de los cables vivos y estañar.
- Introducir en el cable el espiral metálico
- Introducir en el cable el cuerpo exterior del conector tipo *plug* o cilindro, respetando la parte con rosca que debe quedar para el lado del extremo del cable.
- Estañar los contactos del conector.
- Soldar la malla al contacto del conector -que es el más grande y alargado-.

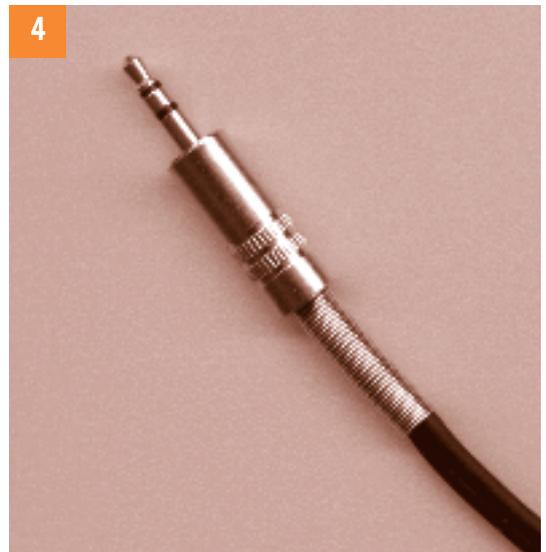
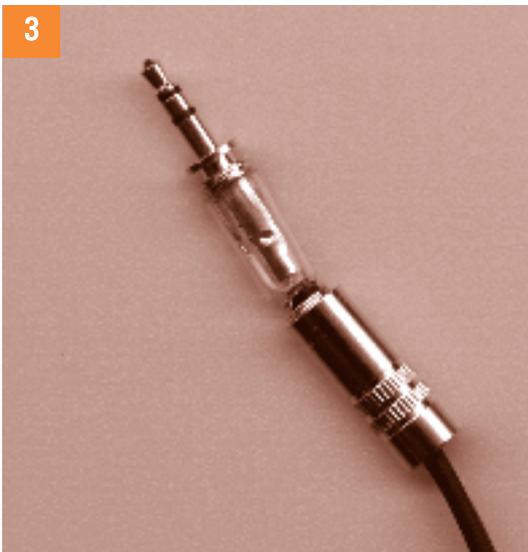


- Soldar los cables vivos a los contactos restantes. Respetar esa posición cuando se realice la misma operación del otro extremo del cable.
- Una vez soldado, poner el capuchón o cinta aisladora, a fin de recubrir la zona de contactos para que no haga cortocircuito con la parte metálica del cuerpo

exterior del plug o cilindro.

- Roscar la parte central del conector sobre el cilindro.
- Repetir todos los pasos anteriores en el otro extremo.

A continuación, sintetizamos estos pasos a través de imágenes:



## 2. Conexión del cable de fibra óptica

El intercomunicador utiliza un LED de alta eficiencia y un fototransistor (PT202C) como componentes electroópticos para, respectivamente, la emisión y la recepción de señales ópticas.

Ambos dispositivos tienen un encapsulado estándar del tipo de los usados para los diodos LED, de 3 mm de diámetro.

A fin de poder realizar el acople entre estos dispositivos y el cable de fibra óptica plástica de la manera más eficiente posible (utilizando componentes de fácil adquisición en el mercado local), se emplea un conector RCA hembra para chasis, adaptado a tal fin.

Para poder usarlo en estas condiciones, se retira el conductor central, que es un tubo metálico.

El LED o el fototransistor se introducen por la parte frontal. La parte posterior es la que sirve de borne de entrada para la fibra óptica (Suele ser necesario agrandar el agujero a fin de que pueda entrar dentro del conector RCA).

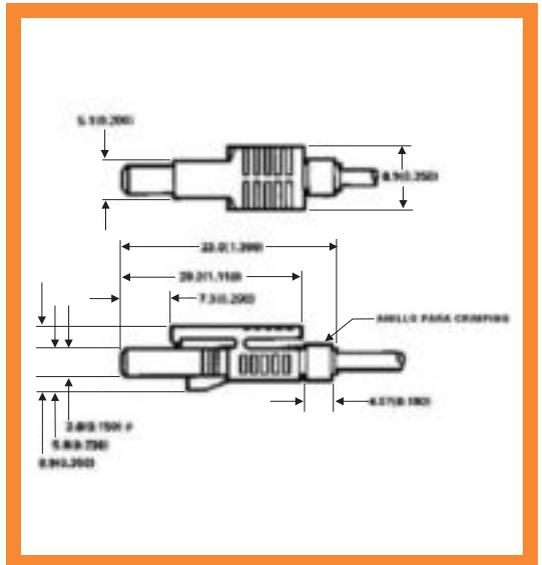


Si usted emplea otro material para hacer de terminación en los extremos del cable de fibra óptica, puede que no sea necesario agrandar este agujero (por ejemplo, si usa termocontraible o cinta aisladora o de otro tipo para dar mayor diámetro al extremo de la fibra).

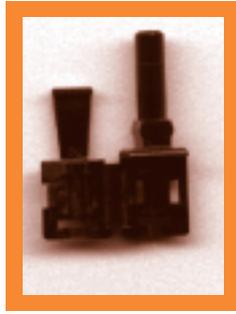
Para poder sujetar el conector RCA al circuito impreso, hemos utilizado la chapa de soporte de la llave tipo BISAL integrada como llave de encendido.



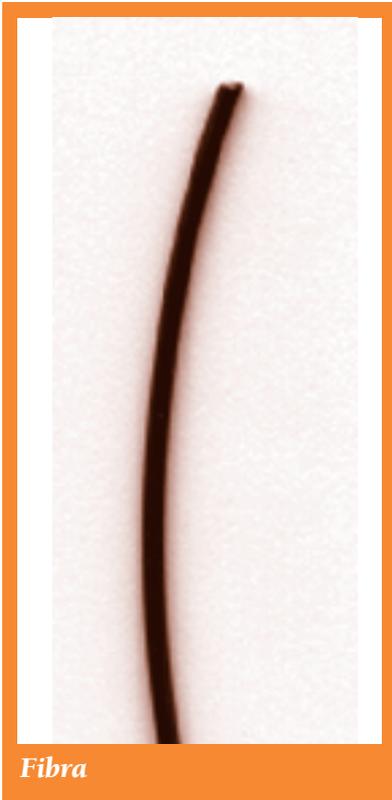
Trabajando con un alicate y una lima en la chapa se puede, luego, introducir el conector RCA y atornillarlo.



El 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.



*Fibra*

En la siguiente figura vemos cómo queda la fibra una vez "pelada". Este procedimiento se puede hacer con un pelacables calibrado, a fin de sacar la cubierta sin dañar la fibra -que es el material transparente que se observa-.



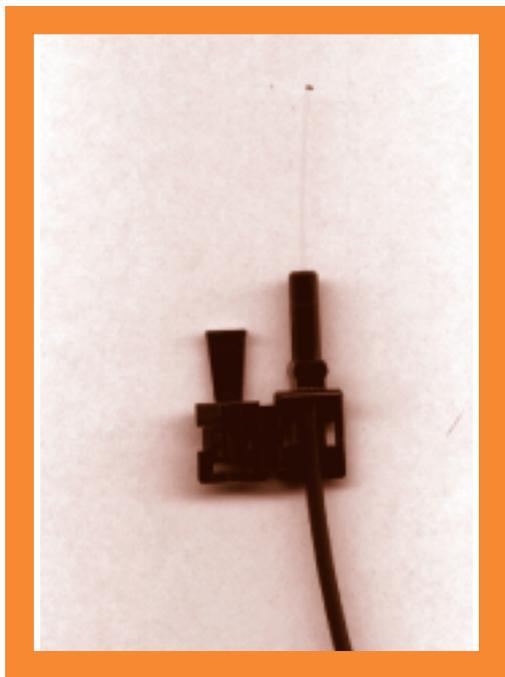
*Fibra pelada*

También es posible pelarla con una trincheta o *cutter*, haciendo un corte en todo el contorno del cable y, luego, retirando la cubierta.

Luego de esta operación, no debe quedar daño evidente en el cable. Caso contrario, es imprescindible repetirla.

La fibra expuesta tiene, aproximadamente, unos 3 centímetros de longitud; se inserta en

el conector hasta que hace tope la cubierta con la parte interna.



Posteriormente, se cierran las tapas hasta lograr el tope y un encastre que evite que el conector vuelva a abrirse.

El paso siguiente es el de cortar el extremo sobrante de fibra, utilizando una trincheta o *cutter*<sup>1</sup>.

Esta operación se realiza en ambos extremos del cable.

Si en su escuela no se dispone del conector, puede emplear, por ejemplo, cinta aisladora negra y enrollarla sobre los extremos del cable. Obtenga un diámetro de, aproximadamente, 3,75 mm, el que resulta suficiente para poder conectar el cable con los módulos.

También puede emplear una combinación de cinta aisladora y tubo termocontraible para tal fin, 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 obtener el diámetro necesario.

---

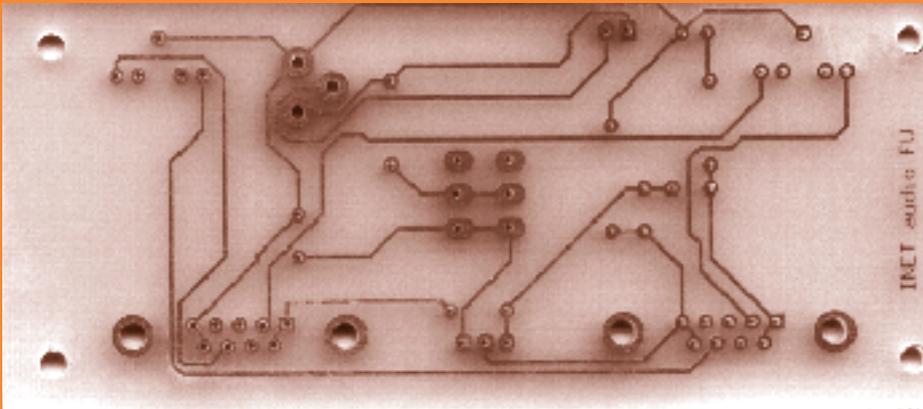
<sup>1</sup> Para la terminación definitiva del conector, puede emplear un disco de plástico para pulir el extremo de la fibra cortada. La empresa comercializadora provee lijas junto con el disco; pero, para los fines didácticos de este kit esto, en general, no es necesario ya que, aunque la terminación quede sólo con el corte de la fibra, se obtienen buenos resultados.

### 3. Armado de la placa principal

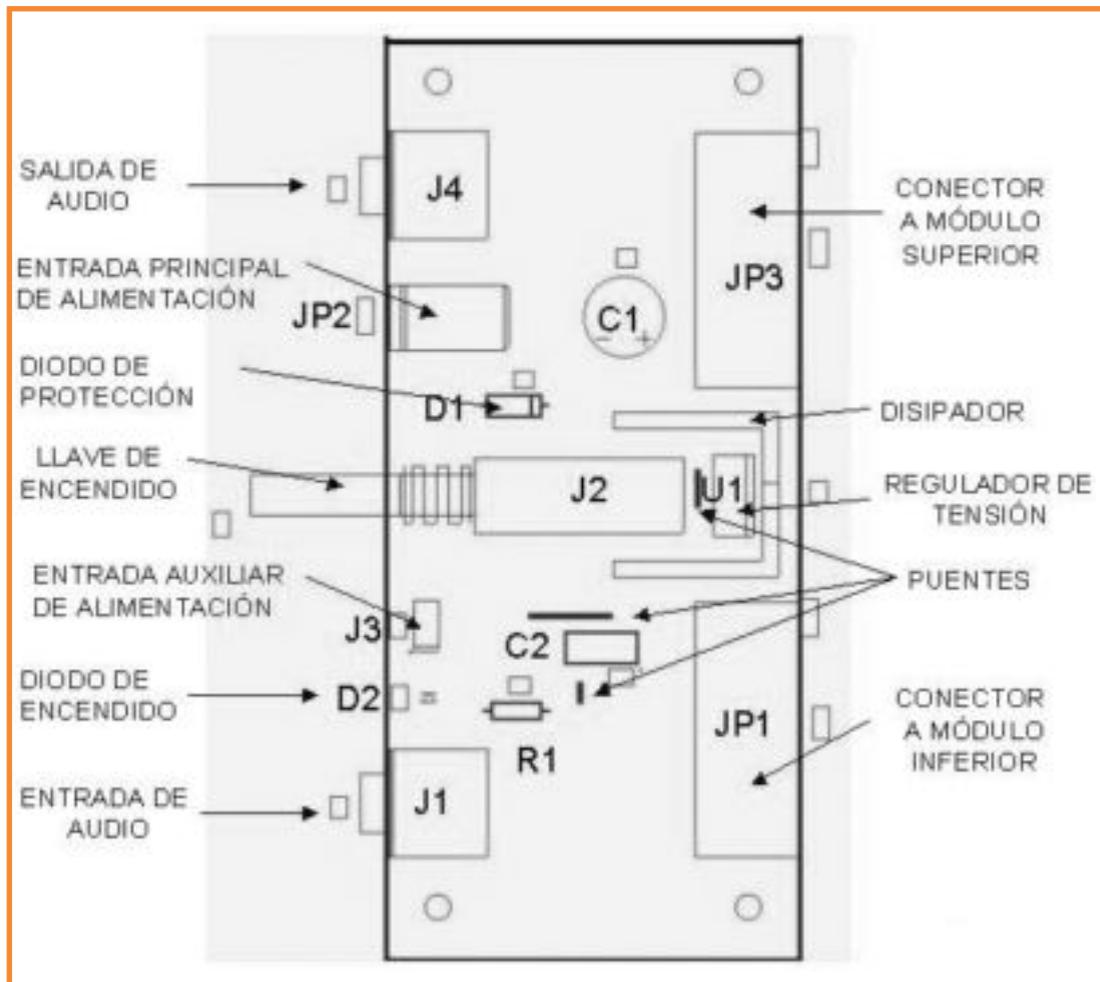
La placa principal es un circuito impreso simple faz.

Consideremos algunas recomendaciones para su armado:

- La secuencia de armado que recomendamos, se inicia 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, con el soldado de todas las vías.
- Compruebe que el LED encienda y que la tensión sea de alrededor de +5 V.
- Prosiga con los conectores DB9 y con los conectores jack de audio.
- Vuelva a medir tensiones en el integrado y en el regulador.
- Por último, suelde el capacitor de 470  $\mu\text{F}$  y repita la medición de tensión.
- Tenga precaución en la conexión de este capacitor, ya que es polarizado.
- En la placa hay varias vías que debe soldar en ambas caras del impreso, empleando alambre estañado de cobre.
- Suelde todos los pines de los conectores, aún los que no se emplean. Esto da mayor rigidez mecánica al montaje.
- Asegúrese de que la fuente de alimentación externa de 12 V, 200 mA que adquiera tenga el mismo diámetro de conector que el del jack de alimentación, ya que existen varios modelos diferentes.



*Circuito impreso del lado soldadura o cobre*



JP1: Conector DB9 hembra a 90 grados para impreso con conexión con módulo óptico.

JP3: Conector DB9 hembra a 90 grados para impreso con conexión con módulo óptico.

J4: Conector tipo jack de audio estéreo con corte para salida de señal.

J1: Conector tipo jack de audio estéreo con corte para entrada de señal.

J2: Llave doble inversora tipo Bisal para impreso de montaje horizontal

JP2: Jack de alimentación de 3,5 mm.

J3: Conector doble para alimentación externa con batería de 9 V.

C1: Capacitor electrolítico polarizado de 470  $\mu\text{F}$ /25 V para filtrado de alimentación.

C2: Capacitor cerámico de 100  $\mu\text{F}$ /16 V.

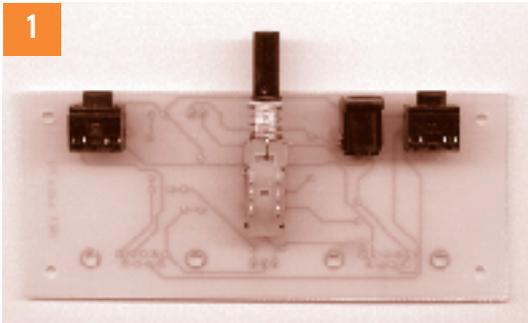
DIS1: Disipador de aluminio anodizado, perfil en "U" de 20 x 20 mm.

D1: Diodo rectificador tipo 1N4007.

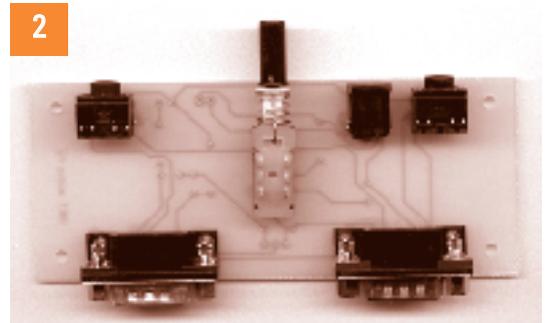
D2: Diodo emisor de luz de 5 mm color rojo.

Para este diseño empleamos las chapas de anclaje de las llaves doble inversoras tipo Bisal, usándolas como anclaje para los conec-

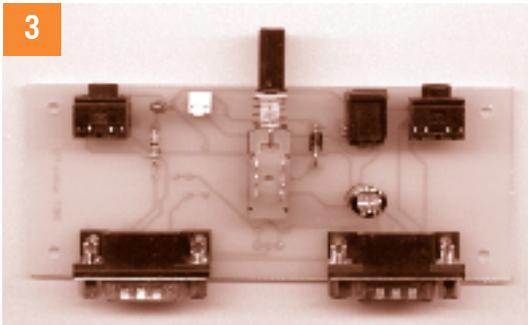
tores BNC. Para la fijación, también se pueden emplear perfiles en "L" de aluminio.



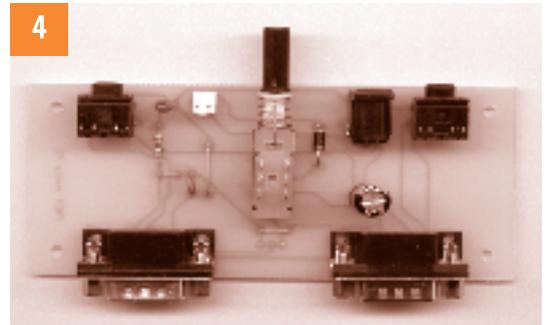
**1** Montaje de llave de encendido, conectores de audio y conector de alimentación



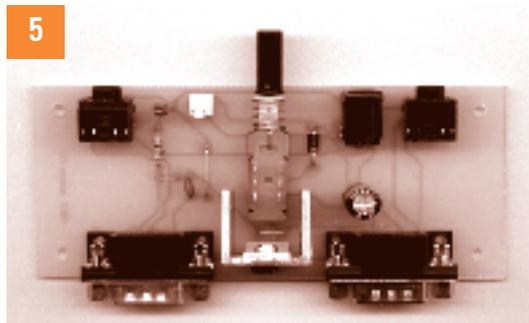
**2** Montaje de conectores DB9 para interconexión con los módulos ópticos



**3** Montaje de diodo de protección contra inversión de polaridad, diodo LED, resistencia del diodo LED, capacitor de filtrado de fuente y conector auxiliar de alimentación



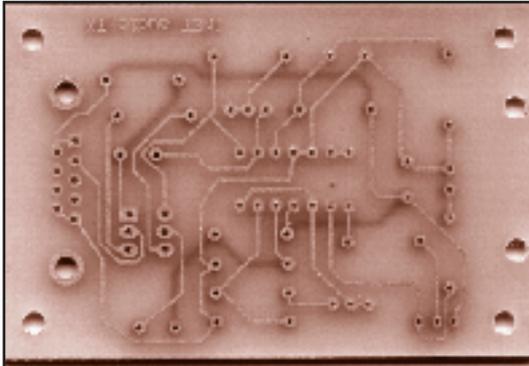
**4** Montaje de capacitor de salida del regulador y puentes; lado componentes



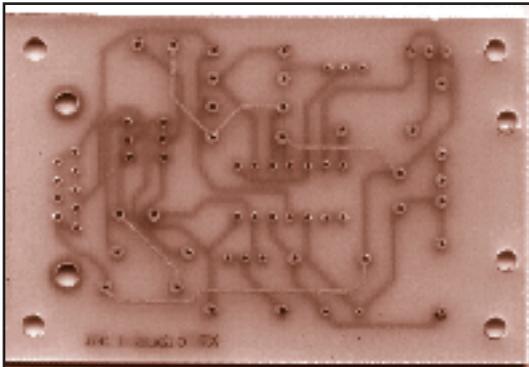
**5** Montaje de regulador de tensión y dissipador de potencia; placa terminada

#### 4. Armado de la placa del transmisor óptico

La placa del transmisor óptico es un circuito impreso doble faz.



*Placa del lado soldadura*

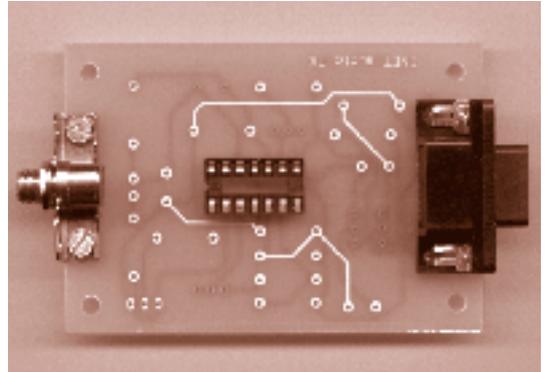


*Placa del lado componentes*

Secuencia de armado:

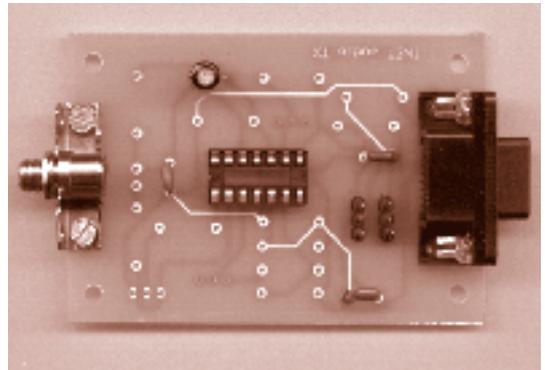
4.1. Montaje del conector RCA junto con la chapa de la llave Bisal, zócalo del integrado de 14 pines y conector DB9<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Como ejemplo, se ha empleado una pieza de la llave tipo Bisal (la chapa de montaje para impreso). Como ésta no es utilizada, la empleamos para fijar el conector RCA a la placa, mediante dos tornillos de 1/8" con sus respectivas tuercas.

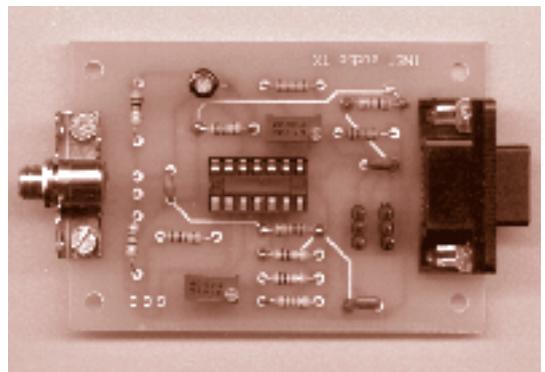


4.2. Montaje de los capacitores y las dos tiras de pines de 3 contactos cada una.

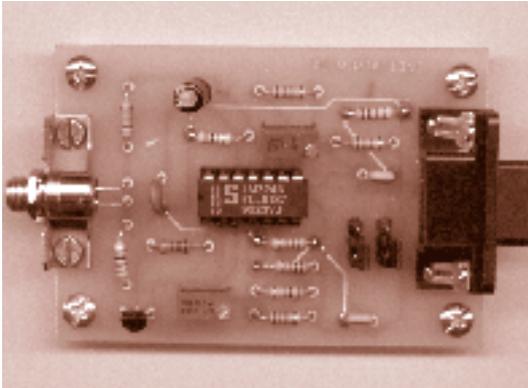
Generalmente, esta tira se adquiere de 40 pines de largo, por lo que debe cortarse a medida.



4.3. Montaje de las resistencias y potenciómetros multivuelta de montaje vertical.



Veamos la placa terminada:

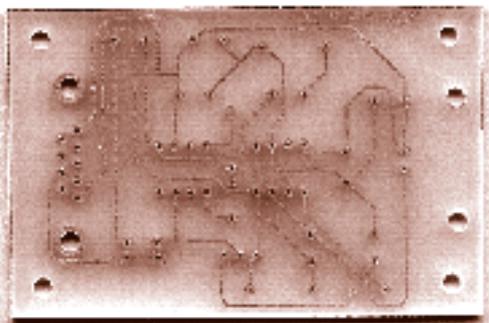


En nuestro equipo hemos empleado separadores de bronce de sección hexagonal de 10 mm de diámetro máximo. Los agujereamos e incluimos en ellos una rosca para poder montar tornillos de 1/8" de diámetro y 7 mm de longitud.

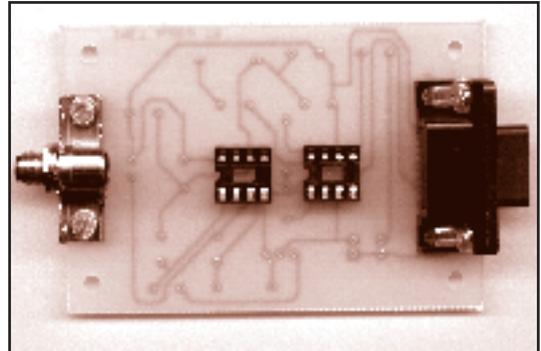
## 5. Armado de la placa del receptor óptico

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

La siguiente secuencia de fotos muestra cómo realizar su montaje:



*Placa de circuito impreso simple faz*

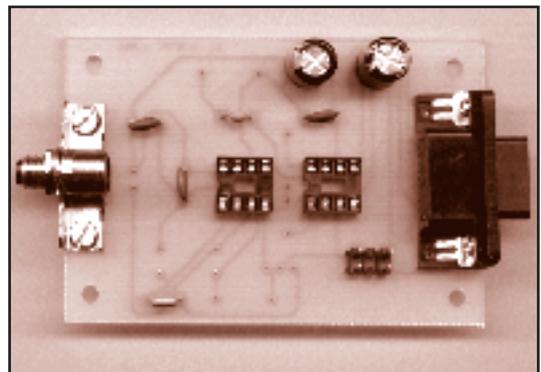


**Montaje de conjunto conector RCA y chapa del interruptor Bisal, zócalo de integrados de 8 pines y conector DB9**

También aquí -como en el montaje del módulo transmisor- se ha empleado una pieza de la llave tipo Bisal para el anclaje del conector RCA.

5.1. Montaje de capacitores polarizados (470  $\mu$ F) y no polarizados, y de la tira de postes de 2 x 3.

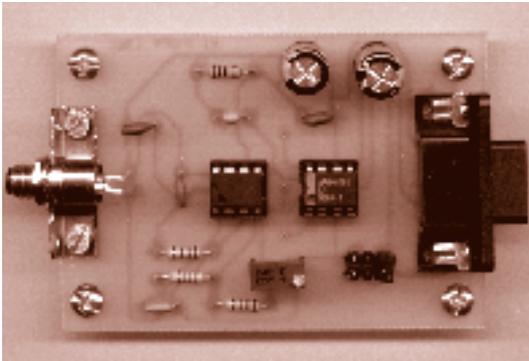
La tira de postes doble se consigue generalmente de doble hilera de 40 pines; se deben cortar 3 pines dobles y sacar con una pinza los dos del medio.



## 5.2. Montaje de las resistencias y potenciómetro multivuelta.

Se observa que entre los circuitos integrados LM386 y LM358 quedan pads sin soldar ningún componente. Esto es debido a que es posible modificar la ganancia del amplificador de audio LM386, agregando una red resistencia-capacitor.

Si se requiere para alguna otra experiencia, se recomienda consultar su hoja de datos.



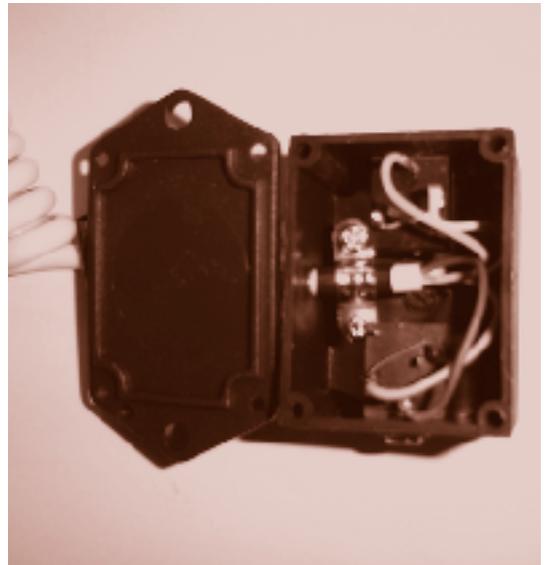
## 6. Adaptación de tubo de teléfono para su uso en el intercomunicador

En nuestro intercomunicador empleamos un tubo de teléfono antiguo (micrófono a carbón y auricular).

Dado que el circuito está preparado para aceptar un micrófono capacitivo, debimos adaptarlo. Para esto, soldamos el micrófono tipo electret a los bornes de la parte donde se aloja el micrófono, en dicho tubo.



Además, como el cable del tubo termina en una ficha sólo compatible, en general, con el resto del teléfono, es necesario cortar esta ficha y adaptarla. Para ello se emplean dos conectores de audio tipo jack estéreo de 3,5 mm cada uno y se los coloca en una pequeña caja.

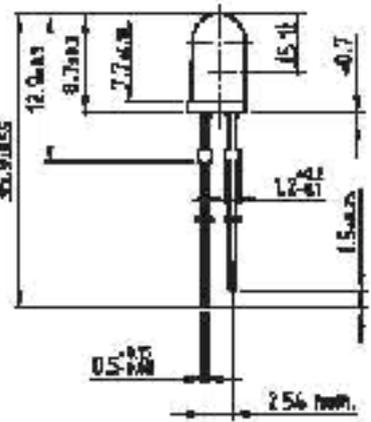
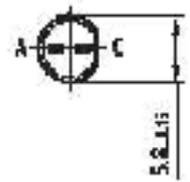


Resulta conveniente dar alguna identificación a estos conectores, a fin de no confundir las conexiones del auricular y del micrófono.



Tubo terminado

## LED alta eficiencia



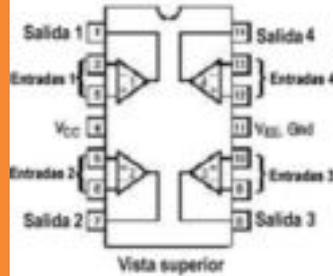
## 2N3904



TO-92

## LM324

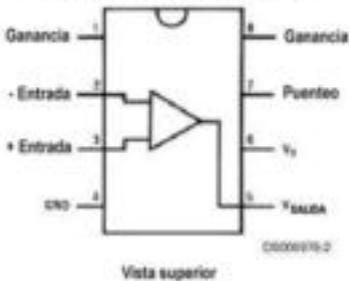
### Conexión de pines



## Disposición de pines de componentes

## LM386

Small Outline,  
Molded Mini Small Outline,  
and Doble en línea Packages

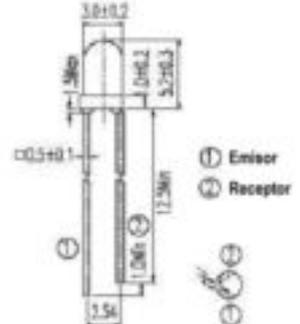


## LM358

### Conexión de pines



## PT202C



# La calibración de los módulos

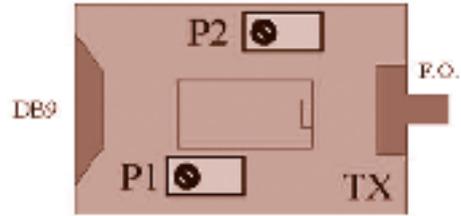
## Calibración del módulo transmisor

El módulo transmisor tiene entrada de audio a través del conector DB9 y salida a la fibra óptica plástica.

Está diseñado para permitir conectar un micrófono capacitivo tipo *electret* o una señal de audio proveniente de un *discman*, *walkman*, radio, etc.

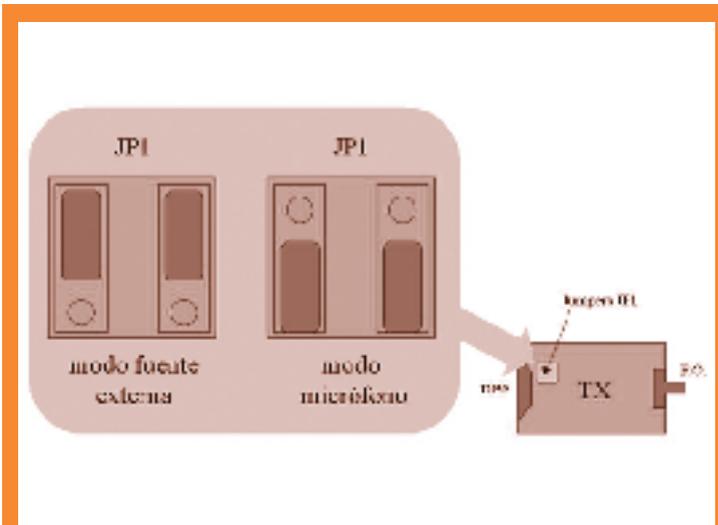
Esta selección se hace a través de dos jumpers, denominados JP1.

El módulo transmisor tiene dos potenciómetros de ajuste: P1 y P2.



- P1 se usa para modificar el nivel de amplificación en el amplificador U1C de la señal proveniente del micrófono.
- P2 se usa para el ajuste final de la señal que llega al amplificador U1B.

Con estos dos ajustes independientes, se puede encontrar un equilibrio entre las dos posibles fuentes de señales (micrófono capacitivo o señal de audio externa).



Para la calibración de este módulo se necesita un generador de señales de audio y un osciloscopio.

- En una de las placas principales, conecte uno de los módulos transmisores.
- Coloque los dos jumpers JP1 en el modo fuente externa. Viendo la placa transmisora de frente, con el conector DB9 a la izquierda y el conector de fibra a la derecha, los dos jumpers deben estar colocados en la posición superior.

Posiciones que corresponden a cada modo de conexión

- Encienda la placa principal.
- Inserte el generador de audio a la entrada de audio de dicha placa.
- Inyecte una señal sinusoidal sin valor de tensión continua con una amplitud pico a pico de 100 mV.
- Conecte el osciloscopio en la resistencia de 220 ohms.
- Gire el potenciómetro P2 hasta que la señal que observe sea la mayor posible, sin que se registren recortes en la sinusoide. Si la señal es muy débil, puede que el ruido sea relevante en la etapa receptora. Si la señal es muy grande, puede distorsionar mucho la señal de audio.
- Apague y retire el generador de señales.
- Apague la placa principal.
- Cambie los jumpers JP1 a la posición inferior.
- Conecte un micrófono tipo electret a la entrada de audio de la placa en cuestión.
- Encienda la placa.
- Mientras habla por el micrófono, observe en el osciloscopio que la señal sea de amplitud razonable y no recorte en los picos.
- Con el potenciómetro P1 se puede ajustar el nivel de salida. El potenciómetro P1 no debe tocarse, ya que queda ajustado para el caso de amplificar fuentes de señales de audio externas.

## Calibración del módulo receptor

El **módulo receptor** tiene entrada de fibra óptica plástica y salida de audio a través del conector DB9.

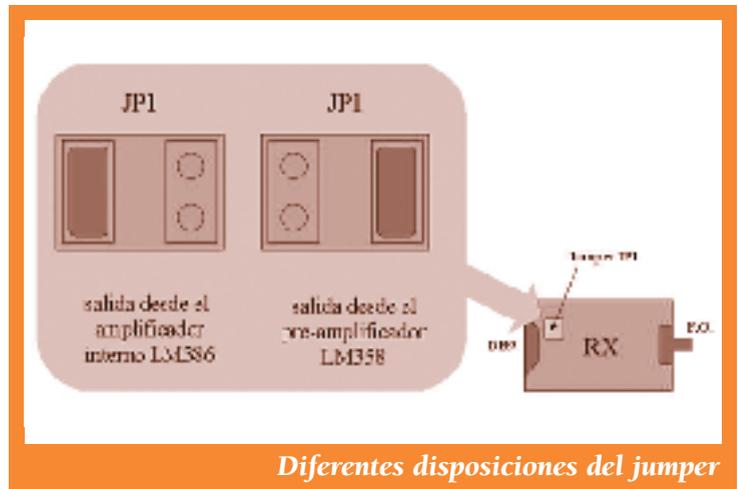
Un jumper JP1 permite seleccionar la salida de audio.

Conectando el puente en la parte izquierda de JP1, se selecciona la salida desde el amplificador LM386.

Esta opción permite conectar, directamente, un parlante para poder excitarlo.

Conectando el puente en la parte derecha de JP1 se selecciona la salida desde el preamplificador LM358.

Esta opción se puede utilizar en caso de disponer de un dispositivo que ya tenga amplificación propia -los parlantes denominados "potenciados" empleados en computación, por ejemplo-.



Para la calibración de este módulo se necesita un generador de señales de audio, un osciloscopio y una de las placas con el módulo transmisor óptico calibrado previamente.

- En la placa principal, conecte uno de los módulos receptores junto con el módulo transmisor ya calibrado.
- Coloque los dos jumpers JP1 en el modo fuente externa. Viendo la placa transmisora de frente -con el conector DB9 a la izquierda y el conector de fibra a la derecha-, los dos jumpers deben estar colocados en la posición superior.
- Conecte el cable de fibra óptica entre el transmisor y el receptor.
- Inserte el generador de audio a la entrada de audio de dicha placa.
- Conectar el osciloscopio en la resistencia de 220 ohms y verifique, como antes, que la señal sea de amplitud razonable y sin distorsiones.
- Conecte el jumper JP1 en el modo de uso con amplificador interno (Puente ubicado a la izquierda del jumper).
- Conecte el osciloscopio a la salida de audio.
- Encienda la placa principal.
- Encienda el generador de señales, inyectando una onda sinusoidal sin valor de tensión continua con amplitud pico a pico de 100 mV.
- Gire el potenciómetro P1 hasta que la señal que observe sea la mayor posible, sin que se registren recortes en la sinusoide.

## 4. EL EQUIPO EN EL AULA

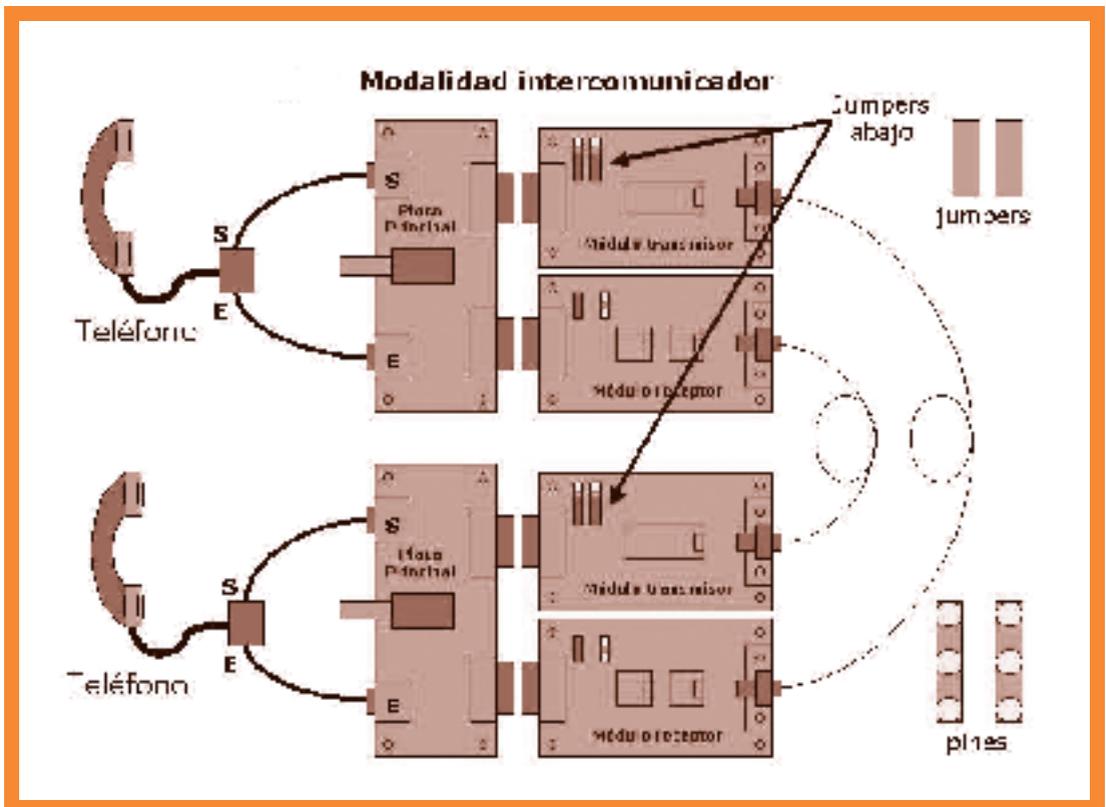
Las experiencias que pueden realizarse con el recurso didáctico **Intercomunicador por fibra óptica** están basadas en, al menos, dos modalidades de utilización:

- **Modalidad 1:**  
Intercomunicador de voz.
- **Modalidad 2:**  
Enlace por fibra óptica para la transmisión analógica de audio estéreo.

### Modalidad 1: Intercomunicador de voz

Se utilizan los dos bloques conectados cada uno a un tubo de teléfono (o, en su defecto, a un conjunto micrófono-parlante).

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

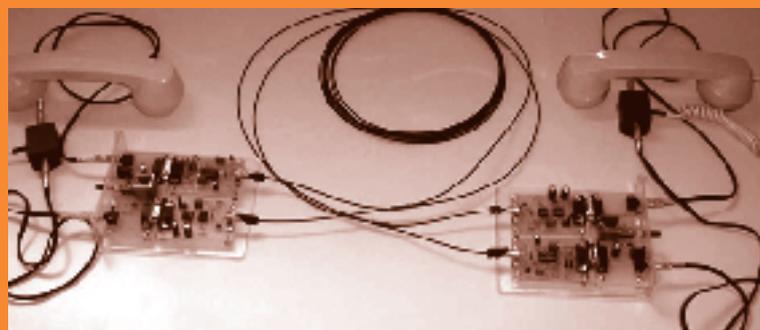


De esta manera, se puede establecer una comunicación vocal en forma bidireccional simultánea entre los dos puestos de trabajo.

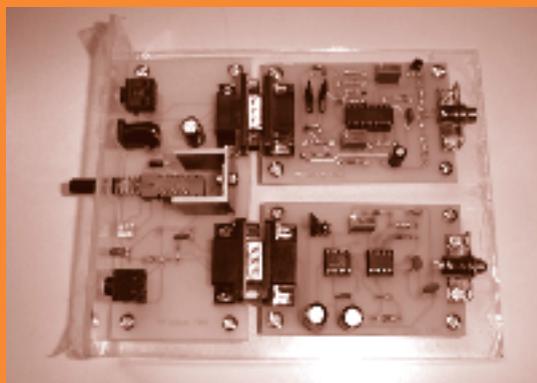
En esta modalidad quedan sin conectar una entrada y una salida en cada bloque, respectivamente.

El modo de conexión para este esquema es:

- Conecte un módulo transmisor y otro receptor a una placa principal (denominada A).
- Idem, con el otro conjunto transmisor-receptor, en la otra placa principal (denominada B).
- Conecte uno de los dos tubos telefónicos a la placa A, tal que el micrófono vaya a la entrada de audio y el parlante a la salida de audio.
- Realice la misma operación con el otro conjunto tubo-placa principal.
- Conecte un cable de fibra óptica entre un par de módulos transmisor-receptor.
- Idem, para el otro par transmisor-receptor.
- Ubique los jumpers denominados JP1 de los módulos transmisores de fibra en el modo de entrada de micrófono.
- Ubique los jumpers denominados JP1 de los módulos receptores de fibra en el modo de salida con amplificador de audio interno.
- Conecte la fuente de alimentación.



*Conexión completa para esta modalidad*



*Detalle de la conexión de los módulos a cada placa principal*

## Modalidad 2: Enlace por fibra óptica para la transmisión analógica de audio estéreo

Para transmitir señales de audio en estéreo es necesario que usted y sus alumnos configuren uno de los bloques con dos transmisores y que conecten a la entrada de la placa principal correspondiente, la señal de audio estéreo proveniente de la fuente externa que emplearán (discman, walkman, radio, etc.).

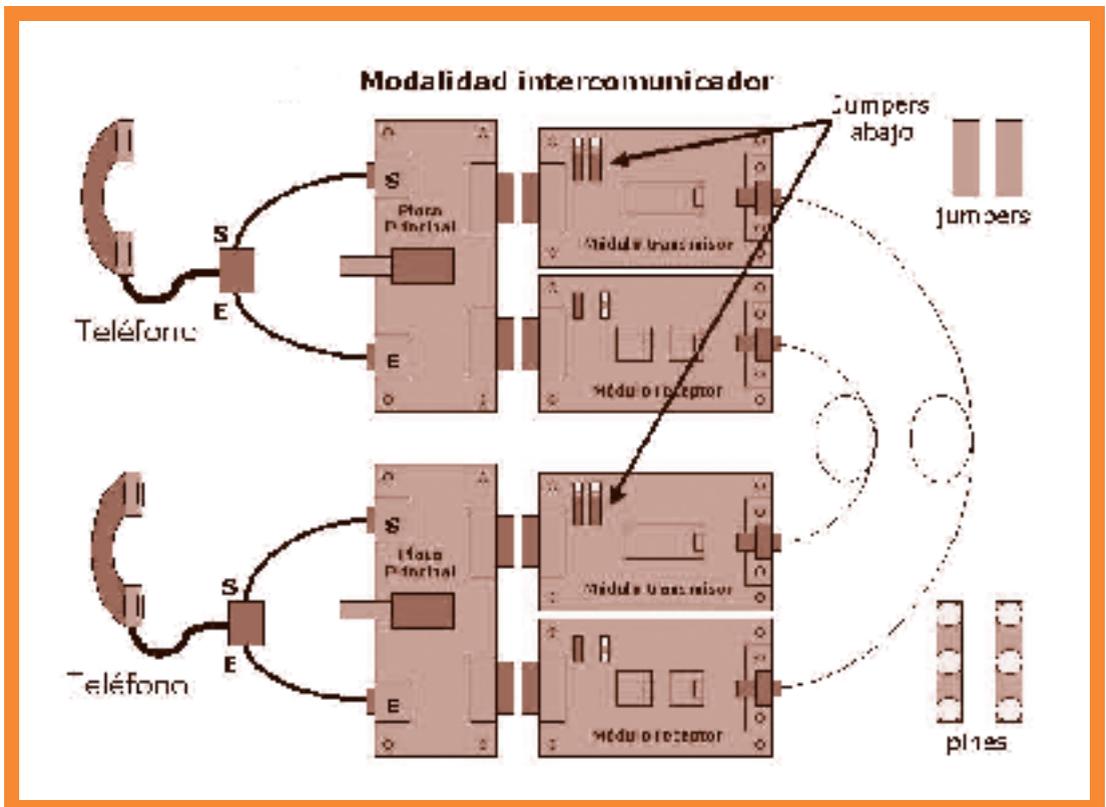
Complementariamente, el otro bloque se debe configurar con dos módulos receptores,

y conectar los parlantes externos a la placa principal de dicho bloque.

Del otro lado del enlace en el segundo bloque, se conecta la salida a dos parlantes.

El modo de conexión para este esquema consiste en:

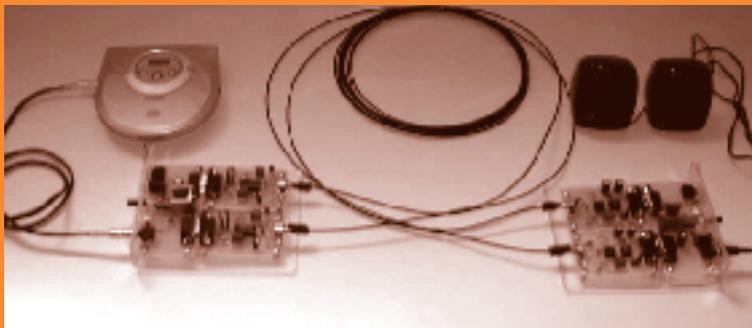
- Conecte los dos módulos transmisores a una placa principal.
- Conecte los dos módulos receptores a la otra placa principal.
- Conecte uno de los extremos de un *patchcord* de audio estéreo a la fuente de audio (por ejemplo, la salida de parlantes de un discman).



- Conecte el otro extremo de ese *patchcord* a la entrada de audio del bloque que se utiliza como transmisor (el que tiene los dos módulos ópticos transmisores).
- Conecte el *plug* de los parlantes estéreo al conector de salida del bloque que se usa como receptor (el que tiene los dos módulos ópticos receptores de fibra).
- Conecte un cable de fibra óptica entre un par de módulos transmisor-receptor.
- Idem, para el otro par transmisor-receptor.
- Conecte la fuente de alimentación.
- Regule el volumen del discman para evitar saturación en los amplificadores de audio, tanto del transmisor como del receptor óptico.

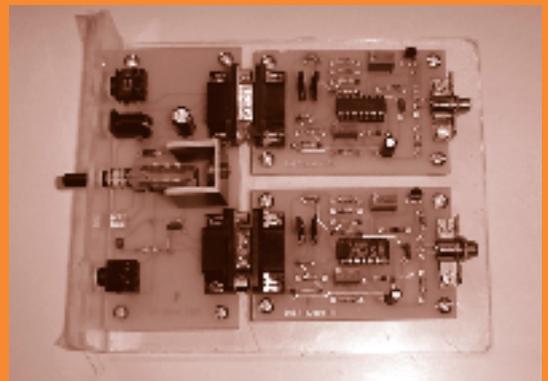
Como le planteábamos al comienzo de nuestro material, a través del recurso didáctico **intercomunicador por fibra óptica**, es posible:

- Modelizar cómo se propaga la luz por un medio óptico.
- Visualizar con un ejemplo práctico cómo se desarrolla el principio de conversión eléctrica a óptica, que explica cómo es posible que una fuente emita luz.
- Visualizar cómo se desarrolla el principio de la conversión óptica a eléctrica que explica cómo un detector recompone la señal eléctrica original.
- Analizar cómo es posible transmitir información a través de un enlace de fibra óptica empleando señalización analógica.



*Conexión completa para esta modalidad*

*Detalle de la interconexión entre los módulos ópticos y la placa principal del lado transmisor*



- Comprobar el fenómeno de pérdidas en un enlace en función de su longitud y por desalineaciones en la conexión.
  - Ensayar situaciones de inmunidad al ruido electromagnético.
  - Experimentar cómo se desarrolla una comunicación bidireccional, con el ejemplo de transmisión de voz simultánea (modalidad 1).
  - Experimentar cómo es una comunicación unidireccional de doble señalización, con el ejemplo de una transmisión de audio en estéreo (modalidad 2).
-

## 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](mailto: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 <sup>1</sup>
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): .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>1</sup> 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  Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:	Mejor	Igual	No aplicado <sup>2</sup>	Incorporado <sup>3</sup>
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).				

<sup>2</sup> No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

<sup>3</sup> 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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

<b>a.</b> <input type="checkbox"/> <b>Planificación.</b>	<b>b.</b> <input type="checkbox"/> <b>Diseño en dos dimensiones.</b>
<b>c.</b> <input type="checkbox"/> <b>Construcción, armado.</b>	<b>d.</b> <input type="checkbox"/> <b>Ensayo y control.</b>
<b>e.</b> <input type="checkbox"/> <b>Superación de dificultades</b> (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
<b>f.</b> <input type="checkbox"/> <b>Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares</b> (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:

	Si	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:

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



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 <sup>4</sup>	Otro <sup>5</sup>
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				

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

<sup>5</sup>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				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				





Capacidad de aplicar y transferir	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
s. Interrelacionar los datos, técnicas y procedimientos en el diseño de la solución.				
t. Utilizar técnicas de representación adecuadas al equipo que se construye o en el ya construido que se utiliza.				
u. Integrar los conocimientos científicos y tecnológicos en los momentos pertinentes para el diseño de la solución.				
v. Relacionar, ensamblar componentes en la secuencia adecuada.				
w. Utilizar de manera correcta la simbología y los lenguajes propios de la tecnología (representación gráfica, simbólica, etc.).				
x. Transferir conocimientos científicos y tecnológicos en otras actividades similares.				
y. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

Otro (Por favor, exprese aquí los comentarios que tenga, identificando el ítem con la letra que corresponda):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## 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 <sup>6</sup>	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)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>6</sup> 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)

.....

.....

.....









## 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 <sup>7</sup>	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:

.....

.....

.....

<sup>7</sup> 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. <input type="checkbox"/> docente a cargo de un grupo de alumnos	b. <input type="checkbox"/> directivo
c. <input type="checkbox"/> responsable de la asignatura: .....	d. <input type="checkbox"/> lector del material
e. <input type="checkbox"/> otro (especifique): ..... .....	

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Planificación de las experiencias didácticas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Trabajo con resolución de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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 the user to write their response to the question above.



Títulos en preparación de la serie “**Desarrollo de contenidos**”.

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
  - El aire como materia prima
  - El azufre como materia prima
  - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro
- Colección: **Construcciones**
  - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
  - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento
- Colección: **Telecomunicaciones**
  - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
  - Cálculo de enlaces alámbricos
- Colección: **Materiales**
  - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos
- Colección: **Tecnología en herramientas**
  - Historial de las herramientas de corte
  - Diseño y fabricación de herramientas de corte
- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
  - Instalaciones eléctricas
  - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
  - Familia lógica CMOS



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



Argentina

**ineti**  
*Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica*