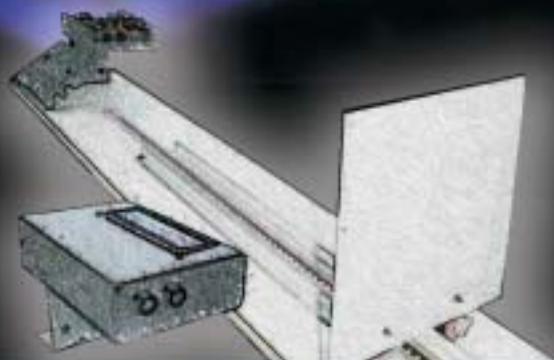




# Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido



# 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**

# Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido

Marcelo Estévez

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 950-00-0502-6

Estévez, Marcelo

Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido / Marcelo Estévez; coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

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

132 p.; 22x17 cm. (Recursos. didácticos; 7)

ISBN 950-00-0502-6

1. Medidor de Distancia-Ultrasonido. I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 621.812

Fecha de catalogación: 12/05/2005

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

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por 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

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

---

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

---

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

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

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

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

**Programa 2.** Crédito fiscal:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Programa 8.** Cooperación internacional.

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

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

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

**María Rosa Almandoz**

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



# LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

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

El CeNET, así:

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

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

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

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

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

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

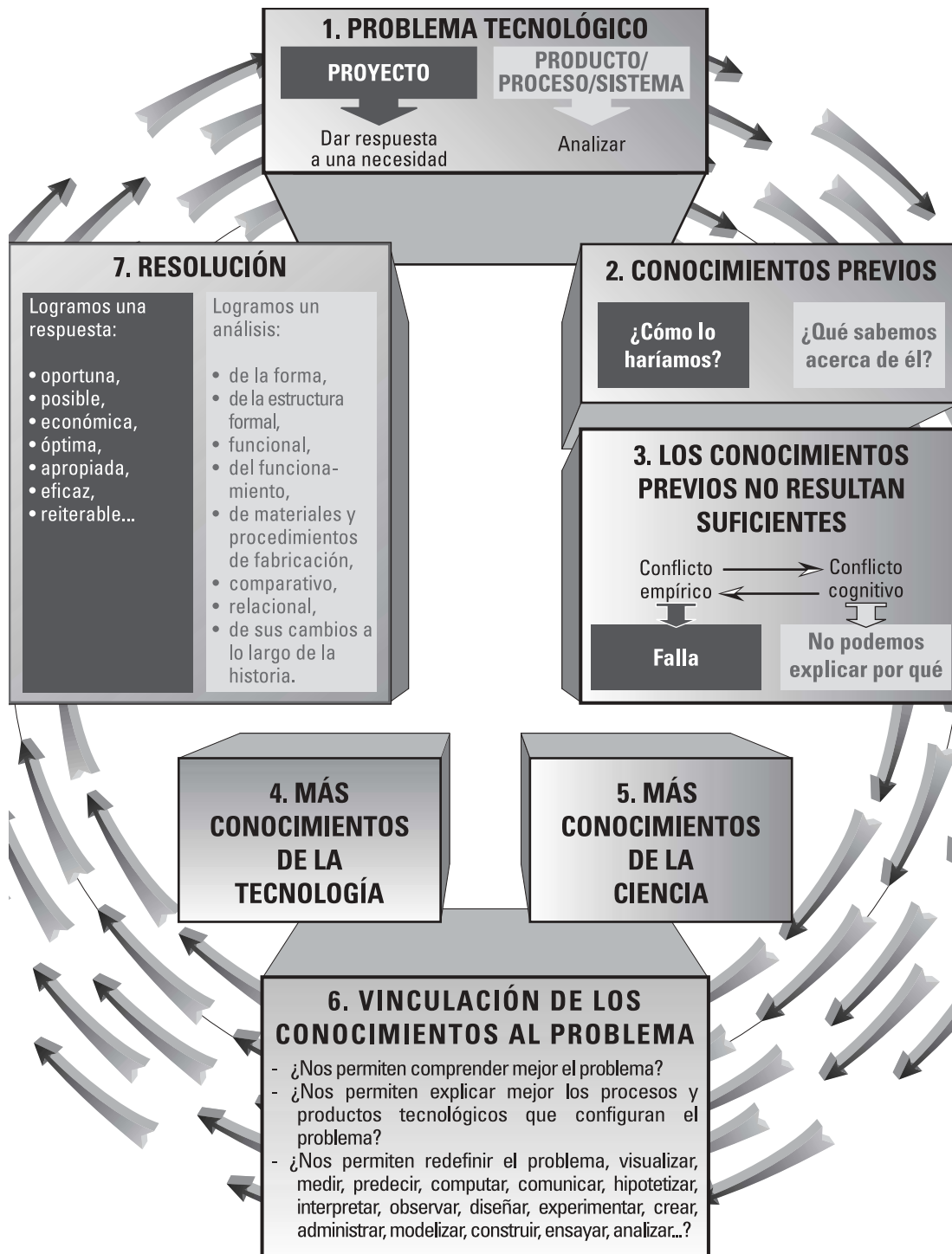
**3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.**

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



# 7. Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido

Este material de capacitación fue desarrollado por:

**Marcelo Estévez.**

Estudió ingeniería en Electrónica (Universidad Nacional de La Plata), la licenciatura en Tecnología Educativa (Universidad Tecnológica Nacional) y la maestría en Técnicas de Energías Alternativas (Universidad de Andalucía, España). Es profesor titular de la Escuela Técnica Nº 7, con especialidad en Aviónica (Provincia de Buenos Aires. Fuerza Aérea Argentina). Es jefe de trabajos prácticos en Ingeniería Electrónica (Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Avellaneda). Fue profesor en la Universidad Nacional de Quilmes, participando en la creación de la carrera de Ingeniería en Automatización y Control. Es autor de *Microprocesadores y microcontroladores* (Instituto Nacional de Educación Tecnológica. 2004. Buenos Aires).

**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> .....	9
• Ultrasonido	
▪ Historia y aplicaciones del ultrasonido	
• Acústica	
▪ Sonido	
▪ Características del sonido	
▪ Espectro del sonido	
▪ Movimiento ondulatorio	
• Fenómenos asociados a las ondas	
▪ Interferencia	
▪ Rapidez de onda	
▪ Rapidez del sonido	
▪ Resonancia, reflexión y eco	
▪ Refracción	
▪ Reverberación	
▪ Efecto Doppler	
• Aplicaciones de los ultrasonidos	
▪ El ultrasonido en el mar: El sonar	
▪ Medición de distancias por ultrasonido	
▪ En la medicina	
▪ Control de la calidad de un producto	
▪ Limpieza por ultrasonido	
▪ Medición de caudal por ultrasonido	
▪ Soldadura por ultrasonido	
▪ Erradicación de plagas por ultrasonido	
<b>3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo</b> .....	57
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción	
• El armado	
• El ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
<b>4 El equipo en el aula</b> .....	68
Anexo: Programa del microcontrolador	
<b>5 La puesta en práctica</b> .....	92



# 1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

*Lo invitamos a analizar estos testimonios:*

En el marco de tareas de "Producción de cereales y oleaginosas" del Trayecto Técnico-Profesional *Producción agropecuaria*, los alumnos desarrollan proyectos tecnológicos vinculados con sistemas de almacenaje y de medición de nivel en silos, para desarrollar capacidades en:

- identificación y selección de metodologías estándares de medición,
- selección de los instrumentos a utilizar,
- acondicionamiento y preparación de los medios de medición en distintos ambientes de trabajo,
- calibración, lectura e interpretación de la indicación de los instrumentos,

vinculadas con el almacenaje de productos de la cosecha de cereales y de oleaginosas.

En este momento, los alumnos se encuentran analizando las dificultades de la medición de sustancias sólidas, en particular, de granos y semillas.

En el marco de su proyecto de tareas, la profesora plantea a sus alumnos una situación que, luego, analizarán en grupos:

En un campo de Sierra de la Ventana, en el momento de levantar la cosecha de maíz, se encuentran con la necesidad de construir otro silo para alojar los granos.

Para tomar la mejor decisión acerca del silo, el encargado consulta a distintos proveedores de instrumentos para medición de volumen de granos almacenados. Una de estas empresas le ofrece un medidor ultrasónico, con el cual puede determinarse el nivel de almacenamiento de maíz, lectura que -según afirma el fabricante- tiene la ventaja de no verse afectada por la humedad ni por la temperatura del depósito, rasgo que hace que el instrumento resulte mucho más preciso.

- ¿Cómo funciona este instrumento?
- ¿Por qué posee estas ventajas?
- ¿Resultará una buena adquisición para el silo?

En el aula de Tecnología de noveno año de EGB3, el eje de trabajo de una de las unidades didácticas es "Tecnología del sonido". En este momento de la tarea, la maestra de enseñanza práctica y su grupo de alumnos se encuentran considerando, específicamente, la velocidad del sonido en un medio como el aire.

La docente plantea:

Un sábado de verano, luego de tres interminables días de lluvia, Javier ve que se ha formado una depresión del terreno que se extiende por debajo de su casa y que ocupa todo el pasillo hasta la pared medianera. El hundimiento tiene, aproximadamente, un metro y medio de diámetro por veinte centímetros de profundidad.

Luego de unos días y ya acostumbrados al hueco, los habitantes de la casa escuchan un estruendo importante seguido de ruido de tierra cayendo. Se ha abierto un gran agujero en la tierra y, al acercarse, no logran ver el fondo sin arriesgarse a caer en él. Sólo entonces, alguien recuerda una foto de la casa antigua en la que se veía un aljibe, precisamente en ese lugar.

Resulta imprescindible rellenar el hueco y, para esto, es necesario calcular sus dimensiones y planificar la cantidad de material necesario para colmarlo.

A nuestro amigo se le ocurre, entonces, medir su profundidad, calculando el tiempo en que tarda una piedra en caer y tocar fondo, para poder determinar cuántos camiones de escombros van a ser necesarios para completar el pozo del viejo aljibe.

Entonces, arroja una piedra en el foso. Su sonido al impactar con el fondo se escucha luego de transcurridos dos segundos desde que es lanzada.

La familia puede encargar los camiones con el relleno necesario y logra solucionar su problema.

Los alumnos van planteándose respuestas a:

- ¿Cómo determinó la profundidad con sólo esos datos?
- ¿Qué volumen de escombros necesita para tapar el pozo?
- El tiempo en caer la piedra, ¿es mayor que el tiempo que tarda en llegar el sonido de la piedra al impactar en el fondo?

Resueltas estas primeras cuestiones, la maestra de enseñanza práctica plantea:

- Supongamos que utilizamos un medidor de distancias ultrasónico que trabaja a 40 kHz. Su haz se dispara desde el borde del piso al mismo tiempo que un cronómetro. ¿Qué tiempo indica este cronómetro, al recibir el rebote del frente de ondas?

El profesor de "Gestión de procesos productivos" está planteando a sus alumnos el estudio de los requerimientos acústicos que implica la construcción de salas para conciertos, espectáculos e iglesias.

Su objetivo es que los alumnos realicen un análisis tecnológico de los paneles absorbentes, para caracterizar los fenómenos de acústica -propagación y distribución del sonido, aislación, absorción, tiempo de reverberación, reflexión...- vinculándolos con la selección de materiales óptimos según diferentes requerimientos.

Estudian, entonces, el acondicionamiento

acústico del Salón Municipal de Usos Múltiples: su diseño actual y las necesidades de sus usuarios, y proyectan modificaciones que mejorarían la acústica del recinto, las que se podrían realizar sin afectar la construcción.

Para esta tarea, analizan la amplitud de la señal recibida luego de incidir en distintos materiales de construcción y la

comparan con la de los llamados "paneles acústicos". En esta tarea, integran un instrumento ultrasónico que permite estudiar la absorción de los materiales al recibir ondas de presión; esto les permite comparar los lugares donde se produce mayor reflexión de ondas y aquellos en los que existe interferencia destructiva y constructiva, determinando dónde colocar los paneles.

En el Centro de Formación Profesional del Sindicato de Petroleros, formador y cursantes están analizando un problema que les resulta particularmente significativo:

Como sabemos, el almacenaje de petróleo se realiza en distintos lugares del campo explotado. En Plaza Huinca se ha detectado una diferencia de lecturas entre el caudal bombeado al depósito transitorio y el volumen de crudo que llega finalmente a destino cuando, días después, es bombeado.

Para determinar dónde está el error de medición se decide colocar un caudalímetro en el trayecto del oleoducto entre depósitos y otro en el punto de extracción.

Los ingenieros de procesos determinan que el caudalímetro ideal es el ultrasónico, ya que no es invasivo y permite ser trasladado de lugar para

tomar lecturas cada cierta cantidad de kilómetros.

Luego de varios días de control y medición, y de desplazar el caudalímetro por la tubería, se logra determinar la ubicación de una pérdida de crudo por una fractura en el oleoducto que se filtraba en la tierra y que no resultaba visible desde el aire.

- ¿Cuál es el principio de funcionamiento del caudalímetro ultrasónico?
- ¿Cuáles son las principales ventajas de este instrumento?
- ¿Cuáles son sus límites de utilización?

En la Tecnicatura en Electrónica, un grupo de alumnos analiza esta situación:

Para dar seguridad a un supermercado, el dueño decide poner una alarma con distintos tipos de sensores, piroeléctricos y ultrasónicos, que resguarden su negocio de falsas alarmas por cambios bruscos de temperatura. Para tomar su decisión, solicita


catálogos de diferentes fabricantes.

¿Cuáles son las especificaciones que deben tener estos sensores para que sean aptos para esta aplicación?

Luego de resolver la tarea planteada, la profesora propone a sus alumnos diseñar un sistema electrónico microprocesado para esta situación, integrando el control, la pro-

gramación y la habilitación de zonas. Y, además, les propone desarrollar un sensor ultrasónico capaz de cubrir una distancia de 3 metros.

Fernando es profesor en una escuela de Educación Polimodal y Trayecto Técnico-Profesional *Equipos e instalaciones electromecánicas*; está a cargo del espacio curricular "Física I",

El eje de trabajo de una de las unidades didácticas está constituido por las ondas sonoras. En ese marco, plantea a sus alumnos: 

En un día de tormenta, alquilé un par de películas e invité a mis amigos a ver los estrenos del mes.


Ya reunidos en casa y cuando nos disponíamos a colocar la película en la video, vemos un resplandor impresionante y quedamos a oscuras. Cinco segundos después, escuchamos el estrepitoso ruido del trueno. Impresionados, salimos a la calle y vemos que toda la ciudad ha quedado a oscuras. Mi hipótesis fue que un rayo había caído en la vieja usina -distante unos cincuenta kilómetros de casa- que provee de electricidad a nuestra ciudad... por lo que la oscuridad iba a durar mucho.

Pero, uno de mis amigos argumentó que el rayo que provocó el apagón no había caído en la usina. Y nos aportó una justificación tan precisa que nos convenció para regresar al living y esperar que la energía se restableciera -cosa que, efectivamente, ocurrió minutos después-.

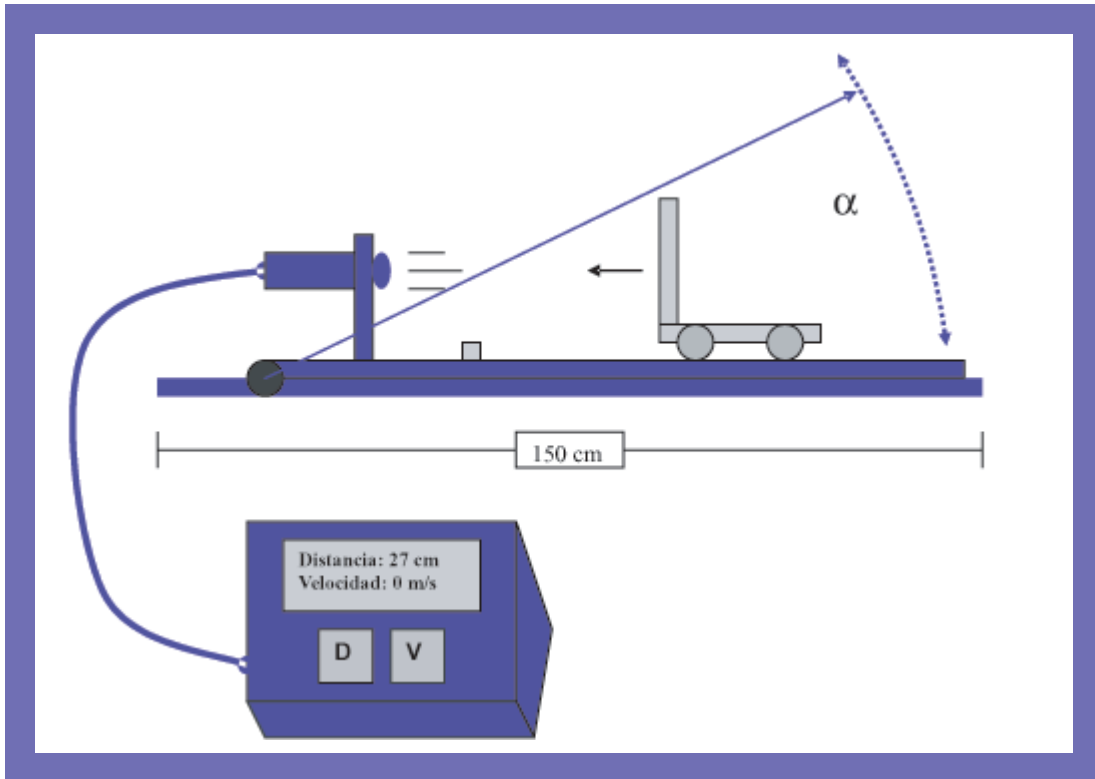
¿Cuál pudo haber sido tan convincente argumento?

## El recurso didáctico que proponemos

Nuestra propuesta es integrar a cada una de estas clases un equipamiento para la medición de distancias y de velocidades con técnicas de ultrasonido.

El modelo que proponemos -que, no es el único posible, por supuesto- está compuesto por: 

- un dispositivo emisor y receptor de ultrasonidos,
- una plataforma de trabajo que permite desplazar sobre ella un móvil; éste puede estar detenido a distintas distancias del emisor o puede estar en movimiento, a una velocidad constante o a velocidad variable.



La visualización de la distancia y de la velocidad se realiza a través de un display inteligente con sus correspondientes leyendas.

El equipo permite experimentar mediciones de distancias, velocidades, aceleraciones, y extraer la forma de la onda del eco recibido y la amplitud de éste, para ser observado con instrumental apropiado.

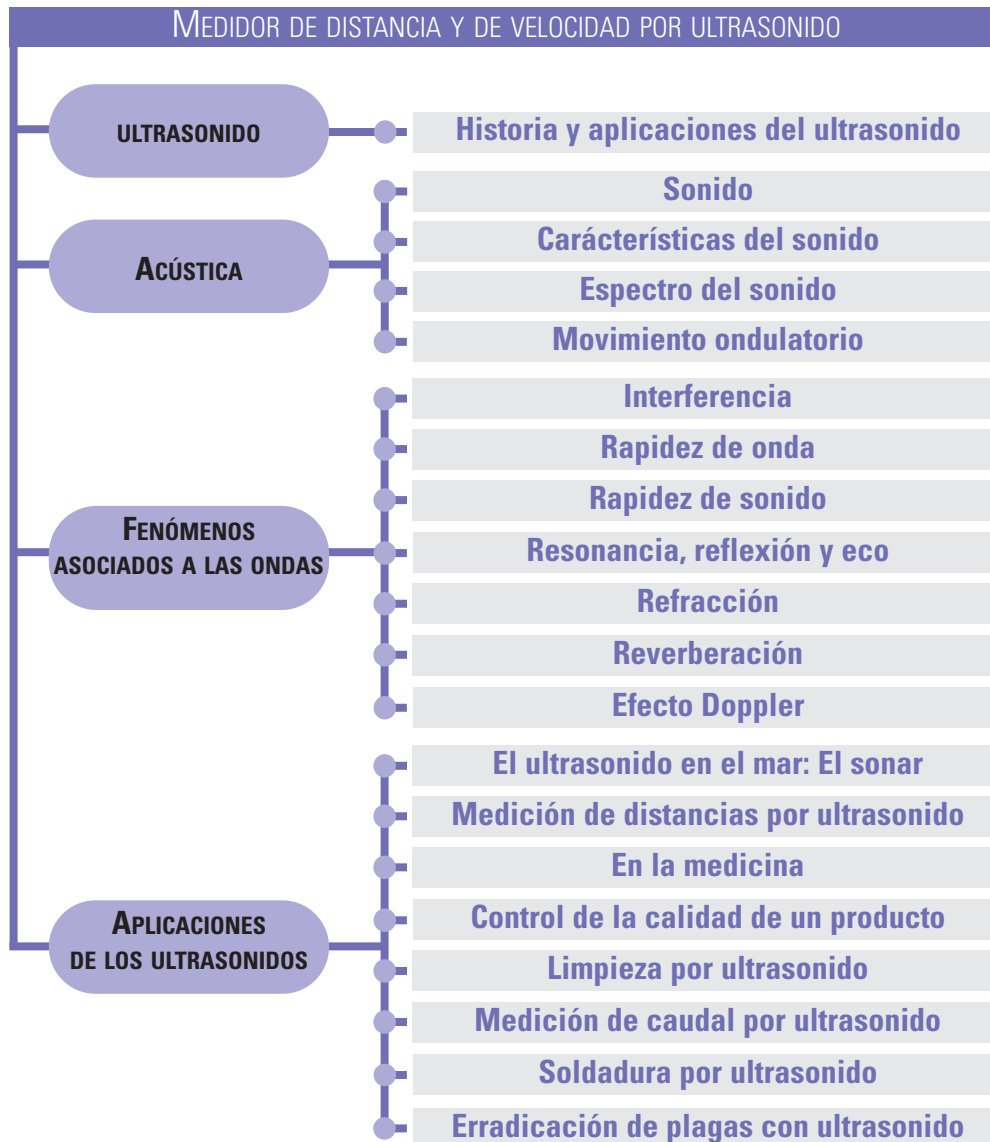
- Para medir distancias, se ubica el móvil en distintas posiciones.
- Para medir velocidades constantes, se desplaza el móvil mediante el arrastre -con un motor, por ejemplo-.
- Para medir aceleración, existe un opcio-

nal que inclina el plano y que permite variar la velocidad por efecto de la aceleración de la gravedad.

- Para medir la absorción de materiales acústicos, existe una salida para conectar a un osciloscopio, que posibilita medir la amplitud de la señal recibida y, además, ver las distintas reflexiones.
- Para medir la velocidad del sonido, se coloca un objeto a un metro de distancia y se mide el tiempo entre la salida del tren de pulsos y su llegada, luego de rebotar en dicho objeto.
- Para que trabaje como detector ultrasónico, se varía la ganancia de modo que actúe detectando objetos, a una determinada distancia.

## 2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

Las situaciones problemáticas que acabamos de plantearle -y todo otro problema tecnológico que involucre la presencia de ondas ultrasónicas-, integran contenidos relacionados con:



# Ultrasonido

El ultrasonido está compuesto por ondas de mayor frecuencia que las que nuestro oído percibe.

El ultrasonido comprende a las ondas con frecuencias mayores de 20 kHz (20.000 ciclos por segundo), encontrando aplicación en oceanografía, en medicina y en industria.

La detección y medida de ondas ultrasónicas se lleva a cabo, fundamentalmente, mediante receptores piezoeléctricos o por medios ópticos, ya que estas ondas pueden hacerse visibles a través de la difracción de la luz.

Los materiales de tipo piezoeléctrico que sirven de transductores de ultrasonido son:

- Cuarzo en frecuencias de 100 kHz a 35 MHz. Se usa en medicina y en pruebas no destructivas.

La **acústica** es la física del sonido. La teoría fundamental de la acústica trata de las vibraciones y de la propagación de las ondas.

El ultrasonido no se confunde con la supersónica -que trata de los fenómenos asociados al movimiento de un objeto sólido a velocidades superiores a la del sonido-.

Los **materiales piezoeléctricos** tienen la propiedad de que, al recibir una variación de la presión sobre su superficie, pueden producir una fuerza electromotriz; y, si reciben una variación de fuerza electromotriz aplicada a sus caras, también pueden producir una variación de la presión sobre el medio circundante.

- Titanato de bario en frecuencias de 100 kHz a 10 MHz. Se usa en procesos de limpieza.
- Zirconato de plomo o titanato de plomo en frecuencias de 5 kHz a 10 MHz. Se usa en procesos de limpieza.
- Sal de Rochelle en frecuencia de 20 Hz a 1 MHz. Se usa en sonar y en la búsqueda de profundidad.


Los generadores ultrasónicos modernos pueden producir frecuencias de varios gigahertz (1 gigahertz -abreviado, GHz- equivale a 1.000 millones de herz), convirtiendo corrientes eléctricas alternas en oscilaciones mecánicas.

El ultrasonido tiene muchas aplicaciones en diferentes campos. Se emplea, desde hace tiempo, en:


- detección y comunicación, en los llamados sonares, de gran importancia en la navegación actual;
- determinación de propiedades de la materia, como la compresibilidad o la elasticidad;
- producción de emulsiones, como la leche homogeneizada o las de las películas fotográficas;
- detección de fallos en materiales;
- integración de microscopios acústicos -con frecuencias del orden del gigahertz- que visualizan detalles de sólo un micrómetro (una millonésima de metro);



- soldado o moldeo de materiales muy duros, dándoles formas complejas -se logra con un tipo de haz ultrasónico en particular-;
- limpieza de piezas;
- medición de caudal en tuberías, sin la necesidad de perforarlas;
- medición de distancias; aún cuando, como se trata de sistemas de un costo elevado, se utilizan en circunstancias en las que el medio no permite el empleo de sistemas tradicionales y cuando se requiere de elevada precisión, integrando tanques de almacenamiento de combustibles, depósitos de granos, etc.



El equipo didáctico **Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** permite evaluar el sistema de medición de distancias por ultrasonido, conocer las características de propagación del sonido en los gases, medir la velocidad del sonido en el aire a diferentes temperaturas, evaluar su compensación con la temperatura y humedad, evaluar la precisión de la medición y su dependencia de las características del sistema utilizado.



## Historia y aplicaciones del ultrasonido

Los ultrasonidos no dejan de ser sonidos; si bien no para el hombre, sí para otros seres vivos. Muchos animales e insectos emiten sonidos en frecuencias inaudibles para el hombre; sin embargo, para otro ser vivo del mismo tipo, la onda sonora puede ser tan estruendosa y nítida como el trueno o el crujido de una rama al quebrarse. Sabemos, por ejemplo, que los perros acuden a nuestro llamado con silbatos ultrasónicos y que los murciélagos poseen un sistema de comunicaciones basado en ultrasonidos cuyas características son asombrosas. El murciélago no sólo emite ondas ultrasónicas para comunicarse con otros murciélagos, sino para enviar haces sonoros destinados a "ver" durante el vuelo e interpretar los ecos de estos sonidos para no chocar con los objetos, y para perseguir y capturar los insectos que le sirven de alimento.

Desde que el hombre tiene conocimiento de la existencia de estas ondas ultrasónicas, apenas han transcurrido unos 50 a 60 años. Son los naturalistas los que descubren los primeros indicios sobre ellas, observando que algunos insectos parecían mover ciertas partes del cuerpo, unas contra las otras, de tal manera que cabía suponer la emisión de algún sonido -aún cuando, para el observador humano, este movimiento resultara silencioso-. Además, algunos animales, como los murciélagos, parecían comunicarse entre ellos sin generar ningún sonido.

Con el correr del tiempo, algunos investigadores de otras especialidades -físicos, inge-

nieros- también obtienen indicios de que podían existir ondas sonoras fuera de la percepción humana. El problema radicaba en cómo demostrar que era así.

Las ondas sonoras se convierten en trazados visibles a fines del 1900, cuando se desarrolla la electrónica. Una manera de lograrlo consiste en captar las ondas de presión con elementos eléctricos especiales. Tal como sucede con cualquier micrófono, el trazado de la onda sonora se reproduce formando un trazado de ondas eléctricas similares. Esta onda eléctrica puede emplearse de diversos modos que permiten ver el trazado sonoro; por ejemplo, la señal eléctrica puede servir para accionar una lapicera que traza una línea en un papel; o bien, se puede medir la intensidad de la señal con voltímetros o amperímetros eléctricos comunes, que reflejan las características de la onda sonora.

Otro medio para "ver" el sonido consiste en recurrir al osciloscopio. Éste es un tubo electrónico, similar al del aparato de televisión, que tiene un revestimiento químico sensible especial en su cara interior, que se torna luminiscente cuando un haz de electrones de materia con carga eléctrica -electrones- llega a él. El trazado de la onda sonora se convierte en una imagen visible y ésta, a su vez, hace que las placas de deflexión del tubo orienten un haz de electrones hacia la faz del tubo. A raíz de esto, se forma una línea que reproduce la forma de la onda sonora original.

Con estos instrumentos se obtiene una representación eléctrica de los ultrasonidos. Por ejemplo, si se hace vibrar una muestra de



alambre a mayor o menor frecuencia, al llegar a un determinado punto, el observador comprueba que el alambre sigue vibrando pero que ya no emite sonido. Desde ese punto en adelante, las ondas del ultrasonido se observan con el osciloscopio o con algún otro dispositivo.

El factor primordial para dar explicación práctica al ultrasonido consiste en obtener un dispositivo susceptible de controlarse con exactitud, que emita ondas ultrasónicas de

**El transductor** es un dispositivo al que se aplica una energía de entrada y devuelve una energía de salida; esta energía de salida suele ser diferente al tipo de energía de entrada. Por ejemplo, en un medidor de temperatura mecánico se convierte la energía térmica aplicada en el movimiento mecánico de la aguja del marcador. Debido a la facilidad con la que se transmite y amplifica la energía eléctrica, los transductores más utilizados son los que convierten formas de energía -como calor, luz o sonido- en energía eléctrica. Algunos ejemplos son los micrófonos, que convierten la energía sonora en energía eléctrica, los materiales fotoeléctricos que convierten la luz en electricidad y los sensores piroeléctricos que convierten temperatura en energía eléctrica.

determinadas frecuencias.

Para obtener vibraciones ultrasónicas se requieren mejores materiales y métodos nuevos. Fue necesario desarrollar cristales especiales y también nuevos tipos de cerámica. Los primeros transductores se remontan al año 1917, cuando Langevin (físico francés; 1872-1946) emplea la señal de un oscilador proveniente de un circuito en un tubo de vacío, para excitar un cristal de cuarzo. Langevin demuestra que, implantando una señal eléctrica cambiante en el cristal, éste vibra y desprende sonido. Complementariamente, aplicando una onda sonora al cuarzo en frecuencias adecuadas, se genera en él una corriente eléctrica que circula por el sistema. Es el **efecto piezoeléctrico**.

Al poco tiempo, otros científicos se dedican a estudiar distintos cristales, entre ellos la turmalina, la sal de Rochelle y el fosfato biácido de amonio. Ninguno de ellos resulta tan eficaz como el cuarzo, aunque éste no constituye el recurso más adecuado para convertir la electricidad en sonido (porque, para que el cristal entre en vibración, se requiere más electricidad); aún cuando es de fácil aplicación, constituye un material muy resistente y se lo puede hacer vibrar casi a cualquier frecuencia si se lo mecaniza con el espesor apropiado.

En su empeño por obtener transductores de mejor calidad, los investigadores buscan otros enfoques. No mucho después de los trabajos de Langevin, otros científicos producen un transductor basado en el principio de la **magnetostricción**. Comprueban que, aplicando una corriente eléctrica variable a

una varilla metálica magnética -hierro, níquel, cobalto-, ésta se comprime y se expande ligeramente, siguiendo las variaciones de la corriente. Las vibraciones de la varilla emiten una onda sonora. Tal como sucede con los transductores de otro tipo, el sistema también funciona a la inversa: Al incidir una onda sonora sobre la varilla, ésta genera un flujo eléctrico variable. La desventaja del método de la magnetostricción es que sólo sirve para una frecuencia limitada; la frecuencia máxima de salida es de 50 kHz -cuando el cuarzo permite frecuencias superiores-.

Después de la Segunda Guerra Mundial, con el rápido desarrollo de la física de estado sólido que reemplaza a los tubos o válvulas de vacío, se halla la manera de conseguir transductores aún mejores. Se construyen, entonces, transductores pequeños y de alto rendimiento, uniendo el cristal vibrador a una pequeña chapa de material semiconductor electrónico. Además, se comprueba que algunas de las cerámicas electrónicas poseen propiedades similares a las varillas metálicas cuando se las somete a la acción de un campo magnético. Estas piezas se denominan de ferrocerámica y pueden producirse en una gran variedad de formas. Mediante el cuidadoso diseño de la forma y de la manera de arrollar el conductor eléctrico a su alrededor, se generan ondas sonoras de extraordinaria intensidad. El principio por el cual funcionan estos transductores, basado en el cambio de tamaño de la ferrocerámica imantada por acción de una corriente eléctrica variable, es el **piezomagnetismo**. Las ondas sonoras que estos materiales emiten, llegan a tener frecuencias varios centenares de veces superiores a las que se consiguen con los transduc-

tores de cuarzo. En 1965, los investigadores logran fabricar osciladores con frecuencias superiores a los 100 MHz.

El advenimiento de los grabadores de alambre y cinta permite grabar sonidos de los animales. Se lee, así, el sonido inaudible de alta frecuencia grabado en la cinta. Estos equipos especiales demuestran que las distintas clases de murciélagos poseen distintos lenguajes ultrasónicos -como distintos grupos humanos tienen lenguas diferentes-.

Los estudios revelan que las cabezas de los murciélagos obedecen a esta finalidad; sus rasgos faciales forman parte del sistema especial para enfocar los sonidos que requieren para generar las frecuencias de los ultrasonidos.

Estos estudios conducen a resultados importantes, al determinar con exactitud el modo en que los murciélagos se guían mediante el eco; han servido a los tecnólogos para avanzar sobre la manera de desarrollar sistemas sonoros para conducir vehículos hechos por el hombre, como los submarinos.

Dado que el ultrasonido no influye sobre el oído humano, se emplean nuevos métodos para la **lucha contra los insectos** porque se ha comprobado, por ejemplo, que ciertos mosquitos son sensibles a determinadas frecuencias ultrasónicas y se alejan de ellas, lo que lleva al desarrollo de dispositivos protectores que eliminan la necesidad de los mosquiteros. Con pantallas ultrasónicas para protegerse de los mosquitos, el hombre podría llegar a disfrutar cómoda-

mente las delicias de los días de verano y, en los climas tropicales, a contribuir a eliminar el flagelo del paludismo, enfermedad transmitida por los mosquitos; las viviendas se liberarían también de los roedores -sensibles a los sonidos inaudibles para nosotros-, empleando generadores ultrasónicos.

Las investigaciones con ultrasonidos beneficiarían, asimismo, a los agricultores, ya que el desarrollo de grandes generadores ultrasónicos evitaría la destrucción de los cultivos por insectos nocivos. De este modo, se reduciría el consumo de rociadores químicos en las plantaciones, ya que el empleo excesivo de estas sustancias químicas para combatir las plagas es tóxico para el ser humano y para importantes especies de la fauna natural.

Los ultrasonidos tienen otras aplicaciones capaces de introducir cambios más revolucionarios todavía en la agricultura. Mediante experimentos se ha comprobado que las frecuencias ultrasónicas **influyen sobre las bacterias, las levaduras, las semillas de los vegetales y las plantas en crecimiento**. Estos efectos pueden ser útiles o nocivos, según la cantidad y frecuencia del ultrasonido que se aplique.

Aún se requiere mucho estudio para establecer el modo correcto de aplicar cualquier tratamiento ultrasónico. Por ejemplo, la intensidad de la onda sonora tiene que estar dentro de una determinada gama de decibeles para que se obtenga un efecto dado. Una frecuencia ultrasónica de 100 kHz favorece el crecimiento de determinada especie vegetal; pero, conservando

la misma frecuencia y duplicando la intensidad, daña a la planta. Del mismo modo, una onda ultrasónica de frecuencia inferior estimula la germinación de las semillas; pero, modificando la intensidad o el lapso de exposición de los ultrasonidos, la misma frecuencia sonora sirve para mezclar bacterias en los líquidos con mayor rapidez; o bien, modificando las propiedades del haz ultrasónico, destruir las bacterias.

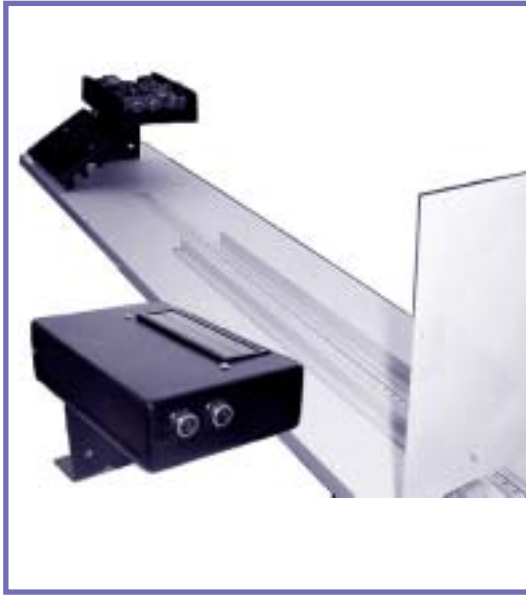
De todos modos, es evidente que los ultrasonidos pueden ser de mucha utilidad para producir mayor cantidad o alimentos de mejor calidad por hectárea. En la industria, la aplicación de los ultrasonidos para **mejorar el mezclado de componentes** -bacterias y líquidos- **acelera algunos procesos**, como la elaboración del vino o el vinagre. Otra aplicación es la de matar bacterias para, así, preservar los alimentos. (Esta última propiedad también puede destinarse a la esterilización de instrumental médico o de heridas en el ser humano).

**La industria naviera** ofrece otro ejemplo del control de plagas mediante los ultrasonidos. Uno de los principales problemas de los empresarios navieros es el de los moluscos que se adhieren al casco de los barcos; cuando éstos se aglomeran en gran cantidad, el agua no puede circular libremente alrededor y la marcha de la nave se frena; en consecuencia, suele ser necesario llevar al barco a dique seco para eliminar los moluscos mediante rasquetado y volver a pintar el casco. Estudios desarrollados demuestran que, aplicando ciertas frecuencias ultrasónicas, los moluscos cierran sus conchas; así, en la actualidad, se trabaja con vibradores

ultrasónicos especiales que se instalan en los barcos para emitir ondas sonoras que mantienen los cascos libres de moluscos en todo momento.

En **medicina**, los ultrasonidos prometen una revolución casi tan importante como la que implicó la introducción de los rayos X. El rayo X permite a los médicos obtener imágenes del interior del cuerpo humano, necesarias para determinar si existe alguna lesión, sin necesidad de recurrir a procedimientos quirúrgicos. Sin embargo, también se sabe que la exposición excesiva a los rayos X puede ser peligrosa. Además, los rayos X sólo aportan datos sobre determinadas partes del organismo, como los huesos y los tejidos duros; los tejidos blandos -músculos, grasa, hígado- no se ven con los rayos X. En la actualidad, mediante equipos ultrasónicos, no sólo se llega a ver estas partes del organismo, sino que éstas se perciben tridimensionalmente.

La onda sonora se obtiene mediante un transductor. El sistema eléctrico produce, en primer término, una pulsación de energía eléctrica de forma idéntica a la pulsación sonora que se desea. Esta energía hace vibrar un diafragma (fuelle en miniatura) situado en el transductor, impartiendo una onda sonora de alta frecuencia al aire circundante. La onda así obtenida se orienta hacia la parte del organismo que se desea examinar. Sólo emite un ciclo de ultrasonido a la vez, canalizado de manera que produce un eco en el tejido; el proceso se repite varias veces, moviendo el transductor. Cada eco arroja información sobre la región del cuerpo explorada; el movimiento del transductor produce el efecto tridimensional.



Se puede apreciar, entonces, que la combinación de ultrasonidos con los rayos X ofrece a los médicos la posibilidad de examinar cualquier parte del organismo. El ultrasonido también puede utilizarse para obtener placas semejantes a las que se logran con los rayos X. Esto significa que, cuando existan equipos ultrasónicos baratos y prácticos, se podrá reducir el uso de los rayos X. Correctamente empleados, los ultrasonidos no son nocivos para el cuerpo humano, evitándose así las posibles lesiones atribuidas a los rayos X.

La ultrasónica también promete despejar un nuevo camino para realizar exámenes cardíacos. Orientando las pulsaciones de energía ultrasónica hacia los tejidos del corazón y midiendo el tiempo requerido para que el eco retorne al aparato, los médicos determinan si el corazón funciona bien.

Los científicos también han hallado la posibilidad de aplicar el efecto Doppler. En este

caso, se envía una serie de pulsaciones hacia la región cardíaca, observándose el cambio de tono motivado por el movimiento de sus superficies. Así, se estudian las válvulas cardíacas y se verifica su funcionamiento. Contando con los ultrasonidos para estudiar los tejidos cardíacos y las partes móviles del corazón, dentro de poco, los médicos estarán en condiciones de identificar las lesiones cardíacas mucho antes de que el paciente experimente algún síntoma, diagnóstico temprano que permitirá salvar un gran número de vidas.

Los ultrasonidos no sólo pueden emplearse para examinar el cuerpo humano sino, también, para mejorar su funcionamiento. Por ejemplo, la diatermia ultrasónica sirve para aliviar el dolor y el malestar en muchas enfermedades y lesiones traumáticas. El procedimiento consiste en aplicar ultrasonidos de baja intensidad que pasan al cuerpo desde un transductor aplicado a la piel. Las pequeñas dosis de esta energía reducen el dolor de los músculos resentidos, la bursitis, la fibrositis, la artritis y otros males. Sin embargo, los hombres de ciencia advierten que los ultrasonidos no son una panacea y que se deben aplicar con suma prudencia, con la dirección del médico.

También se investiga el empleo de los ultrasonidos para introducir cambios en el interior del organismo, sin alterar las porciones de carne y hueso situadas en el medio. Para que este tipo de

En la actualidad, se emplean equipos que concentran el haz sonoro en el interior del cuerpo, en una superficie igual a la de la mina de un lápiz.

tratamiento resulte inocuo, se requiere, aún, una considerable labor; pero, ya se han realizado estudios para modificar tamaños, formas y hasta posiciones de algunas estructuras del cuerpo. A frecuencias muy elevadas (1 MHz a 4 MHz) se pueden realizar operaciones en las profundidades del cuerpo, sin punzar siquiera la piel ni los tejidos sanos. Para esto es necesario enfocar con gran exactitud los haces ultrasónicos, mediante un objetivo especial que cubre el cristal emisor del sonido. Este sistema sirve hasta para realizar delicadas intervenciones en el cerebro, las que requieren extirpar una parte del hueso del cráneo (porque el hueso absorbe los sonidos mucho más que los tejidos blandos). Por otra parte, en las intervenciones cerebrales la frecuencia máxima que puede emplearse sin peligro es de unos 2 MHz.

El empleo de los ultrasonidos en terapéutica cerebral promete el surgimiento de una amplia gama de adelantos médicos. Ante todo, se elimina el peligro de lesionar por accidente alguna estructura importante del cerebro, riesgo potencial cuando se recurre a instrumentos mecánicos como bisturís o bombas de succión, a sustancias químicas que se introducen con tubos especiales, a estudios eléctricos en los que se implantan minúsculos electrodos en los tejidos circundantes o a radiaciones; por más recaudos que se concreten, cada uno de estos procedimientos implica la destrucción de tejido para introducir los instrumentos. Con los ultrasonidos, en cambio, todo lo que se requiere es enfocar bien los haces. Los estudios o los tratamientos con ultrasonidos se pueden realizar todas las veces que los médicos consideren necesario; por esto, en la actualidad, es posible recurrir a los haces

ultrasónicos para hacer estudios prolongados y cuidadosos sobre el funcionamiento de las distintas áreas del cerebro. Con el tiempo se podrán conocer y diferenciar los millones de minúsculos circuitos neuronales del cerebro y su funcionamiento. Con estos datos, los médicos estarán en mejores condiciones de actuar en casi todos los tipos de enfermedades cerebrales y aplicar la ultrasónica para obtener la curación.

Además de usos medicinales, se pueden emplear haces ultrasónicos para **reconocer fallas en los materiales**; porque, los puntos débiles que puede contener el material desvían a la onda ultrasónica. Esta desviación es captada por el instrumento, indicando que el material presenta un defecto.

Los ultrasonidos también sirven para verificar el sonido de los átomos. La estructura del átomo es similar a la de un pequeño universo donde los electrones giran vertiginosamente alrededor del núcleo, como si fuesen los planetas en torno del Sol. Esta constante vibración en toda la materia desprende un sonido de alta frecuencia que se registra mediante sondas ultrasónicas.

Existe una relación entre el movimiento de los átomos y la capacidad de los materiales para absorber el sonido. Enviando ondas sonoras de distintas frecuencias sobre distintos materiales y observando las alteraciones que ocurren en el sonido, los investigadores obtienen datos fundamentales sobre la estructura del átomo. A partir de esto, entonces, se puede mejorar el material o desarrollar nuevas combinaciones de materiales dotados de propiedades especiales.

Merced a estos efectos relacionados entre sí, es posible detectar las fallas existentes en el espesor de los materiales compactos. Si, por ejemplo, los átomos de una barra de acero están deformados en un determinado lugar, desvían la orientación del haz de sonidos de alta frecuencia. Para la observación visual, parecería que el metal es tan resistente adentro como afuera; pero, gracias al haz sonoro, se sabe que presenta un peligroso punto débil en un determinado lugar. Si la pieza está en buenas condiciones, el haz ultrasónico lo revela, sin alterar físicamente el material.

También se están empleando mucho los ultrasonidos para mejorar o fiscalizar los procesos de producción industrial. Empleando haces de sonidos de alta frecuencia cuidadosamente seleccionados, se obtiene la **mezcla más completa de dos materiales**, por ejemplo. En algunos casos, el método ultrasónico logra mezclar dos sustancias que, normalmente, serían indiferentes la una frente a la otra. Estas mezclas pueden ser líquidas o sólidas; puede tratarse de mezclas de sustancias químicas o de aleaciones de distintos metales fundidos en altos hornos.

Otra aplicación fabril de los ultrasonidos es la **limpieza de piezas delicadas o de difícil acceso**. En este caso, la enérgica vibración generada por los haces ultrasónicos sacude y desprende prácticamente todas las partículas de suciedad. Entre las aplicaciones de limpieza específica figuran las piezas de relojes, las piezas de automóviles, las piezas odontológicas y partes constitutivas de giróscopos para la industria aeronáutica.

Entre las múltiples aplicaciones industriales de los ultrasonidos se presenta, también, la

de **medición de nivel de líquido**. En el fondo del recipiente se coloca el pequeño transductor piezoeléctrico que genera unos haces ultrasónicos enfocados de modo que se reflejan desde la superficie del líquido hacia abajo. Las señales pasan, entonces, a la aguja indicadora, que revela la altura del líquido en su correspondiente unidad.

Es probable que la aplicación más importante de la ultrasónica en la industria actual sea en las **operaciones de maquinado y soldado**. Las elevadísimas vibraciones del ultrasonido pueden utilizarse para desgastar partículas hasta de los metales más resistentes. En este caso, un transductor transmite la frecuencia deseada a una herramienta -un punzón o una piedra de amolar, por ejemplo-; la vibración de la herramienta, aunque enorme, es tan rápida que no se ve a simple vista; sin embargo, se puede controlar cuidadosamente para obtener cortes, perforaciones y otros cambios exactos, en todo tipo de material. El proceso es tan sensible que sirve para recortar partículas sumamente quebradizas como la cerámica o el vidrio. Uno de los nuevos métodos de esmerilar que se estudian, es el de los barrenos ultrasónicos para odontología que, algún día, han de simplificar el relleno de las cavidades dentales.

La **soldadura** ultrasónica se emplea desde hace muchos años en la industria. Porque, uno de los problemas que plantea la soldadura convencional es que requiere aplicar calor para fundir los metales en el sitio de unión; entonces, lamentablemente, si bien la unión resultante es muy firme, el metal que circunda a la soldadura tiende a debilitarse. Para resolver este deterioro colateral, se ha



descubierto que es posible unir materiales aplicando energía ultrasónica con herramientas de formas especiales. El haz ultrasónico hace vibrar los átomos de los dos cabos metálicos, logrando que se entrelacen; como esta soldadura ultrasónica no requiere calor, el metal circundante no se debilita. Pero, la soldadura ultrasónica tiene sus limitaciones. Sólo se pueden unir de este modo finas láminas de metal de menos de 5 milímetros de espesor. En muchas piezas de aviones, en que se emplean chapas finas, el método ultrasónico representa, entonces, una solución.

Además de los procesos de maquinado y soldadura, también se ha comprobado que la energía ultrasónica sirve para **laminar metales** y obtener, así, hojas de muy poco espesor.

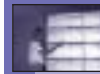
También se trabaja con técnicas ultrasónicas en **fraguado, en trefilado de alambre y en la producción de tubos sin costura**. Lo más promisorio ha sido el empleo de los ultrasonidos para dar forma a materiales normalmente difíciles de trabajar, como la cerámica.

Es común aplicar sistemas de telemetría, o posicionamiento con infrarrojo y ultrasonido combinados, de modo de recibir dos señales (con sensores apropiados para cada una de dichas emisiones) desfasadas en el tiempo, proporcionales a la velocidad de propagación de cada onda, procedimiento que permite **calcular la distancia**.

Pensemos, por ejemplo, en el haz de luz que genera un rayo en una tormenta eléctrica y el tiempo que transcurre hasta que se siente el ruido de la descarga eléctrica.

Las que hemos reseñado son apenas unas pocas de las múltiples aplicaciones de los ultrasonidos. En realidad, hay centenares de aplicaciones más en estudio o en pleno funcionamiento, en muchos ámbitos de la industria y de la ciencia.

El sonido inaudible promete ser uno de los auxiliares más importantes del hombre en los años por venir.



### El equipo **Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido**

permite medir la velocidad de propagación del sonido en el aire, así como evaluar esta velocidad a distintas temperaturas.

El método de generación y medición utilizado en nuestro recurso didáctico es muy similar al implementado, por ejemplo, en medicina -con la salvedad de que las frecuencias del ultrasonido se ajustan al medio de propagación-



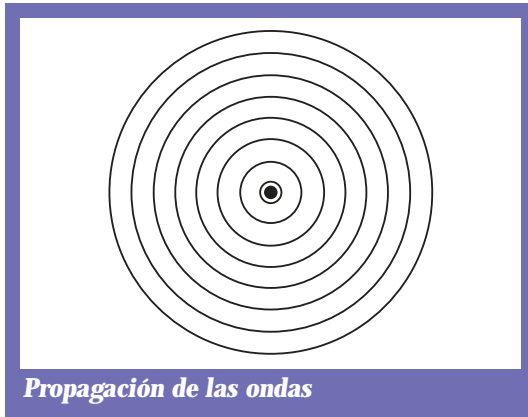
## Acústica

Hasta los objetos que no podemos ver - porque son demasiado pequeños, como los átomos- se agitan y se mueven constantemente.

Un movimiento oscilatorio en el tiempo constituye una vibración. Una vibración no puede existir en un instante determinado; requiere tiempo para ir de un lado a otro.

Por ejemplo, si hacemos sonar una campana, las vibraciones continúan por algún tiempo antes de extinguirse. La vibración se define, así, como una oscilación (movimiento repetitivo de vaivén) respecto de una posición de equilibrio.

Un movimiento alternado en el espacio y el tiempo es una **onda**. Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o, incluso, en el vacío. Una onda no puede existir en un solo lugar; se extiende de un lado a otro. La luz y el sonido son formas de energía que se propagan en el espacio en forma de ondas



La Acústica es la ciencia que se ocupa del estudio del **sonido**.

El sonido es el proceso ondulatorio que se transmite por vibración longitudinal de las moléculas de un medio elástico como el aire. Cuando, en alguna región del aire, se produce una perturbación de presión -en la forma de una compresión, por ejemplo, dicha región tiende a expandirse hacia las regiones vecinas. Esto produce, a su vez, una

compresión en dichas regiones, que vuelven a expandirse creando una compresión más lejos aún. Este proceso se desarrolla en forma continua, haciendo que la perturbación original se propague a través del aire alcanzando, en algún momento, la posición que ocupa algún receptor. La perturbación descrita se denomina **presión sonora**.

Este tipo de movimiento en el cual no es el medio en sí mismo lo que se desplaza sino alguna perturbación, se denomina **onda** (Existen muchos otros tipos de ondas, tales como las ondas de radio, la luz, la radiación del calor, las ondas sobre la superficie de un lago, los *tsunamis* -olas gigantes-, los movimientos sísmicos, etc.).

- Cuando la onda tiene lugar en un medio material, se denomina **onda acústica**.
- Cuando resulta audible, se llama **onda sonora**.
- Cuando es superior al espectro audible, **onda ultrasónica**.

Una cualidad importante de las ondas es que en ellas, a lo largo de su camino de propagación, se mantienen prácticamente constantes la forma de onda y la energía total (siempre y cuando el medio sea no disipativo).

Las ondas sonoras viajan a velocidad constante, la que depende del medio y de condiciones ambientales tales como la temperatura y humedad. A temperatura ambiente, la velocidad del sonido en el aire es, aproxi-

madamente, de 345 m/s; esto significa que, para recorrer una distancia de 345 metros, el sonido demora un segundo. En el agua, el sonido viaja más de 4 veces más rápido que en el aire.

Cuando hay gradientes (variaciones entre dos zonas) de temperatura -tal como sucede entre puntos distantes algunos cientos de metros o que se encuentran a diferentes alturas-, el camino que sigue el sonido es curvilíneo en lugar de recto.

Ésta es la razón por la cual nuestra percepción se confunde al intentar determinar auditivamente por dónde está volando un avión.

Estamos planteando el concepto de propagación de las ondas mediante una única perturbación en un medio; pero, la mayoría de las ondas es el resultado de muchas perturbaciones sucesivas y no sólo de una. Cuando las perturbaciones se producen a intervalos regulares y son todas de la misma forma, estamos en presencia de una onda periódica; en ella, el número de perturbaciones por segundo se denomina frecuencia de la onda y se expresa en Hertz (Hz) -es decir, ciclos por segundo (un ciclo es todo lo que sucede durante una perturbación completa)-.

En el caso de las ondas sonoras, la frecuencia es entre 20 Hz y 20.000 Hz.

Las ondas acústicas de menos de 20 Hz se denominan **infrasonidos** y las de más de 20.000 Hz se llaman **ultrasonidos**. Por lo general, ni unos ni otros son audibles por

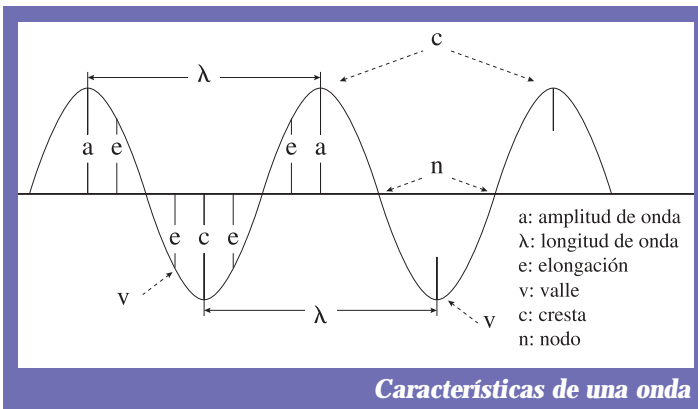
el ser humano. Algunos animales (por ejemplo el perro) pueden escuchar sonidos de muy baja frecuencia, tales como los creados por las ondas sísmicas durante un terremoto; por esta razón, los animales se muestran inquietos en los instantes previos a un movimiento sísmico, al escuchar la señal de advertencia que resulta inaudible para el ser humano. En forma similar, algunos animales escuchan ultrasonidos; como ya planteábamos, el murciélago es un caso notable, ya que escucha sonidos de más de 100.000 Hz, lo que le permite orientarse por medio de señales acústicas que, analógicamente, constituyen el principio del sonar (semejante al radar).

Aún cuando muchos sonidos son aproximadamente **periódicos** -como los sonidos producidos por los instrumentos musicales de altura determinada (guitarra, flauta, piano)-, la vasta mayoría de los sonidos naturales son **aperiódicos**: Las sucesivas perturbaciones no se producen a intervalos regulares y no mantienen constante su forma de onda. Esto es lo que técnicamente se denomina ruido. Una onda aperiódica, en general, no produce sensación de altura. Algunos ejemplos son el ruido urbano, las consonantes, el ruido del mar y el sonido de muchos instrumentos de percusión tales como los tambores o los platillos.

**Sonido  
periódico de una  
única frecuencia  
(diapasón)**



En nuestro equipo, utilizamos una onda de 40 kHz de frecuencia, generamos un tren de diez pulsos a esta frecuencia y, luego, esperamos la llegada del eco proveniente de un obstáculo.



Al transmitirse, todo movimiento ondulatorio presenta las siguientes características:

- La posición más alta con respecto a la posición de equilibrio se llama *cresta*.
- El *ciclo* es una oscilación.
- La posición más baja con respecto a la posición de equilibrio se llama *valle*.
- El máximo alejamiento de cada partícula con respecto a la posición de equilibrio es la *amplitud de onda*.
- El *período* es el tiempo transcurrido entre la emisión de dos ondas consecutivas.
- El número de ondas emitidas en cada segundo se denomina *frecuencia*.
- La distancia que hay entre cresta y cresta, o valle y valle, se llama *longitud de onda*.
- *Nodo* es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.
- *Elongación* es la distancia que hay, en forma perpendicular, entre un punto de la onda y la línea de equilibrio.

## Sonido

El sonido es la vibración de un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido.

Cuando nos referimos al sonido audible, estamos hablando de la sensación detectada por nuestro oído, originada en las variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático -dado por la presión atmosférica; alrededor de 100 hectopascal-. Se trata de variaciones pequeñas y de forma muy lenta, tal y como se puede comprobar en un barómetro.

Cuando las variaciones de presión se encuentran entre 20 y 20.000 veces por segundo (igual a una frecuencia de 20 Hz a 20 kHz), el sonido es potencialmente audible aunque las variaciones de presión puedan ser, a veces, tan pequeñas como la millonésima parte de un pascal.

Los sonidos muy fuertes son causados por grandes variaciones de presión. Por ejemplo, una variación de un pascal se oye como un sonido muy fuerte, siempre y cuando la mayoría de la energía de dicho sonido esté contenida en las frecuencias medias (1 kHz - 4 kHz) que es donde el oído humano es más sensible.

El sonido puede ser producido por diferentes fuentes, desde una persona hablando hasta un parlante -una membrana móvil que desplaza el aire generando ondas sonoras-.

Se dice que hay un sonido cuando una perturbación mecánica se propaga por un medio material y llega a un receptor con capacidad para producir en él una sensación. Por tanto, para que exista sonido, deben existir:

- un elemento capaz de producir una perturbación mecánica,
- un medio capaz de propagar la perturbación,
- un oyente en el cual se produce una sensación auditiva.

Se considera un **fenómeno acústico** cuando la perturbación y el medio reúnen las características mencionadas.

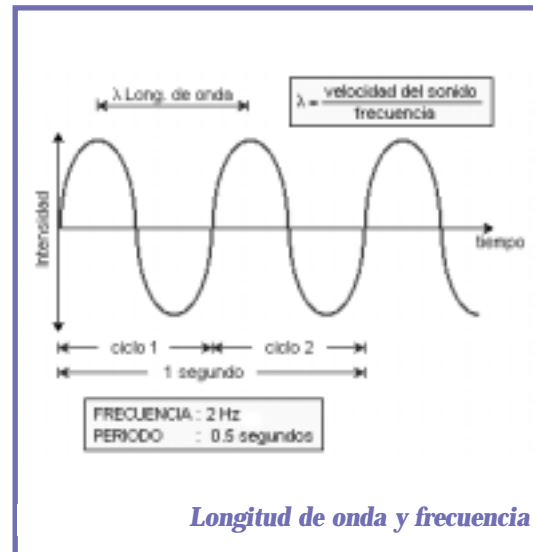
La misma definición da a entender que el sonido puede ser detectado y evaluado mediante la medida de alguna de las magnitudes físicas del medio que la perturbación haga variar con respecto a su posición de equilibrio. Generalmente, la magnitud usada es la presión.

Para favorecer la propagación de la perturbación, el medio debe tener dos propiedades:

- **Inercia:** Permite a un elemento del medio transferir energía al elemento contiguo. Está relacionada con la densidad del medio.
- **Elasticidad:** Produce una fuerza en el elemento desplazado que tiende a llevarlo a su posición de equilibrio.

El sonido se origina por una onda de presión producida por una fuente vibratoria. Debido a esto, el movimiento de las partículas del medio se estudia con las características del movimiento ondulatorio.

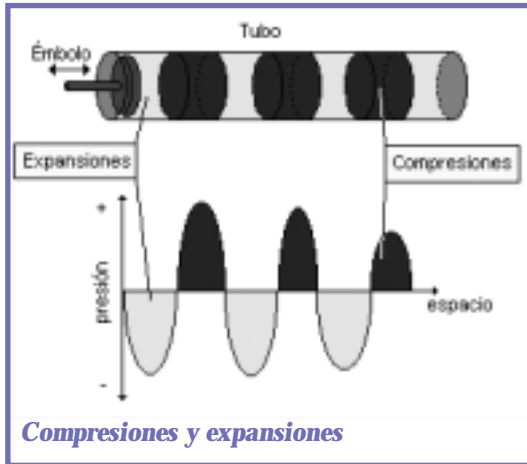
La velocidad de propagación del sonido en un medio es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga.



En cuanto al sonido, se pueden considerar tres tipos de ondas:

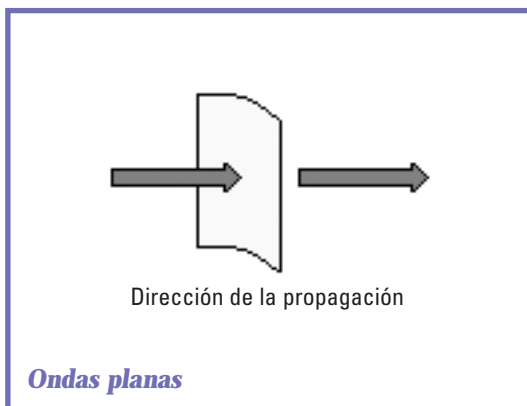
**Ondas planas.** Son las que se forman en un tubo que contiene un medio elástico -como aire o agua- y que, en uno de sus extremos, tiene un pistón que se mueve alternativamente hacia delante y hacia atrás. La posición del pistón en el tiempo puede describirse mediante una función sinusoidal. El movimiento alternativo del pistón hace que el aire se comprima y expanda, y que el movimiento de las partículas se propague a

lo largo del tubo. Esta serie de compresiones y expansiones constituye un tren de ondas que se propaga a lo largo del tubo a una velocidad que depende del medio de propagación.



Observamos que solamente se propaga la vibración; las partículas del medio sólo vibran alrededor de su posición de equilibrio.

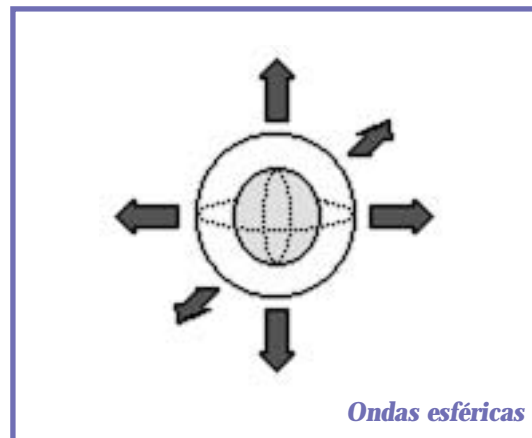
Las ondas sónicas producidas por el pistón son planas porque se desplazan en una sola dirección y transmiten la vibración a todas las partículas del plano, en el mismo instante.



**Ondas cilíndricas.** Si la superficie que produce la perturbación es un cilindro cuya superficie está vibrando, los frentes de onda son también superficies cilíndricas paralelas a la fuente.



**Ondas esféricas.** Se producen cuando la fuente tiene forma esférica o es una partícula que transmite su vibración por igual en todas direcciones. El frente de onda está formado por esferas concéntricas.



Las ondas sonoras en el mar son de este último tipo.



Para un medidor de distancia, se busca que el frente de onda sea plano. Esto permite lograr una medición precisa que no tome rebotes que no se corresponden con el obstáculo a medir.

En el recurso didáctico que estamos proponiendo, se busca que el haz sea lo más fino posible, para obtener una lectura sencilla de un frente también reducido.

En cambio, en un aparato como un ecógrafo, el objetivo es que pueda tomar los ecos en un ángulo más amplio, de forma de obtener un cono de observación.



**Intensidad.** Depende de la amplitud. Distingue un sonido fuerte de uno débil.

**Altura o tono.** Depende de la frecuencia. Distingue a un sonido agudo (tono alto) de un sonido grave (tono bajo).

**Timbre.** Depende de la forma de onda. Distingue dos sonidos de la misma intensidad y tono pero producidos por distintas fuentes.

**Intensidad.** La distancia a la que se puede oír un sonido depende de su intensidad. Ésta está definida por el flujo medio de energía por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. En el caso de ondas esféricas que se propagan desde una fuente puntual, la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, suponiendo que no se produce ninguna pérdida de energía debido a la viscosidad, la conducción térmica u otros efectos de absorción. Por ejemplo, en un medio perfectamente homogéneo, un sonido es nueve veces más intenso a una distancia de 100 metros que a una distancia de 300 metros. En la propagación real del sonido en la atmósfera, los cambios de la temperatura, la presión o la humedad producen amortiguación y dispersión de las ondas sonoras, por lo que generalmente la ley del inverso del cuadrado no se puede aplicar a las medidas directas de la intensidad del sonido.

**Altura o tono.** Cada sonido se caracteriza por su velocidad específica de vibración, la que impresiona de manera peculiar al sentido auditivo. Esta propiedad recibe el nombre de tono. Los sonidos de mayor o menor

## Características del sonido

Cualquier sonido sencillo -como una nota musical- puede describirse en su totalidad, especificando tres características de su percepción:

- la intensidad,
- la altura o tono,
- el timbre.

Estas características se corresponden físicamente a:

- la amplitud,
- la frecuencia,
- la composición armónica o forma de onda.

frecuencia se denominan, respectivamente, agudos o graves -términos relativos ya que, entre los tonos diferentes, uno de ellos es siempre más agudo que el otro y a la inversa-

**Timbre.** Si se toca una nota musical -como el "do" central- en un violín, un piano y un diapasón, con la misma intensidad en los tres casos, los sonidos son idénticos en frecuencia y amplitud, pero muy diferentes en timbre. De las tres fuentes, el diapasón es el que produce el tono más sencillo -que, en este caso, está formado casi exclusivamente por vibraciones con frecuencias de 440 Hz-. Debido a las propiedades acústicas del oído y a las propiedades de resonancia de su membrana vibrante, es dudoso que un tono puro llegue al mecanismo interno del oído sin sufrir cambios. El componente principal de la nota producida por el piano o el violín, también tiene una frecuencia de 440 Hz. Sin embargo, esas notas contienen componentes con frecuencias que son múltiplos exactos de 440 Hz, los llamados tonos secundarios, como 880, 1.320 ó 1.760 Hz. Las intensidades concretas de estos otros componentes, los llamados armónicos, determinan el timbre de la nota.



En el *kit* que le proponemos desarrollar, los pulsos generados responden en forma a una señal cuadrada; de modo que no sólo estamos emitiendo una onda de 40 kHz sino también sus armónicos impares con menor intensidad; principalmente, porque el transductor tiene un ancho de banda muy estrecho, es decir puede transmitir una onda de 40 kHz muy bien, pero no así una que supere los 41 kHz.



## Espectro del sonido

El concepto de espectro es de importancia capital en acústica. Cuando planteamos el concepto de frecuencia, dijimos que las ondas periódicas tienen asociada una frecuencia. Sin embargo, esto es sólo parte de la verdad, ya que por lo general dichas ondas contienen varias frecuencias a la vez. Así, cuando escuchamos un sonido de 100 Hz, realmente estamos escuchando ondas senoidales de frecuencias 100Hz, 200Hz, 300Hz, 400 Hz, 500 Hz, etc. Estas ondas senoidales se denominan armónicos del sonido original y, en muchos instrumentos musicales (como la guitarra), son claramente audibles.

Esta propiedad está formulada en el notable teorema matemático denominado **Teorema de Fourier** (en honor a su descubridor, matemático francés), que afirma que cualquier forma de onda periódica puede descomponerse en una serie de ondas de una forma particular -onda senoidal (o senoide o sinusoides)-, cada una de las cuales tiene una frecuencia que es múltiplo de la frecuencia de la onda original (frecuencia fundamental).

¿Qué sucede con un sonido original cuya forma de onda ya es senoidal? Cuando se intenta aplicar el teorema de Fourier a una senoide, el resultado es un solo armónico -de la misma frecuencia que la senoide original, por supuesto-. (Nótese que el Teorema de Fourier no dice que todas las formas de ondas deben tener varios armónicos sino que cualquier forma de onda puede obtenerse por superposición de cierta cantidad de senoides, cantidad que puede reducirse a una sola, que es lo



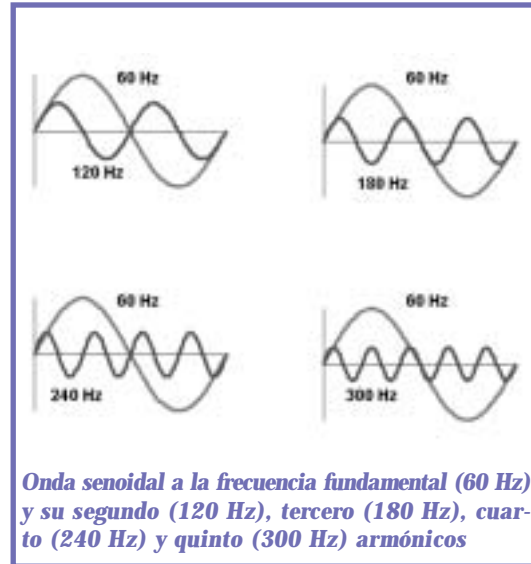
que ocurre con las ondas senoidales.) El hecho de que cada onda senoidal tiene una única frecuencia, ha llevado a llamar también tonos puros a las ondas senoidales.

La descripción de las ondas senoidales que componen un sonido dado se denomina **espectro del sonido**. El espectro es importante debido a varias razones:

- Permite una descripción de las ondas sonoras que está íntimamente vinculada con el efecto de diferentes dispositivos y modificadores físicos del sonido. Si se conoce el espectro de un sonido dado, es posible determinar cómo se ve afectado por las propiedades absorbentes -de una alfombra, por ejemplo-. No puede decirse lo mismo en el caso de que se conozca sólo la forma de onda.
- La percepción auditiva del sonido es de naturaleza predominantemente espectral. En efecto, antes de llevar a cabo ningún otro procesamiento de la señal acústica, el oído descompone el sonido recibido en sus componentes frecuenciales, es decir en las ondas senoidales que, según el teorema de Fourier, conforman ese sonido. Por ese motivo, con algo de práctica es posible, por ejemplo, reconocer las notas de un acorde.

¿Qué puede decirse del espectro de los sonidos aperiódicos? El teorema de Fourier puede extenderse al caso de estos sonidos, que pueden ser tan simples como los sonidos de una campana o tan complejos como el así llamado ruido blanco (un ruido similar al que capta un receptor de FM sin señal). En el primer caso, se trata de un espectro discreto,

vale decir, un conjunto de frecuencias claramente diferenciadas, aunque no son ya múltiplos de ninguna frecuencia; podemos tener, por ejemplo, 100 Hz, 143,3 Hz, 227,1 Hz, 631,02 Hz. En el segundo caso, tenemos... ¡todas las frecuencias! Esto es lo que se denomina un **espectro continuo**.



¿Recuerda la situación didáctica en la que un grupo de alumnos asumía la tarea de analizar la acústica de una sala? Los estudiantes consideran la respuesta a distintas frecuencias de los muros, para ver dónde se producen interferencias, y reflexiones constructivas y destructivas, para determinar la ubicación de paneles con propiedades especiales de absorción para equalizar la sala.



## Movimiento ondulatorio

El movimiento ondulatorio se mide por la frecuencia, es decir, por el número de ciclos u oscilaciones que tiene por segundo. La unidad de frecuencia es el hertz (Hz), que equivale a un ciclo por segundo.

Como ya planteábamos páginas atrás, una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o, incluso, en el vacío.

Para propagarse:

- Algunas clases de ondas precisan de la existencia de un medio material que hace el papel de soporte de la perturbación; se denominan, genéricamente, **ondas mecánicas**. El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua, las ondas en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas; se corresponden a compresiones, deformaciones y, en general, a perturbaciones del medio.
- Existen ondas que pueden propagarse aún en ausencia de un medio material, es decir, en el vacío. Son las **ondas electromagnéticas** o campos electromagnéticos<sup>1</sup> viajeros; a esta segunda categoría pertenecen las ondas luminosas.

<sup>1</sup> Si desea ahondar en ellas, le proponemos recurrir a estas publicaciones digitales:

- Adam, Rosa; Queiro, Santiago; Rela, Agustín; Sztrajman, Jorge. 1994. *Física. Interacciones a distancia*. CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-. Ministerio de Educación. Buenos Aires.

- Adam, Rosa; Rela, Agustín; Sztrajman, Jorge. 1996. *El campo magnético*. CONICET -Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-. Ministerio de Educación. Buenos Aires.

- Adam, Rosa; Aristegui, Rosana; Rela, Agustín; Sztrajman, Jorge. 1996. *Ondas electromagnéticas*. CONICET -Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-. Ministerio de Educación. Buenos Aires.

Se encuentran disponibles en el sector "Publicaciones. Materiales de capacitación" de la página web del Instituto Nacional de Educación Tecnológica: [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar) Opción "Serie: Ciencias para la Educación Tecnológica".

Independientemente de esta diferenciación, existen ciertas características que son comunes a todas las ondas, cualquiera sea su naturaleza y que, en conjunto, definen el llamado comportamiento ondulatorio.

El tipo de movimiento característico de las ondas se denomina **movimiento ondulatorio**. Su propiedad esencial es que no implica un transporte de materia de un punto a otro. Las partículas constituyentes del medio se desplazan relativamente poco respecto de su posición de equilibrio; lo que avanza y progresa no son ellas sino la perturbación que transmiten unas a otras. El movimiento ondulatorio supone, únicamente, un transporte de energía y de cantidad de movimiento.

Junto a una primera clasificación de las ondas en mecánicas y electromagnéticas, es posible distinguir diferentes tipos de ondas atendiendo a otros criterios.

Según la dirección de propagación coincida o no con la **dirección en la que se produce la perturbación**, las ondas pueden ser:

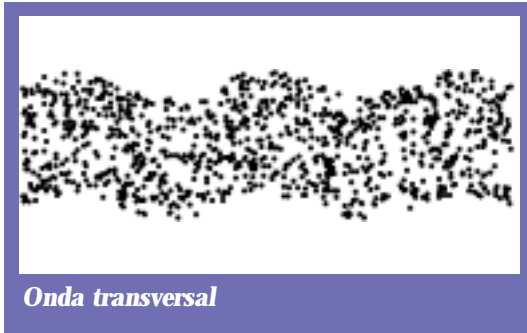
- **Transversales:** La perturbación del medio se lleva a cabo en dirección perpendicular a la de propagación. En las ondas producidas en la superficie del agua, las partículas vibran de arriba a abajo y viceversa, mientras que el movimiento ondulatorio progresa en el plano perpendicular. Lo mismo sucede en el caso de una cuerda: Cada punto vibra en vertical; pero, la perturbación avanza según la dirección de la línea horizontal.

Si producimos una onda, agitando el extremo libre de una cuerda hacia arriba

y hacia abajo, el movimiento de la cuerda es perpendicular a la dirección del movimiento de la onda. Cuando el movimiento del medio (en este caso, la cuerda) es perpendicular a la dirección en que se propaga la onda, decimos que se trata de una onda transversal.

Las ondas que se producen en las cuerdas tensas de los instrumentos musicales y en las superficies de los líquidos, son transversales.

También lo son las ondas electromagnéticas que constituyen las ondas de radio y la luz.

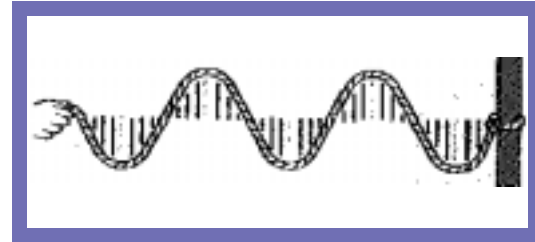


- **Longitudinales:** El movimiento local del medio alcanzado por la perturbación se efectúa en la dirección de avance de la onda. Un resorte que se comprime y se expande, da lugar a una onda longitudinal.

Las ondas sonoras son ondas longitudinales.



Es posible reconocer otros tipos de ondas. Las **ondas estacionarias** son aquellas ondas en las cuales ciertos puntos llamados nodos, permanecen inmóviles. En este tipo de ondas, las posiciones donde la amplitud es máxima se identifican como antinodos, los que se forman en los puntos medios entre dos nodos.



Las ondas estacionarias son producto de la interferencia. Cuando dos ondas de igual amplitud, longitud de onda y velocidad, avanzan en sentido opuesto a través de un medio, se forman ondas estacionarias. Por ejemplo, si se ata a una pared el extremo de una cuerda y se agita el otro extremo hacia arriba y hacia abajo, las ondas se reflejan en la pared y vuelven en sentido inverso. Si suponemos que la reflexión es perfectamente eficiente, la onda reflejada está media longitud de onda retrasada con respecto a la onda inicial. Se produce interferencia entre ambas ondas; el desplazamiento resultante en cualquier punto y momento es la suma de los desplazamientos correspondientes a la onda incidente y la onda reflejada.

En los puntos en los que una cresta de la onda incidente coincide con un valle de la reflejada, no existe movimiento; estos puntos son los nodos.

A mitad de camino entre dos nodos, las

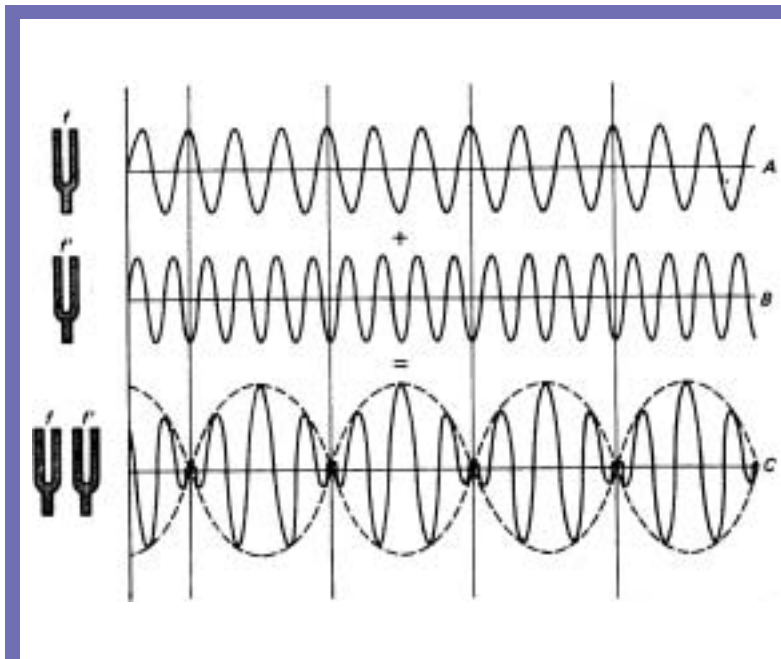
dos ondas están en fase, es decir, las crestas coinciden con crestas y los valles con valles; en esos puntos, la amplitud de la onda resultante es dos veces mayor que la de la onda incidente; por tanto, la cuerda queda dividida por los nodos, en secciones de una longitud de onda. Entre los nodos (que no avanzan a través de la cuerda), la cuerda vibra transversalmente.

Se forman ondas estacionarias en las cuerdas de instrumentos musicales que se puntean, se golpean o se tocan con un arco, así como en el aire de un tubo de órgano y en el de una botella de gaseosa cuando soplamos sobre su boca. Se pueden crear ondas estacionarias tanto en las ondas transversales como en las longitudinales.

Otro tipo está constituido por las **ondas de proa**. Cuando la rapidez de la fuente en un medio es igual a la rapidez de las ondas que produce, las ondas se apilan.

En los primeros días de los aviones a reacción se pensaba que este apilamiento de las ondas sonoras frente a la aeronave presentaba una "barrera de sonido" y que, para avanzar a una rapidez mayor que la del sonido, el avión tenía que romper esa barrera. Lo que sucede en realidad es que las crestas de onda que se superponen trastornan el flujo del aire sobre las alas, de tal manera que es difícil controlar la aeronave cuando ésta vuela a una rapidez cercana a la del sonido. Pero, la barrera no es real.

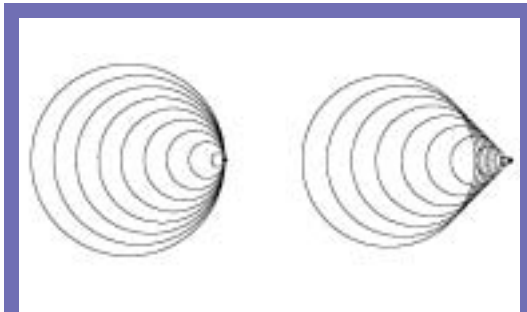
Un avión con la potencia suficiente puede viajar sin dificultad con una rapidez mayor que la del sonido. Decimos, entonces, que el avión es supersónico; esto es, más rápido que el sonido. Un avión supersónico vuela tranquilo y sin perturbaciones porque las ondas sonoras no se propagan frente a él. De forma análoga, un insecto que nadase con una rapidez mayor que la de las ondas que genera, se encontraría siempre entrando en aguas cuya superficie está lisa.



**Formación de una onda estacionaria**

Cuando el avión viaja a mayor velocidad que el sonido, se adelanta a las ondas que genera. Los bordes de las crestas se

superponen y forman un patrón en forma de V, llamado onda de proa.



**Avión que viaja a la velocidad del sonido y a mayor velocidad**

Consideremos, finalmente, las **ondas de choque**. Un bote rápido de motor que abre un surco en las aguas, genera una onda de proa en dos dimensiones. Análogamente, un avión supersónico genera una onda de choque en tres dimensiones. Así como se produce una onda de proa cuando los círculos que se superponen forman una "V", se genera una onda de choque cuando las ondas esféricas se superponen y forman un cono. De igual manera que la onda de proa de un bote rápido se propaga hasta llegar a la orilla del lago, la onda de choque cónica que genera un avión supersónico se propaga hasta llegar al suelo.

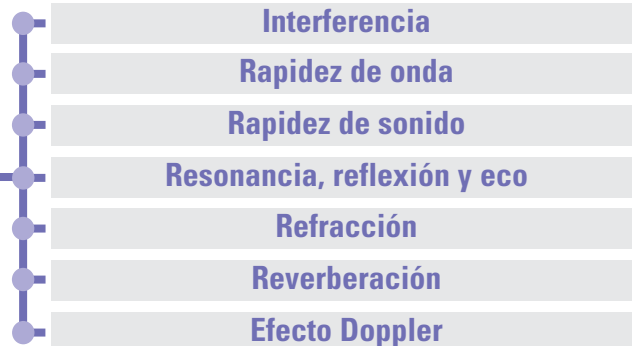
Cuando la capa cónica de aire comprimido que deja tras de sí un avión supersónico llega a un observador en tierra, éste escucha un violento chasquido que se conoce como estruendo sónico.

Un avión subsónico no produce un estruendo sónico porque las crestas de las ondas sonoras llegan una a una a nuestros oídos y, así, las percibimos como un sonido continuo.

No es necesario que la fuente en movimiento emita sonido para que produzca una onda de choque. Una vez que un objeto se mueve con más rapidez que el sonido, produce sonido. Una bala supersónica que pasa volando, produce un chasquido que es un pequeño estruendo sónico. Cuando un domador de leones hace chasquear su látigo, el chasquido es, en realidad, un estruendo sónico generado por la punta del látigo al moverse más aprisa que el sonido. Si se hace chasquear una toalla, su extremo puede sobrepasar la rapidez del sonido y producir un miniestruendo sónico. La bala, el látigo y la toalla no son en sí fuentes de sonido; pero, cuando se mueven con rapidez supersónica, producen su propio sonido porque se generan ondas de aire (las ondas de choque) hacia los costados del objeto en movimiento.

## Fenómenos asociados a las ondas

FENÓMENOS ASOCIADOS A LAS ONDAS



## Interferencia

Un objeto material -una piedra, por ejemplo- no comparte con otra piedra el espacio que ocupa. Pero, puede existir más de una vibración u onda en el mismo espacio al mismo tiempo. Si se arrojan dos piedras al agua, las ondas que produce cada una pueden superponerse y formar un patrón de interferencia; en este patrón, los efectos de las ondas se pueden incrementar, reducir o neutralizar.

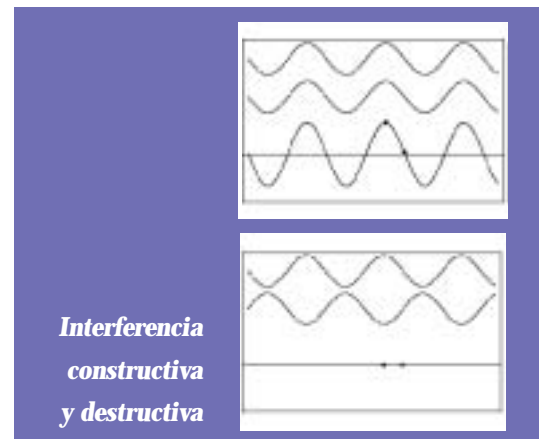
- Cuando la cresta de una onda se superpone a la cresta de otra, los efectos individuales se suman. El resultado es una onda de mayor amplitud. Este fenómeno se llama **interferencia constructiva o refuerzo**. En él, las ondas están en fase.
- Cuando la cresta de una onda se superpone al valle de otra, los efectos individuales se reducen. La parte alta de una onda llena la parte baja de la otra. Se trata de una **interferencia destructiva o cancelación**; las ondas están fuera de fase.

La interferencia es un fenómeno característico de todo movimiento ondulatorio, trátese de ondas en el agua, ondas sonoras u ondas de luz.

La interferencia de ondas de luz causa, por ejemplo, las irisaciones (brillos análogos a los colores del arco iris) que se ven, a veces,

en las burbujas de jabón. La luz blanca está compuesta por ondas de luz de distintas longitudes de onda. Las ondas de luz reflejadas en la superficie interior de la burbuja interfieren con las ondas de esa misma longitud reflejadas en la superficie exterior. En algunas de las longitudes de onda, la interferencia es constructiva y, en otras, destructiva. Como las distintas longitudes de onda de la luz corresponden a diferentes colores, la luz reflejada por la burbuja de jabón aparece coloreada.

Las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona. Cuando se construye una sala de conciertos, hay que tener en cuenta la interferencia entre ondas de sonido, para que una interferencia destructiva no haga que en algunas zonas de la sala no puedan oírse los sonidos emitidos desde el escenario. Arrojando objetos al agua estancada, podemos observar la interferencia de ondas de agua, que es constructiva en algunos puntos y destructiva en otros.





En la situación de estudio de la sala municipal, los alumnos analizan dónde se produce interferencia destructiva; este estudio es imprescindible para suavizar o evitarla, para lograr que el sonido emitido pueda escucharse en toda la sala.

En nuestro **equipo medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** no producimos una onda continua, de modo que no vemos efectos de interferencia; pero, no es difícil generar una onda continua para trabajar con grillas que permitan observar estos fenó



En teoría, esta técnica permite medir distancias con una precisión que depende, básicamente, de la longitud de onda.

Para nuestro equipo didáctico, con una frecuencia de 40 kHz y una velocidad promedio de 340 m/s, se da una longitud de onda de, aproximadamente, 8,5 mm; de modo que ésta es la precisión teórica en la medida de distancias que nuestro *kit* permite.



## Rapidez de onda

Las propiedades del medio influyen decisivamente en las características de las ondas. Así, la velocidad de una onda depende de la rapidez con la que cada partícula del medio es capaz de transmitir la perturbación a su compañera. Los medios más rígidos dan lugar a velocidades mayores que los más flexibles. Lo mismo sucede con los medios más densos respecto de los menos densos.

Por ejemplo, las ondas sonoras se desplazan con una rapidez de 330 m/s a 350 m/s en el aire (según la temperatura) y unas cuatro veces más rápido en el agua. Cualquiera que sea el medio, existe una relación entre la longitud de onda, la rapidez y la frecuencia de la onda.

**Rapidez de la onda = frecuencia x longitud de onda**

En forma de ecuación  $\rightarrow v = f \cdot \lambda$

## Rapidez del sonido

Casi todos los sonidos que escuchamos se transmiten a través del aire. El sonido no se propaga en el vacío, siempre debe existir un medio; se transmite con más rapidez en los líquidos que en los gases, todavía más aprisa en los sólidos, y con más intensidad y más aprisa en el metal que en el aire.

La rapidez del sonido en aire seco a 0 °C es de, aproximadamente, 330 metros por segundo o 1200 km/h. Pero, esta rapidez es ligeramente mayor cuando el aire contiene vapor de agua y aumenta también con la temperatura -pues, las moléculas de aire caliente, que se mueven más aprisa, chocan unas con otras más a menudo y, por tanto, transmiten un impulso en menos tiempo. Por cada grado de incremento en la temperatura del aire arriba de 0 °C, la rapidez del sonido aumenta en 0.60 m/s. Así, pues, en el aire, a

la temperatura normal de 20 °C, el sonido se propaga a unos 340 m/s, aproximadamente.

La rapidez del sonido en un material específico no depende de la densidad del material sino de su elasticidad.

La elasticidad es la capacidad de un material para cambiar de forma en respuesta a una fuerza aplicada y de recuperar su forma original una vez que la fuerza desaparece.

En los materiales elásticos, los átomos están relativamente juntos y responden con prontitud a los movimientos de los demás, por lo que transmiten la energía con pocas pérdidas. El sonido se propaga con una rapidez alrededor de 15 veces mayor en el acero (el acero es muy elástico) que en el aire y unas cuatro veces más aprisa en el agua que en el aire.

Según la ley de Newton-Laplace, la velocidad de propagación del sonido en gases está dada por:

$$v = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}$$

Donde:

- P es la presión.
- $\rho$  la densidad.
- $\gamma = 1.67$  para gases monoatómicos, 1.40 para gases biatómicos, 1.30 para gases triatómicos y de 1.2 a 1.1 para gases poli-atómicos.

Aplicando la ley de los gases ideales, la ecuación se transforma en:

$$v = \sqrt{\frac{RT\gamma}{M}}$$

Donde:

- T es la temperatura.
- M es el peso molecular del gas (en kg/mol).
- R es la constante universal de los gases (8.314 J/mol K).

En conclusión. Para un determinado gas, la velocidad de propagación del sonido está dada por:

$$v = k\sqrt{T}$$

Donde:

- k es una constante propia del gas en estudio.

Según esta ley, la velocidad del sonido depende únicamente de la temperatura ambiente. Pero, como el aire no está compuesto por un único gas homogéneo, hay otros factores que también la determinan:

- La humedad ambiente determina qué proporción de moléculas de agua hay disueltas en el aire. Como la constante k es diferente para cada sustancia, la velocidad total se ve afectada. Como las moléculas de agua favorecen la propagación: A mayor humedad, mayor velocidad del sonido.



- La presión atmosférica hace cambiar la proporción de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono del aire. Por otro lado, la presión afecta también la humedad ambiente.

Despreciando las variaciones debidas a cambios en la humedad que tienen una influencia mucho menor, una aproximación de primer orden de la velocidad en función de la temperatura -con presión atmosférica estándar a nivel del mar y humedad típica-, es:

$$v = (331,5 + 0,61T) \text{ m/s}$$

$$\text{A } 0^\circ\text{C } v = 331,45 \text{ m/s y a } 35^\circ\text{C } v = 352,8 \text{ m/s.}$$

Existe más de 18 m/s de diferencia entre el rango de temperaturas que abarca el clima de nuestro país. Cada grado celcius de diferencia modifica la velocidad del sonido en, aproximadamente, 0,2 %.



En la realidad de nuestro *kit*, una medida de 100,0 cm, tomada a 20 °C corresponde con una medida de 101,0 cm a 15 °C. Esta notoria diferencia justifica una periódica calibración.

En nuestro equipo didáctico, la propagación se hace a través del aire y tenemos una lectura de temperatura para compensar la velocidad ante dicha variación, la que se realiza en forma automática.

Además, podemos medir la velocidad del sonido en forma directa, ya que el equipo nos provee una lectura de tiempo en función de una reflexión que se produzca desde un objeto colocado, por ejemplo, a un metro de distancia.



## Resonancia, reflexión y eco

Consideremos estos tres conceptos:

**Resonancia.** Es la situación en la que un sistema mecánico, estructural o acústico vibra en respuesta a una fuerza aplicada con la frecuencia natural del sistema o con una frecuencia próxima. La frecuencia natural es aquella a la que el sistema vibra si lo desviamos de su posición de equilibrio y lo dejamos moverse libremente. Si se excita un sistema mediante la aplicación continuada de fuerzas externas con esa frecuencia, la amplitud de la oscilación va creciendo y puede llevar a la destrucción del sistema.

El hundimiento del puente colgante de Tacoma Narrows en Puget Sound, Washington (EEUU) que tuvo lugar en 1940, fue causado por vibraciones con la frecuencia natural de la estructura, producidas por el viento.

Otro ejemplo es el de un diapasón que vibra a la frecuencia natural para la cual fue construido, que depende básicamente de su longitud.

**Reflexión.** Se da cuando una onda se refleja al propio medio de propagación tras rebotar sobre una superficie. Cuando una forma de energía, como la luz o el sonido, se transmite por un medio y llega a un medio diferente, lo normal es que parte de la energía penetre en el segundo medio y que parte sea reflejada.

Las superficies rugosas reflejan en muchas direcciones; en este caso, se habla de *reflexión difusa*.

Para reflejar un tren de ondas, la superficie reflectante debe ser más ancha que media longitud de onda de las ondas incidentes.

La *reflexión regular* se da cuando la dirección de la onda reflejada está claramente determinada y cumple con estas condiciones:

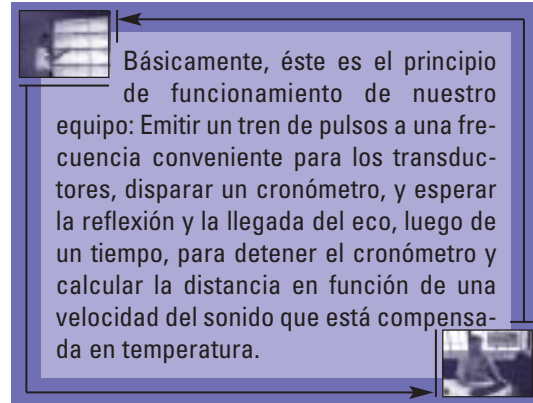
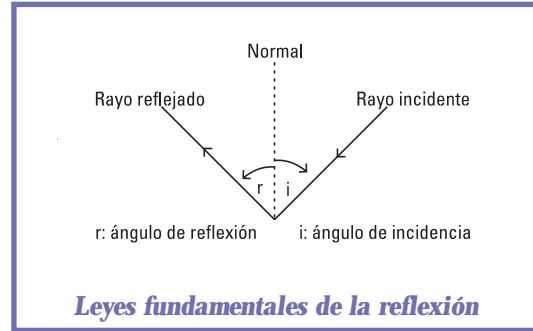
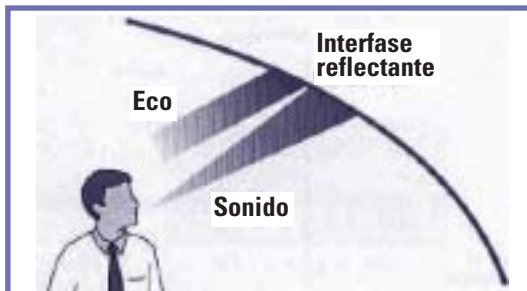
- El rayo incidente y el rayo reflejado forman el mismo ángulo con la normal; esto es, una línea perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia.
- El rayo reflejado está en el mismo plano que el rayo incidente y la normal.

Los ángulos que forman los rayos incidente y reflejado con la normal se denominan, respectivamente, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión.

**Eco.** Es una repetición del sonido, producida por la reflexión del sonido en un objeto. Así, un eco es una onda sonora reflejada.

El intervalo de tiempo entre la emisión y la repetición del sonido corresponde al tiempo que tardan las ondas en llegar al obstáculo y en volver. Generalmente, el eco es de representación débil, porque no todas las ondas del sonido original se reflejan.

Los ecos escuchados en las montañas se producen cuando las ondas sonoras rebotan en grandes superficies, alejadas más de 30 m de la fuente.



## Refracción

Es el cambio de dirección de una onda, cuando cruza el límite entre dos medios, en los cuales viaja con diferente rapidez.

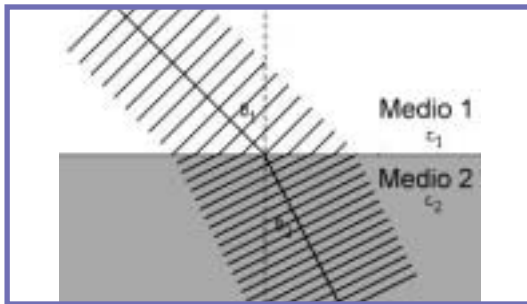
El fenómeno de la refracción supone un cambio en la velocidad de propagación de la onda, cambio asociado al paso de un medio a otro de diferente naturaleza o de diferentes propiedades. Este cambio de velocidad da lugar a un cambio en la dirección del movimiento ondulatorio; como consecuencia, la onda refractada se desvía un cierto ángulo respecto de la incidente.

La refracción se presenta con cierta frecuencia debido a que los medios no son perfectamente

homogéneos sino que sus propiedades -y, por lo tanto, la velocidad de propagación de las ondas en ellos- cambian de un punto a otro.

La propagación del sonido en el aire sufre refracciones, dado que su temperatura no es uniforme. En un día soleado, las capas de aire próximas a la superficie terrestre están más calientes que las altas y la velocidad del sonido, que aumenta con la temperatura, es mayor en las capas bajas que en las altas. Ello da lugar a que el sonido, como consecuencia de la refracción, se desvía hacia arriba (En esta situación, la comunicación entre dos personas suficientemente separadas se ve dificultada). El fenómeno contrario ocurre durante las noches, ya que la Tierra se enfría más rápidamente que el aire.

$$\frac{v_1}{\text{sen } \theta_1} = \frac{v_2}{\text{sen } \theta_2}$$



## Reverberación

Se define como la persistencia del sonido tras la extinción de la fuente sonora, debido a las múltiples ondas reflejadas que continúan llegando al oído. Es la continua vuelta del sonido causada por efectos de la acústica ambiental.

El sonido producido en una habitación normal se ve algo modificado por las reverberaciones debidas a las paredes y a los muebles; por esta razón, un estudio de radio o televisión -o el salón de usos múltiples de nuestro testimonio- debe tener un grado de reverberación moderado para conseguir una reproducción natural del sonido.

Para lograr las mejores cualidades acústicas, las salas se diseñan de forma tal que reflejen el sonido lo suficiente como para proporcionar una calidad natural:

- sin que introduzcan una reverberación excesiva en ninguna frecuencia,
- sin que provoquen ecos no naturales en determinadas frecuencias y
- sin que produzcan interferencias o distorsiones no deseables.

El tiempo que necesita un sonido para disminuir su intensidad original un millón de veces se denomina **tiempo de reverberación**. Un tiempo de reverberación apreciable mejora el efecto acústico, especialmente para la música; en un auditorio, un sonido intenso debe oírse ligerísimamente durante uno o dos segundos después de que su fuente ha dejado de emitirlo.

El tiempo de reverberación de un ambiente depende de la absorción de sus elementos:

- Si los elementos son muy absorbentes, el tiempo es pequeño; se dice, entonces, que la sala es **sorda**.
- Si los elementos son reflectores, el tiempo es muy grande y los sonidos se perciben entremezclados y confusos; la sala se describe es **resonante**.

La reverberación determina, así, la buena acústica de un ambiente. Su eliminación se logra recubriendo las paredes con materiales -corcho o moqueta- que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.



En el planteo de la situación del salón municipal, los alumnos van a diseñar el modo de absorber algunos rebotes e interferencias con paneles, para lograr una buena acústica.

Nuestro medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido permite visualizar mediante un osciloscopio los distintos rebotes que se producen -incluso, con mayor intensidad de lo que es previsible- en algunos materiales compuestos o facetados, y en paneles acústicos.



## Efecto Doppler

Cuando la fuente de ondas y el observador están en movimiento relativo con respecto al medio material en el cual la onda se propaga, la frecuencia de las ondas observadas es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas por la fuente. Este fenómeno recibe el nombre de efecto Doppler, en honor a su descubridor.

El efecto Doppler se puede ejemplificar cuando un auto pasa a nuestro lado haciendo sonar la bocina. Cuando el auto se aproxima, el tono es más agudo que

Este efecto es muy utilizado para medir velocidades en función de la variación de la frecuencia emitida y la recibida, y para detectar fenómenos meteorológicos de grandes masas de aire moviéndose y produciendo efectos atmosféricos graves, así como para detectar la formación de tornados.

lo normal; esto se debe a que las ondas sonoras llegan a nosotros con mayor frecuencia. Cuando el auto pasa y se aleja, el sonido se hace más grave porque las ondas llegan con menor frecuencia.

La ecuación que representa este fenómeno es:

$$f' = \frac{v_s - v_o}{v_s - v_E} f$$

Donde:

- $F$  es la frecuencia emitida.
- $v_s$  es la velocidad del sonido.
- $v_o$  es la velocidad del observador.
- $v_E$  es la velocidad del emisor.



En nuestro equipo, el cálculo de la velocidad se realiza en forma indirecta por determinación de distancias consecutivas. Entonces, la posibilidad de aplicar doppler para calcular la velocidad (como en los radares policiales) no es posible, por la relación de la distancia a medir y la frecuencia utilizada del ultrasonido.

Para poder hacer comparaciones de fase o frecuencias, debemos hacer que la longitud de onda de las señales sea del orden del tamaño del ambiente donde el sistema va a funcionar; caso contrario, no tenemos una buena resolución o precisión en la medida.

Para trabajar en un espacio de 2 m, la longitud de onda debe ser de  $\lambda = 4$  m que, para una velocidad del sonido típica de  $v = 340$  m/s, equivale a trabajar a una frecuencia de  $340 / 4 = 85$  Hz.

Estamos claramente fuera del rango de los transductores ultrasónicos y dentro de la porción audible del espectro.



# Aplicaciones de los ultrasonidos

En nuestro mundo, la utilización práctica de los ultrasonidos está bastante generalizada. Ejemplos cotidianos son: soldadores y perforadores ultrasónicos, sonares usados en pesca y navegación, examen de materiales industriales mediante ecopulsos, emulsionado de cosméticos y alimentos, diferentes tipos de ecografías médicas como las usadas en las mujeres embarazadas o en exámenes diagnósticos, uso de ultrasonidos para disgregar cálculos renales o biliares, baños de limpieza ultrasónica como los utilizados en joyería, celulares, laboratorios e, incluso, pequeños instrumentos domésticos como los ahuyentadores de mosquitos, los detectores de presencia o los emisores de señales.

Para profundizar en los temas de su interés, le recomendamos analizar estos sitios web:

Electrónica y procesos:

<http://www.isel.com.mx/productos.htm>

Medición de distancias: [www.senix.com](http://www.senix.com);

[http://abqindustrial.com/spanish/wall\\_thickness\\_gauges/](http://abqindustrial.com/spanish/wall_thickness_gauges/)

Medición de nivel:

[www.sensormag.com](http://www.sensormag.com); <http://www.isel.com.mx/solid.htm>

Medición de caudal:

<http://www.flexim.de/spanish/applic.htm>;

<http://www.flexim.de/spanish/overview.htm>

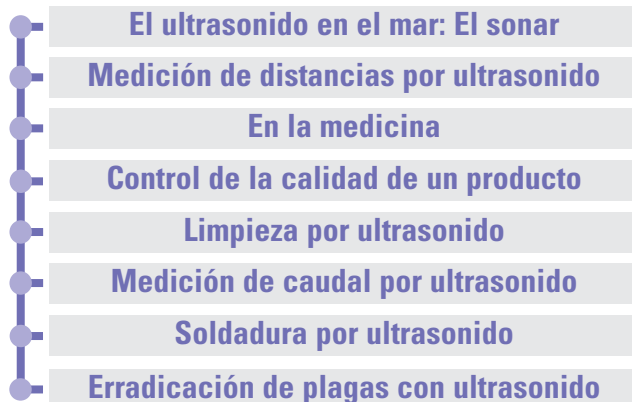
Robótica:

<http://www.superrobotica.com/srf08bx24.htm>

Limpieza de piezas: <http://www.electronicapitarch.com.ar/instrumentos/>

Soldadura por ultrasonido: <http://www.ultrasonidostironi.com/>

## APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS



## El ultrasonido en el mar: El sonar

Acróónimo del inglés de *Sound Navigation and Ranging*, el **sonar** es un sistema de detección basado en la reflexión de las ondas submarinas de sonido. Al igual que el radar, se fundamenta en la reflexión de las ondas de radio en el aire.

El sistema sonar emite pulsos de ultrasonido mediante un dispositivo transmisor sumergido; a través de un micrófono sensible -hidrófono-, capta los pulsos reflejados por posibles obstáculos submarinos.

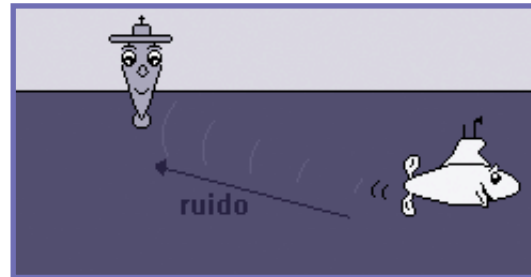
Los sistemas más complejos utilizan un cable muy largo con varios hidrófonos conectados. Una vez en altamar, el submarino suelta el cable y lo lleva a rastras.

También se utilizan aviones para desplegar otro tipo de sonar, que emplea un dispositivo denominado sonoboya, compuesto por un hidrófono montado sobre una boya flotante. Cuando se capta un ruido, el detector activa una pequeña emisora de radio que transmite una señal que se recibe en aviones o barcos

Como consecuencia de la tecnología sonar o de ultrasonido, se han desarrollado la oceanografía acústica, el estudio de las características de los océanos utilizando diferentes medios acústicos y la tomografía acústica, una técnica de representación de imágenes o teledetección mediante análisis informático, para el estudio de los datos recopilados cuando las señales acústicas atraviesan un objeto.

Hoy en día, por extensión, se utiliza la palabra sonar a la parte de la acústica aplicada que abarca todas las actividades en las que el agua es el medio de propagación del sonido.

El sonar es al agua lo que el radar es al aire. La diferencia fundamental reside en el medio en el que se propaga la energía. Tanto en el aire como en el vacío, se utiliza la radiación electromagnética; pero, este tipo de radiación no es eficaz en el agua, porque el medio acuático es un excelente conductor eléctrico, por lo que produce una rápida transformación de la energía del campo eléctrico, provocando una atenuación mucho mayor que la radiación acústica de naturaleza mecánica. Para una frecuencia de 1 kHz, la pérdida es de 1428 dB/km, mientras que la atenuación de la energía acústica es de 0,06 dB/km para la misma frecuencia.

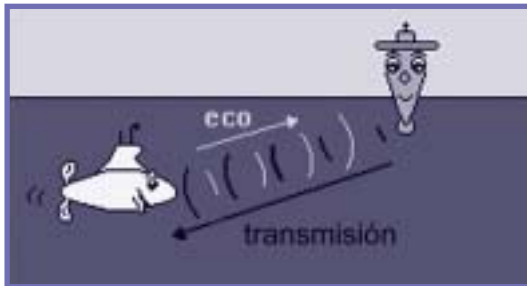


Debido a la distinta naturaleza del medio de propagación y, consecuentemente, al empleo de distintos tipos de radiación, se obtienen otras diferencias notables. Así, las ondas electromagnéticas son transversales mientras que las acústicas son longitudinales, por lo que las primeras pueden polarizarse mientras que las segundas no; la velocidad de propagación en las primeras varía inapreciablemente con las características cambiantes del medio, mientras que el sonido aumenta su velocidad

a medida que decrece la compresibilidad del medio, lo que tiene una notable incidencia en la propagación. En el mar, la compresibilidad es función de variables como la salinidad, la temperatura y la presión.

Básicamente, existen dos tipos de sonar: el activo y el pasivo.

- El **sonar pasivo** se limita a escuchar el sonido que proviene de los objetos que se encuentran sumergidos
- El **sonar activo**, de operatoria similar a la del radar, emite un tren de ondas acústicas; entonces, el objeto sumergido sobre el que inciden estas ondas, refleja parte de ellas, las que vuelven hacia el foco emisor. La energía recibida proveniente del objeto es sólo una muy pequeña parte de la que se emitió; el camino que recorren las ondas es el doble de la distancia entre el emisor y el objeto.



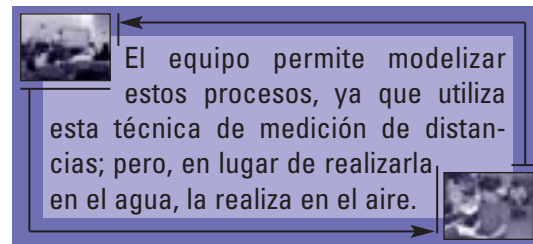
El empleo de uno u otro tipo de sonar se basa en criterios de alcance y discreción, teniendo cada uno ventajas e inconvenientes en su empleo.

El alcance está limitado por un gran número de factores; los más importantes son la frecuencia de la onda y la efectividad del medio

en el que se propaga la energía. Cuanto más baja es la frecuencia, mayor es el alcance que se obtiene. Pero, ¿basta emplear frecuencias muy bajas para aumentar el alcance todo lo que se desee? Para responder, es necesario considerar que la disminución de la frecuencia lleva aparejados otros inconvenientes; uno de ellos es el tamaño de la antena que es inversamente proporcional a la frecuencia.

Con ambos tipos es posible determinar la dirección en la que se encuentra el objeto; pero, el sonar activo posibilita obtener la distancia midiendo el tiempo que transcurre entre el momento en que se emite la radiación y el instante en que se recibe el eco, si se conoce la velocidad a la que el sonido se propaga en el agua.

El sonar pasivo no contempla esa posibilidad; aunque, en la actualidad, existen medios para obtener la distancia a un objeto midiendo la diferencia de fase en la que las ondas llegan a varios receptores separados entre sí.



Una de las primeras referencias al hecho de que el sonido se propaga en el mar se debe a Leonardo Da Vinci quien, en 1490, escribe: "Si paras tu barco e introduces el extremo de un tubo en el agua y aplicas el oído al otro extremo, oirás barcos que se encuentran a gran distancia de tí."

Este primer ejemplo de sistema sonar tiene, en su sencillez, los principios básicos de un sonar pasivo actual:

- Al navegar, todos los barcos -aunque no sean de motor- producen ruido.
- Se detiene el barco propio para reducir el nivel de ruidos.
- Se introduce un tubo en el agua para transmitir las ondas acústicas desde el medio acuático al medio aéreo, para ser captadas por el oído humano.

La primera medición de la velocidad del sonido en el agua es obtenida en 1827 por el físico suizo Daniel Colladon y el matemático francés Charles Sturn en el lago Ginebra. El resultado de su medida es de 1434 m/s, que resulta muy precisa para la época en que se realiza dicha medición.

Durante el siglo XIX y tras la enunciación del cálculo infinitesimal, Fourier formula las series trigonométricas infinitas y Ohm las aplica para descomponer sonidos reales en series de tonos puros. Éste es un importantísimo descubrimiento ya que, más tarde, permite la identificación precisa de la fuente que genera el sonido.

Se produce el descubrimiento del fenómeno de la magnetostricción -que provoca el cambio de la forma de algunos materiales cuando son atravesados por un campo magnético-; y, en 1880, Jacques y Pierre Curie, estudiando la compresión del cuarzo, descubren la piezoelectricidad: Al someter a la acción mecánica de la compresión, las cargas de la materia se separan y esto da lugar a una polarización de la carga; esta polarización es

la causante de que salten las chispas. Presionando sobre las caras de algunos cristales, se puede lograr una diferencia de potencial importante entre ellas. Ese voltaje es el que hace saltar las chispas entre los terminales de dos cables eléctricos, aproximándolos entre sí y manteniendo unidos los otros extremos a las caras -esto sucede, por ejemplo, en los aparatos que producen chispa para encender la llama, utilizados en la cocina-.

En 1912, Fessenden desarrolla el primer emisor submarino capaz de trabajar como transmisor y receptor en el margen de frecuencia entre 500 y 1000 Hz. En 1914, tras la pérdida del Titanic, demuestra la utilidad de su invento midiendo la distancia a un iceberg situado a dos millas. La posterior aplicación de los amplificadores electrónicos a las señales captadas, hace que los sistemas no tengan que depender exclusivamente de la sensibilidad del oído humano.

En 1915, Lord Rayleigh descubre que el oído humano es capaz de determinar la dirección de una fuente sonora por la diferencia de fase o tiempo de la onda sonora al llegar a ambos oídos. Se desarrollan, entonces, sensores biaurales que determinan la dirección de la que proviene el sonido.

En 1917, el físico francés Paul Langevin, usando un sistema piezoeléctrico de cuarzo sin tonizado a una frecuencia de 38 kHz, consigue formar un haz de energía capaz de determinar la dirección y la distancia de un objeto sumergido, llegando a detectar a un submarino a 1500 m.

Los primeros estudios sobre propagación se llevan a cabo por científicos alemanes en



1919. Ellos descubren la influencia de la temperatura, de la salinidad y de la presión en la velocidad del sonido, y el comportamiento de los rayos sonoros al atravesar estratos de distinta velocidad de propagación.

En 1925, se presenta comercialmente la primera ecosonda, aparato capaz de determinar la distancia desde la superficie al fondo.

Los trabajos de eminentes físicos como Knudsen, Wenz, Marsh, Urick y otros, identifican los orígenes y características de las distintas fuentes de ruido ambiental existente en el océano. Los mayores logros, en este período, son:

- Descubrimiento del motivo de la atenuación a frecuencias inferiores a 100 Hz.
- Determinación experimental de la absorción para frecuencias entre 100 Hz y 1 Mhz.
- Medida de las pérdidas por absorción por rebote en el fondo.
- Clasificación de las pérdidas y características del canal sonoro profundo y superficial.
- Conocimiento de la propagación en aguas polares.
- Descubrimiento y explicación de las zonas de convergencia.
- Obtención de diagramas de rayos sonoros y predicción de alcances.
- Medida con gran exactitud de la velocidad del sonido en el agua.

El principal uso de los dispositivos sonar es de carácter militar y naval por excelencia. Las mo-

dernas unidades de las marinas militares de todos los países desarrollados disponen de equipos tanto activos como pasivos para realizar la detección, la clasificación y el seguimiento de submarinos. Éstos, a su vez, disponen de equipos para la detección de buques de superficie, y de contramedidas para evitar o retardar su detección por dichas unidades.

El incesante avance de la electrónica y de la informática aplicadas a la acústica submarina, ha hecho extender las capacidades de los equipos al análisis del ruido radiado por los barcos obteniendo, así, la denominada "firma acústica" que permite identificar cada unidad de forma unívoca -al igual que una huella dactilar identifica a una persona; pero, a diferencia de las huellas dactilares que son invariables, las firmas acústicas cambian con el tiempo; esto sucede porque, como estas "firmas" proceden, en su mayor parte, del ruido radiado por la maquinaria a bordo de los buques, dicho ruido varía, a su vez, con las modificaciones, reparaciones y fatiga de las piezas que la componen, lo que obliga a mantener una información actualizada de inteligencia de unidades navales-.

Gran parte de la tecnología se ha transferido a usos civiles. Es bastante común el uso de sondas ultrasónicas en barcos de todo tipo, medidores de espesor de capas de hielo y otros dispositivos de ayuda a la navegación que usan el sonido o ultrasonido.

Otro aporte significativo son los detectores de cardúmenes para pesca, los que permiten la localización de bancos de peces.

Los buscadores de tesoros poseen poderosos equipos para la localización de barcos hundidos.

## Medición de distancias por ultrasonido

Los sensores de ultrasonido son dispositivos muy utilizados para medición de distancias, o de niveles de líquido o sólidos a granel (¿Recuerda nuestro problema tecnológico respecto de la capacidad de un silo de granos?)

Están formados por dos unidades piezoeléctricas; una de ellas es el emisor y la otra el receptor de ondas de presión ultrasónicas. Para esto, la unidad emisora se excita con una señal adecuada en amplitud y frecuencia.

La unidad receptora traduce todas aquellas ondas ultrasónicas de presión de 40 kHz que llegan a excitarla. Si la emisión es continua y se trata de un recinto cerrado -como un tanque-, alcanzan la unidad receptora tanto las ondas ultrasónicas rebotadas directamente sobre la superficie del líquido como los diferentes ecos que se producen. La señal suministrada por el receptor es de una frecuencia de 40 kHz; pero, varía en amplitud y fase, dependiendo de la distancia y de los diferentes ecos recibidos.

El método más utilizado para la determinación de la distancia es -en lugar de excitar el emisor con una señal fija de 40 kHz- enviar trenes de pulsos con períodos muy cortos.



**Ejemplo de pulsos**

El tiempo transcurrido entre el comienzo de la emisión y el comienzo de la recepción es proporcional a la distancia recorrida por las ondas de presión ultrasónicas.

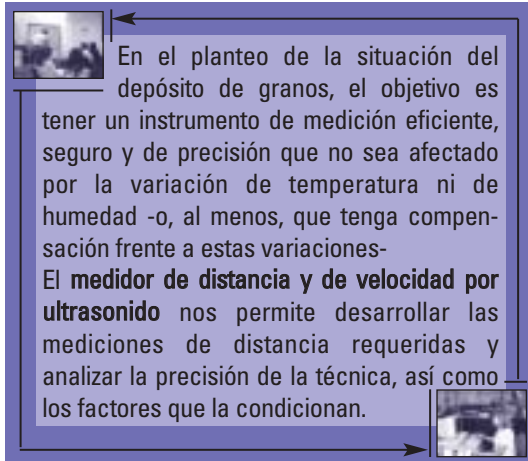
Como los ecos deben recorrer más distancia, éstos son recibidos por el receptor un período de tiempo después que las ondas directas y no perturban a la hora de cuantificar las distancias.

En los medidores de nivel ultrasónicos para líquidos se mide, sin contacto, el nivel de líquidos -limpios o sucios, livianos o viscosos-. No todos los sensores ultrasónicos son aptos para líquidos volátiles o inflamables; pero, se destacan, en cambio, para la medición de sustancias alimenticias, corrosivas, líquidos cargados de impurezas, pastas muy viscosas, plantas para el tratamiento de aguas y otras instalaciones en las que el medidor no debe tener contacto con el medio medido. En general, la superficie sensora está recubierta de teflón, para eliminar una posible corrosión.

Se transmiten pulsos de ultrasonido que se reflejan en la superficie del medio; un microprocesador calcula la distancia recorrida, filtrando y suprimiendo posibles fuentes de interferencia como bordes de soldadura, rebordes que actúan como objetivos fijos, ménsulas, escaleras, etc.

Los cambios en la velocidad del sonido ocasionados por variaciones de temperatura se compensan automáticamente, no así los que se producen por estratificación de vapores.

Estos sensores poseen diversos rangos de medición, llegando hasta 15 m. Además, estas unidades están equipadas con sensores para compensación de temperatura y cuentan con gran variedad de conexiones a proceso. Estos sensores ultrasónicos pueden trabajar en ambientes presurizados hasta 3 bar.



En el planteo de la situación del depósito de granos, el objetivo es tener un instrumento de medición eficiente, seguro y de precisión que no sea afectado por la variación de temperatura ni de humedad -o, al menos, que tenga compensación frente a estas variaciones-  
El **medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** nos permite desarrollar las mediciones de distancia requeridas y analizar la precisión de la técnica, así como los factores que la condicionan.

## En la medicina

En el ámbito de la salud, los ultrasonidos se emplean:

- como herramienta de diagnóstico,
- para destruir tejido enfermo y
- para reparar tejido dañado.

Las ondas ultrasónicas se usan para tratar afecciones como, por ejemplo, diferentes tipos de artritis reumática, gota o lesiones musculares, y también para destruir cálculos renales.

Como herramienta de diagnóstico, como planteábamos al comienzo de estas páginas, los ultrasonidos son frecuentemente más reveladores que los rayos X -que no resultan tan útiles para detectar las sutiles diferencias de densidad que

aparecen en ciertas formas de cáncer-; también se emplean con mucha frecuencia para producir imágenes del feto durante el embarazo.

Cuando las ondas ultrasónicas atraviesan un tejido, se ven más o menos reflejadas, según la densidad y elasticidad del tejido.

Con un bisturí ultrasónico, un cirujano puede realizar una incisión más fina que con un escalpelo convencional. Este tipo de técnica se ha empleado para operaciones delicadas en el cerebro y el oído.

En fisioterapia, se han utilizado con éxito dispositivos diatérmicos en los que se emplean ondas ultrasónicas para producir calor interno, como resultado de la resistencia de los tejidos a las ondas.

En el diagnóstico por ultrasonido, las interfases reflejan el sonido; el patrón de reflexión del sonido resultante es digitalizado, para producir una imagen móvil en una pantalla o una fotografía.

El **diagnóstico por ultrasonido** es una técnica en la que un sonido de frecuencia muy alta es dirigido hacia el organismo; también se conoce como ecografía.

- El sonido es producido por un cristal que oscila, con una frecuencia superior a 1 MHz, lo que es inaudible para el oído humano. El cristal vibra entre un millón y quinientas veces por segundo.
- Se utiliza un transductor para transmitir el sonido y recibir los ecos. Éste debe estar en contacto íntimo con la piel, sobre la que se extiende una sustancia gelatinosa para mejorar la acústica.

- El aire, hueso y otros tejidos calcificados absorben casi todo el haz de ultrasonidos, por lo que esta técnica no es útil para determinar el estado de los huesos o pulmones. Sin embargo, como los fluidos conducen bien los ultrasonidos, ésta resulta una técnica muy empleada en el diagnóstico de quistes (que están llenos de líquido), para explorar estructuras que contienen líquido -la vejiga, el hígado, las vías biliares- y para visualizar el feto en la bolsa amniótica.

Cuando el ultrasonido se utiliza para explorar el corazón, constituye una técnica denominada ecocardiografía. La ecocardiografía se emplea en el estudio de cardiopatías congénitas, enfermedades de las arterias coronarias, tumores del corazón y, de forma especial, en las alteraciones de las válvulas cardíacas. El ultrasonido en aplicaciones médicas se utiliza en frecuencias de 1 MHz hacia unos 10 MHz.

A diferencia de los rayos X, la **ecografía** es completamente segura durante el embarazo, sin riesgo para la madre ni para el bebé. Se utiliza para controlar el crecimiento, desarrollo y bienestar del feto, y se puede emplear para comprobar la fecha de la concepción; en este caso, se mide el tamaño de la cabeza del feto para estimar su edad. La ecografía se emplea siempre que se sospecha un embarazo múltiple, en especial si la madre ha sido sometida a tratamientos de fertilidad o a programas de fecundación asistida, o cuando hay antecedentes familiares de ello; así, se puede determinar el número de fetos que están en gestación. Se emplea, además, para detectar anomalías fetales como la espina

bífida, el enanismo de extremidades cortas o cardiopatías congénitas graves, en cuyo caso el diagnóstico precoz permite la instauración del tratamiento preciso durante el resto del embarazo hasta el parto.




El **ultrasonido doppler color** utiliza ultrasonido de alta definición, atribuyendo color a las imágenes obtenidas. Permite valorar el flujo sanguíneo en arterias y venas, y medir porcentaje de estenosis de los vasos.

Es útil para realizar estudios de:

- grandes vasos de flujo sanguíneo (arteria y vena),
- malformaciones arteriovenosas,
- aneurismas,
- arteriosclerosis,
- tercera dimensión de vasos,
- valoración obstétrica con doppler color.


El **ultrasonido de tercera dimensión** es una nueva tecnología que permite crear imágenes volumétricas para valorar la anatomía tridimensional y detectar malformaciones fetales desde el primer trimestre del embarazo.





El recurso didáctico que vamos a construir permite analizar ecos provenientes de distintas superficies, así como la amplitud de la respuesta.

Con la ayuda de un osciloscopio logramos ejemplificar el funcionamiento de estos equipos de ultrasonido de uso en medicina.



## Control de la calidad de un producto

Realicemos un repaso de algunos contenidos planteados hasta aquí, que entran en convergencia en los procesos de control de calidad de un producto usando ultrasonidos.

Decíamos que el sonido generado por encima del nivel audible humano -típicamente, de 20 kHz- es llamado ultrasonido. Sin embargo, el nivel de frecuencia normalmente usado en pruebas no destructivas ultrasónicas y en medición de espesores es de 50 a 100 kHz. Aunque el ultrasonido se comporta de manera similar al sonido audible, éste tiene una longitud de onda mucho más corta.

Esto significa que el ultrasonido puede ser reflejado por superficies muy pequeñas tales como defectos en el interior de ciertos materiales. Esta propiedad es la que permite que el ultrasonido sea usado para pruebas no destructivas en materiales.

El espectro acústico divide el sonido en tres niveles de frecuencia:

- subsónico (0 - 20 Hz),
- audible (20 Hz - 20 kHz) y
- ultrasónico (20 kHz - 1 GHz).

El nivel ultrasónico está dividido, a su vez, en tres subniveles:

- el de baja frecuencia,
- el convencional y
- el de alta frecuencia.

La velocidad del ultrasonido en un material perfectamente elástico a una temperatura y presión dadas es constante.

Los métodos más comunes de examen ultrasónico utilizan tanto ondas longitudinales como ondas transversales. También existen otras formas de propagación del sonido, entre ellas las ondas superficiales y las llamadas ondas de Lamb.

La onda longitudinal, por su lado, es una onda de compresión en donde el movimiento de las partículas se da en la misma dirección que la propagación de la onda. La onda transversal, en cambio, es una onda en donde el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación.

Como tipo adicional a éstos, existen las

**Las ondas de Lamb** se propagan en placas con un espesor de unas pocas longitudes de onda. La propagación de estas ondas depende de la densidad, propiedades elásticas y estructura del material, así como también de su espesor. Las ondas de Lamb pueden ser simétricas o antisimétricas, según el movimiento de la partícula con respecto al eje neutro del material a prueba. Resultan particularmente interesantes porque se propagan a largas distancias, afectando todo el material.

ondas de superficie (Rayleigh) que viajan a través de superficies planas o curvadas de partes sólidas gruesas. Éstas muestran un movimiento longitudinal y transversal, donde cada molécula ejecuta una elipse conforme pasa la onda. La longitud de onda es aquí muy corta, comparada con el espesor del material por el cual ésta viaja. Las ondas

de superficie viajan a una velocidad aproximada del 90 a 95 % de la velocidad de una onda transversal, en el mismo material.

¿Cómo se relacionan estas características con los procesos de control? Solamente fracturas o defectos en la superficie o muy cerca de ella pueden ser detectados.

Características y utilización de las ondas					
Tipo de onda	Gas	Líquido	Sólido	Movimiento de partícula	Aplicación
Longitudinal	Sí	Sí	Sí	Compresión y refracción a lo largo del eje de propagación	Pruebas, mediciones (más usado)
Transversal	No	No (excepto, pequeña)	Sí	Desplazamiento de la partícula perpendicular al eje de propagación	Pruebas, soldadura, resonancia
Superficie	No	No	Sí (Sólo superficie)	Elipses; se atenúan rápido por debajo de la superficie	Pruebas de superficie para partes de difícil acceso
Lamb	No	No	Sí	Elipses; transmisión de onda guiada	Lámina y barras delgadas

Cuando el sonido llega a una interfase acústica con una incidencia normal, una cantidad de energía es reflejada y otra cantidad es transmitida a través de la interfase. El ultrasonido es atenuado a medida que pasa a través de un material.

La **impedancia acústica** de un material es la oposición que presentan sus partículas a ser desplazadas por el sonido.

El límite entre dos materiales de diferentes impedancias acústicas es la interfase acústica.

Existen tres causas de atenuación:

- difracción,
- dispersión y
- absorción.

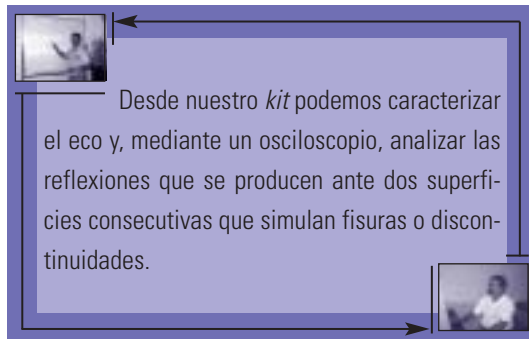
La cantidad de atenuación dentro de un material puede jugar un papel muy importante en la selección de un transductor en una determinada aplicación.

Características y utilización de las ondas					
Material	Densidad ( $\rho$ ) g/cm <sup>3</sup>	Velocidades sónicas (10 <sup>5</sup> cm/s)			Impedancia acústica $Z$ 10 <sup>6</sup> g/cm <sup>2</sup> .s (a)
		v(a) Ondas longitudinales de compresión	v(b) Ondas transversales	v(c) Ondas superficie	
<b>Aceros inoxidables</b>					
Tipo 302	7,9	5,66	3,12	3,12	4,47
Tipo 304 L	7,9	5,64	3,07	---	4,45
Tipo 347	7,91	5,74	3,10	2,8	4,54
Tipo 410	7,76	5,39	2,99	2,16	4,13
Tipo 430	7,7	6,01	3,36	---	4,63
<b>Aluminios</b>					
1100-0	2,71	6,35	3,1	2,97	1,72
Aleación 117-T4	2,8	6,25	3,1	2,70	1,75
<b>Plomo</b>					
Puro	11,34	2,15	0,70	0,64	2,45
Duro (94Pb-6Sb)	10,98	2,16	0,81	0,73	2,35
<b>No metales</b>					
Aire	0,00129	0,331	---	---	0,00004
Aceite (SAE 20)	0,87	1,74	---	---	0,150
Aceite transformador	0,92	1,38	---	---	0,127
Parafina	0,9	2,2	---	---	0,2
<b>Plásticos y otros materiales</b>					
Teflón	2,2	1,35	---	---	0,30
Cuarzo natural	2,65	5,73	---	---	1,52
Caucho vulcanizado	1,1-1,6	2,3	---	---	0,25-0,37
<b>Agua</b>					
Líquida (4 °C)	1,0	1,49	---	---	0,149
Hielo (0 °C)	0,9	3,98	1,99	---	0,36
(a) Para ondas longitudinales $Z = \rho \cdot v$					

El ultrasonido es una excelente herramienta de control de calidad que puede ser explotada aun más con mayor beneficio para caracterizar uniones o discontinuidades en los materiales.

El aire, al tener una muy baja impedancia, es atenuador fuerte de las ondas de ultrasonido a altas frecuencias, marcando una gran diferencia con respecto a los metales. Es por eso que se transmite la señal sónica a través de un medio de contacto -agua, aceites, glicerina, pegamentos o algunos cauchos-.

Además, es importante el acabado de la superficie de la pieza, la temperatura y su limpieza.



## Limpieza por ultrasonido

Un limpiador ultrasónico es un equipo electrónico que genera vibraciones de alta frecuencia a través de un líquido. Las vibraciones crean burbujas microscópicas inmersas en el líquido, que colapsan en él y que generan la acción de limpieza.

Estos transductores están fijados en el exte-

rior de un tanque o inmersos en una caja de acero inoxidable. Las ondas sonoras producidas por estos transductores generan **cavitación** dentro del líquido, acción por la cual se produce una limpieza rápida, eficiente y suave.

El procedimiento es:

- Se coloca el elemento a limpiar en una cuba con algún tipo de solvente o detergente -por ejemplo, amoníaco-, alcohol alcalino, etc.
- Luego de media hora -en algunos casos, más- se obtiene una limpieza pareja en toda la superficie, incluso en lugares de difícil acceso manual.

La cavitación se produce en los líquidos; su causa no es únicamente el ultrasonido. Consideremos algunos principios básicos que explican este fenómeno:

- Si una onda tiene amplitudes grandes, provoca variaciones de presión.
- Por su parte, todo líquido tiene un punto llamado tensión de vapor. Cuando nos situamos por debajo de dicho valor de presión, el líquido pasa a estado gaseoso, lo que genera bolsas de vapor (cavidades).
- Las burbujas, entonces, viajan hacia una región de mayor presión y chocan entre sí.
- Cuando esto ocurre, la presión aumenta muchísimo -llegando, incluso, a los 800 Mpa- y también la temperatura (5000 °C).



Como podemos imaginar, esto es algo tremendamente peligroso puesto que puede destruir superficies de contención o tuberías. Controlar la cavitación es, así, de vital importancia en máquinas hidráulicas, en las que puede ocasionar serios destrozos.

La cavitación depende de muchos aspectos:

- *Frecuencia.* A mayores frecuencias, el tiempo dado a la burbuja para que crezca y afecte al sistema es pequeño; el efecto de la cavitación es, entonces, menor.
- *Viscosidad.* Cuanto más viscoso es un líquido, menor es el efecto de la cavitación.
- *Temperatura.* Cuanto mayor es la temperatura, la cavitación tiene lugar para intensidades acústicas menores.
- *Presión externa.* El aumento de este factor provoca una mayor violencia en la colisión de las burbujas.
- *Intensidad.* En general, a mayor intensidad ultrasónica, mayor es el efecto de este fenómeno.

Existe, entonces, una limitación seria en la utilización de soluciones volátiles inflamables como agentes de limpieza, porque generan una atmósfera explosiva; paralelamente, crece en importancia la limpieza ultrasónica.

La limpieza ultrasónica está siendo ampliamente utilizada en odontología, para la limpieza de piezas dentales al extraer manchas de nicotina, café, té, etc.; en relojería, por sus posibilidades de limpieza microscópica de piezas; en electrónica,

impresión, mecanizado y estampado de metales y pulido de superficies; en aplicaciones espaciales, nucleares y militares; en limpieza de filtros, moldes, goma, instrumentos de cirugía y médicos, textiles, (desgasificar, homogeneizar, disgregar), galvanoplastia, farmacia, cosmética, biotecnología, armamentos, tintas, emulsiones, etc.

Los sistemas de limpieza ofrecen al cliente flexibilidad de adaptación en aplicaciones industriales y de laboratorio, al penetrar en sitios inaccesibles por sistemas de cepillado o spray. La minuciosidad de la limpieza por ultrasonido no puede ser comparada a ningún otro método.

La excitación ultrasónica, por su parte, incrementa la efectividad de los limpiadores acuosos y semiacuosos, proveyendo velocidad y efectividad para satisfacer las necesidades.

Aunque los beneficios de la energía ultrasónica son numerosos, la clave para estos procesos es la selección adecuada del equipamiento y de los productos químicos, los que son elegidos no sólo por su capacidad de limpieza sino también por su capacidad de transmitir energía ultrasónica.

## **Medición de caudal por ultrasonido**

Los medidores de caudal utilizan la tecnología de ultrasonido y el doppler para determinar el movimiento de distintos líquidos -agua, aceites hidráulicos, condensados, productos derivados del petróleo y muchos otros circulantes- en una tubería de metal plástico o de cemento.

Estos caudalímetros tienen como principal cualidad la de no tener que perforar la tubería para colocar el medidor; asimismo, la de trabajar con fluidos de alta viscosidad, en pequeños tubos, a muy alta temperatura (400 ° C), a muy baja temperatura, y permitir lecturas con equipos portátiles, en pocos minutos de llegar al lugar de la medición.

Puede interesarle recorrer el sitio de *Measuring Flow Worldwide*. Si bien se trata de un sitio comercial, contiene mucha información conceptual:

<http://www.eesiflo.com/index.html>

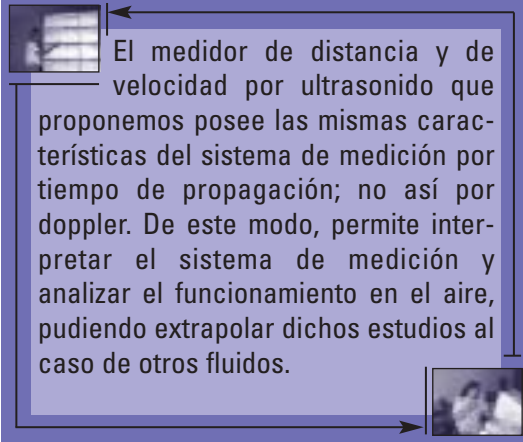
Según el modelo, los caudalímetros pueden operar en tuberías desde 13 mm a 6 m, temperaturas de fluidos desde 40 °C a 200 °C y velocidades de caudal desde 0,3 m/s a 32 m/s. Los errores en sus medidas se sitúan en el rango del 1 % del caudal. La velocidad ronda una muestra por segundo.

La ubicación de los transductores depende de los factores asociados con la instalación, del tamaño de la tubería, del espacio disponible para la colocación de los transductores, del tipo de fluido y del caudal.

- **El método Z** es recomendado para ser utilizado en condiciones adversas, espacio limitado, fluido turbio, tuberías viejas; no lo es para tuberías pequeñas.
- **El método V** es recomendado en la mayoría de las instalaciones; los transductores del mismo lado facilitan la colocación del rail de desplazamiento para la obtención del eco.

- **El método W** se utiliza en tuberías de 1½ pulgadas de diámetro y menores, logrando darle más camino al ultrasonido para obtener mayor resolución; sus limitaciones se producen en fluidos turbios.

Muchos fabricantes determinan en sus productos a qué distancia se debe colocar el caudalímetro de bombas, válvulas, codos, etc. para obtener una lectura adecuada; esta lectura es, generalmente, expresada en diámetros de tubería -por ejemplo, 1000 diámetros por arriba y 5 diámetros por debajo-.



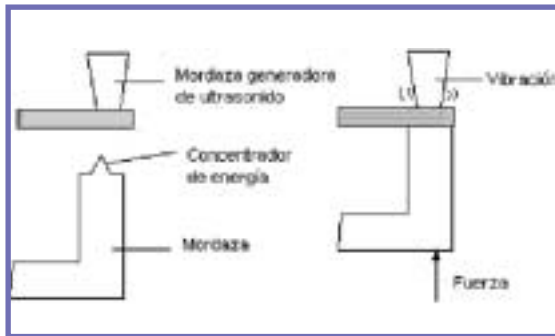
El medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido que proponemos posee las mismas características del sistema de medición por tiempo de propagación; no así por doppler. De este modo, permite interpretar el sistema de medición y analizar el funcionamiento en el aire, pudiendo extrapolar dichos estudios al caso de otros fluidos.

## Soldadura por ultrasonido

La soldadura por ultrasonido es un proceso metalúrgico utilizado en las industrias electrónica, eléctrica, automotriz, aeronáutica y en algunos otros campos. El beneficio económico y la calidad -la soldadura no afecta la zona aledaña por calentamiento, como sucede con otros métodos- obtenidos por el uso de esta tecnología son considerables.

El proceso es controlado electrónicamente con muy pocos parámetros.

La soldadura ultrasónica se utiliza para unir piezas en un tiempo corto y regulado con condiciones de fuerza controlada. Se requieren dos mordazas; la superior induce una alta frecuencia de vibración y hace que las superficies en contacto se fundan y fijen el ensamble. El proceso de fusión se facilita utilizando venas o concentradores de energía, en una de las superficies a soldar.



En una época en que los productos se hacen más complejos -hasta los juguetes tienen un creciente contenido electrónico-, los fabricantes buscan modos eficientes y ecológicamente benignos para unir cables y para soldar pequeños componentes en las líneas de ensamble. Por ejemplo, ensamblar un coche nuevo -con la cantidad cada vez mayor de partes electrónicas- exige hacer cientos de conexiones entre diversos componentes eléctricos y electrónicos, desde la batería hasta los sistemas de navegación y los asientos accionados eléctricamente. En estos procesos, la tecnología ultrasónica para unir metales está ganando aceptación; es limpia, inofensiva para el ambiente y ofrece un método rentable para unir piezas metálicas; puede tener control electrónico para mantener nor-

mas estrictas de calidad y, como parte del proceso, verifica la integridad de la soldadura; no se utilizan productos consumibles y se gasta poca energía; finalmente, no se necesita agua de enfriamiento y no se producen gases ni olores.

La **soldadura ultrasónica de metales** resulta atractiva para unir piezas pequeñas, películas metálicas muy delgadas, cable plano flexible y metales -tanto similares como disímiles-. Las aplicaciones eléctricas y electrónicas incluyen la conexión de cables, la soldadura de terminales -tanto a alambres convencionales como a cables planos flexibles- y la unión de conectores a los casquillos de las baterías de litio. Otras aplicaciones comprenden el sellado de tubos de aparatos domésticos y unidades de aire acondicionado, así como el soldado continuo de láminas de aluminio y cobre.

La soldadura ultrasónica de metales es una forma de soldadura por fricción que une partes metálicas haciéndolas vibrar una contra otra en forma cizallante, mientras la unión se mantiene. La vibración produce una acción de frotamiento que desprende los óxidos en la superficie interfacial; esto permite que las moléculas de los límites se mezclen y se difundan en toda la superficie divisoria, creando una verdadera unión metalúrgica.

La fuente de la vibración es un transductor piezoeléctrico. La energía, usualmente comprendida entre los 20 y los 40 kHz, se transforma en vibración mecánica a la misma frecuencia del transductor, se amplifica mediante un sistema reforzador y se aplica a una herramienta de acero termotratado. Las piezas que se van a soldar se sujetan entre la

herramienta vibrante y un yunque estacionario, con una fuerza considerable, y se frota una contra otra por la vibración. Tanto la herramienta como el yunque tienen superficies fresadas con estrías cruzadas para permitir un agarre seguro entre las piezas.

Las piezas se compactan ligeramente en la superficie, debido a la fuerza de sujeción antes de conectar la energía ultrasónica; el intervalo durante el cual sucede esto se llama tiempo de exprimido. Después de apagar la energía ultrasónica y de aflojar la fuerza de sujeción, se aplica una breve ráfaga de la primera para evitar que el ensamble soldado se pegue a la herramienta o al yunque.

La soldadura ultrasónica de metales es un proceso en frío en el que las partes que se unen no se funden. La escoriación provocada por la frotación entre ambas superficies genera una liga metalúrgica de estado sólido. La variación de grosor de las piezas que se sueldan se maneja fácilmente porque los sistemas ultrasónicos de este tipo miden, verifican y controlan automáticamente los parámetros de soldadura -energía, fuerza y tiempo de soldadura, y amplitud-, para producir uniones con mayor resistencia mecánica y con mejor conductividad eléctrica que una conexión normal o mediante un simple trenzado.

Aunque los principios de la **soldadura ultrasónica de plásticos** y la de metales son muy similares, hay varias diferencias importantes. La principal es que la vibración se aplica en dirección paralela a la zona interfacial, en el caso de los metales; en plásticos, se aplica en dirección perpendicular. La fuerza de sujeción es mucho menor para plásticos que la

empleada en metales. La soldadura ultrasónica de plásticos genera suficiente calor de fricción para fundir las partes termoplásticas en las orillas por lo que la fuerza de sujeción se debe mantener brevemente después de apagar la energía ultrasónica, para permitir que la superficie limitrofe se solidifique.

En la soldadura ultrasónica de plásticos no es necesario un precalentamiento; es muy rápida y no genera contaminantes. La unión es, en general, mejor que con otros métodos. Normalmente, es necesaria una presión de los materiales a unir; pero, en las soldadoras más modernas no es fundamental.

La pieza clave es el sonotrodo, aparato hecho generalmente de aluminio y titanio (materiales con buenas propiedades acústicas), que convierte los ultrasonidos en energía calorífica, la cual funde el plástico y lo une. Dicha energía es proporcional a la amplitud de la onda ultrasónica. Las frecuencias de trabajo se sitúan entre los 20 y 40 kHz; la potencia es del orden de algunos miles de vatios.

Los arneses de cableado, las baterías y los *switches* son aplicaciones en las que, usualmente, se necesita soldar entre sí metales disímiles. Los fabricantes de arneses de cableado usan la soldadura ultrasónica para unir alambre de cobre con receptáculos y terminales de cobre; los fabricantes de baterías, por su parte, la usan para soldar orejas conectoras de níquel a los casquillos de las baterías de litio, y a películas y mallas de cobre y aluminio.

Una aplicación importante de la soldadura ultrasónica de metales es la unión de termi-

nales y conectores a cable plano flexible -CPF o FFC; *flexible flat cable*- y a circuitos impresos flexibles. El CPF está reemplazando rápidamente a los arneses convencionales de cableado en cantidad cada vez mayor de aplicaciones electrónicas y de industria automotriz, debido a que los fabricantes buscan una alternativa menos complicada y molesta que los arneses de cableado convencionales.

Por ejemplo, los tres más grandes fabricantes estadounidenses de automóviles ya están usando CPF en los sistemas de bolsas de aire. Otras aplicaciones automotrices incluyen el cableado de los espejos laterales y de los asientos ajustables. También se usa CPF para cablear sistemas de navegación y otros dispositivos electrónicos del tablero. En muchas de estas aplicaciones, sólo se necesita colocar el CPF detrás del tapiz del techo, o en espacios estrechos de las puertas o del tablero, en reemplazo de los voluminosos arneses de cableado.

El CPF también se puede usar en aplicaciones dinámicas en las que el cable se ve sometido a constantes flexiones, como pueden ser los controles de velocidad de crucero montados en el volante. En estas aplicaciones de "cuerda de reloj", el cable debe enrollarse y desenrollarse continuamente al girar el volante. Hay disponible equipo automático tanto para pelar como para soldar ultrasónicamente conductores de CPF con espesores tan pequeños como de 35 micrones.

En el pasado, en la carga de sistemas de

refrigeración y aire acondicionado se necesitaba instalar una válvula Hansen para poder sacar el aire y la humedad, por bombeo, antes de llenarlo de refrigerante; después de que el sistema se ponía a presión por el refrigerante, el tubo de cobre de llenado se cerraba por plegado; luego, se quitaba la válvula Hansen y se latonaba el tubo para formar un sello permanente. En la actualidad, los dispositivos para sellado ultrasónico se utilizan ampliamente para cerrar, cortar y soldar los tubos de cobre en una sola operación. Además de los ahorros de mano de obra directa -de hasta el 60 %-, la soldadura ultrasónica elimina las preocupaciones ecológicas que suscita el uso del latonado.

Que la soldadura ultrasónica de metales sea apropiada para una aplicación específica depende del material, de la tasa de producción, del tiempo de proceso, del tamaño de las piezas, del costo del equipo y de las demandas energéticas. Como los sistemas de soldadura ultrasónica tienen bajas demandas de energía, no utilizan productos consumibles, no necesitan agua de enfriamiento y ocupan poco espacio, pueden ofrecer soluciones rentables y ecológicamente inocuas para muchas aplicaciones.

Los sistemas de control mediante microprocesador permiten la regulación precisa de las variables clave en la soldadura ultrasónica de metales, para verificar que cada pieza se suelda de acuerdo con los requisitos estable-

cidos.

Las variables clave incluyen:

- el grado de compactación del material antes de aplicar la energía ultrasónica,
- el grado de compactación mientras se está aplicando,
- el aporte total de energía a la unión y
- el tiempo del proceso de soldado.

El sistema de control mide la compactación cuando la herramienta aprieta la parte contra el yunque, antes de aplicar la energía ultrasónica. Si la medición se desvía del valor correcto almacenado en la memoria del sistema, se interrumpe el proceso.

El sistema de control puede, también, verificar el aporte de energía y el tiempo, y detener el sistema de soldadura cuando se ha aplicado la cantidad especificada de energía a la superficie de contacto de la junta o bien después de un tiempo determinado.

También es posible verificar la compactación durante la soldadura, mediante la medición de la carrera de la herramienta y la aplicación de energía ultrasónica hasta que el espesor de la soldadura se ha reducido en una cantidad específica. Este método es útil en aplicaciones en las que el espesor del material no varía en grado importante.

Los sistemas de control pueden monitorear las variables que se especifican y advertir al operador cuando se presenta una condición fuera de tolerancia. Estos monitores son suficientemente sensibles para detectar un solo

filamento faltante en una operación de empalme de cables de filamentos múltiples.

## **Eradicación de plagas con ultrasonido**

La emisión ultrasónica es un método efectivo para controlar: ratas, ratones, murciélagos, cucarachas adultas, pulgas, grillos, langostas, hormigas y la mayoría de las alimañas comunes.

Las investigaciones de laboratorio han demostrado que las ondas de ultrasonido atacan el sistema auditivo y nervioso de la mayoría de estos animales, causándoles dolor. Con 130 db de presión de sonido, abandonan sus fuentes de alimentación, agua o refugios, y dejan el lugar.

Estas ondas de sonido de alta frecuencia están fuera del alcance del oído humano y del de mascotas domésticas; no interfieren con televisores, radios, alarmas eléctricas, detectores de incendios, humo, audífonos, marcapasos ni con otros tipos de equipos electrónicos; tampoco dañan las plantas.

Inicialmente, este procedimiento genera una mayor actividad de las alimañas; esto es normal, pues significa que las plagas están saliendo de sus madrigueras o escondrijos habituales. En pocos días, comienzan a alejarse de las zonas protegidas, dejando atrás sus huevos o larvas, los que normalmente no se ven afectados por las ondas ultrasónicas. La incubación continúa usualmente; pero, luego, estos nuevos insectos son atacados también por las poderosas ondas y el lugar queda totalmente liberado de plagas e insectos en un período de 4 a 6 semanas.

### 3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

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

### El producto

Presentamos aquí un equipo de ultrasonido con el cual es posible experimentar situaciones de aprendizaje vinculadas con la propagación de ondas acústicas, reflexión, ecos, medición de distancias, velocidades, visualización de la señal proveniente de la reflexión por medio de un osciloscopio, que permite medir la velocidad del sonido y, variando la ganancia, puede servir como un detector ultrasónico de presencia.



### Los componentes

El principal componente es el microcontro-

lador que genera el tren de diez pulsos a 40 kHz.

Éste, al mismo tiempo que inicia la cuenta en el módulo temporizador, queda a la espera de la llegada de un eco o, en su defecto, del desborde del temporizador:

- Si no llega el eco en el tiempo máximo esperado, se inicia un nuevo ciclo de emisión y lectura.
- Si el eco es recibido dentro de los límites de tiempo, se produce el congelamiento del valor del temporizador, el escalado de la medición y la adecuación del valor para su visualización.



*Microcontrolador*

El segundo componente, en orden de importancia, son los amplificadores de señal, que reciben la señal y la acondicionan para que se pueda representar en el osciloscopio o detenga el sistema temporizador.



**Amplificadores**

El resto de los componentes son **resistencias, capacitores, diodos y transistores**, que se encargan de polarizar y adecuar la señal para ser procesada por los dispositivos mencionados, y, algunos elementos especiales como *display*, teclado y llaves para la operación.

## Los materiales, herramientas e instrumentos

Para el armado del equipo son necesarios:

- Microcontrolador (MC68HC908KX8)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Si lo desea, puede consultar:

Estévez, Marcelo. 2004. *Microprocesadores y microcontroladores*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Buenos Aires.

Disponible en: [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar).

Opción "Publicaciones", "Materiales de capacitación", "Serie: Desarrollo de contenidos", "Colección: Controladores lógicos programables".

- Amplificadores (LM833)
- Comparadores (LM311, LM339)
- Inversores (4069)
- Cápsulas ultrasónicas Murata Rx MA40S4R Tx MA40S4S
- Resistencias 5 K, 6 K7, 390 K, 100 K, 10 K, 4 K7 \*
- Capacitores 10 nF, 0.1 uF, 10 uF, 100 uF, 2200 uF, 22 pF
- Display LCD 2 x 16
- Conectores
- Cables
- Led (3 mm rojo y verde)
- Teclas (reset, vel, asc, modo, enter)
- Cristal (9,8304 MHz)
- Borneras
- Gabinete
- Cinta plana
- Regulador (LM7805, LM7812 y LM7912)
- Diodos (1N4007 y 1N4148)
- Disipador
- Plataforma (madera o metal)
- Micro llaves
- Transistores (BC337, BC548)
- Placa experimental para soldar componentes (agujereada)
- Cable mayado (no apantallado)
- Potenciómetro 10 K o 5 K

\*K equivale a kΩ



- Sensor de temperatura de estado sólido Lm35
- Potenciómetro multivoltas de calibración (500 K, 100 K, 220 K)

Otros insumos son:

- soldador (no mayor a 40 W),
- estaño de 0,7 mm,
- multímetro para medir tensiones para la calibración,
- pinzas y alicates para el armado de los conectores,
- osciloscopio, para ver las señales emitidas y recibidas,
- cables para conexión y
- conectores,
- madera o metal para apoyar todo en una base y graduar la distancia sobre esta plataforma,
- placas de distintos materiales y espesores para realizar las experiencias.

## La construcción

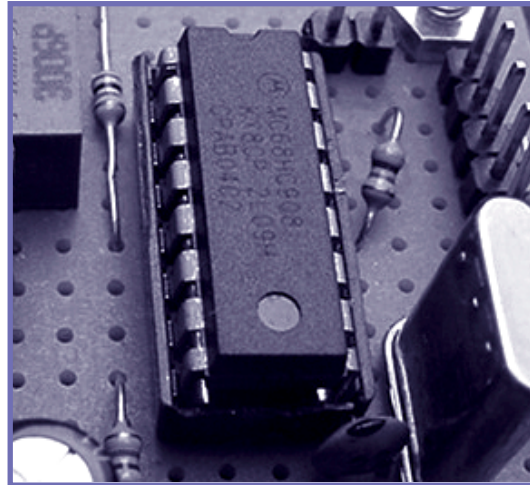
La construcción del equipo no reviste mayor cuidado que el de todo dispositivo electrónico. El recaudo básico es soldar los componentes lo más cercanos posible para evitar la inducción de ruido y para reducir al máximo el cableado. Verificamos, asimismo, que no tenga soldaduras frías y de ser posible, colocamos buenas masas y una fuente con muy bajo nivel de ruido *-riple-*.

## Selección de componentes

Elegimos usar microcontroladores de la serie 68HC08 de Motorola® porque:

- resultan un software familiar,
- son productos de bajo costo,
- son alimentados con 5 voltios,
- poseen entradas analógicas para compensación,
- pueden ser programados fácilmente desde la PC.

Optamos por el microcontrolador de Motorola® MC68HC908KX8, porque resulta acorde al tamaño de nuestro diseño, ajustado a la cantidad de puntos de entrada/salida necesarios y a la disponibilidad de chips:



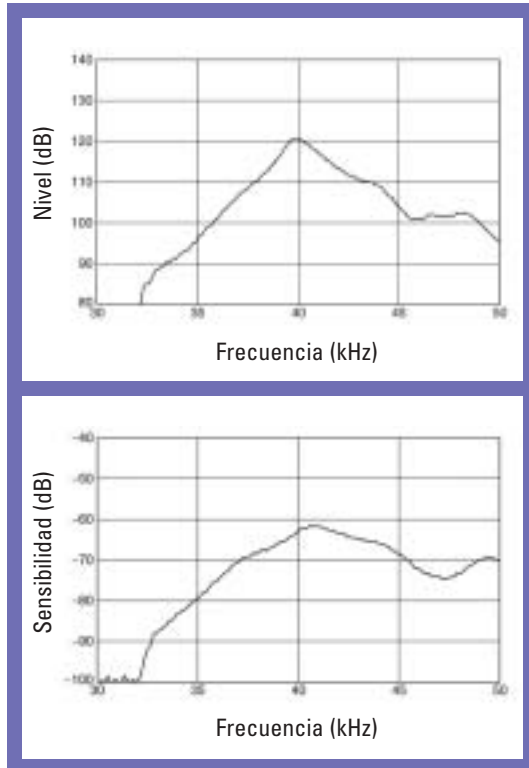
El sistema de programación ISP *-In Circuit Programming-*, implementado dentro del chip, permite realizar su grabación sin la necesidad de remover el chip del circuito para usar un grabador externo. La comunicación con la PC se hace mediante un cable de interfaz para el puerto serie, que se conecta a deter-

minados pines del chip.

En momentos de prototipado, el ISP es de gran ayuda, ya que elimina la probabilidad de daño al quitar y colocar el chip en el zócalo, y acelera el proceso de grabación.

En la instancia de estudio preliminar, hemos realizado pruebas con transductores piezoeléctricos, las que nos dieron como resultado un muy pobre ancho de banda, por lo que decidimos poder ajustar la frecuencia de emisión de los pulsos, para lograr trabajar en la frecuencia óptima.

El receptor presenta una transferencia de apariencia muy similar a la del emisor, mostrando también un pico muy agudo en torno a los 40 khz; por este motivo, es nece-



sario trabajar en el pico de su transferencia.

Los transductores elegidos son los Murata.



## Etapa de entrada

Dado que las señales eléctricas generadas por el receptor son de muy baja tensión, se requiere una amplificación antes de su comparación. Cuando la distancia entre emisor y receptor ronda el valor máximo establecido para el sistema o cuando el ángulo de visibilidad entre transductores es grande, las señales medidas en el receptor pueden estar debajo del milivoltio de amplitud.

Sin embargo, si la amplificación resulta excesiva, surge el problema de la saturación cuando la distancia entre emisor y receptor se hace pequeña -o sea, cuando nos acercamos a los valores mínimos establecidos para esta distancia-.

Esto plantea la necesidad de un ajuste experimental de la ganancia, de forma de lograr el mejor comportamiento posible en todo el rango de distancias manejadas por el sistema. De acuerdo a esto, se establece como uno de los requerimientos de la etapa de amplificación el que tenga una ganancia variable

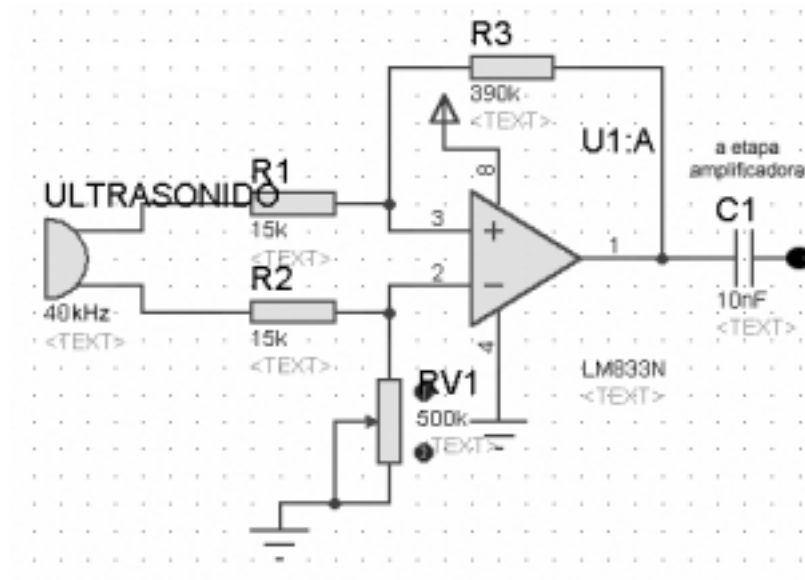
hasta un valor máximo mayor a 1.000.

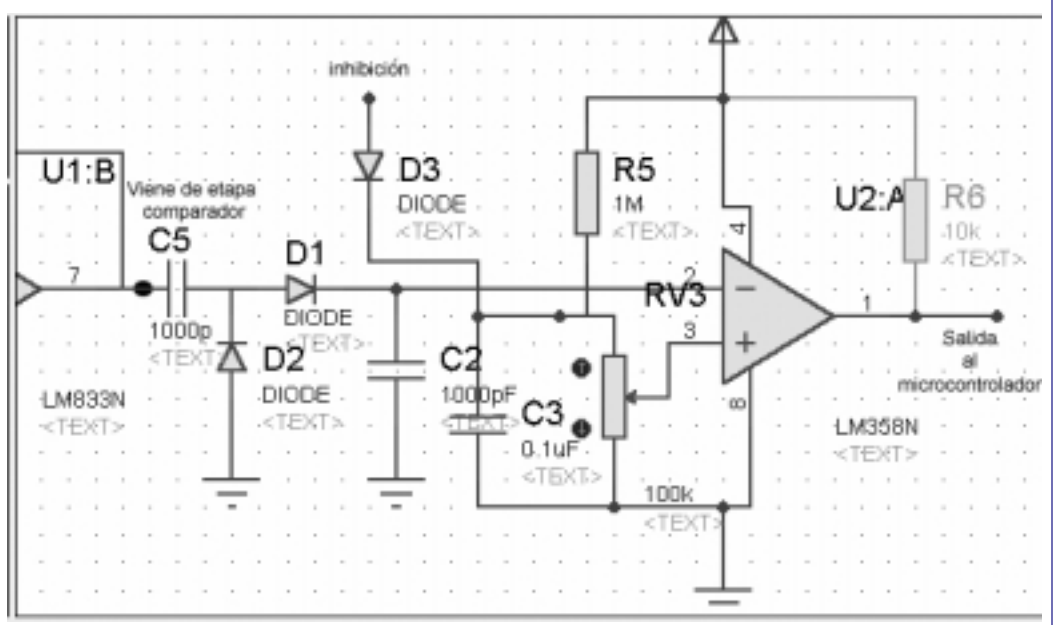
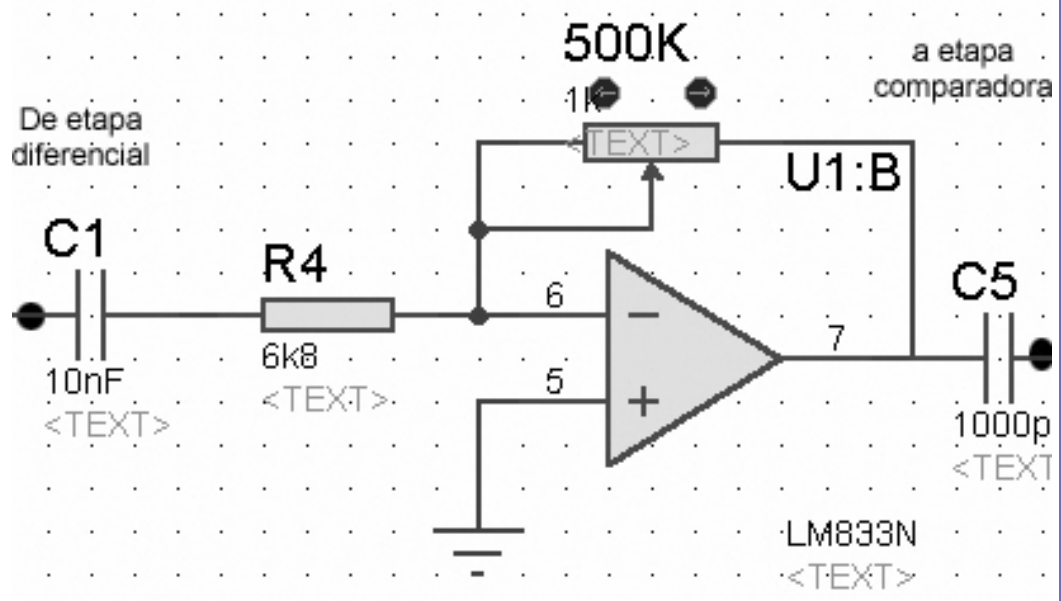
Debido a los altos valores de ganancia a implementar, decidimos realizar la amplificación en dos etapas, de forma de poder cumplir con los requerimientos de ancho de banda.

Un aspecto que también se tiene en cuenta a la hora del diseño de la etapa, es el problema del ruido eléctrico. Al respecto, tomamos dos precauciones. En primer

lugar, dada la alta ganancia de la etapa, optamos por ubicarla físicamente lo más cerca posible del transductor. En segundo lugar, con el objeto de minimizar la influencia del ruido en modo común presente a la entrada de la etapa de amplificación, resolvemos la utilización de una primera etapa diferencial.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, para la etapa de amplificación diseñamos:





El *preset* de 500 K de la primera etapa cumple la función de balancear el operacional en la forma más exacta posible, para maximizar el CRM -*Relación de rechazo al modo común*-, minimizando así la influencia del ruido en modo común. El valor final para este componente está en el entorno de los 390 K.

El *preset* de la segunda etapa tiene la función de ajuste de ganancia requerido. Mediante su ajuste se pueden lograr ganancias desde 0 hasta un valor máximo dado por:

$$\frac{390}{15} \times \frac{500}{7} = 1857,14$$

Los *preset* elegidos son del tipo multivuelta, para lograr una mejor precisión en el ajuste.

Entre ambas etapas se coloca un condensador de desacople de 10 nF, con el objetivo de evitar el pasaje de una posible tensión de *offset* de salida del primer operacional.

A la frecuencia de trabajo, este componente presenta una impedancia mucho menor que 6.700 Ohms, que representa la resistencia ubicada en serie con el condensador; por lo que, a estas frecuencias, puede ser considerado como "un cable" que no tiene efecto sobre la transferencia del amplificador.

## Selección de los operacionales

Si consideramos una ganancia aproximada de 40 por etapa y una máxima frecuencia de trabajo de 50 kHz, para que la transferencia de los operacionales sea plana, el producto

ganancia por ancho de banda (B) debe ser mayor a 2,4 MHz.

Para que el comparador que sigue al amplificador de dos etapas no sature, la señal debe ser amplificada hasta un máximo de  $A = \pm 5$  volt. El *Slew Rate* debe ser mayor a:

$$A * 2 \pi * f_{max} = 5 * 2 \pi * 60000 = 1,9 \text{ volt}/\mu\text{s}.$$

La alta resistencia de entrada no es algo imprescindible porque, en la compensación del transductor, se coloca una resistencia en paralelo con la impedancia de entrada del operacional del orden de las decenas de kilohms.

Buscamos operacionales dobles que puedan ser alimentados con  $\pm 12$  volt. Encuadramos nuestra opción sobre la línea de *National Semiconductor®* y seleccionamos los integrados: LF412, LM833, LF353, LF347.

Finalmente, optamos por el LM833, cuyas principales características son:

- Tipo: Doble amplificador operacional.
- Bajo costo.
- Compensado internamente para asegurar estabilidad a bajas ganancias.
- Cantidad de operacionales: 2.
- Formato: DIP-8 pines.
- Producto ganancia x ancho de banda: 15 MHz.
- Excursión de salida:  $\pm 10,5$  Volts (alimentando con  $\pm 12$  Volts).
- Carga mínima recomendada: 2 K ohm.
- Slew Rate: 7 volt/ $\mu$ s.

## Etapa de salida

La etapa de salida tiene como objetivo adecuar los niveles de voltaje y otorgar corriente suficiente para excitar a los transductores emisores. Una ventaja del uso de transductores piezoeléctricos es su alto rendimiento potencia eléctrica - potencia acústica. La corriente que consumen es tan pequeña que no es necesaria la utilización de amplificadores de potencia. Si bien los transductores aceptan voltajes del orden de los 40 volt pico a pico, decidimos alimentarlos entre  $\pm 12$  V (24 volt).

Como la excursión no está centrada en 0 y no es aconsejable alimentar con tensión continua al transductor, agregamos un condensador a la salida que actúa como filtro pasaaltos. El valor de este condensador es de 100 nanofaradio. Si consideramos que la impedancia vista hacia la etapa de compensación es del orden de los kilohm (para la frecuencia de trabajo), la frecuencia de corte ronda

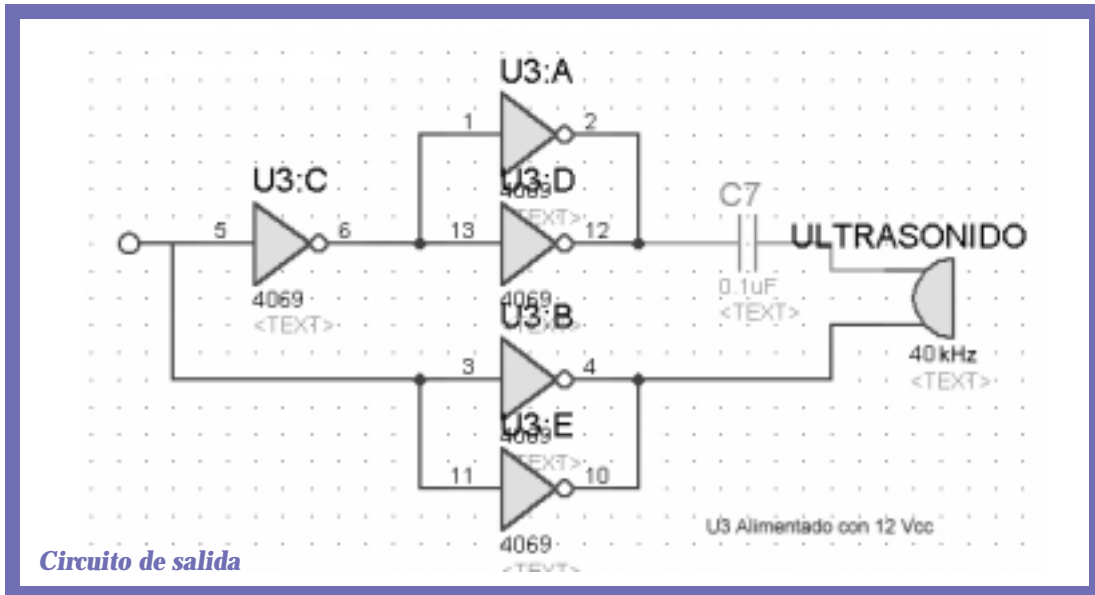
los kHz y la transferencia del pasaalto es prácticamente plana, cerca de 40 kHz.

Los inversores son utilizados para excitar las cápsulas ultrasónicas. Dos inversores son conectados en paralelo para aumentar la transmisión de la energía eléctrica hacia el transductor.

El terminal positivo y negativo del transductor ultrasónico tiene un desfase de 180 grados. Como el pasaje de corriente continua al transductor es bloqueado colocando un capacitor en serie, el transductor ve aplicada en sus bornes una tensión equivalente al doble.

Debido a la utilización de inversores C-MOS -metal óxido semiconductor-, es posible lograr una conmutación a muy alta velocidad.

El control del sistema se realiza por medio de un transistor desde el microcontrolador, conmutando de 0 a 5 volt.



## El armado

Como mencionábamos, la etapa de amplificación se coloca junto a los transductores. Los bajos voltajes manejados hacen a esta etapa la más sensible al ruido eléctrico. Por esto, elegimos blindar toda esta etapa para

realizar una jaula de Faraday e impedir, así, el ingreso de señales electromagnéticas. Colocamos, además, condensadores de 10  $\mu\text{F}$  de tantalio en paralelo con 0,1  $\mu\text{F}$  cerámicos entre fuentes y tierra, para filtrado de alimentación.

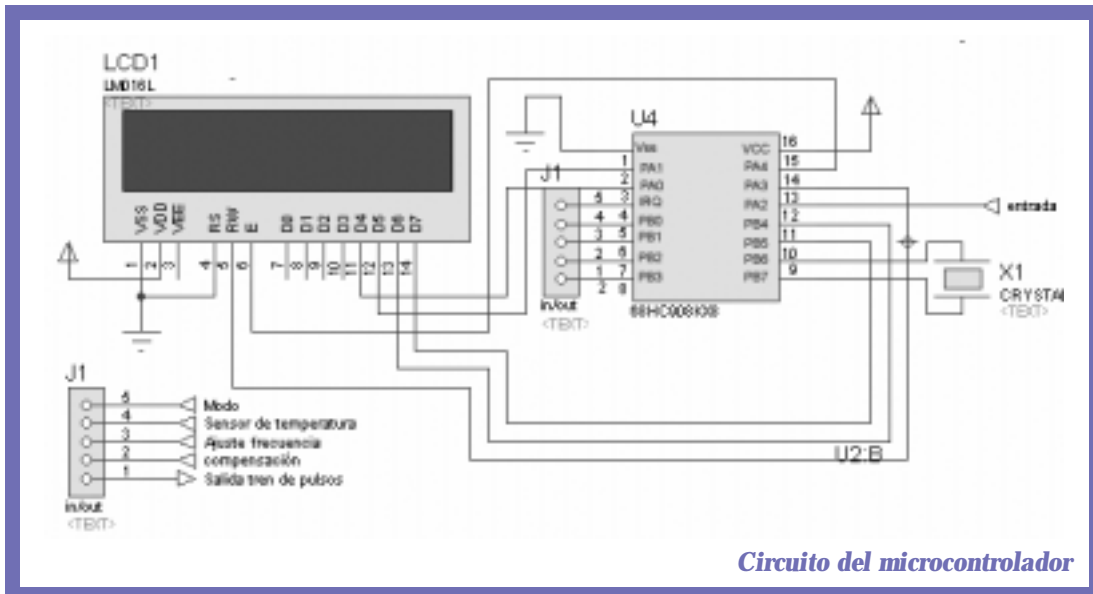
Le mostramos imágenes del armado:



**Soldado de zócalos,  
resistencias y capacitores**



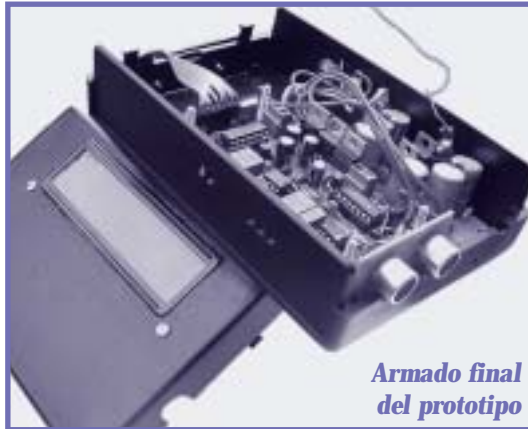
**Cableado con el resto del circuito**



Usted encontrará el programa del microcontrolador al final de este material.

## El ensayo y el control

Centrémonos, ahora, en las mediciones y ajustes de nuestro medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido.



Para fijar la posición del preset de la primera etapa, procedemos a la inserción de una señal sinusoidal en modo común a la entrada y al ajuste, de forma de observar la menor señal posible a la salida del amplificador. En nuestros ensayos, obtuvimos los mejores resultados para un valor del preset de 386 k $\Omega$ ; para este valor y el preset de la segunda etapa ajustado de forma de medir una ganancia diferencial de 1000 en la zona plana (ganancia de, aproximadamente, 40 en la segunda etapa), se mide una ganancia en modo común de, aproximadamente, 1.

Con este ajuste, se releva la respuesta en frecuencia del amplificador y se comprueba que la banda pasante, considerando una caída -3db, está entre los 3,5 y 63 kHz verificán-

dose, de esta forma, el cumplimiento de los requerimientos de ancho de banda.

Finalmente, buscando un compromiso entre la no saturación a distancias cortas y la buena recepción de señal a la distancia máxima permitida, y tomando como distancia mínima aceptable la de 50 cm, ajustamos el preset de ganancia en un valor de, aproximadamente, 350 K $\Omega$ , lo que implica una ganancia diferencial del orden de 1300.



Para probar el circuito de salida, colocamos una carga de 2 k $\Omega$  e inyectamos una señal cuadrada con valores de pico entre 0 y 5 voltios en la entrada. Verificamos que, a la salida, se obtenga la señal esperada (una señal también cuadrada con valores de pico entre -10 y 10 voltios, aproximadamente). Luego, colocamos la etapa de los transductores y verificamos que la excursión no baja para el rango de frecuencias de trabajo (lo que muestra que los inversores pueden entregar la carga necesaria).

Dejamos el sistema emitiendo señales ultrasónicas por 20 minutos y verificamos que los operacionales no calientan.



Finalmente, colocamos el microcontrolador y verificamos el funcionamiento del sistema; y controlamos el funcionamiento del *display* y el teclado, pasando por los diferentes modos de trabajo.

## La superación de dificultades

Si el sistema no funciona adecuadamente, debe usted tener en consideración:

Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido		
Ítem	Control	Testeo
1.	Al encender el equipo, el sistema, ¿presenta un mensaje por el <i>display</i> ?	
2.	Oprimiendo las teclas de modo, ¿se puede cambiar el menú visualizado?	
3.	Las cápsulas ultrasónicas, ¿están alineadas como para emitir y recibir en la misma dirección?	
4.	La señal emitida, ¿se calibra para centrar su frecuencia con la respuesta de los transductores ultrasónicos?	
5.	Tomando una medición a una distancia de 0,5 metro y ajustando la lectura presentada por el <i>display</i> , ¿se verifica la compensación de temperatura?	
6.	Tomando como lecturas las señales de eco y pulso, observándolas con un osciloscopio, ¿se verifica que la ganancia del sistema es la adecuada?	

En el caso de fallos en los controles 1 y 2, se sugiere reprogramar al microcontrolador y, luego, verificar que se encuentre alimentado y que genere los pulsos de 40 kHz, además de representar mensajes en el *display*.

## 4. EL EQUIPO EN EL AULA

El **medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** permite desarrollar estrategias didácticas vinculadas a las prácticas de:

- Medir distancias, ubicando el móvil en distintas posiciones.
- Medir velocidades constantes, desplazando el móvil mediante el arrastre -con un motor, por ejemplo-.
- Medir aceleración; existe un opcional que inclina el plano para variar la velocidad por efecto de la aceleración de la gravedad.
- Medir la absorción de materiales acústicos; existe una salida para conectar a un osciloscopio, que permite medir la amplitud de la señal recibida y ver, además, las distintas reflexiones.
- Medir la velocidad del sonido, colocando un objeto a un metro de distancia y obteniendo el tiempo entre la salida del tren de pulsos y su llegada, luego de rebotar en dicho objeto.
- Trabajar como sensor ultrasónico, variando la ganancia de modo que actúe a una determinada distancia detectando objetos.
- Analizar dispositivos de control de plagas.
- Analizar dispositivos de control de velocidad, como el radar policial.
- Analizar dispositivos de control de nivel

de fluidos y sólidos.

- Analizar dispositivos medidores de distancia.
- Analizar dispositivos de medición de caudal.
- Analizar dispositivos de detección de objetos, sonar, robótica, radar.
- Analizar dispositivos de seguridad, alarmas volumétricas.

Usted ya sabe cómo es el equipo didáctico que le proponemos y cuáles son sus posibilidades como recurso didáctico. Ahora, retomemos los testimonios planteados inicialmente y veamos cómo podríamos optimizarlos contando con el **medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** en el aula.

### El medidor ultrasónico

Un grupo de alumnos se encuentra analizando las características de un medidor ultrasónico, en función de determinar el nivel de almacenamiento de cereales en un depósito. ¿Recuerda la situación?

Frente al problema, los alumnos buscan bibliografía sobre transductores ultrasónicos, propiedades del ultrasonido, utilización y características de propagación.

Con dicha información, se plantean determi-

nar las características principales de los sistemas que utilizan ultrasonido y, para observar el funcionamiento y características, preparan el *kit* medidor.

Los sistemas ultrasónicos de medición de nivel poseen varias formas de trabajo; las principales son:

- por pulsos o
- por doppler;
- algunos trabajan en forma mixta.

Para analizar las características de medición por pulsos, los alumnos adecuan el *kit*: Encienden el equipo unos minutos antes de realizar la medición para lograr una estabilización de temperatura de funcionamiento y, entonces:

- Colocan obstáculos a distintas distancias y toman las mediciones.
- Observan las mismas mediciones a distintas temperaturas, viendo cómo funciona el sistema de compensación.
- Visualizan las formas de onda y nivel de señal recibida con obstáculos, con semillas y granos de diferente tipo adheridos a la superficie inicialmente utilizada, para determinar el grado de emisividad o absorción de estas sustancias.
- Determinan el error y la precisión de las mediciones, y analizan cuáles son los elementos críticos en los sistemas ultrasónicos.

Finalmente, analizando páginas web y

catálogos de fabricantes, determinan cuál es el equipo más indicado, a partir del análisis de las especificaciones.

## La velocidad del sonido

Los alumnos que determinan la profundidad de un pozo, cursan EGB3. En su aula-taller, el estudio se centra en el sonido y, específicamente, en la velocidad del sonido en un medio como el aire.

Entre los modelos a analizar para describir el movimiento de la piedra y la propagación del sonido, consideran:

- La caída libre de los cuerpos, evaluando la aceleración de la gravedad y el tiempo empleado por la piedra al caer.
- El tiempo que tarda el sonido en propagarse en el aire y en llegar desde el fondo del pozo a la superficie.

Para este planteo, la profesora propone a sus alumnos medir la velocidad del sonido con el *kit*, lo que posibilita una modelización de lo sucedido. Los alumnos extrapolan los datos para otras frecuencias audibles y analizan el tiempo que tarda el sonido en propagarse a la velocidad determinada por el medidor, pudiendo comprobar, además, la variación de la velocidad del sonido en el aire con la temperatura.

Analizan, finalmente, la precisión que podrían obtener con un medidor de distancia ultrasónico considerando para ello la longitud de onda utilizada (a 40 kHz) y la velocidad del sonido en el aire.

## El condicionamiento acústico del salón de usos múltiples

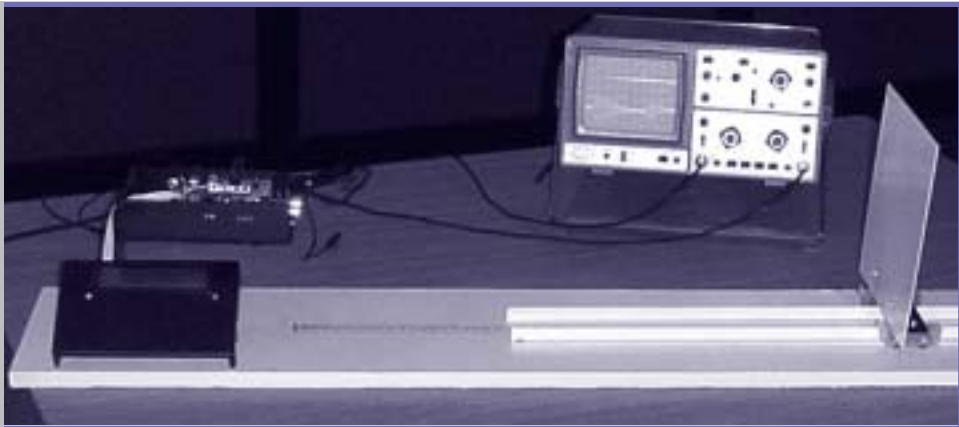
En otra de las situaciones, el profesor de "Gestión de procesos productivos" está planteando a sus alumnos el estudio de los requerimientos acústicos que implica la construcción de un salón destinado a auditorio.

Valiéndose de las características del *kit*, el grupo analiza los materiales utilizados en la construcción, midiendo la amplitud de la señal recibida luego de incidir en distintas superficies, comparándola con la que llega a

materiales utilizados como paneles acústicos.

Los alumnos preparan el equipo conectando un osciloscopio en la salida llamada "Eco", lo que les permite analizar no sólo la amplitud sino también la forma de la señal recibida, posibilitando el estudio de la absorción de los materiales frente a ondas de presión.

El proceso de análisis posibilita al grupo construir un diagnóstico comparativo de los materiales que producen mayor reflexión de ondas, y caracterizarlos por sus propiedades de absorción, reflexión y tiempo de reverberación.



## El caudalímetro ultrasónico

Otro de los instructores que nos proveen testimonios, busca que sus alumnos se interioricen en técnicas de medición de fluidos viscosos con alto grado de explosividad o posibilidades de incendio.

Plantea a sus alumnos una situación en la cual es necesario desplazar un caudalímetro, colocándolo en distintos lugares, para determinar las pérdidas de petróleo en su transporte; la tarea se centra, así, en el estudio de una de las virtudes principales de los medidores ultrasónicos de caudal.

El instructor propone utilizar el equipo como elemento para medición de distancias, estudiando las características de propagación de las ondas de presión en el aire y analizando el comportamiento de ellas en un fluido viscoso como el petróleo. Su grupo, entonces, analiza la precisión de la medición, la frecuencia de trabajo y los métodos utilizados según el diámetro de las tuberías.

Luego de considerar el funcionamiento y de realizar la medición de distancias, los cursantes indagan en la dependencia de la medición con la temperatura y en la necesidad de su compensación. Produciendo calentamiento en el sensor de temperatura del *kit*, modelizan cómo es la variación de la medición con la temperatura.

Finalmente, el docente propone a sus alumnos estudiar las técnicas de

medición utilizadas por caudalímetros reales, estableciendo analogías con las técnicas experimentadas en el prototipo didáctico del Centro. Para esto, el grupo considera las especificaciones de los caudalímetros y sus características fundamentales en catálogos de fabricantes, clasificándolos según sus propiedades.

## Los equipos de seguridad

Un grupo de estudiantes está tomando decisiones para el desarrollo de equipos electrónicos que brinden seguridad a un supermercado.

La profesora, inicialmente, pide a sus alumnos que se interioricen con los equipos básicos y con sensores estándar de uso común. A continuación, propone utilizar el medidor de distancia y de velocidad como primer acercamiento a una solución por ultrasonido; los alumnos, entonces, verifican el funcionamiento del *kit* como sensor volumétrico de presencia, y analizan la etapa amplificadora, sus ajustes y la calibración requerida para esta aplicación.

Plantean, entonces, la posibilidad de utilizar el equipo como central de alarma, considerando su posibilidad de conexión con otros sensores. Estudian el microcontrolador del equipo, sus módulos funcionales -timers, interrupciones, etc.- y verifican su capacidad de expansión para ser utilizado como solución a la problemática tecnológica planteada.

A continuación, encaran un estudio de

la precisión y estabilidad del sistema, concretando la compensación con la temperatura y su posibilidad de integración con sensores piroeléctricos.

Luego de resolver la tarea planteada, la profesora propone a sus alumnos diseñar un sistema electrónico microprocesado integrando el control, la programación y la habilitación de zonas, con sensores ultrasónicos y piroeléctricos.

## La propagación de las ondas de presión

Un profesor de Física acostumbrado a utilizar equipamiento electrónico y material concreto a fin de establecer un correlato tecnológico con el sustento teórico que desarrolla para la resolución de los problemas que plantea, se encuentra desarrollando con su grupo la unidad didáctica correspondiente a ondas.

Sus alumnos ya han trabajado con un equipo de óptica constituido por un láser y analizado la teoría de las ondas electromagnéticas, difracción, reflexión, polarización y propagación. A partir de aquí, el profesor se propone hacer algo similar con el *kit* y con la teoría de ondas acústicas.

Así, el grupo prepara el dispositivo para demostrar la propagación de las ondas de presión -mostrándolas en una pantalla de osciloscopio-, la emisión de pulsos y la recepción del eco. Los alumnos miden la velocidad del

sonido en el aire a través del equipo, el que les permite obtener una lectura del tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta la recepción del eco y, conociendo la distancia a la que se colocó el obstáculo, determinan dicha velocidad para la temperatura y humedad del momento.

Comparan cómo varía la velocidad del sonido con la temperatura, tomando varias lecturas a diferentes temperaturas. Proyectan cómo se puede compensar e inducen cuál es la ley de variación.

Finalmente, deducen fácilmente cómo pudo calcularse la distancia a la que cayó el rayo.

El equipo **medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido** puede ser utilizado en otras situaciones problemáticas de la educación técnico-profesional que requieren:

- Calibrar la medición como comprobación de funcionamiento de la compensación por temperatura.

Este procedimiento es necesario, por ejemplo, cuando cambiamos el equipo de lugar y lo llevamos a un ambiente que está a otra temperatura. De esta forma, verificamos que el sistema ya se estabilizó y podemos proceder a realizar nuestras mediciones.

Si el kit se utilizó como sensor volumétrico y se varió su ganancia para tal fin, es necesario calibrar la ganancia y verificar su funcionamiento para ser utilizado como medidor de distancias.

Para esto, se coloca un obstáculo a 0,5 metro de distancia y se verifica la lectura en el *display*.

- Medir velocidad del sonido para el instante en que se lo utiliza, para desa-



rollar algunas comprobaciones analíticas.

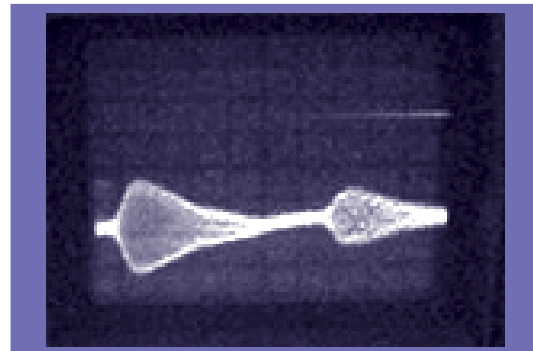
Se requiere de estas comprobaciones cuando el objetivo es demostrar los métodos de cálculo en la medición de distancia, contrastando la lectura del dispositivo y el cálculo analítico desarrollado con la velocidad del sonido.

Para esto, se coloca el equipo en el modo de indicación de tiempos para la llegada del eco, para realizar la comprobación del conteo del sistema y multiplicarlo por la base de tiempo del sistema, y así obtener el tiempo entre salida y llegada de la señal.

- Conectar un osciloscopio en las salidas indicadas como pulso y eco, y observar la forma de onda de la señal recibida y la amplitud que se corresponde con la distancia al objeto y al tipo de material, tamaño y forma.

La conexión del osciloscopio resulta imprescindible cuando se pretende visualizar la forma de señal recibida de distintos materiales y el objetivo es analizar el grado de absorción de diferentes superficies.

- Modificar la ganancia de recepción para verificar la sensibilidad del sistema y ajustar-







# Anexo: Programa del microcontrolador

```
reset      equ      $FFFE
coprs      equ      $1f
PTA        EQU      $0000 ; Ports and data direction
PA         EQU      $0000
PTB        EQU      $0001
PB         EQU      $0001
DDRA       EQU      $0004
DDRB       EQU      $0005
PTAPUE     EQU      $000D ; Port pull-up enables
CONFIG2    EQU      $001E ; System configuration
CONFIG1    EQU      $001F
TSC        EQU      $0020
TMODH      EQU      $0023
TMODL      EQU      $0024
TSC0       EQU      $0025
TCH0H      EQU      $0026
TCH0L      EQU      $0027
TSC1       EQU      $0028
TCH1H      EQU      $0029
TCH1L      EQU      $002A
TCNTH      EQU      $0021
TCNTL      EQU      $0022
ICGCR      EQU      $0036 ; Internal Clock Generator
ICGMR      EQU      $0037
ICGTR      EQU      $0038
ICDVR      EQU      $0039
ICGDSR     EQU      $003A
ADSCR      EQU      $003C ; A to D converter
ADR        EQU      $003D
ADCLK      EQU      $003E
COPCTL     EQU      $FFFF ; COP (Computer operating properly) control
RAMStart   EQU      $0040
RomStart   EQU      $E000
VectorStart EQU      $FFDC
ORG RAMSTART
MEMAUX1    DS      1
templo     DS      1
temphi     DS      1
TEMPLO1    DS      1
TEMPHI1    DS      1
VALORLO    DS      1
VALORHI    DS      1
TEMPOLO    DS      1
TEMPOHI    DS      1
TEMP1LO    DS      1
TEMP1HI    DS      1
TEMP       DS      1
```

```

tiempo      ds      1
INTACC1     DS      4      ;32-bit integer accumulator #1
AD0HI
INTACC2     DS      2      ;32-bit integer accumulator #2
SPVAL       DS      2      ;storage for stack pointer value
AD0LO       EQU     INTACC2+1
DIVIDEND    EQU     INTACC1+2
DIVISOR     EQU     INTACC2
QUOTIENT    EQU     INTACC1
REMAINDER   EQU     INTACC1
HI          EQU     INTACC2
LO          EQU     INTACC2+1
RES1        EQU     INTACC1
RES2        EQU     INTACC1+1
RES3        EQU     INTACC1+2
RES4        EQU     INTACC1+3
B0          EQU     TEMP0LO
B1          EQU     TEMP0HI
B2          EQU     TEMP1LO
B3          EQU     TEMP1HI
DATO        DS      1
PARAM       DS      1
PBRAM       DS      1
RAM1        DS      1
RAM2        DS      1
RAM3        DS      1
VELH        DS      1
VELL        DS      1
DISTH       DS      1
DISTL       DS      1
FREC        DS      1

```

```

                                org     ROMSTART
                                MOV     #$28,CONFIG2
                                MOV     #$01,CONFIG1 ;deshabilito coprs
                                MOV     #$1B,DDRA
                                MOV     #$38,DDRB
                                MOV     #$FF,PTAPUE ;VER PULLUP PARA PB
                                CLR     PA
                                CLR     PB
loop:                             lda     #$13
                                sta     icgcr
                                cmp     icgcr
                                bne     loop
                                mov     #$30,tsc
                                CLR     MEMAUX1
                                clra
                                clrx
                                clrh
                                bclr 3,PA

```

```

        JSR INIT_LCD
        LDX #80
        JSR POSICION
        LDHX #MSG1
        JSR MENSAJE
        LDX #C0
        JSR POSICION
        LDHX #MSG2
        JSR MENSAJE
        MOV  #08,TSC0      ;flanco de bajada

START:
emito:
        BCLR  4,TSC        ;LIBERO RESET DEL TIMER
        bclr  5,tsc        ;libero stop de timer
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        bsr   tren
        BCLR  0,MEMAUX1

ESPERO_REBOTE:
;        bclr 3,PA          ;INHIBICIÓN
;        jsr  deshabilito150 ;150 useg 5cm
;        bset 3,PA          ;INHIBICIÓN
;-----
        bclr 3,PA

deshabilito_t:
        mov  #$ff,tiempo
vuelvo1: dec tiempo
        bne vuelvo1

deshabilito_t2:
        mov  #$ff,tiempo
vuelvo2: dec tiempo
        bne vuelvo2

deshabilito_t3:
        mov  #80,tiempo ;24
vuelvo3: dec tiempo
        bne vuelvo3
        bset 3,pa
;-----
        cli
        bset 6,tsc0
        bset 6,tsc
        BRCLR 0,MEMAUX1,$ ;ESPERO REBOTE
        jmp calculo_distancia

```



```

nop
nop
nop
nop
nop
; nop reemplazado por rts DE ANTES
; nop
; nop
; nop
rts
; nop reemplazado por el llamado bsr
; nop
; nop
; nop
;-----
CALCULO_DISTANCIA:
    JSR CALCULO
REFRESCO_DISPLAY:
    LDX #$CA
    JSR POSICION
    BSET 3,PA ;RS
    LDA TEMP1HI
    JSR SEND
    LDA TEMP1LO
    JSR SEND
    LDA TEMP0HI
    JSR SEND
    LDA TEMP0LO
    JSR SEND
;    jmp siguen
RETARDO11: mov #$05,ram1 ;05
LOOP721    BSR RETARDO21
           DEC RAM1
           BNE LOOP721
           JMP SIGUEN
RETARDO21: mov #$ff,ram2 ;ff
LOOP731    BSR RETARDO31
           DEC RAM2
           BNE LOOP731
           RTS
RETARDO31: mov #$FF,ram3 ;ff
LOOP41     DEC RAM3
           BNE LOOP41
           RTS
SIGUEN:
    LDA #$01
    JSR AD
    STA FREC
    CLRH
    LDX #$0F

```

```

MUL
PSHX
PULH
LDX #$FF
DIV
STA FREC
BCLR 0,MEMAUX1
MOV  #$70,TSC
jmp  START

```

-----  
TOV:

```

sei
bclr 6,tsc
bclr 6,tsc0
CLR  HI
CLR  LO
BSET 0,MEMAUX1
lda  tsc
bclr 7,tsc
MOV  #$30,TSC
rti

```

TCAP:

```

sei
bclr 6,tsc0
bclr 6,tsc
lda  tsc0
bclr 7,tsc0
MOV  TCH0H,HI
MOV  TCH0L,LO
LDA  LO
SUB  FREC
STA  LO
LDA  HI
SBC  #$00
STA  HI
BSET 0,MEMAUX1
MOV  #$30,TSC
lda  tsc0
bclr 7,tsc0
rti

```

-----  
; ENTRO CON HI Y LO DEL TIMER Y SALGO CON B3,B2,B1,B0 EN  
; mm Y ASCII DIRECTAMENTE

CALCULO:

```

CLR  H
CLR  RES1
CLR  RES2
CLR  RES3
CLR  RES4

```

```

CLR B0
CLR B1
CLR B2
CLR B3
JSR ESCALAR
CLRH
MOV RES3,VALORHI
MOV RES4,VALORLO
JSR DECIMAL
RTS

```

```

;-----
; DECIMAL:
; ENTRO CON VALORLO Y VALORHI Y SALGO CON TEMPLO TEMPHI TEMPLO1 TEMPHI1
;
;-----

```

DECIMAL:

```

CLR TEMPLO
CLR TEMPHI
CLR TEMPLO1
CLR TEMPHI1

```

;resolucion en 4 byte

```

LDA VALORLO
CMP #$00
BHI DECIMAL00
LDA VALORHI
CMP #$00
BHI DECIMAL00
JMP DECIMALFIN

```

DECIMAL00:

```

INC TEMPLO
LDA TEMPLO
AND #$0F
CMP #$09
BLS DECIMAL01
LDA TEMPLO
ADD #$06
STA TEMPLO
AND #$F0
CMP #$90
BLS DECIMAL01
CLC
LDA TEMPLO
ADD #$60
STA TEMPLO
BCC DECIMAL01
INC TEMPHI
LDA TEMPHI
AND #$0F
CMP #$09
BLS DECIMAL01

```

```

LDA TEMPHI
ADD #$06
STA TEMPHI
AND #$F0
CMP #$90
BLS DECIMAL01
CLC
LDA TEMPHI
ADD #$60
STA TEMPHI
BCC DECIMAL01
INC TEMPLO1
LDA TEMPLO1
AND #$0F
CMP #$09
BLS DECIMAL01
LDA TEMPLO1
ADD #$06
STA TEMPLO1
AND #$F0
CMP #$90
BLS DECIMAL01
CLC
LDA TEMPLO1
ADD #$60
STA TEMPLO1
BCC DECIMAL01
INC TEMPHI1
LDA TEMPHI1
AND #$0F
CMP #$09
BLS DECIMAL01
LDA TEMPHI1
ADD #$06
STA TEMPHI1
AND #$F0
CMP #$90
BLS DECIMAL01
LDA TEMPHI1
ADD #$60
STA TEMPHI1

```

DECIMAL01:

```

CLC
LDA VALORLO
SUB #$01
STA VALORLO
LDA VALORHI
SBC #$00
STA VALORHI
BCS DECIMALFIN

```



```

        JMP DECIMAL00
DECIMALFIN:
        JSR ASCHI
        RTS
;-----
; ASCHI:
; ENTRO CON TEMPLO Y TEMPHI Y SALGO CON TEMP0LO TEMP0HI TEMP1LO TEMP1HI
;
;-----
ASCHI:
        LDA TEMPLO
        AND #$0F
        ORA #$30
        STA TEMP0LO
        LDA TEMPLO
        AND #$F0
        NSA
        ORA #$30
        STA TEMP0HI
        LDA TEMPHI
        AND #$0F
        ORA #$30
        STA TEMP1LO
        LDA TEMPHI
        AND #$F0
        NSA
        ORA #$30
        STA TEMP1HI
        RTS
*****
LASTART:
        STA TEMP
        AND #$0F
        ORA #$30
        CMP #$39
        BLS ARN1
        ADD #7
ARN1:
        STA TEMPLO
        LDA TEMP
        LSRA
        LSRA
        LSRA
        LSRA
        ORA #$30
        CMP #$39
        BLS ARN2
        ADD #7
ARN2:
        STA TEMPHI

```

```

RTS
*****
ESCALAR:
;REALIZO UNA REGLA DE 3 SIMPLE
;DONDE      03   FF   -----   03   E8
;   ADDHI ADDLO   ----- INTACC2 INTACC2+1

MOV #$03,INTACC1 ;ESCALO A 1000 EN DECIMAL
MOV #$E8,INTACC1+1
JSR MULTI
MOV #$38,INTACC2 ;EN LUGAR DE 03FF
MOV #$78,INTACC2+1
JSR DIVIDE
MOV DIVIDEND,VALORHI
MOV DIVIDEND+1,VALORLO
RTS
*****
MULTI:
;   LDHX  #$450 ;load H:X with upper RAM boundary + 1
;   TXS   ;move stack pointer to upper RAM boundary
;   CLRH  ;clear H:X
*****
*   Unsigned 16x16 multiply
*
*   This routine multiplies the 16-bit unsigned number stored in
*   locations INTACC1:INTACC1+1 by the 16-bit unsigned number
*   stored in
*   locations INTACC2:INTACC2+1 and places the 32-bit result in
*   locations
*   INTACC1....INTACC1+3 (INTACC1 = MSB....INTACC1+3 = LSB).
*
*****
UMULT16 EQU *
        PSHA ;save acc
        PSHX ;save x-reg
        PSHH ;save h-reg
        AIS  #6 ;reserve six bytes of temporary
                ;storage on stack
        CLR  6,SP ;zero storage for multiplication carry
*
*   Multiply (INTACC1:INTACC1+1) by INTACC2+1
*
        LDX  INTACC1+1 ;load x-reg w/multiplier lsb
        LDA  INTACC2+1 ;load acc w/multiplicand lsb
        MUL ;multiply
        STX  6,SP ;save carry from multiply
        STA  INTACC1+3 ;store lsb of final result
        LDX  INTACC1 ;load x-reg w/multiplier msb
        LDA  INTACC2+1 ;load acc w/multiplicand lsb
        MUL ;multiply

```

```

ADD 6,SP ;add carry from previous multiply
STA 2,SP ;store 2nd byte of interm. result 1.
BCC NOINCA ;check for carry from addition
INCX ;increment msb of interm. result 1.
NOINCA STX 1,SP ;store msb of interm. result 1.
CLR 6,SP ;clear storage for carry
*
*
* Multiply (INTACC1:INTACC1+1) by INTACC2
*
LDX INTACC1+1 ;load x-reg w/multiplier lsb
LDA INTACC2 ;load acc w/multiplicand msb
MUL ;multiply
STX 6,SP ;save carry from multiply
STA 5,SP ;store lsb of interm. result 2.
LDX INTACC1 ;load x-reg w/multiplier msb
LDA INTACC2 ;load acc w/multiplicand msb
MUL ;multiply
ADD 6,SP ;add carry from previous multiply
STA 4,SP ;store 2nd byte of interm. result 2.
BCC NOINCB ;check for carry from addition
INCX ;increment msb of interm. result 2.
NOINCB STX 3,SP ;store msb of interm. result 2.
*
*
* Add the intermediate results and store the remaining three bytes of the
* final value in locations INTACC1....INTACC1+2.
*
LDA 2,SP ;load acc with 2nd byte of 1st result
ADD 5,SP ;add acc with lsb of 2nd result
STA INTACC1+2 ;store 2nd byte of final result
LDA 1,SP ;load acc with msb of 1st result
ADC 4,SP ;add w/ carry 2nd byte of 2nd result
STA INTACC1+1 ;store 3rd byte of final result
LDA 3,SP ;load acc with msb from 2nd result
ADC #0 ;add any carry from previous addition
STA INTACC1 ;store msb of final result
*
*
* Reset stack pointer and recover original register values
*
AIS #6 ;deallocate the six bytes of local
;storage
PULH ;restore h-reg
PULX ;restore x-reg
PULA ;restore accumulator
RTS ;return
*****
DIVIDE:
PSHH ;save h-reg value
PSHA ;save accumulator
PSHX ;save x-reg value
AIS #-3 ;reserve three bytes of temp storage

```

```

LDA  #132          ;
STA  3,SP          ;loop counter for number of shifts
LDA  DIVISOR       ;get divisor msb
STA  1,SP          ;put divisor msb in working storage
LDA  DIVISOR+1     ;get divisor lsb
STA  2,SP          ;put divisor lsb in working storage
*
*
*   Shift all four bytes of dividend 16 bits to the right and clear
*   both bytes of the temporary remainder location
*
MOV  DIVIDEND+1,DIVIDEND+3      ;shift dividend lsb
MOV  DIVIDEND,DIVIDEND+2;      shift 2nd byte of dividend
MOV  DIVIDEND-1,DIVIDEND+1      ;shift 3rd byte of dividend
MOV  DIVIDEND-2,DIVIDEND        ;shift dividend msb
CLR  REMAINDER                  ;zero remainder msb
CLR  REMAINDER+1                ;zero remainder lsb
*
*
*   Shift each byte of dividend and remainder one bit to the left
*
SHFTLP LDA  REMAINDER            ;get remainder msb
      ROLA                ;shift remainder msb into carry
      ROL  DIVIDEND+3        ;shift dividend lsb
      ROL  DIVIDEND+2        ;shift 2nd byte of dividend
      ROL  DIVIDEND+1        ;shift 3rd byte of dividend
      ROL  DIVIDEND          ;shift dividend msb
      ROL  REMAINDER+1       ;shift remainder lsb
      ROL  REMAINDER         ;shift remainder msb
*
*
*   Subtract both bytes of the divisor from the remainder
*
LDA  REMAINDER+1 ;get remainder lsb
SUB  2,SP        ;subtract divisor lsb from remainder lsb
STA  REMAINDER+1 ;store new remainder lsb
LDA  REMAINDER  ;get remainder msb
SBC  1,SP        ;subtract divisor msb from remainder msb
STA  REMAINDER  ;store new remainder msb
LDA  DIVIDEND+3 ;get low byte of dividend/quotient
SBC  #0         ;dividend low bit holds subtract carry
STA  DIVIDEND+3 ;store low byte of dividend/quotient
*
*
*   Check dividend/quotient lsb. If clear, set lsb of quotient to indicate
*   successful subtraction, else add both bytes of divisor back to remainder
*
BRCLR 0,DIVIDEND+3,SETLSB      ;check for a carry from subtraction
                                   ;and add divisor to remainder if set
LDA  REMAINDER+1              ;get remainder lsb
ADD  2,SP                     ;add divisor lsb to remainder lsb
STA  REMAINDER+1              ;store remainder lsb
LDA  REMAINDER                ;get remainder msb
ADC  1,SP                     ;add divisor msb to remainder msb

```

```

STA  REMAINDER          ;store remainder msb
LDA  DIVIDEND+3        ;get low byte of dividend
ADC  #0                 ;add carry to low bit of dividend
STA  DIVIDEND+3        ;store low byte of dividend
BRA  DECRMT            ;do next shift and subtract

SETLSB  BSET  0,DIVIDEND+3    ;set lsb of quotient to indicate
                                     ;successive subtraction
DECRMT  DBNZ  3,SP,SHFTLP    ;decrement loop counter and do next
                                     ;shift
*
*      Move 32-bit dividend into INTACC1.....INTACC1+3 and put 16-bit
*      remainder in INTACC2:INTACC2+1
*
LDA  REMAINDER          ;get remainder msb
STA  1,SP               ;temporarily store remainder msb
LDA  REMAINDER+1        ;get remainder lsb
STA  2,SP               ;temporarily store remainder lsb
MOV  DIVIDEND,QUOTIENT  ;
MOV  DIVIDEND+1,QUOTIENT+1 ;shift all four bytes of quotient
MOV  DIVIDEND+2,QUOTIENT+2 ; 16 bits to the left
MOV  DIVIDEND+3,QUOTIENT+3 ;
LDA  1,SP               ;get final remainder msb
STA  INTACC2            ;store final remainder msb
LDA  2,SP               ;get final remainder lsb
STA  INTACC2+1         ;store final remainder lsb
*
*      Deallocate local storage, restore register values, and return from
*      subroutine
*
AIS  #3                 ;deallocate temporary storage
PULX                ;restore x-reg value
PULA                ;restore accumulator value
PULH                ;restore h-reg value
RTS                 ;return
*****
deshabilita150:
      mov  #34,tiempo          ;34 dec total 150 useg = 5 cm
vuelvo:  dec tiempo
          bne vuelvo
          rts

MSG1:
      FCB 'Ultrasonido',$00
MSG2:
      FCB 'Distancia:',$00
*****
CLRLCD:
      JSR RETARDO3
      BSET 4,PA

```

```
LDA #$00
BCLR 4,PA
JSR RETARD03
BSET 4,PA
LDA #$01
JSR LCDBUS
BCLR 4,PA
NOP
JSR RETARD01
RTS
```

\*\*\*\*\*

LCDON:

```
JSR RETARD03
BSET 4,PA
NOP
LDA #$00
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
JSR RETARD03
BSET 4,PA
NOP
LDA #$0C
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
RTS
```

\*\*\*\*\*

LCDOFF:

```
JSR RETARD03
BSET 4,PA
LDA #$00
JSR LCDBUS
BCLR 4,PA
JSR RETARD03
BSET 4,PA
LDA #$08
JSR LCDBUS
BCLR 4,PA
NOP
RTS
```

\*\*\*\*\*

INIT\_LCD:

```
JSR RETARD01
BCLR 3,PA ;RS
BSET 4,PA ;E
NOP
LDA #$03
JSR LCDBUS
```

```

NOP
BCLR 4,PA
JSR RETARDO2
BSET 4,PA
NOP
LDA #$03
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
JSR RETARDO3
BSET 4,PA
NOP
LDA #$03
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
JSR RETARDO3
BSET 4,PA
LDA #$02
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
LDA #$28
JSR SEND
JSR LCDOFF
JSR CLRLCD
LDA #$06
JSR SEND
JSR LCDON
CLI
RTS

```

\*\*\*\*\*

POSICION:

```

BCLR 3,PA
JSR RETARDO3
BSET 4,PA
NOP
TXA
AND #$F0
NSA
JSR LCDBUS
NOP
BCLR 4,PA
JSR RETARDO3
BSET 4,PA
NOP
TXA
JSR LCDBUS
NOP

```

```

        BCLR 4,PA
        RTS
*****
MENSAJE:
        BSET 3,PA
MENSAJE00:
        LDA 0,X
        CMP #$00
        BEQ MENSAJEFIN
        JSR SEND
        INCX
        BRA MENSAJE00
MENSAJEFIN:
        RTS
*****
SEND:
        JSR RETARDO3
        BSET 4,PA
        NSA
        JSR LCDBUS
        BCLR 4,PA
        JSR RETARDO3
        BSET 4,PA
        NSA
        JSR LCDBUS
        BCLR 4,PA
        RTS
*****
*****
AD:
        STA ADSCR           ;inicio conversión
        CLR ADCLK          ;Divisor del ADSCR en 16
        BRCLR 7,ADSCR,$    ;Espero al COCO
        LDA ADR            ;Cargo el valor analogico en acumulador
        RTS
*****
RETARDO1: mov #$05,ram1
LOOP72   BSR RETARDO2
         DEC RAM1
         BNE LOOP72
         RTS
RETARDO2: mov #$33,ram2
LOOP73   BSR RETARDO3
         DEC RAM2
         BNE LOOP73
         RTS
RETARDO3: mov #$33,ram3
LOOP4    DEC RAM3
         BNE LOOP4
         RTS

```



```

;-----SACO BUS LCD PB5,PB4,PA1,PA0 CONTROL PA4,PA3 -----
LCDBUS:
    STA DATO
    LDA DATO
    AND #$03
    STA PARAM
    LDA PA
    AND #$18 ;1B?
    ORA PARAM
    STA PA
    LDA DATO
    ROLA
    ROLA
    AND #$30
    STA PBRAM
    LDA PB
    AND #$08
    ORA PBRAM
    STA PB
    LDA DATO
    RTS
;-----

```

irq:

```

cli
rti

ORG $FFF2
DW TOV
ORG $FFF6
DW TCAP
org $fffb
dw irq
ORG $FFFE
DW ROMSTART

```

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

<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.



<b>3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica</b>	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).				

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



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

Sí	No



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

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

Sí	No

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

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

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

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

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



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



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

b.  Es más económico.

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

d.  Es más adaptable (a diversos usos).

e.  Otra (Por favor, especifique): .....

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido: .....

.....

.....

.....

.....

.....

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

.....

.....

.....

.....

.....

4.2. Utilización del recurso didáctico

4.2.1. ¿Cómo utilizó el recurso didáctico (hecho por usted o ya construido), en las experiencias didácticas que concretó? (Puede marcar todas las opciones que crea necesarias)

- a.  **Aprovechando todo el proceso y la secuencia de construcción propuestos en el material.**
- b.  **Aplicándolo** (como algo ya completo) **a la solución de problemas diferentes al propuesto en el material.**
- c.  **Utilizándolo como un sistema tecnológico** (ya construido) **en las funciones para las que está pensado** (manejo de las variables, control de operaciones, etc.).
- d.  **Otra** (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



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 para tomar decisiones	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
o. Analizar alternativas en función de un problema.				
p. Seleccionar alternativas en función de las restricciones planteadas en el problema, o en el contexto de enseñanza y de aprendizaje.				
q. Adecuar la propuesta para la solución del problema planteado.				
r. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....				





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



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

	MV <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)

.....

.....

.....







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



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

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## 7. Otras características del material teórico:

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

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

.....

- e.  otro (especifique):

.....

.....

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

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



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



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





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

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