



Sismógrafo



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

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Sismógrafo

Marta Cristina Moyano
Gabriela Alejandra Iñigo
Julio Abadie

Colección Serie "Recursos didácticos".
Director del Programa: Juan Manuel Kirschenbaum.
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 950-00-0536-0

Moyano, Marta
Sismógrafo / Marta Moyano; Gabriela Iñigo; Julio Abadie;
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.
- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la
Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2006.
148 p. + 1 CD ROM ; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 27)

ISBN 950-00-0536-0

I. Electrónica-Sismógrafo. I. Iñigo, Gabriela II. Abadie, Julio
III. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. IV. Título

CDD 621.3

Fecha de catalogación: 3/01/2006

Impreso en MDC MACHINE S. A., Marcelo T. de Alvear 4346 (B1702CFZ), Ciudadela,
en marzo 2006

Tirada de esta edición: 2.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y de motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA –características físicas de los materiales de construcción–
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componentes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible
- 21 Generador eólico
- 22 Auto solar
- 23 Simuladores interconectables basados en lógica digital
- 24 Banco de trabajo
- 25 Matricería. Matrices y moldes
- 26 Máquina de vapor
- 27 Sismógrafo
- 28 Tren de aterrizaje
- 29 Manipulador neumático
- 30 Planta de tratamiento de aguas residuales

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

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

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

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

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

Programa 2. Crédito fiscal:

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

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

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

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

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

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

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

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

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

Programa 8. Cooperación internacional.

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

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

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

María Rosa Almandoz

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

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

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

El CeNET, así:

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

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

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

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

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

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

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

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

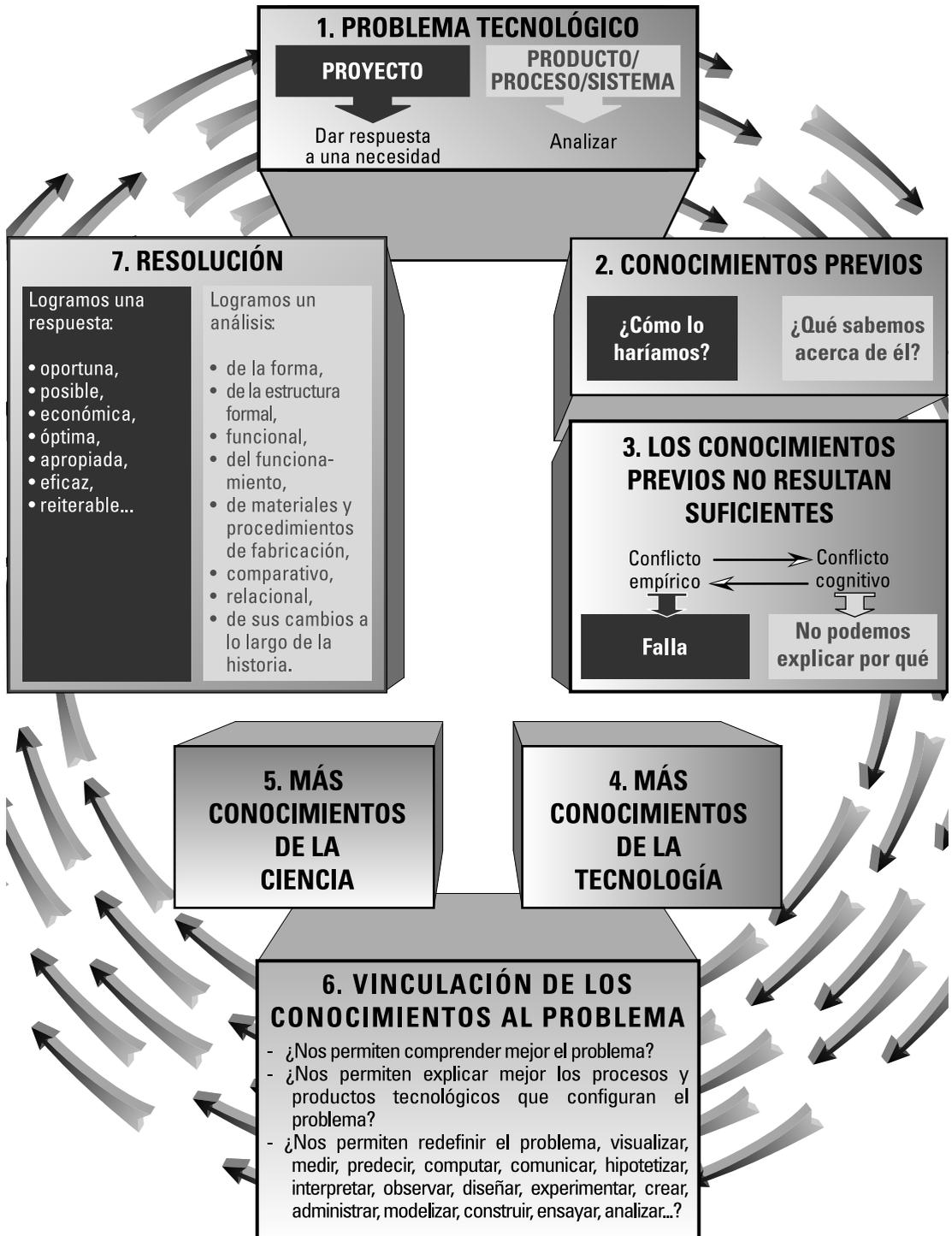
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

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



27. Sismógrafo

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Marta Cristina Moyano

Profesora en Matemática, Física y Cosmografía. Actualmente, es vicedirectora y profesora de la Escuela de Educación Técnica N° 3 de Mar del Plata, en la provincia de Buenos Aires. Se ha desempeñado como docente de escuelas técnicas durante más de treinta años. Ha realizado trabajos de consultoría para UNESCO, ICASE -*Internacional Council of Associations for Science Education*- e ICI -*Imperial Chemical Industries*-, en educación científica y tecnológica; especialmente, como revisora y editora de materiales para la enseñanza de la ciencia y la tecnología. Se ha desempeñado durante ocho años como representante de ICASE para América Latina y el Caribe. Actualmente, es Jefe del Comité de Asuntos Españoles. Autora de diversos libros, entre otros: *Prospectiva de la educación técnica en el MERCOSUR* (1994. CINTERFOR OIT -Centro Interamericano de Investigación y Documentación sobre Formación Profesional, Organización Internacional del Trabajo-).

Gabriela Alejandra Iñigo

Profesora en Ciencias de la Educación. Actualmente, es profesora en la EET N° 3 de Mar del Plata. Se ha desempeñado durante más de quince años en actividades relacionadas con la educación científica y tecnológica, en el ámbito nacional e internacional, habiendo realizado trabajos de consultoría para UNESCO, ICASE e ICI. Actualmente, es Jefe del Comité de Comunicaciones y Publicaciones de ICASE e integra la Comisión Nacional de DAASE -Desafío Argentino de Autos y Lanchas Solares a Escala-.

Julio Abadie

Ingeniero electricista con orientación electrónica (Universidad Nacional de Mar del Plata), graduado en capacitación docente para técnicos. Ejerce la docencia desde hace dieciséis años en escuelas técnicas, escuelas polimodales y en el tercer ciclo de la Educación General Básica. Se desempeñó en la Facultad de Ciencias Exactas (UNMDP) y forma parte de la Comisión Nacional de DAASE.

Dirección del Programa:
Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinación general:
Haydeé Noceti

Diseño didáctico:
Ana Rúa

Administración:
Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:
Laura Irurzun

Diseño gráfico:
Tomás Ahumada
Karina Lacava
Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:
Laura Lopresti
Juan Manuel Kirschenbaum

Diseño de CD:
Sergio Iglesias

Retoques fotográficos:
Roberto Sobrado

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



Índice

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

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	8
• ¿Qué son los sismos?	
• Origen de los sismos	
• Medición de los sismos	
• Sismógrafo y sismograma	
• Predicción de sismos	
• ¿Qué hacer ante un sismo?	
• Construcciones antisísmicas	
• Sensores	
• Conversores	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	73
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción y el armado	
• La puesta en marcha, el ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
4 El recurso didáctico en el aula	99
• Modificaciones al equipo propuesto	
5 La puesta en práctica	108
Anexo CD con el programa para el registro de datos	

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

En un país tan diverso como la Argentina, las situaciones que pueden presentarse en el proceso de enseñanza y de aprendizaje son igualmente variadas.

Le presentamos tres situaciones diferentes, factibles de ser planteadas en el aula.

Ocurre un temblor en Río Grande, Tierra del Fuego, y la gente no ha sido alertada. Se genera, entonces, una situación de pánico en la población, ya que un gran porcentaje lleva pocos años viviendo en la región y no conoce qué es un movimiento sísmico.

Ante este hecho, las personas no saben cómo actuar ni las medidas de seguridad que deben tomar. El desconocimiento y la falta de prevención parecen haber actuado aquí como los factores determinantes en el miedo generado entre los habitantes de esta localidad.

A partir de esta situación, un grupo de alumnos y su profesor del área de Ciencias Sociales comienzan a analizar la realidad sísmica de su provincia, ya que Tierra del Fuego está ubicada en una zona que lo es.

Así, los alumnos investigan sobre placas tectónicas, por qué se producen los sismos, cómo se miden y si es posible predecirlos.

Para ello, organizan una visita al Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), en Ushuaia, con el fin de recopilar información sobre la zona.

Como parte del trabajo, se discuten las causas por las cuales se ha generado tanto temor y descontrol en la población, a pesar de que el sismo resultó de baja intensidad.

Entre las conclusiones que se obtienen, se determina que la ciudad no cuenta con servicio sísmográfico ni con comunicación directa con los existentes en otras regiones del país.

Surge, entonces, la idea de elaborar un proyecto relacionado con la detección de sismos.

Los alumnos de *Electrónica* de la escuela técnico-profesional de Chilecito, en La Rioja, están realizando el análisis de las hojas de datos de un sismógrafo, producto tecnológico particularmente relevante en la zona.

- ¿Será posible construir uno a bajo costo? Porque... el precio de éste es de 10.000 euros.

La profesora, muy satisfecha con esta iniciativa de su grupo, sugiere comenzar a estudiar la factibilidad de este proyecto.

En una escuela técnica de Caucete, en la provincia de San Juan, el espacio ya no resulta suficiente, por lo que se ha pensado construir aulas nuevas en un predio contiguo al edificio.

Dado que la escuela posee la especialidad de *Construcciones*, para integrar a los alumnos en este proyecto institucional, se los invita a que diseñen las nuevas aulas junto con sus docentes.

Para seleccionar el proyecto que se implementará, se pone en marcha un concurso. Un aspecto importante a evaluar es el cumplimiento de las normativas antisísmicas de la provincia, ya que los sismos son frecuentes en esta zona.

Todo esto provoca un gran interés en esa comunidad educativa y, por consiguiente, una gran participación.

Por este motivo, los docentes de la especialidad *Electrónica* proponen a sus alumnos integrarse al proyecto. ¿De qué manera? Construyendo un sismógrafo.

Todas estas situaciones se centran en los sismos y su medición. Existen equipos comerciales, estandarizados a escala internacional; pero, su costo hace que sean de imposible acceso a muchas comunidades. Por esto, proponemos el desarrollo de un **sismógrafo accesible**.

Este recurso didáctico permite a los alumnos relacionar el uso y aplicación de la tecnología como respuesta a las necesidades humanas,

así como analizar sus limitaciones. Esto promueve que los alumnos desarrollen una visión más equilibrada sobre la ciencia, la tecnología y sus avances.

"Tecnología es la aplicación del conocimiento y las técnicas para crear procesos y productos que satisfagan necesidades humanas."¹

¹ Javis y Castell (1993) Universidad de Leicester. Reino Unido.

Por otra parte, se plantea la valoración de un producto tecnológico, a partir de su contextualización en el marco de una situación social, económica y cultural.

Así, en la sociedad cada vez más tecnológica de hoy, el desarrollo sostenible y el mejoramiento de la calidad de vida dependen, en gran medida, de nuestra capacidad de comprender y utilizar responsablemente la ciencia y la tecnología, respetando los valores éticos y protegiendo los sistemas de los que depende la vida misma.

El desarrollo de este recurso permite a los alumnos entender cómo la aplicación de la ciencia y la tecnología sirven para mejorar la forma de vida de las personas, reflexionando sobre cómo los conocimientos científicos y tecnológicos son fundamentales para una vida plena en todo entorno social, económico, político, cultural y natural.

El análisis de la sociedad, de sus características, de sus necesidades es, así, la fuente principal de problemáticas, a partir de las cuales se desarrollen proyectos tecnológicos que integran distintos espacios curriculares.

La sociedad como fuente de problemáticas a ser trabajadas en el ámbito del aula, ha adquirido últimamente una especial relevancia. Esto permite un mayor acercamiento entre la actividad escolar y la vida cotidiana.

Así, la educación también sirve para fines sociales y no sólo para fines individuales.

Además, un recurso didáctico adecuado debe ser pertinente para su aplicación en el aula y, también, debe provocar un conflicto cogniti-

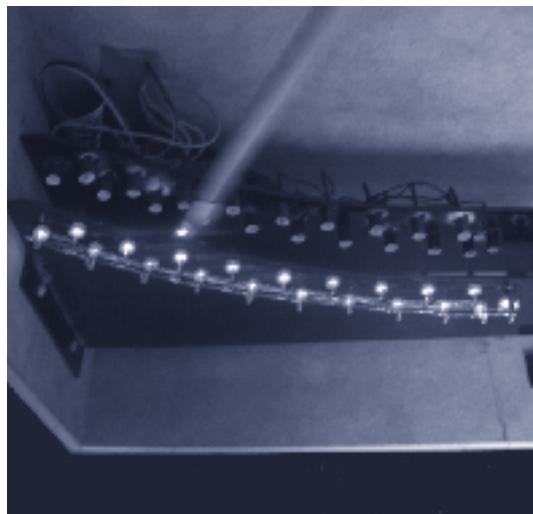
vo en el estudiante, que podrá ser superado durante el desarrollo del proyecto.

Por esto:

Proponemos el diseño y la construcción de un instrumento que permita detectar y graficar las ondas sísmicas, utilizando elementos de costo accesible.

El desarrollo de un sismógrafo cumple con los requerimientos expuestos, ya que es un recurso tecnológico que se encuentra al alcance de los estudiantes, partiendo de un contexto social bien definido.

Asimismo, el recurso didáctico propuesto permite a los alumnos el desarrollo de un proyecto tecnológico acorde con sus capacidades y posibilidades, y la oportunidad de trabajar en la producción de un instrumento que da una solución a necesidades de regiones con características particulares, como son las zonas sísmicas.





2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

¿Qué son los sismos?

Los sismos son súbitas liberaciones de la energía que se acumula bajo la corteza terrestre como consecuencia de las fuertes tensiones y presiones que ocurren en su interior.

Se manifiestan en forma de vibraciones, desplazamientos y movimientos diversos de

la superficie de la Tierra.

Las consecuencias de un sismo pueden ser desastres de grandes dimensiones, especialmente donde no se han tomado medidas preventivas relacionadas con la resistencia sísmica de las edificaciones.

Reseña histórica

Hasta el siglo XVIII los registros objetivos de terremotos son escasos y sin una real comprensión del fenómeno. De las explicaciones relacionadas con castigos divinos o respuestas de la Tierra al mal comportamiento humano, se pasó a explicaciones pseudo-científicas, como que eran originados por liberación de aire desde cavernas presentes en las profundidades del planeta.

El primer terremoto del que se tenga referencia ocurrió en China en el año 1177 a. de C. Existe un Catálogo Chino de Terremotos que menciona unas docenas más de tales fenómenos en los siglos siguientes.

En la Historia de Europa, el primer terremoto aparece mencionado en el año 580 a. de C.; pero, el primero claramente descrito data de mediados del siglo XVI.

En América, los terremotos más antiguos de los que exista documentación histórica -tales como fotos o narraciones precisas- ocurrieron en

México, a fines del siglo XIV, en Chile en 1570, en Quito en 1587, en Chile en mayo de 1647, en Jamaica en 1692, en Massachusetts, EEUU, en 1744 y 1755, y en Perú en 1746, aunque no se tiene una clara descripción de sus efectos.

Desde el siglo XVII comienzan a aparecer numerosos relatos sobre terremotos; pero, parece ser que, en su mayoría, están distorsionados o exagerados.

En Norteamérica se reporta una importante serie de terremotos ocurridos entre 1811 y 1812 cerca de New Madrid, Missouri, destacándose uno de magnitud estimada alrededor de los 8 grados, la mañana del 16 de diciembre de 1811. El 23 de enero y el 7 de febrero de 1812 hubo otros dos terremotos considerables en la zona; especialmente, el último mencionado -cuyas réplicas duraron meses- y que fue sentido en zonas tan lejanas como Denver y Boston. Por no estar tan pobladas entonces, las ciudades no registraron demasiadas muertes o daños.

No ocurrió lo mismo en 1906 cuando, en San Francisco, un sismo ocasionó más de 700 vícti-

mas y la ciudad fue arrasada por él y por el incendio subsiguiente, en el mayor terremoto de la historia de EEUU: 250.000 personas quedaron sin hogar

En Alaska, el 27 de marzo de 1964 se registró un terremoto de aún mayor energía; pero, por ser

una zona de poca densidad demográfica, los daños en la población no fueron tan graves, registrándose sólo 107 personas muertas, lo que no es tanto si se considera que el terremoto fue sentido en un área de 500.000 millas cuadradas y arrancó los árboles de la tierra en algunas zonas.²

Origen de los sismos

La corteza terrestre es la capa externa del globo terráqueo; es relativamente delgada (en comparación con el radio de la Tierra) y se extiende hasta una profundidad de 70 kilómetros bajo los océanos y de 150 kilómetros bajo los continentes; además, está en un permanente estado de cambio y movimiento.

Bajo la corteza terrestre existen fuerzas que hacen que ésta se fracture y que sus partes

(placas tectónicas) se muevan a velocidades muy pequeñas -del orden de centímetros por año-, empujando y causando, en algunos casos, que unas traten de meterse debajo de otras.

La explicación que hay hasta el momento sobre la causa de las fuerzas que tienden a empujar las placas tectónicas unas sobre otras, es que son causadas por flujos lentos de lava derretida que provienen del núcleo del planeta, originados por efectos gravitacionales debidos a la rotación.

Glosario de términos

Terremoto. Un terremoto es un movimiento brusco en las capas de la Tierra acompañado por una serie de vibraciones u oscilaciones. Un sismo secundario es un movimiento que es secuela del anterior, pero de menor intensidad y que puede ocurrir varios minutos u horas más tarde del sismo principal.

Falla. Una zona en la que dos capas se han separado. Estas capas se acomodan constantemente; pero, su desplazamiento es muy pequeño (en general, menos de un metro durante un terremoto).

Epicentro. Punto en la superficie de la Tierra directamente encima de donde se originó el terremoto.

Ondas sísmicas. Vibraciones que viajan alejándose del epicentro a velocidades de varios kilómetros por segundo. Estas vibraciones sacuden los edificios tan fuertemente que, algunas veces, los derriban.

Magnitud. Indica cuánta energía fue liberada. Esta energía puede calcularse gracias a los sismógrafos.

² Fuente: www.angelfire.com/nt/terremotos1

Placas tectónicas

La corteza de la Tierra está conformada por placas de aproximadamente 70 km de espesor, cada una con diferentes características físicas y químicas.

Estas placas ("tectónicas") se encuentran, desde hace millones de años, en un proceso de permanente movimiento; y éste ha dado la forma que hoy conocemos de la superficie de nuestro planeta (continentes, relieves geográficos, etc.).

Generalmente, estos movimientos son lentos e imperceptibles; pero, en algunos casos, estas placas chocan entre sí impidiendo su desplazamiento.

Entonces, una placa comienza a desplazarse sobre o bajo la otra, originando lentos cambios en la topografía. Pero, si el desplazamiento es dificultado, comienza a acumularse una energía de tensión que, en algún momento, se liberará. Entonces, una de las placas se moverá bruscamente contra la otra, rompiéndola y liberando una cantidad variable de energía. Esto es un sismo.

La ciencia que estudia los aspectos relacionados con la ocurrencia de temblores de tierra, terremotos o sismos se denomina **sismología**. Ésta es una ciencia joven, puesto que gran parte de sus métodos e instrumentos de observación fueron desarrollados a lo largo del siglo XX. A pesar de esto, la sismología ha logrado avances notables. Quizá, una de sus más valiosas contribuciones al entendimiento de nuestro planeta lo constituya su aporte al estudio de la *Tectónica de placas*.

El término "placa tectónica" hace referencia a las estructuras que forman nuestro planeta. En términos geológicos, una placa es una plancha rígida de roca sólida que conforma la

superficie de la Tierra (litosfera), flotando sobre la roca ígnea y fundida, formando el centro del planeta (astenosfera). La litosfera tiene un espesor que varía entre los 15 y los 200 km, siendo más gruesa en los continentes que en el fondo marino.

La litosfera no es continua sobre la superficie de la Tierra, sino que está formada por diferentes "placas", que hacen contacto unas con otras, como los gajos de una pelota de fútbol.

¿Por qué flotan, si son tan pesadas? Las placas tectónicas -formadas, principalmente, por cuarzo y silicatos- "flotan" porque, comparadas con los elementos que conforman el núcleo, resultan relativamente más livianas.

En otras palabras, el núcleo terrestre está compuesto, en gran parte, por elementos metálicos. El manto terrestre tiene una composición basada en silicatos abundantes en potasio, sodio y calcio. El cascarón más externo de la Tierra -que comprende la corteza y parte del manto, con un espesor de aproximadamente 100 km- parece comportarse como un cuerpo rígido "flotando" en el resto del manto, en donde pueden presentarse movimientos, como si se tratara de un fluido. Esta conducta semejante a la de un fluido tiene sentido solamente en tiempos geológicos -es decir, en tiempos del orden de millones de años-.

Hace 225 millones de años (recordemos que nuestro planeta nació hace 4.600 millones de años), la superficie de la Tierra constaba de una sola estructura llamada **Pangea** (en griego: *todas las tierras*), la que se fue fragmentando hasta conformar los continentes, tal como los conocemos en la actualidad.

Aunque la teoría de la Pangea fue propuesta ya en 1596 por el cartógrafo holandés Abraham Ortelius y refrendada por el meteorólogo alemán Alfred Lothar Wegener, en 1912, al notar la semejanza de las formas de América del Sur y África, recién en los últimos 30 años, gracias al desarrollo de la ciencia, ha adquirido la sustentación suficiente como para revolucionar la comprensión de muchos fenómenos geológicos, entre ellos, los terremotos.

¿Cuáles son los hallazgos que confirmaron la teoría de Wegener?

Se pueden citar, principalmente, cuatro:

- El mayor conocimiento de los fondos marinos gracias al ecodoppler, al sonar, a la computación, etc. Éstos permitieron determinar que el fondo del Atlántico era mucho más delgado de lo que se pensaba y que había una cadena montañosa submarina de más de 50.000 km de largo recorriendo toda la Tierra (Cordillera Mesoatlántica), entre otros datos.
- El descubrimiento de minerales magnéti-

cos (magnetita) en el fondo marino; éstos se formaron al enfriarse el magma del núcleo de la Tierra y están dispuestos en franjas de polaridad inversa entre una y otra.

- Como resultado de las exploraciones en busca de petróleo, se han obtenido muestras del fondo marino que indican la existencia de zonas de distinta edad geológica. Hay crestas o arrecifes que son más jóvenes, y trincheras o cañones profundos que son más antiguos. Esta disposición concuerda con la cadena montañosa y con esta polaridad magnética alternada, mencionadas anteriormente. De acuerdo a los científicos Harry H. Hess y Robert S. Dietz, la litosfera del Atlántico se está expandiendo y la del Pacífico encogiéndose. Las zonas antiguas se hunden en las "trincheras" y aparecen zonas jóvenes en los arrecifes, produciéndose así un "reciclaje" del fondo marino.
- Mayor ocurrencia de sismos en las zonas de las crestas y trincheras.

En síntesis, las placas tectónicas están en contacto entre sí, como enormes témpanos que se juntan o separan, provocando los cambios geológicos y, también, los sismos en las fronteras o bordes de las placas.

La explicación de por qué se mueven es aún poco clara; pero, podría explicarse por el fenómeno de **convección**, que se refiere a la influencia que la temperatura del magma del núcleo de la Tierra ejerce sobre los distintos minerales, haciendo flotar a los más calientes y hundirse a los más fríos.

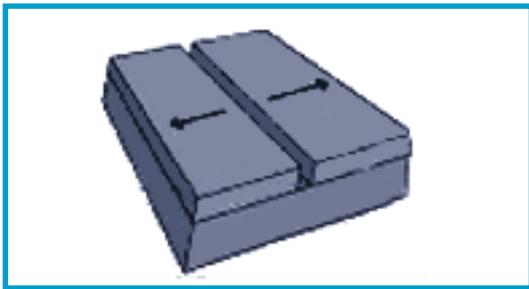
Un ejemplo de este proceso, más cercano a nuestra experiencia, ocurre cuando se hierve agua o cualquier otro líquido. El fluido más cercano a la fuente de calor se expande, se vuelve menos denso y, por lo tanto, tiende a subir a la superficie, donde se enfría y es desplazado hacia el fondo por las nuevas parcelas ascendentes. De esta manera, se establece un proceso continuo de ascenso y descenso del líquido en celdas permanentes formadas por las corrientes del fluido.

Hay cuatro tipos fundamentales de **fronteras o vecindades de las placas** (en inglés, *boundaries*):

- divergentes,
- convergentes,
- de transformación,
- zonas fronterizas de las placas.

Fronteras divergentes. En ellas se genera una nueva corteza que rellena la brecha de las placas, al separarse.

El caso mejor conocido de frontera divergente es la Cordillera Mesoatlántica, que se extiende desde el Mar Ártico hasta el sur de África. En esta frontera se están separando las placas Norteamericana y Euroasiática a una velocidad de 2,5 cm cada año:

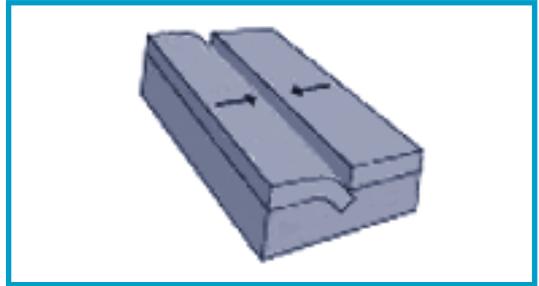


Fronteras convergentes. En ellas, la corteza es destruida al hundirse una placa bajo la otra (subducción).

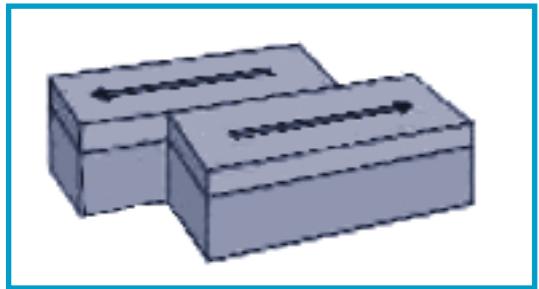
El ejemplo más conocido es el de la Placa de Nasca (o Nazca), que se está hundiendo bajo la placa Sudamericana frente a las costas de Perú y Chile, dando origen a una de las zonas más sísmicas del planeta.

Las placas pueden converger en el continente y dar origen a cadenas montañosas como la del Himalaya. También pueden converger en

los océanos, como ocurre frente a las Islas Marianas, cerca de Filipinas, dando origen a fosas marinas que pueden llegar a los 11.000 m de profundidad, o bien originar volcanes submarinos:



Fronteras de transformación. En ellas, las placas sólo se deslizan horizontalmente entre sí. Un ejemplo de este tipo de fronteras es la tan conocida Falla de San Andrés, en California:



Zonas fronterizas de las placas. Es un ancho cinturón en que las fronteras no están bien definidas y el efecto de la interacción de las placas no es claro.

Fallas

La evolución de la corteza terrestre, caracterizada por el permanente desplazamiento de las placas que la conforman, produce un sinnúmero de fracturas o fallas geológicas.

Las zonas de rozamiento entre grandes placas o entre bloques de la corteza que se mueven, son los lugares potenciales del desencadenamiento del fenómeno que llamamos terremoto. Sólo el 10 % de los terremotos ocurre alejado de los límites de estas placas.

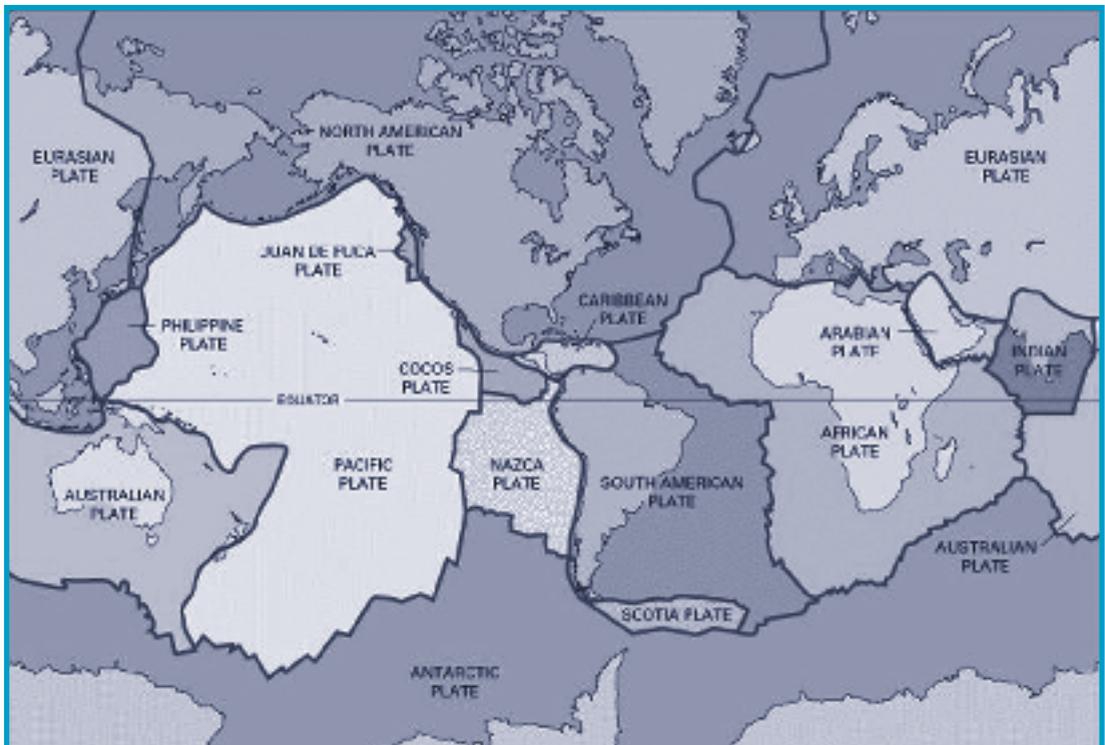
El siguiente mapa nos muestra la distribución de las placas en el mundo. Las fronteras entre cada placa constituyen las "fallas", que es el lugar donde más frecuentemente se producirán los terremotos.

Se puede apreciar que la costa oeste de América, tanto Norte como Sur, está ubicada sobre una de estas fronteras, lo que explica la gran frecuencia de terremotos en países como Chile, Perú, México y Oeste de los

Estados Unidos. Algo similar ocurre en Japón, Golfo Pérsico y Filipinas. Países que están situados en el centro de las placas y no en sus bordes (como Brasil, Uruguay, África en general y la mayor parte del norte de Europa) tienen un riesgo sísmológico notablemente menor.

La principal zona de riesgo sísmico es el "Cinturón de Fuego del Pacífico"; corresponde al litoral pacífico en América del Sur, asciende hacia el norte bordeando la costa pacífica de Norteamérica y desciende a lo largo del litoral asiático.

La otra zona cruza Europa de este a oeste, pasa por Turquía, Birmania y la India y se une al Cinturón de Fuego del Pacífico a la altura de las Islas Célebes.



Disposición actual de las placas tectónicas. US Geological Survey

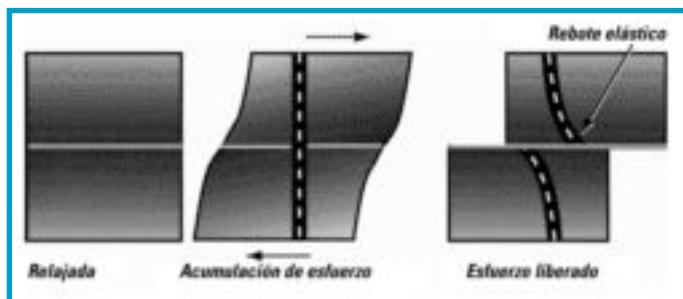
El movimiento de una placa bajo la otra se realiza venciendo las fuerzas de roce, generadas por el contacto entre ambas. A lo largo de este contacto -llamado **zona de Wadati-Benioff (WB)**-, el movimiento de una placa contra la otra es discontinuo.

Además, en la zona WB se acumula gradualmente la tensión hasta que rebasa un límite. En ese momento, se presenta una falla en algún punto -llamado **foco**-, desde donde se propaga a la superficie.

Este comportamiento puede ser observado cuando el contacto entre placas aflora en la superficie de la Tierra, como en la Falla de San Andrés, en California.

Teoría del rebote elástico

La siguiente figura muestra las dos placas durante el movimiento lateral que produce la acumulación de esfuerzos. Cuando éstos rebasan cierto límite, se produce la falla en un punto y se propaga en ambas direcciones.



Aunque este proceso puede parecer intuitivamente obvio, en realidad no lo es. Durante mucho tiempo, se pensó que las fallas de la corteza eran una consecuencia de los terremotos y no el origen de éstos. En la actualidad se sabe que la mayoría de los temblores

en las regiones de subducción, se originan por el mecanismo explicado anteriormente, y se llaman **tectónicos**. Existen también otros tipos de sismos: los relacionados con fenómenos locales -como, por ejemplo, la actividad volcánica- o con el colapso del subsuelo por la extracción de fluidos o materiales -por ejemplo, por la extracción de combustibles fósiles-.

Aunque los sismos son generados por la ruptura en el plano de las fallas, las ondas originadas se propagan a través de la Tierra, porque ésta se comporta como un cuerpo elástico (en comparación con los tiempos involucrados en este proceso).

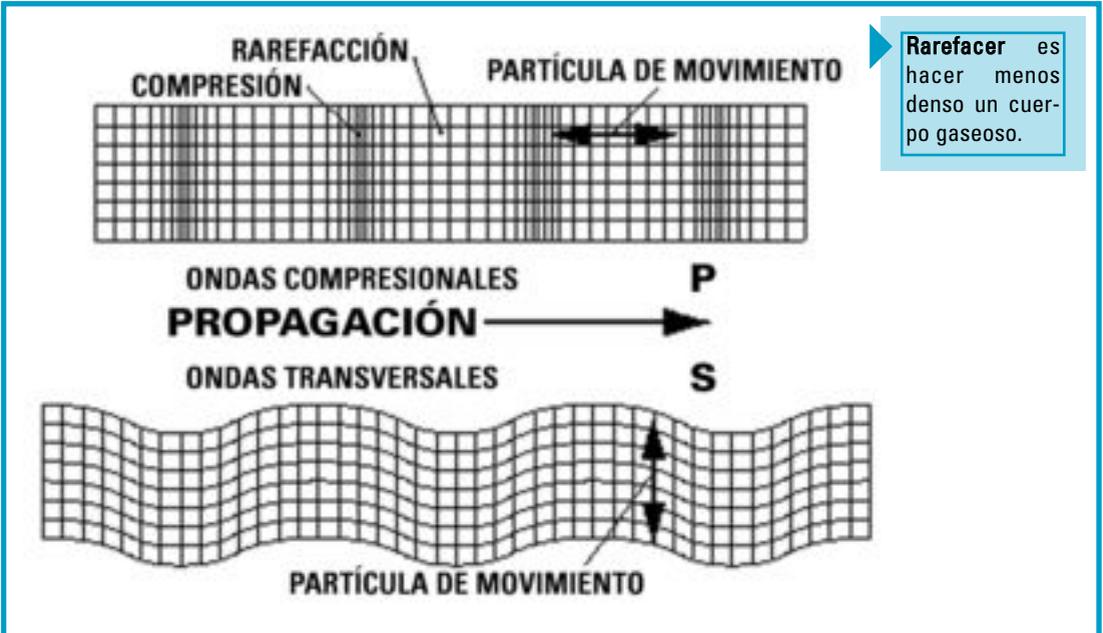
Además, se debe considerar el comportamiento mecánico de las rocas. Cuando éstas son sometidas a fuerzas pequeñas, en un lapso corto, la roca se deforma pero puede recuperar su forma original. Sin embargo, cuando la fuerza es mayor que su resistencia, ésta se rompe. El plano sobre el que se rompe es llamado **plano de falla**. Dado que las rupturas siempre tienden a darse en

el lugar más débil, si existe una falla, allí se producirá una nueva ruptura.

Ondas sísmicas

Al producirse una falla, se libera una cantidad de energía debida a las tensiones entre las placas. Esto produce una vibración en la Tierra, por la propagación de las ondas.

En un sólido pueden transmitirse dos tipos de ondas: de compresión y transversales.

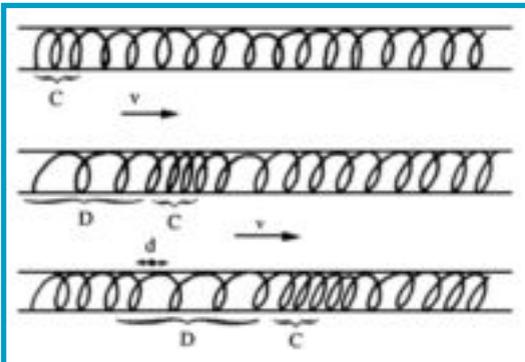


Rarefacen es hacer menos denso un cuerpo gaseoso.

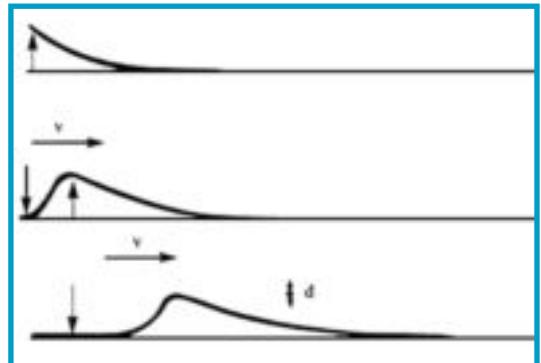
Ondas p y s

- Ondas de compresión, también llamadas "ondas p". Consisten en la transmisión de compresiones, como en el caso de la transmisión del sonido; las partículas del medio se mueven en el mismo sentido en que se propaga la onda.

mueven en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda.



Ondas de compresión



Ondas de cizalla

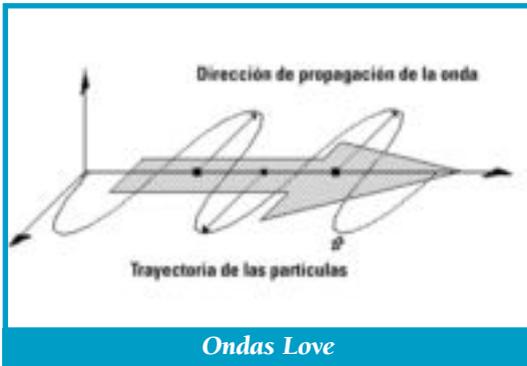
- Ondas transversales, de cizalla, también llamadas "ondas s". Las partículas se

Además, existen otros tipos de ondas:

- Ondas superficiales u ondas de Rayleigh (en honor al científico que detectó su existencia); éstas se propagan a lo largo de la superficie terrestre, de la misma

manera que una onda en la superficie del agua.

- **Ondas de Love**; se generan sólo cuando el medio elástico en el que se propagan se encuentra estratificado (como es el caso del planeta Tierra). Estas ondas se propagan con un movimiento de partículas perpendicular a la dirección de propagación, similar a las ondas s, sólo que en un plano horizontal. Las ondas de Love pueden considerarse como ondas s "atrapadas" en un plano horizontal.



¿Cómo es la velocidad de estas ondas?

Se ha observado experimentalmente y se puede demostrar teóricamente que la velocidad de las ondas es:

$$V_{R,L} < V_s < V_p$$

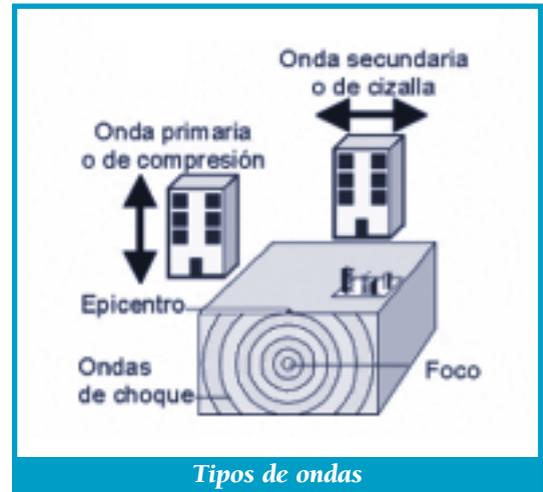
Donde:

- V_p : Velocidad de las ondas p.
- V_s : Velocidad de las ondas s.
- $V_{R,L}$: Velocidades de las ondas de Rayleigh y Love.

Las velocidades de las diferentes ondas dependen de las características del medio; por ejemplo, en rocas ígneas, la velocidad de las ondas p es del orden de 6 km/s, mientras que en rocas poco consolidadas es de, aproximadamente, 2 km/s o menor.

Las ondas p de un terremoto originado en la costa de Acapulco serían percibidas en la Ciudad de México, en alrededor de un minuto.

Propagación de un sismo



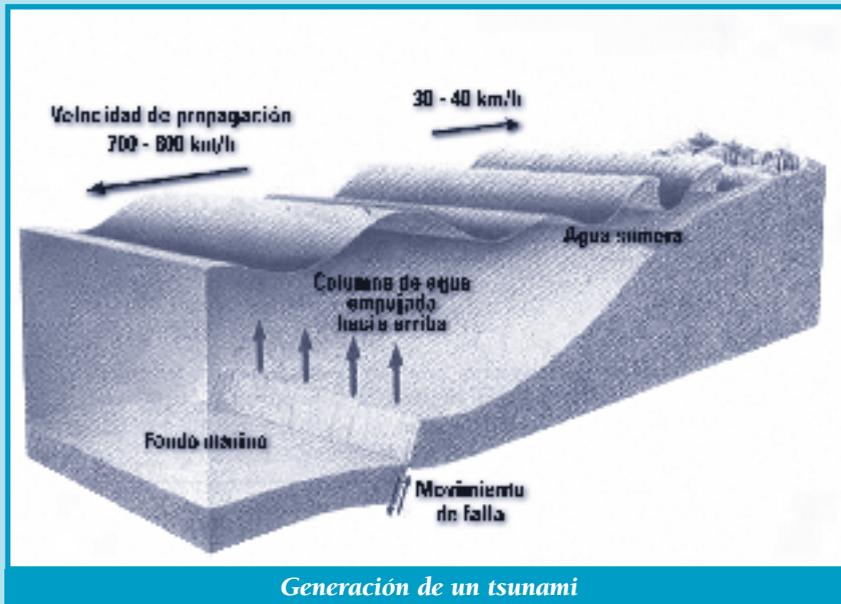
El lugar de la corteza donde se presenta la súbita liberación de la energía generada por el rozamiento entre placas, se denomina **foco sísmico** o **hipocentro**.

El foco sísmico se convierte en el centro de la perturbación mecánica y, desde allí, se inicia la irradiación de la energía.

Recordemos que, por su parte, se llama **epicentro** del terremoto al punto de la superficie de la Tierra ubicado sobre el foco sísmico.

Tsunamis

Los sismos cuyo epicentro está en el mar y ocurren cerca de una zona de subducción, tienen la capacidad de transmitir la energía y el movimiento a la capa de agua y de generar un tsunami.

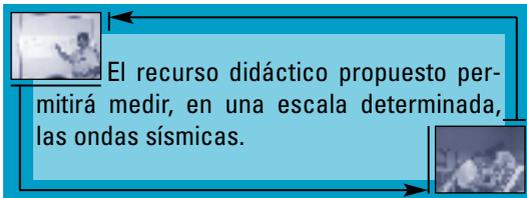


Dentro de la Tierra, las perturbaciones mecánicas se propagan en forma de ondas sísmicas, originando los movimientos vibratorios del suelo, característicos de los terremotos.

Medición de los sismos

Dado que el recurso didáctico propuesto se refiere al diseño y a la construcción de un instrumento de medición de sismos, es necesario conocer cómo éstos se miden.

Un sismo se puede medir según la energía liberada o el grado de daño producido. Así, se utilizan dos medidas conocidas como **magnitud** e **intensidad** de un sismo.



Reseña histórica

El estudio de los grandes terremotos se ha sistematizado desde mediados del siglo XIX. En una primera instancia, se estudió cada evento por separado, cuantificando los daños provocados en la construcción y generando una serie bastante heterogénea de datos.

En 1883, los sismólogos Rossi y Forel realizan la primera escala general para medir los daños producidos por un terremoto, de manera de poder determinar el tamaño que éste posea. Posteriormente, Mercalli (1903) readapta esta escala a las construcciones de su época.

A medida que transcurre el siglo XX, nace la necesidad de tener una escala de magnitud basada en medidas puramente instrumentales. Tal como lo describe Richter (1958), se

hace evidente que cuantificar el tamaño de un evento por las percepciones de la gente genera grandes discrepancias con los registros obtenidos por aparatos sísmicos.

Por esta razón, postula una magnitud que depende únicamente de medidas instrumentales, la cual involucra dos principios básicos: mientras mayor sea la magnitud de un sismo, liberará más energía y mayor será la amplitud que éste deje en un instrumento.

Además, un evento más pequeño debe estar mucho más cerca de la estación, para poder describir trazas de tamaño similar a uno mayor (Richter, 1958).

Claramente, se aprecia que el concepto de magnitud se encuentra fuertemente ligado con el de la energía radiada en forma de ondas en la fuente.³

La **intensidad de un sismo** Se refiere a los efectos o daños causados en las construcciones. Se mide con una escala llamada **Escala Mercalli**, basada no sólo en la observación de los daños causados sino, también, en la sensación de las personas durante el sismo.



Daños producidos a las columnas de un edificio, por un sismo

La **magnitud** es la cantidad de energía liberada en el hipocentro o foco sísmico. Se trata de una medida absoluta de la energía del temblor o terremoto, expresada en movimiento o aceleración de las partículas del suelo. Es una cuantificación obtenida a través de la amplitud de las ondas sísmicas, utilizando instrumentos llamados **sismógrafos**.

El terremoto de Valdivia, Chile, el 22 de mayo de 1960, fue de magnitud 9.5 y es el más grande que ha afectado a la humanidad, desde los años en que se introdujo la medición instrumental de los sismos, a fines del siglo pasado.

³ Leyton Flórez, Felipe. Chile

<http://ssn.dgf.uchile.cl/home/informe/ML/servicio.html>

A diferencia de la intensidad (que es una medida subjetiva del sismo), la magnitud no se basa en las sensaciones percibidas por las personas o en los efectos observables sobre las construcciones, ya que los daños de éstas también dependerán de su calidad.

La escala de magnitud está relacionada, entonces, con la energía liberada como ondas sísmicas; la intensidad, en cambio, con los daños producidos por el sismo.

Ambas escalas son necesarias, puesto que miden aspectos diferentes de la ocurrencia de un temblor. Así, la escala de magnitud está relacionada con el proceso físico mismo, mientras que la intensidad lo está con el

impacto del evento en la población, las construcciones y la naturaleza.

Escala Mercalli. Esta escala, introducida al comienzo del siglo XX por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, mide la intensidad de un temblor; consta de 12 grados, basados en la sensación de las personas y en la observación de los daños causados por el sismo.

Puesto que los efectos sísmicos de superficie disminuyen al aumentar la distancia al foco, un sismo (de una determinada magnitud) producirá efectos diferentes y, por ende, una graduación distinta en la escala Mercalli, en localidades ubicadas más cerca o más lejos del foco.

Grado	Indicador de la intensidad
I	El sismo es detectado por instrumentos muy sensibles.
II	Lo sienten personas en reposo, en edificios altos.
III	Se asemeja a la trepidación causada, en el suelo, por un camión.
IV	Es advertido por las personas que se encuentran en el interior de las casas.
V	Es advertido por la mayoría de las personas; la gente nota la dirección del movimiento.
VI	Lo sienten todas las personas; es difícil caminar y se desprenden los aleros.
VII	Angustia. La gente corre al exterior de las edificaciones; se pierde el equilibrio, los conductores de vehículos en marcha lo notan y las construcciones de mala calidad comienzan a ser afectadas.
VIII	Hay dificultad en la conducción de autos; se caen las chimeneas, paredes y monumentos.
IX	Pánico total. Algunas edificaciones se desplazan de sus fundaciones, se agrietan y se desploman.
X	Destrucción casi total de las construcciones de albañilería; afecta seriamente edificios, puentes, represas y diques. Se desliza el suelo.
XI	Los rieles ferroviarios se tuercen, las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio.
XII	El daño es casi total; hay desplazamientos de grandes rocas; los objetos saltan por el aire y las edificaciones sufren grandes torsiones.

La escala de intensidad permite describir, de manera sucinta, los efectos de un temblor. Dado que los daños causados por un temblor se concentran en las cercanías de la fuente, la distribución de intensidades permite estimar el epicentro de un temblor; sin embargo, la escala es, en gran medida, subjetiva y no posibilita la comparación de los sismos entre sí puesto que, por ejemplo, un sismo pequeño puede causar más daños a una población, si ésta está cercana al epicentro, que uno grande pero a mayor distancia. Por otro lado, no proporciona información sobre la energía u otra variable física liberada en el temblor. Así, pues, es necesario catalogar temblores de acuerdo con los procesos físicos de la fuente; pero, también, de manera tal que puedan ser medidos a través del registro gráfico o numérico que de ellos tenemos -es decir, de los sismogramas-.

Escala Richter. La escala Richter, propuesta por el sismólogo estadounidense Charles Francis Richter, mide la energía liberada en el foco de un sismo.

Se trata de una escala logarítmica con valores entre 1 y 9. Un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y, de este modo, en casos análogos.

Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 terremotos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9.⁴

En teoría, la escala Richter no tiene cota máxima, aunque hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8,5. Sin embargo, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala, por lo que hoy se considera 9,5 el límite práctico.

Magnitud en escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3,5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3,5 - 5,4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5,5 - 6,0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6,1 - 6,9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente.
7,0 - 7,9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

La escala Richter permite catalogar un sismo según su **energía** intrínseca. Esta clasificación debe ser un número único para cada evento; este número no debe verse afectado por las consecuencias de los terremotos, que varían mucho de un lugar a otro.

Comparemos la energía involucrada en dos situaciones: qué sucede al romper una roca en un laboratorio y qué ocurre con la roca cuando acontece un terremoto.

En el primer caso, si se aplica suficiente fuerza, se puede romper la roca con un martillo o con un gato hidráulico. Probablemente, la roca se romperá en dos pedazos, a lo largo de alguna parte débil, la cual puede pensarse como una "falla" muy pequeña.

⁴ Datos extraídos de www.mineranet.com.ar

Energía

Para poder analizar la energía involucrada en un sismo, conviene recordar que se define la energía como la capacidad para realizar trabajo. Se calcula como el producto escalar entre la fuerza y la distancia:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

$$W = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Donde:

- W: Trabajo.
- F: Fuerza.
- d: Desplazamiento.
- α : Ángulo que forman los vectores fuerza y desplazamiento.

En el Sistema Internacional, la unidad de energía es el joule (J), que se define como el trabajo que hay que realizar con una fuerza de 1 newton, para recorrer 1 metro, en la misma dirección y sentido de la fuerza.

También existen otras unidades, comúnmente utilizadas:

Caloría (cal): Se define como el calor necesario para elevar en 1 °C, la temperatura de un gramo de agua, a presión atmosférica normal. Equivale a 4,1868 joule.

Watt-hora (Wh): Es la energía eléctrica de 1 watt de potencia, durante una hora. Equivale a 3,61.103 joule. Generalmente, se utiliza un múltiplo de esta unidad: el kWh, es decir, 103 Wh.

Teniendo en cuenta la definición de energía, la cantidad necesaria para romper una roca será igual a la fuerza requerida para romperla por la distancia de separación entre los pedazos en que queda dividida la roca original:

$$W = F \cdot d$$

Recordando que:

$$P = F / A$$

Donde:

- P: Presión.
- A: Área o superficie.

Y, reemplazando F en la fórmula de energía, se obtiene:

$$W = P \cdot A \cdot d$$

Dicho de otro modo:

Momento = Rigidez . Área de la falla . Distancia deslizada

$$M_0 = u \cdot A \cdot d$$

Las unidades son:

$$[\text{joule}] = [\text{newton-metro}] = [\text{N/m}^2] \cdot [\text{m}^2] \cdot [\text{m}]$$

En la fórmula anterior, el "momento" de un terremoto es fundamental para comprender qué tan peligrosa puede ser una falla de determinado tamaño.

Volviendo al ejemplo del pedazo de roca rota en el laboratorio, la resistencia de rotura de la roca se da a una presión de unos $3 \cdot 10^{10}$ N/m² y un área de falla de 100 cm² (10^{-2} m²). Entonces, si suponemos que la distancia entre las dos partes es de, aproximadamente, un centímetro (10^{-2} m), se puede calcular la

cantidad de energía con la fórmula planteada anteriormente:

$$M_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M_0 = 3 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Cabe destacar que, dados los valores de energía calculados, es de suma utilidad trabajar con notación científica.

Consideremos, ahora, una segunda situación: En el terremoto de *Double Spring Flat*, el 12 de septiembre de 1994, ocurrido cerca del kilómetro 25 al sureste de Gardnerville, la falla tenía unos 15 km de longitud y unos 10 km de profundidad, por lo que el área es:

$$A = 15 \text{ km} \cdot 10 \text{ km}$$

$$A = 150 \text{ km}^2$$

$$A = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}^2$$

Dado que la separación fue de unos 30 cm, M_0 sería:

$$M_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}^2 \cdot 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$M_0 = 1,35 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

Comparando ambos cálculos, se concluye que este terremoto tuvo $4,5 \cdot 10^{11}$ veces más energía que la que se aplicó para romper la roca en la mesa de laboratorio.

Siguiendo el mismo procedimiento, se puede comparar la energía involucrada en distintos fenómenos. Para esto, se utiliza una unidad de energía mayor: la cantidad de energía producida por el explosivo TNT -como se muestra en la siguiente tabla⁵-:

Magnitud Richter	Equivalencia de la energía TNT	Ejemplos (aproximados)
-1,5	1 gramo	Roca rota en una mesa de laboratorio.
1,0	170 gramos	Pequeña explosión en un sitio de construcción.
1,5	900 gramos	
2,0	6 kilos	
2,5	28,5 kilos	
3,0	180 kilos	
3,5	453 kilos	Explosión de mina.
4,0	6 toneladas	
4,5	32 toneladas	Tornado promedio.
5,0	199 toneladas	
5,5	500 toneladas	Terremoto de Little Skull Mtn., NV, 1992.
6,0	1.270 toneladas	Terremoto de Double Spring Flat, NV, 1994.
6,5	31.550 toneladas	Terremoto de Northridge, CA, 1994
7,0	199.000 toneladas	Terremoto de Hyogo-Ken Nanbu, Japón, 1995.
7,5	1.000.000 toneladas	Terremoto de Landers, CA, 1992.
8,0	6.270.000 toneladas	Terremoto de San Francisco, CA, 1906.
8,5	31.550.000 toneladas	Terremoto de Anchorage, AK, 1964.
9,0	199.999.000 toneladas	Terremoto de Chile, 1960.
10,0	6.3 billón de toneladas	Falla de tipo San Andrés.
12,0	1 trillón de toneladas	¡El planeta Tierra fracturado en la mitad, por el centro! O energía solar recibida diariamente en la Tierra.

⁵ Datos extraídos de Louie J. "What is Richter Magnitude?". www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html

Como se puede ver en la tabla anterior, el rango de energía es enorme: de gramos a toneladas, y a trillones de toneladas de TNT. Esto hace que sea difícil de comprender.

Una forma mucho más sencilla de representar este enorme rango de energía consiste en utilizar una escala logarítmica.

Definición de logaritmo: Se llama logaritmo en base **b** de un número **c** a otro número **n**, tal que, **b** elevado a **n** sea igual a **c**.

En símbolos:

$$\log_b c = n \Leftrightarrow b^n = c$$

Ejemplos:

$$\log_2 8 = 3 \Leftrightarrow 2^3 = 8$$

$$\log_{10} 100 = 2 \Leftrightarrow 10^2 = 100$$

$$\log_{\frac{1}{2}} 8 = -3 \Leftrightarrow (\frac{1}{2})^{-3} = 8$$

En el caso del logaritmo de base diez, no es necesario escribir la base.

Además, no es posible obtener el logaritmo de un número negativo, si su base es positiva.

En los años '30, el Dr. Charles F. Richter desarrolló una escala de magnitud para terremotos, con el objeto de representar adecuadamente las diferencias entre los terremotos pequeños y medianos que él observó en el sur de California, y los terremotos grandes que registró alrededor del mundo.

Decidió cuál sería la cantidad de energía a la que se le asignaría la magnitud cero y escribió una ecuación semejante a la

siguiente:

$$M_w = \left(\frac{2}{3}\right) (\log_{10} M_0 - 16)$$

Donde:

- M_0 : Energía [dina . cm]

Retomando los ejemplos de la roca en el laboratorio y el terremoto de *Double Spring Flat*, la magnitud en la escala de Richter sería:

Para la roca en el laboratorio:

$$M_0 = 3 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$M_0 = 3 \cdot 10^{13} \text{ dina . cm}$$

$$M_w = (2/3) (\log_{10} 3 \cdot 10^{13} - 16)$$

$$M_w = (2/3) (13,5 - 16)$$

$$M_w = (2/3) (-2,5)$$

$$M_w = -1,7$$

Las magnitudes negativas son permitidas en la escala de Richter; esto significa que son de menor energía que, la considerada como cero.

Para el terremoto de *Double Spring Flat*:

$$M_0 = 1,35 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

$$M_0 = 1,35 \cdot 10^{25} \text{ dina . cm}$$

$$M_w = (2/3) (\log_{10} 1,35 \cdot 10^{25} - 16)$$

$$M_w = (2/3) (25,2 - 16)$$

$$M_w = (2/3) (9,2)$$

$$M_w = 6,1$$

La magnitud de 6,1 que obtenemos es casi igual a la magnitud reportada por el laboratorio sismológico de Universidad de Nevada, Reno, y por otros observatorios.

Comparación entre ambas escalas. A pesar de que la escala de Mercalli mide la intensidad

de un sismo y la de Richter, la magnitud de éste, se puede realizar una correspondencia entre ambas.

Una intensidad **I** se define como la de un suceso percibido por pocos, mientras que se asigna una intensidad **XII** a los eventos catastróficos que provocan destrucción total.

Así, los temblores con intensidades entre **II** y **III** son casi equivalentes a los de magnitud entre **3** y **4** en la escala de Richter, mientras que los niveles **XI** y **XII** en la escala de Mercalli se pueden asociar a las magnitudes **8** y **9** de la escala de Richter.



La medición de terremotos se realiza con un instrumento llamado **sismógrafo**, el que registra la vibración de la Tierra producida por un sismo, representándola en un **sismograma**.

Así, se obtiene información sobre la magnitud y la duración de un sismo.

Este instrumento registra dos tipos de ondas:

- superficiales: se propagan a través de la superficie terrestre,
- centrales o corporales: se propagan a través de la Tierra desde su profundidad; son de dos tipos, ondas p y ondas s.

Como ya explicáramos, estas ondas tienen distintas velocidades. Así, la secuencia típica de un terremoto es:

1. arribo de un ruido sordo causado por las ondas p o compresivas;
2. luego, las ondas s o transversales; y,
3. retumbar de la Tierra causado por las ondas superficiales.

El sismógrafo que proponemos como recurso didáctico registra ondas centrales o corporales, en particular, ondas s.



Manera práctica de estimar la magnitud.

Dado que algunos terremotos grandes y la mayoría de los pequeños, no presentan ni fallas superficiales ni tienen suficientes réplicas para poder estimar su magnitud -como lo hicimos anteriormente-, esta medida no resulta práctica. Porque, es de mucha mayor utilidad el poder calcular rápidamente la magnitud de un evento, de modo tal que cualquier medida de emergencia requerida pueda llevarse a cabo cuanto antes.

En este sentido, una de las contribuciones más valiosas de Charles Richter fue descubrir que las ondas sísmicas propagadas por todos los terremotos pueden proporcionar buenas estimaciones de sus magnitudes.

Richter obtuvo los registros de las ondas sísmicas de un gran número de terremotos y desarrolló un sistema de calibración para medición de sus magnitudes.

Richter demostró que, a mayor energía intrínseca de un terremoto, mayor amplitud de movimiento del terreno en una distancia dada.

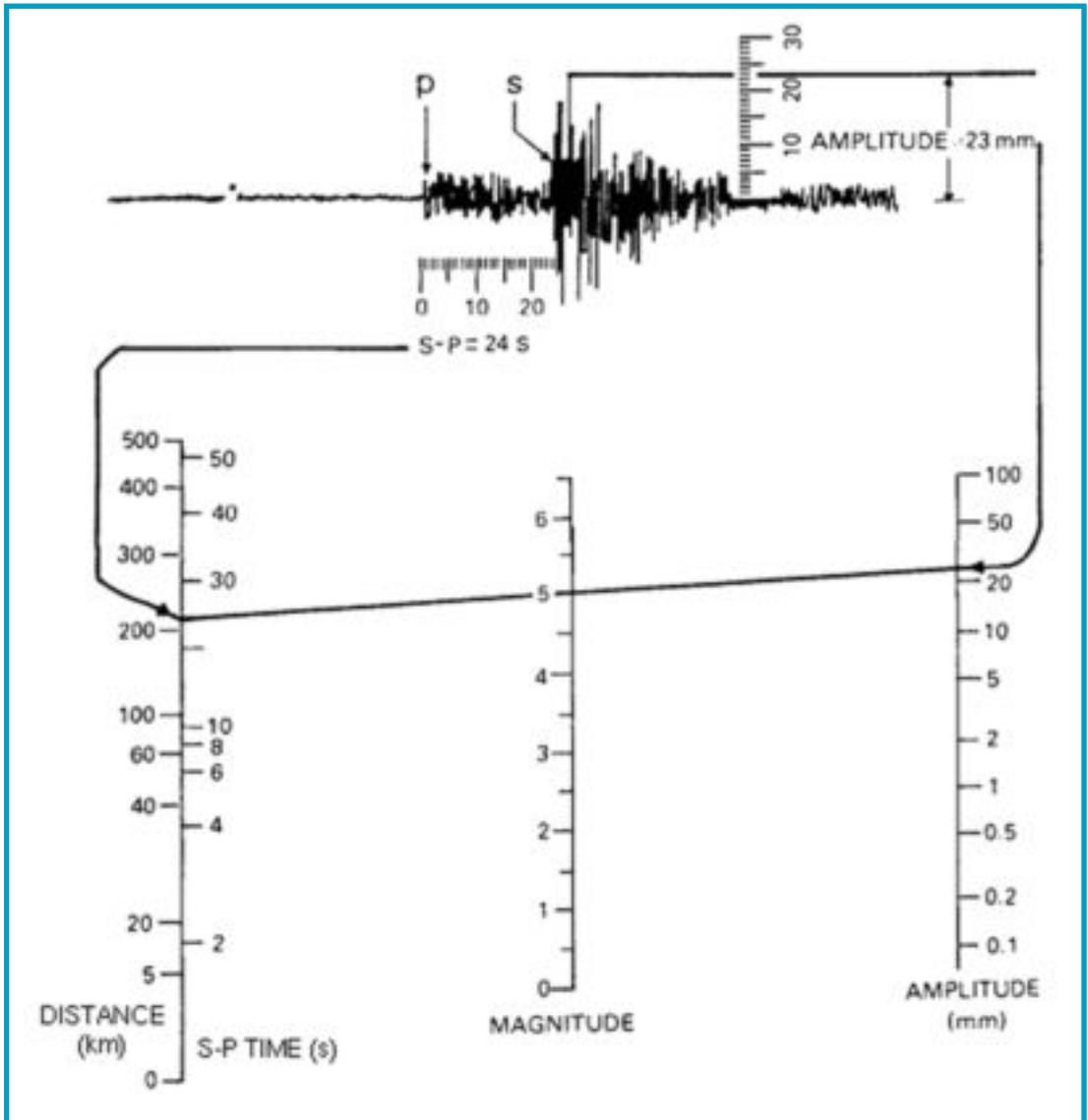
De esta forma, calibró su escala de magnitud usando la medida de amplitud máxima de la onda de cizalla (la onda s) en un período de 20 segundos, registrando los datos en un sismómetro altamente sensible a este tipo de ondas.

Un **sismómetro** es la parte del sismógrafo que detecta las ondas sísmicas. El sismómetro constituye, así, la etapa de detección de un sismógrafo.

Aunque, inicialmente, su trabajo fue calibrado únicamente por estos sismómetros específicos y sólo para terremotos en el sur de California, los sismólogos han desarrollado factores de escala para ampliar la escala de magnitud Richter a muchas otras clases de

medición en todo tipo de sismómetros y alrededor del mundo.

El siguiente diagrama muestra cómo utilizar el método original de Richter para calcular la magnitud por medio de un sismograma.



Sismograma Richter



Este es el método que utilizamos para el desarrollo de nuestro sismógrafo.



Después de haber medido la amplitud de onda, se debe calcular su logaritmo, y escalarlo por un factor, según la distancia que haya entre el sismógrafo y el terremoto. También se calcula la diferencia de tiempo entre las ondas p y s.

Con estos datos se puede calcular la magnitud de la siguiente manera:

$$M = \log_{10} A + 3 \cdot \log_{10} (8 \Delta t) - 2,92$$

Donde:

- A: Amplitud [mm] medida directamente del registro en papel.
- Δt : Diferencia de tiempo entre las ondas p y s.

Es importante resaltar la necesidad de definir un sismo patrón. Éste -de magnitud cero- se define como el sismo que, teniendo su epicentro a 100 km de distancia, deja una traza de una micra en el registro.

Cabe destacar, entonces, que una magnitud cero o negativa no indica ausencia de movimiento, sino sismos iguales o menores que el sismo patrón.

Para obtener la magnitud de un sismo, se realiza el promedio de la magnitud medida por cada sismógrafo en distintas estaciones.

Estos promedios reportados en los diferentes laboratorios sismológicos justo en el momento posterior de un terremoto, suelen diferir, aproximadamente, en 0.2 unidades de mag-

nitud. Cada laboratorio calcula, así, el promedio de las magnitudes obtenidas en las diferentes estaciones a las que tienen acceso. Pueden pasar varios días para que las diferentes organizaciones involucradas lleguen a un consenso acerca de cuál fue la mejor estimación de magnitud.⁶

Sismógrafo y sismograma

El instrumento esencial para estudiar los temblores es el sismógrafo. Es un aparato que registra el movimiento del suelo causado por el paso de una onda sísmica.

Los sismógrafos fueron ideados a fines del siglo XIX y perfeccionados a principios del siglo XX. En la actualidad, estos instrumentos han alcanzado un alto grado de desarrollo electrónico; pero, el principio básico empleado no ha cambiado.

En realidad, la existencia de algunos sismógrafos data del siglo VIII y fueron ampliamente utilizados en China. Estos sismógrafos consistían, básicamente, de una figura de dragón de cuatro cabezas en cuyas bocas se colocaban bolas metálicas en equilibrio inestable. Al producirse un sismo y la llegada de las ondas sísmicas, la bola correspondiente a la dirección de llegada caía, indicando así la ocurrencia de los sismos y la dirección de la cual procedían.

⁶ Fuente: Louie, J. "What is Richter Magnitude?". www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html



Sismógrafos chinos

A mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los primeros sismógrafos basados en el principio simple de oscilación de un péndulo. En general, estos péndulos eran de oscilación vertical y consistían en una masa pendiente de un muelle que registraba su movimiento usando un estilete adosado a la masa y que dejaba una huella sobre una placa de cristal ahumado. A este tipo de instrumento se lo llamó **sismoscopio**, debido a que no contaba con control de tiempo.

A fines del siglo XIX se introdujo en estos aparatos el control del tiempo; entonces, sus registros en un papel ahumado adosado sobre un tambor, resultaron continuos.



Sistema de registro en tinta sobre papel

En 1890, John Milne introdujo el concepto de péndulo inclinado en el cual los períodos de oscilación se incrementaban considerablemente para longitudes de péndulo reducidas. En 1915 con J. Shaw, Milne construyó un sismógrafo cuya masa de 0.5 kg permitía obtener períodos de 18 segundos y ampliificaciones del orden de 200. Un modelo similar fue desarrollado por Omori y tuvo gran aceptación en Europa.



Sismógrafo Bosh-Omori

Hacia el año 1900, E. Wiechert desarrolló un sismógrafo de respuesta horizontal con un péndulo invertido que registraba las dos componentes con una sola masa de 1 kg y 1.5 kg, permitiendo alcanzar amplificaciones de 200 veces para un período de 12 segundos. En 1922, J. Anderson construyó un sismógrafo de menores dimensiones que consideraba una masa que oscila por torsión de una fibra metálica; estaba dotado de un registro fotográfico que alcanzaba amplificaciones de 2.800 veces para un período de 0.8 segundos.

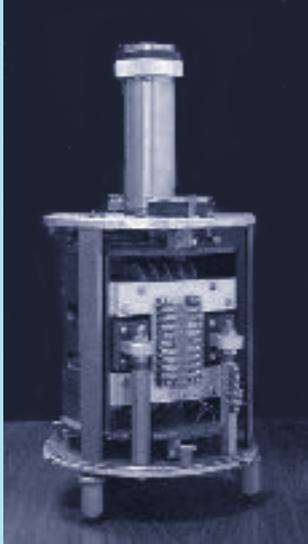
Estos modelos de sismógrafos eran mecánicos y su amplificación se lograba mediante un sistema de palancas o por deflexión de un haz de luz. En 1906, B. Galitzin desarrolló el sismógrafo electromagnético y añade a la masa una bobina que se movía en el campo magnético creado por un imán. La corriente generada por esta bobina pasaba a un galvanómetro⁷, para registrarse en papel fotográfico mediante un haz de luz, llegando a obtener amplificaciones de 1.000 para períodos de 12 segundos.



***Sismógrafo electromagnético
ruso tipo Galitzin***

En los años '30, Hugo Benioff desarrolló un sismógrafo basado en la variación de la reluctancia del sistema; consistía en variar el espacio existente entre un imán permanente y una armadura metálica provista de una bobina que rodeaba al imán. Este tipo de sismógrafo alcanzaba un período de 1 segundo y una amplificación de 100.000.

⁷ Galvanómetro es el instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica que fluye por un conductor.



***Sismógrafo electromagnético
Benioff***

Finalmente, para períodos largos, M. Ewing desarrolló un sismógrafo de 15-30 segundos de período para el sismómetro y de 100 segundos para el galvanómetro. El sistema de amplificación resultante fue de 750 y 6.000 para períodos entre 10-20 segundos. Estos dos últimos tipos de sismógrafos constituyeron la *World Wide Seismological Station Networks -WWSSN-*.



***Sismógrafo electromagnético
de periodo corto***

En sismometría es importante considerar el control del tiempo lo más exacto posible. Hasta el año 1950, en promedio, los observatorios sismológicos utilizaban relojes de péndulo con contactos eléctricos para registrar señales de minuto sobre los sismogramas. A fin de evitar derivas horarias, estos relojes se ajustaban periódicamente al tiempo universal del servicio horario de los observatorios astronómicos. Desde el año 1953, aproximadamente, se generaliza el uso de relojes controlados por cristal de cuarzo, alcanzándose en sus inicios derivas en el tiempo del orden de 10^{-4} segundos por día.

Para registrar el movimiento del suelo es necesario referirlo a un punto fijo en el espacio; si quisiéramos hacerlo a un punto en el mismo suelo, sería imposible obtener un registro, dado que el punto de referencia también se movería.

Para salvar esta dificultad, podemos recurrir al principio de inercia. Así, el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por algunos instantes con respecto al suelo.

El mecanismo consiste, usualmente, en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo; cuando éste se mueve al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Posteriormente, cuando la masa sale del reposo, tiende a oscilar. Sin embargo, ya que esta oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo, es necesario amortiguarla.

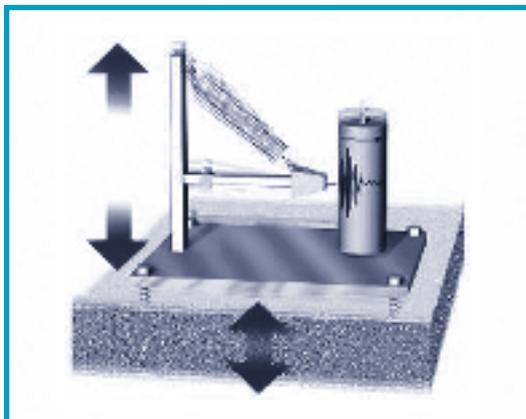


Sismógrafo mecánico

En el diagrama anterior está representado un aparato en el que el amortiguamiento se logra por medio de una lámina sumergida en un líquido (comúnmente, aceite). Éste era el método utilizado en los aparatos antiguos; actualmente, se logra por medio de bobinas o imanes que ejercen las fuerzas amortiguadoras de la oscilación libre de la masa.

Si se sujeta un lápiz a la masa suspendida, para que pueda inscribir en un papel pegado sobre un cilindro que gira a velocidad constante, se podrá registrar una componente del movimiento del suelo.

El instrumento hasta aquí descrito detecta la componente vertical del movimiento del suelo y se conoce como **sismógrafo vertical**; el trazo del movimiento es el **sismograma**.

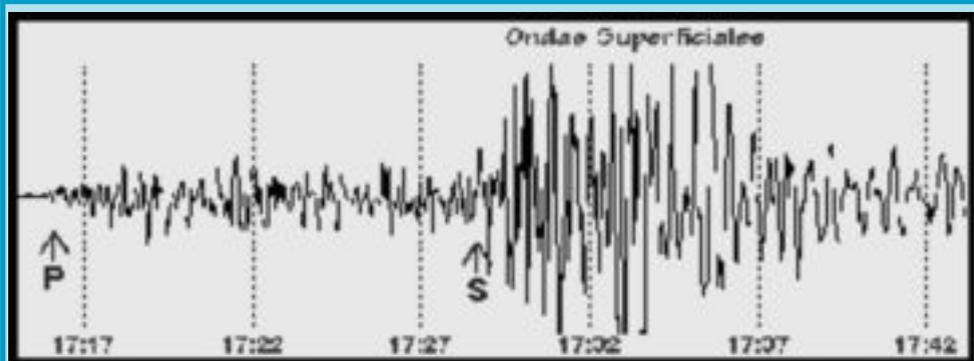


Sismógrafo vertical

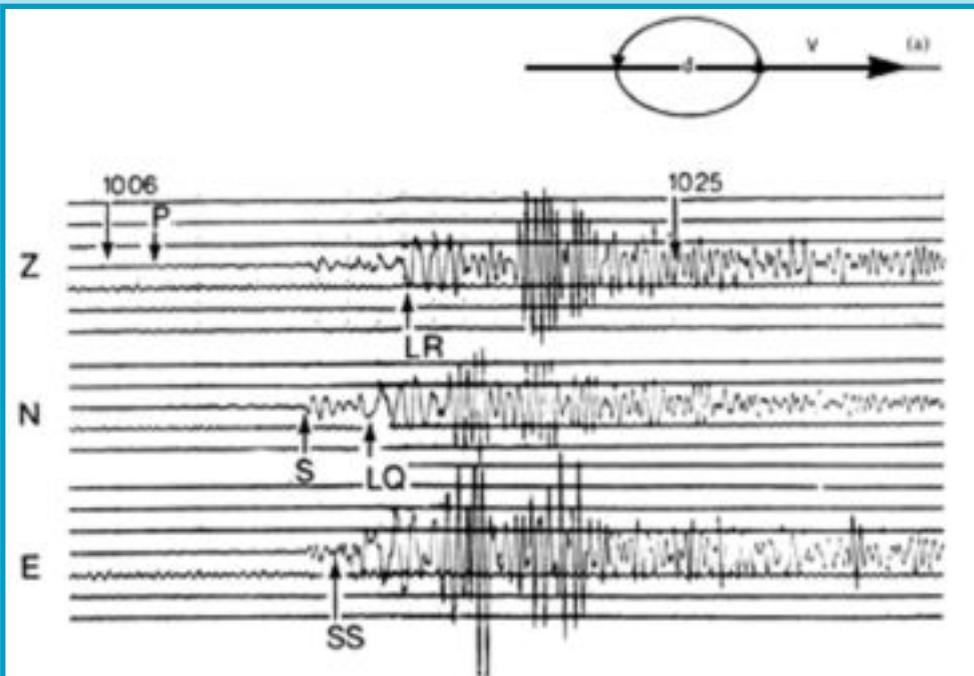
Los sismogramas son registros en papel o digitales producidos por los sismógrafos. Son utilizados para calcular la localización y magnitud de un sismo y representan un registro, a través del tiempo, de cómo se mueve el suelo.

En un sismograma, el eje de las abscisas representa el tiempo (medido en segundos) y el eje de las ordenadas, el desplazamiento del suelo (usualmente, medido en milímetros).

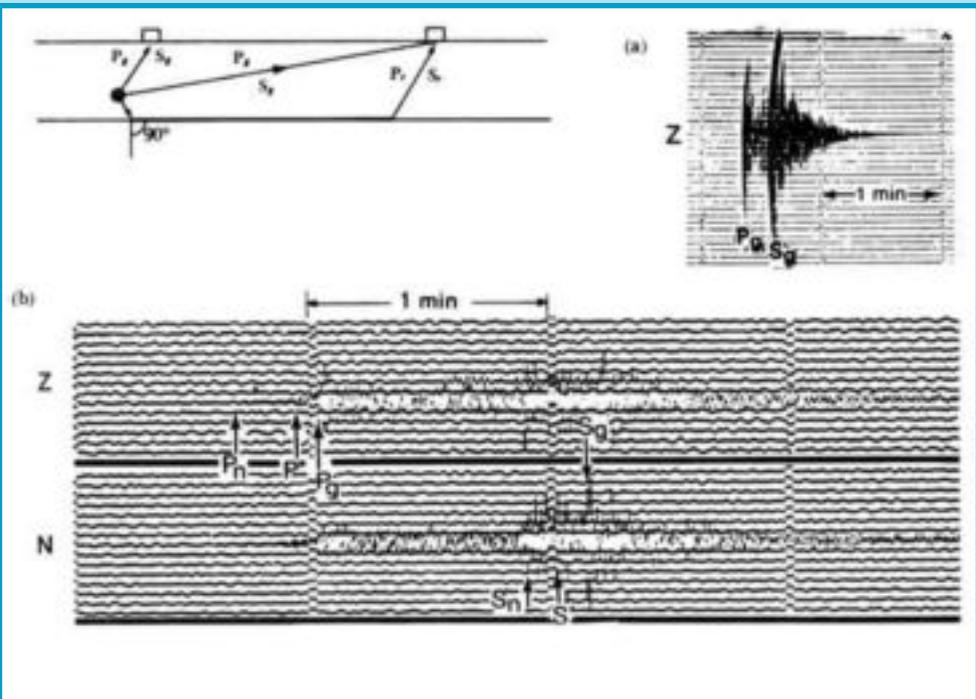
A continuación, mostramos sismogramas típicos:



Sismograma de ondas superficiales



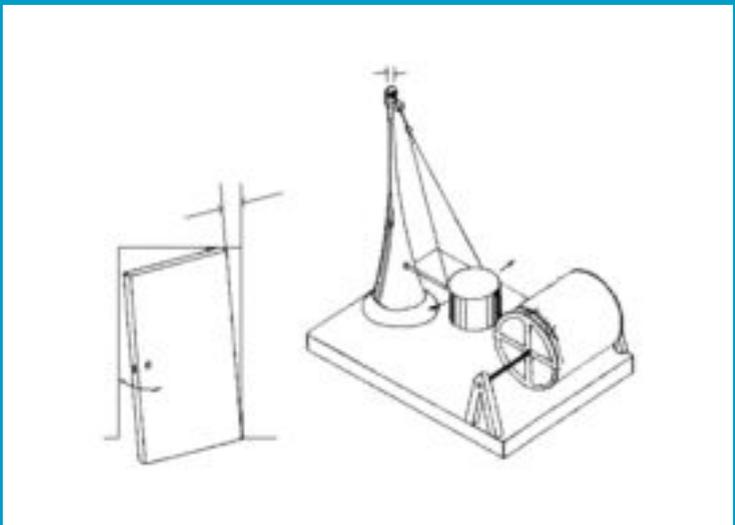
Otros sismogramas



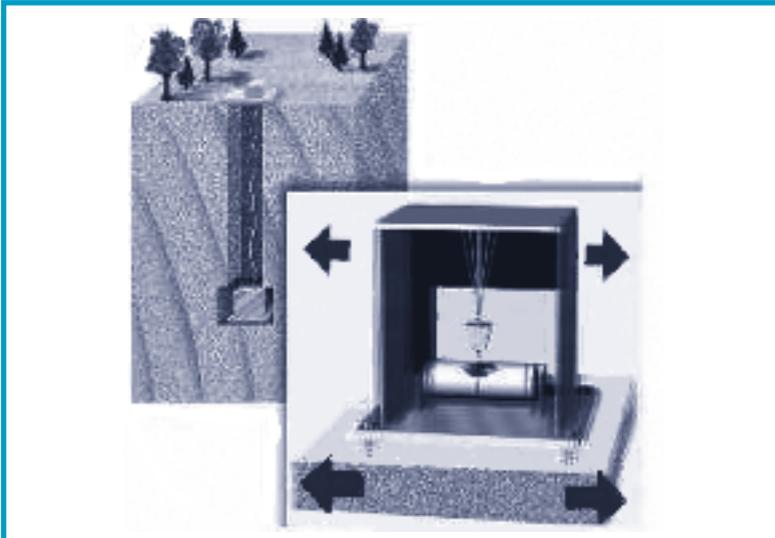
Otros sismogramas

Como el movimiento del suelo tiene lugar en las tres dimensiones del espacio, éste también tiene dos componentes horizontales.

Para medir este movimiento se requiere de péndulos horizontales que oscilan como una puerta, aunque con el eje ligeramente inclinado para lograr un punto de estabilidad.



Sismógrafo horizontal



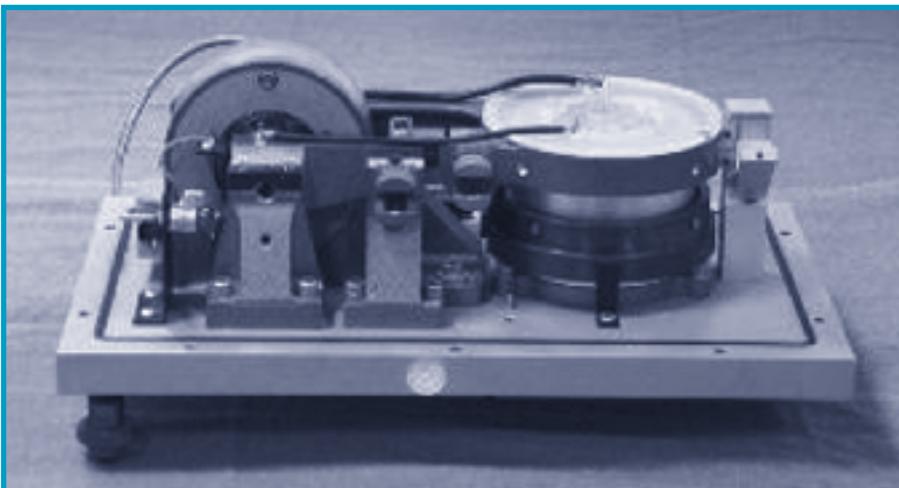
Sismógrafo horizontal

En general, los sismógrafos que se emplean actualmente tienen masas que pueden ser desde unos gramos hasta 100 kg; en cambio, los sismógrafos antiguos de amplificación mecánica solían tener grandes masas, con el fin de obtener mayor inercia y de poder vencer las fuerzas de rozamiento que se originan entre las partes móviles del sistema.

Además del péndulo y del sistema de amortiguamiento, los sismógrafos emplean un sistema de amplificación para producir registros que puedan ser analizados a simple vista.

Antiguamente, esta amplificación se realizaba por medio de un sistema mecánico; en la actualidad, es electrónica.

En los primeros instrumentos, el movimiento del suelo con respecto a la masa se efectuaba por medio de una pluma o de un estilete que inscribía sobre un tambor giratorio. Después, se introdujo la inscripción sobre película o papel fotográfico de un haz de luz reflejado en la masa o en el sistema amplificador del sismógrafo.



Sismógrafo horizontal

Actualmente, existen sismógrafos que detectan el movimiento de la masa electrónicamente y lo digitalizan, para almacenarlo en cinta magnética u otros medios digitales.



El recurso didáctico propuesto detecta el movimiento de la masa con sensores ópticos, lo digitaliza y lo almacena en la PC, a través de un programa informático.



Tipos de sismógrafos

El principio en que se basan todos los tipos de sismógrafos es la propiedad física de un péndulo (masa suspendida de un hilo) que, al producirse el movimiento del suelo, se desplaza con respecto a la masa suspendida, en virtud de su inercia.

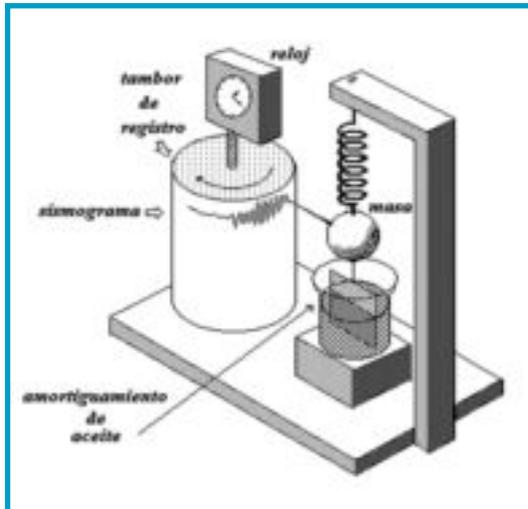
Estos movimientos son registrados en función del tiempo y dependen del tipo de movimiento al cual son sensibles: velocidad, desplazamiento o aceleración.

Consideramos tres tipos de sismógrafos:

- mecánico,
- electromagnético,
y
- de banda ancha.

Sismógrafo mecánico. Es el más simple; está constituido por un elemento detector del movimiento (sismómetro) y un sistema de palancas que amplifica dicho movimiento.

El sismómetro vertical más simple está formado por una masa (m) suspendida por un muelle de constante elástica (k), con una amortiguación viscosa de constante c .



Sismógrafo mecánico

Cuando el soporte anclado a la superficie de la tierra recibe una excitación $x(t)$, la masa se mueve con un movimiento $y(t)$, de tal manera que el desplazamiento relativo de la masa con respecto al soporte es:

$$z(t) = y(t) - c(t)$$

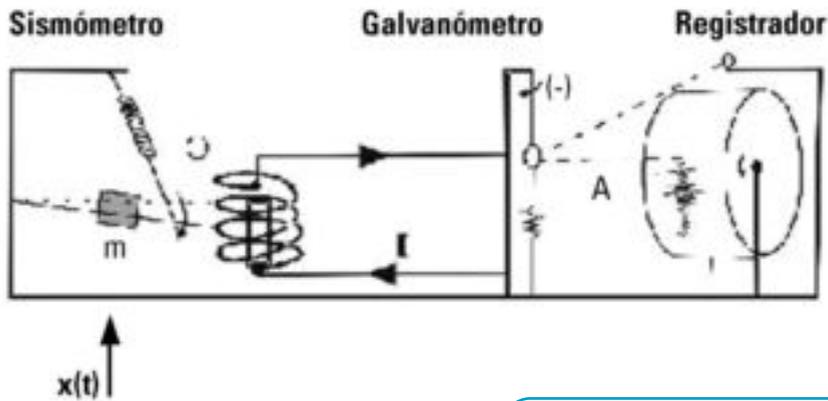
Sismógrafo electromagnético. La única variación de este sismógrafo en relación con el anterior, es que el desplazamiento de la masa produce el movimiento relativo de una bobina en el campo magnético de un imán. En este caso, la parte móvil es el imán; y, en otros, la bobina.

Al producirse el movimiento del suelo, se genera una corriente eléctrica en la bobina, proporcional a la velocidad (f) de movimiento del suelo, la cual pasa por un galvanómetro -utilizado, en este caso, para amplificar el movimiento-. Si se ha hecho incidir un haz de luz sobre el espejo unido al hilo del galvanómetro, éste sufrirá una desviación q que, recogida en un papel fotográfico, proporciona el movimiento del

sismómetro.

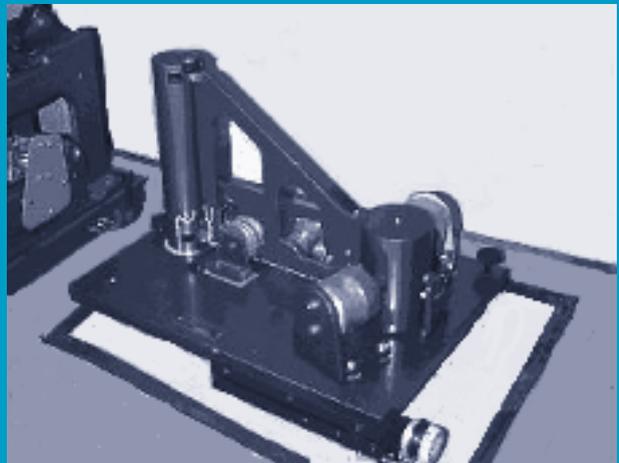
A fin de conocer la respuesta de todo el sistema, debe considerarse por separado el del sismómetro y del galvanómetro. Para el segundo debe tenerse en cuenta, además, una nueva fuerza generada por la corriente I en la bobina que crea una fuerza de reacción cuyo momento con respecto al centro de suspensión es $-GI$ (G es el flujo de inducción). La corriente generada por la bobina pasa por

el galvanómetro mediante un circuito, de forma tal que la corriente i que pasa por la bobina del galvanómetro es menor que I . En resumen, se tiene que un movimiento angular del sismómetro producido por un desplazamiento vertical x del suelo, genera una corriente que, mediante un circuito, pasa a la bobina del galvanómetro, produciendo una desviación q . El producto de ambas curvas de amplificación es equivalente al total del sismógrafo electromagnético.



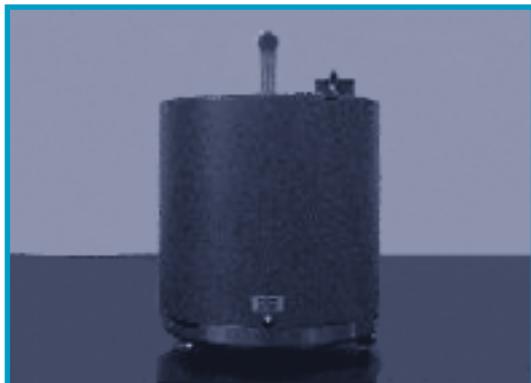
Sismógrafo electromagnético

Sismógrafo electromagnético horizontal Sprengner



Sismógrafo de banda ancha. Por lo general, los sismógrafos eran de dos tipos; registraban información sísmica en dos diferentes rangos de frecuencia, períodos cortos (1 segundo) y períodos largos (15-100 segundos). El primero es adecuado para sismos que ocurren en el campo cercano y los segundos, en el campo lejano.

Sin embargo, después de los años '70 se construyeron instrumentos que permitían registrar mayores rangos de frecuencia y que incluían los registros de período corto y largo; es decir, entre 0.1-100 segundos. Estos sismógrafos se llaman de banda ancha.

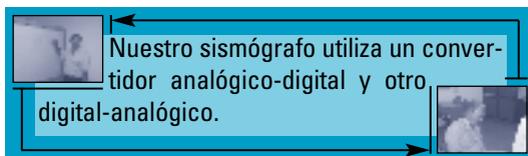


Sismógrafo de banda ancha Guralp



Sismógrafo de banda ancha STS-2

Este adelanto en la sismometría se logró gracias a los progresos conseguidos en el modo de registro (registros magnéticos digitales) y en el desarrollo del sismómetro de balance de fuerzas de Wieland y Strekeisen (1983). A fin de registrar esta información digital, se hace uso de convertidores analógico-digital de 12, 16 y 24 bits que permiten cubrir rangos dinámicos del orden de 140 db (1/10000000).



Nuestro sismógrafo utiliza un convertidor analógico-digital y otro digital-analógico.

Sismógrafo de deformación. Fue construido en los años '30 por H. Benioff, a fin de medir las deformaciones que tienen lugar en la superficie de la tierra; es decir, aquellas variaciones lineales entre dos puntos fijos. Este instrumento consta de un tubo de cuarzo de 10 a 100 metros de longitud, uno de cuyos extremos se encuentra rígidamente unido a un pilar y el otro libre, a una distancia (**d**) de otro pilar. La distancia **d** se mide con un transductor de tipo capacitivo o transductor de velocidad que pueda detectar cambios del orden de 1 mm para una barra de longitud igual a 100 metros, proporcionando una sensibilidad en deformación del orden de 10^{-11} .

Acelerógrafo. Instrumento diseñado para responder a la aceleración, durante un sismo, más que a su velocidad o desplazamiento.

En las proximidades del hipocentro de un sismo, las ondas sísmicas producen, a su paso, desplazamientos, velocidades y aceleraciones elevadas, dependiendo de la magnitud del sismo y de su distancia epicentral. Esta zona, llamada campo cercano, es de interés

para ingeniería sísmica, ya que en ella se producen los mayores daños en las estructuras. Debido a las altas frecuencias que se generan, éstas sólo pueden ser registradas correctamente con los acelerógrafos.

Este sistema no funciona en continuo y, generalmente, se activa al ser excitado por una onda sísmica que se registra a alta velocidad en película, cinta magnética o disco digital. Paralelamente con este proceso, se toma el tiempo; entonces, a partir de esta información, pueden obtenerse registros en velocidad y desplazamiento en el campo próximo.



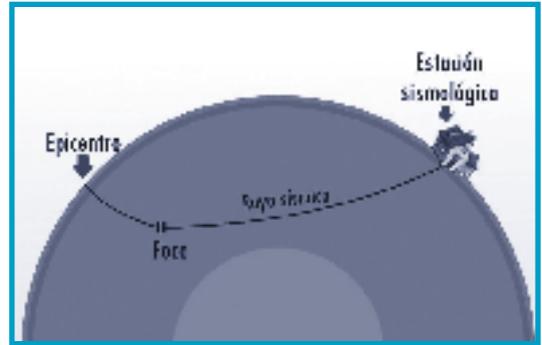
Acelerógrafo Kinematics K-2



Acelerógrafo FBA-23

Determinación del epicentro

Como ya explicáramos, se denomina epicentro a la proyección del foco sobre la superficie terrestre; éste es el centro de la perturbación mecánica y desde donde se inicia la irradiación de la energía.

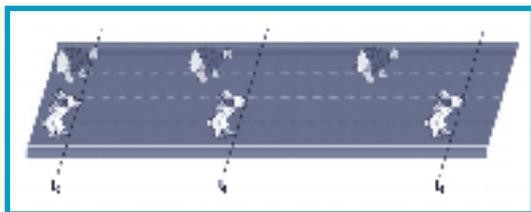


¿Cómo se determina la ubicación del epicentro? Los sismógrafos amplifican e inscriben el movimiento del suelo en una tira de papel (o cualquier otro tipo de material) llamado sismograma. En éste se registran los diferentes tipos de ondas generadas por un sismo que alcanzan una estación sísmológica dada, en orden sucesivo de tiempo.

La ubicación del epicentro de un sismo se determina analizando sus registros e identificando los diferentes tipos de ondas; en particular, las ondas p y s permiten el empleo de una técnica muy utilizada para la determinación del epicentro. Para comprender este método, recordemos que las ondas p viajan a mayor velocidad que las ondas s.

Veamos... Si el conejo es más veloz que la tortuga y ambos empiezan a correr desde el punto t_0 , a medida que se alejen de ese punto la distancia entre ambos será mayor. Un observador en el punto t_1 notaría pasar al

conejo y, un momento después, a la tortuga. Otro observador en el punto t_2 vería pasar al conejo A y, un momento después, a la tortuga.



Puesto que, a mayor distancia del origen, mayor será la separación entre los corredores, para calcular la distancia al origen puede utilizarse el tiempo transcurrido entre la llegada de ambos a un punto dado.

Volvamos a los sismos... Sobre la superficie de la Tierra, una estación puede proporcionar la distancia al epicentro pero no la dirección; es decir, si en una estación calculamos la distancia al epicentro, éste puede estar en cualquier punto de un círculo con un radio igual a la distancia calculada.

En teoría, si tenemos una estación sismológica con tres componentes, podemos reconstruir el movimiento de las partículas cuando incide la onda p, por ejemplo, y conocer la dirección de llegada de la onda (recordemos que, para las ondas p, las partículas oscilan a lo largo de la trayectoria de viaje de la onda). En la práctica no puede lograrse mucha precisión con este método y se recurre a los registros de otras estaciones para obtener estimaciones independientes de la distancia al epicentro.

Como puede verse en la siguiente imagen son necesarias, al menos, tres estaciones para determinar el epicentro sin ambigüedad.



La intersección de los círculos correspondientes a las tres estaciones rara vez coincide en un solo punto ya que, por ser datos experimentales, poseen cierto grado de error que hace que definan una región más o menos grande -dependiente de la calidad de los datos utilizados- en lugar de un solo punto.

La técnica para medir la diferencia entre la llegada de las ondas s y p, llamada s-p, no es la única forma de determinar el epicentro. Si se tiene un número bien distribuido de estaciones pueden utilizarse los tiempos de llegada de la onda p para el cálculo de la distancia. En este método se obtiene un origen que satisface mejor los tiempos de llegada a cada una de las estaciones.

En general, la determinación del epicentro de un sismo es mejor mientras más estaciones lo registren y cuando éstas están distribuidas más ampliamente alrededor del epicentro.

La información obtenida de muchas estaciones es tratada estadísticamente en un proceso interactivo en el que la posición del epicentro va siendo aproximada; para esto se utilizan tanto las diferencias s-p como los tiempos de llegada de las ondas⁸.

⁸ Fuente: <http://ssn.dgf.uchile.cl/home/informe/ML/servicio.html>

Predicción de sismos

Retomando las situaciones problemáticas planteadas al comienzo de este material de capacitación, vemos claramente que surgen otras temáticas, sobre las cuales trabajar en el aula, además de la construcción de un sismógrafo. Así, un aspecto relacionado con el riesgo de sismos, es su predicción.

Resulta demasiado presuntuoso decir "predicción" al hablar de terremotos, considerando el nivel actual de conocimientos sobre el tema. Es más realista referirse al "riesgo" de terremotos, ya que no

Si alguien avisara que, con certeza, se producirá un terremoto en los siguientes minutos u horas, ¿se imagina usted el pánico en la población, las huidas, las crisis de histeria, el caos, los robos?

Y, ¿si no ocurre?

existe una certeza mayor que la de decir que, en cierta zona, hay una probabilidad estadística de que se registre un sismo de magnitud variable desconocida. Variaciones en el comportamiento del clima o conductas anormales en algunos animales no tienen solidez científica como para ser considerados "predictivos".

¿Para qué nos sirve, entonces, predecir un sismo? El objetivo de asignar un grado de riesgo no es otro que el de atenuar los efectos de un sismo. Si presumimos la ocurrencia de un sismo y nos imaginamos cuál sería su peor consecuencia, podremos tomar las precauciones adecuadas para evitar un daño mayor. Vamos por partes...

¿Cómo determinar una zona de riesgo?

- **Por el registro de los eventos pasados.** Si una zona ha sufrido muchos terremotos de gran intensidad en el pasado, lo más probable es que ocurran de nuevo. Esto es lógico, pero tiene poco grado de certeza. Se dice que, después de un sismo grande, al disiparse la energía, el riesgo de un nuevo evento es más bajo. Lamentablemente, esto no siempre se ha cumplido y, en muchas zonas declaradas de bajo riesgo, han sucedido terremotos de tal magnitud que dejaron perplejos a sus predictores.
- **Por el análisis geológico de la corteza terrestre.** La ubicación y el monitoreo de las fallas de la corteza terrestre nos dan información de las zonas de mayor vulnerabilidad geológica y, así, se puede reducir el territorio de riesgos.
- **Por los modelos.** Existen estudios de modelos computarizados, sobre la base de información satelital, que nos pueden "mostrar" aquellos puntos en que la corteza terrestre se está moviendo o está acumulando cierta "tensión".

En resumen, podríamos decir con absoluta certeza que:

- Cada año hay varios millones de temblores en el mundo.
- Más del 80 % de ellos ocurre en áreas despobladas.
- Algunos miles son registrados por los sismógrafos, en todo el mundo.
- Algunos cientos son percibidos por la población general.
- Algunas decenas provocan daño en ciudades (población o construcciones).

- Menos de una decena son de magnitud suficiente como para ser considerados terremotos y llamar la atención de los medios de comunicación.
- Sólo uno o dos serán de magnitud mayor a 8 en escala Richter.
- La mayoría (81 %) ocurrirá dentro del "Cinturón de Fuego" -Océano Pacífico y sus márgenes, comenzando por Chile, subiendo hacia el norte por la costa sudamericana hasta llegar a Centroamérica, México, Costa Oeste de EE.UU., Alaska, Japón, Filipinas, Nueva Guinea, Islas del Pacífico Sur hasta Nueva Zelanda-.
- No existe ningún lugar que se pueda considerar completamente libre de temblores (aunque la Antártida registra pocos y de baja magnitud).

Desde el punto de vista práctico, los conocimientos sobre los sismos nos deben servir para tomar medidas que atenúen sus efectos:

- Establecer normas arquitectónicas y de ingeniería que sean adoptadas responsablemente por los constructores en el momento de diseñar viviendas e infraestructuras. Éstas deberían ser fiscalizadas rigurosamente por las autoridades.
- Realizar simulacros para actuar responsablemente, acudiendo a los sitios de menor riesgo, usando las vías adecuadas, y evitando el caos y el pánico.
- Implementar equipos de rescate con personal entrenado, que sepa actuar con celeridad en los momentos posteriores a

un desastre.

Para poder seguir adelante, es necesario esclarecer qué es lo que se entiende por predicción, en un contexto científico. En general, se considera una predicción sísmica formal a aquella en la que se indica el tiempo y el sitio (con la profundidad) de ocurrencia, y la magnitud del evento por suceder, incluyendo -con todos estos parámetros- una indicación del error o la incertidumbre en cada valor dado.

Generalmente, el tiempo de ocurrencia se proporciona como un intervalo en el que existe una determinada probabilidad de que suceda el sismo. Además, se deben especificar los métodos utilizados y la justificación científica de su empleo.

Si bien lo expuesto parece establecer reglas claras, la comunidad sismológica en el mundo se ha encontrado con grandes obstáculos al tratar de poner en marcha un dispositivo. Éste tendría que permitir la evaluación, en términos estrictos, de las predicciones emitidas por los diferentes grupos de investigación o individuos que se han abocado a esto.

En los Estados Unidos, por ejemplo, se ha establecido un Consejo -*Earthquake Prediction Evaluation Council*-, formado por académicos del más alto nivel, que se encarga de evaluar y de emitir dictámenes respecto de las predicciones sísmicas que afectan a ese país y que puedan presentar posibilidades de éxito.

Estudios determinísticos y estudios probabilísticos

¿En qué nos podemos basar para emitir una predicción que pueda ser considerada confiable? Los estudios encaminados hacia la posible predicción de un sismo pueden concentrarse en su mecanismo físico -tratando de determinar todos y cada uno de los parámetros involucrados en él, de manera que al conocer el fenómeno a fondo se pueda determinar la ocurrencia futura- o bien, pueden enfocar su atención en el comportamiento estadístico y en la probabilidad de un sismo, tratándolo como una serie de ocurrencias en el tiempo.

En muchos casos, se hace uso de una combinación de ambas técnicas. Esto último es especialmente importante para aquellos estudios basados en la estadística, ya que el emitir conclusiones sin conocer las causas físicas del proceso de que se trate, producirían resultados poco confiables.

Parámetros observables con posible carácter predictivo

En cuanto al proceso físico de un sismo, ciertos fenómenos relacionados con el esfuerzo al que están sometidas las rocas pueden ser observados antes de un sismo, siendo conocidos como **fenómenos precursoros**. Muchas de estas manifestaciones han sido exploradas exhaustivamente por diversos grupos de investigación en varios países, con resultados variados.

A continuación, mencionamos algunos de los

posibles indicadores de la inminencia de un sismo, que han tenido éxito en algunos casos.

Parámetros de carácter físico-químico. Las manifestaciones físicas relacionadas con los cambios en el estado de los esfuerzos van desde los cambios en el campo eléctrico natural de las rocas, hasta variaciones en el nivel de agua de pozos, pasando por anomalías en el comportamiento animal, cambios en las emanaciones naturales de diversos gases -tales como el radón-, deformación de la corteza terrestre (medida de varias formas, incluyendo variaciones en la aceleración de la gravedad en la zona), variaciones de temperatura en aguas subterráneas, cambios en la coloración infrarroja, etc.

Fenómenos relacionados con la sismicidad.

Otro tipo de fenómenos que han sido de gran utilidad para evaluar la posibilidad de una predicción, son las variaciones en espacio o en tiempo de algunos fenómenos relacionados con la sismicidad de la zona. Entre éstos se encuentran los llamados *patrones de sismicidad*.

Éstos se refieren a los cambios que pueden tener lugar en el número y características de los sismos -generalmente, pequeños- que normalmente se suceden en una zona y que se pueden presentar con cierta anterioridad a un sismo grande. Sin embargo, en este caso, el problema es determinar cuál es el nivel "normal" de actividad sísmica. Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, no se cuenta con una capacidad de detección adecuada, por falta del equipo necesario.

Aún cuando se posea el equipo, puede

sucedier que la historia de detección sea insuficiente. A esto se suma el problema que causan los cambios en la cantidad y en la localización del instrumental que forma parte de las redes de detección, como así también los cambios en las técnicas empleadas en los cálculos. Éstos pueden ocasionar que una variación en sismicidad -que podría atribuirse a un estado de preparación de un sismo grande-, en realidad se deba a un efecto artificial, producto de variaciones en la detección.

De cualquier forma, patrones de sismicidad utilizados frecuentemente en estudios de predicción y que se ha observado que, en ocasiones, se presentan antes de un evento mayor, incluyen:

- **quietud sísmica**; disminución en el nivel de la sismicidad que normalmente tiene una zona (sismicidad de fondo);
- **patrón de zona**; aumento de sismicidad en la periferia de una zona, y disminu-

ción o ausencia en el centro de ésta;

- **incremento de sismicidad**, a nivel muy local;
- **migración de focos sísmicos**; se puede observar, a veces, que los focos (y, por ende, los epicentros) de los sismos que, normalmente, ocurren dispersos en una zona, parecen ocurrir cada vez más hacia una pequeña parte de ésta.

Cada uno de estos patrones tiene implicaciones en cuanto a los procesos que anteceden un sismo grande, así como a los cambios en el estado de esfuerzos de un volumen a punto de sufrir ruptura.

Además, existen otros fenómenos relacionados con la sismicidad que actualmente son motivo de estudio, por su posibilidad de uso en predicción. Entre éstos se incluyen: la atenuación de las ondas sísmicas y el contenido de energía de alta frecuencia de microsismos.

Pronóstico de terremotos⁹

Agosto 11, 2003. Para muchas personas, los terremotos son impredecibles. Golpean súbitamente en días normales y, a pesar de todos los avances de la sismología, los científicos aún no pueden informar sobre un terremoto inminente, a diferencia de cómo un meteorólogo predice la aproximación de tormentas.

Aunque los terremotos parecen ocurrir de repente, la furiosa energía que liberan se acumula con meses y años de anticipación, en forma de tensiones de la corteza terrestre. Por el momento, los pronosticadores no tienen una forma directa de observar estas tensiones o de detectar cuándo alcanzarán niveles críticos.

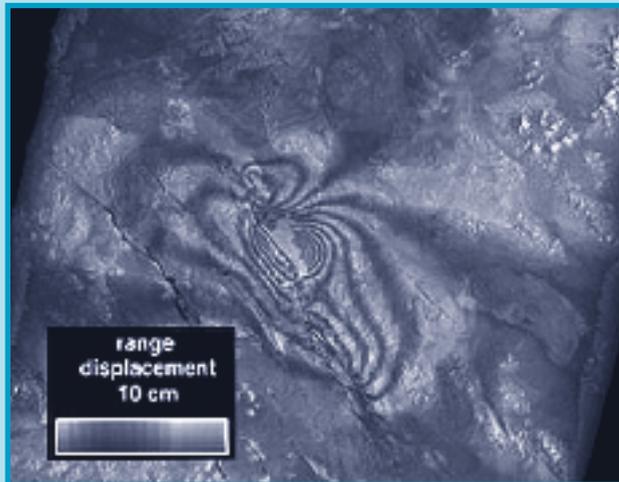
Esto, sin embargo, puede estar cambiando. Las tecnologías con base en satélites que están siendo desarrolladas en la NASA y otros lugares, podrían ser capaces de detectar señales de un terremoto inminente, días o semanas antes de que ocurra, dando al público y a los servicios de prevención de emergencias

⁹ Artículo adaptado de *Science@NASA*. http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/11aug_earthquakes.htm

tiempo para prepararse.

"Hay varios métodos basados en satélites que parecen prometedores como indicadores de actividad sísmica", dice Jacob Yates, investigador en el Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA. "Uno de estos métodos es el Radar de Apertura Interferométrica-Sintética -*Interferometric-Synthetic Aperture Radar, InSAR*-. Básicamente, InSAR es un proceso en el cual dos imágenes de radar de un área tectónica se combinan en una operación llamada fusión de datos, con lo cual se puede detectar cualquier cambio en el movimiento de la superficie.

Esta técnica es suficientemente sensitiva como para detectar lentos movimientos del suelo -tan pequeños como de sólo 1 mm por año-. Esta clase de sensibilidad, combinada con la amplitud de la visión que los satélites puede ofrecer, permite a los científicos observar los pequeños movimientos y contorsiones de los terrenos alrededor de las líneas de falla, en una forma mucho más detallada de lo que lo han experimentado hasta ahora. Observando estos movimientos pueden deducir qué puntos de tensión elevada se están generando.



Una imagen InSAR mostrando el cambio de altura del suelo debido al terremoto Hector Mine de 1999. Los datos de radar fueron adquiridos por el satélite ERS-2 de la Agencia Espacial Europea el 15 de septiembre y el 20 de octubre de 1999.

Un grupo de científicos de la NASA, dirigido por Carol Raymond del JPL, estudió recientemente la posibilidad de pronosticar terremotos desde el espacio. Su informe, publicado en abril, presenta un plan de 20 años para desplegar una red de satélites -Sistema Global de Satélites para Terremotos; *Global Earthquake Satellite System, GESS*-, que utilizará InSAR para vigilar las zonas de fallas en todo el mundo.

Con algo de práctica, dice Raymond, los científicos podrán eventualmente usar los datos de InSAR para determinar cuándo las tensiones de la corteza terrestre alcanzan niveles peligrosos, emitiendo una "evaluación de peligro" mensual para una falla conocida. Los pronosticadores podrían informar que la posi-

bilidad de un gran terremoto en, por ejemplo, la falla de San Andrés durante el mes en curso, es de 2 %, o 10 % o 50 %.

Los métodos actuales son menos exactos. Por ejemplo, el Servicio Geológico de los Estados Unidos ha publicado recientemente una evaluación actualizada del riesgo de terremotos en el área de la bahía de San Francisco, con base en la historia sísmica del área, su geología y modelos computarizados. El estudio predice que la posibilidad de que se produzca un terremoto fuerte (magnitud 6.7 o superior) en dicha área, en algún momento en los próximos 30 años, es de un 62 %, lo que exactamente no nos permite planificar nuestros próximos días.

Nuevos desarrollos

InSAR es una manera de predecir terremotos; pero, quizás, no la única. Mientras que los satélites InSAR simplemente mejoran los datos a disposición de la sismología tradicional, hay otras técnicas más revolucionarias.

Una de estas ideas es buscar **fuentes de radiación infrarroja (IR)**. Friedemann Freund, profesor adjunto de Física en la Universidad del Estado de San José y científico en el Centro de Investigación Ames de la NASA, explica: "En los años '80 y '90, científicos rusos y chinos notaron algunas anomalías térmicas asociadas con los terremotos en Asia, por ejemplo, el terremoto de Zhangbei de 1998 cerca de la Gran Muralla China. Este terremoto ocurrió cuando las temperaturas en la región rondaban los -20 °C. Justo antes del terremoto, los sensores termales detectaron variaciones de temperatura de hasta 6 °C a 9 °C, según los documentos chinos".

Los satélites equipados con cámaras IR podrían usarse para detectar puntos de temperaturas anormales desde el espacio. De hecho, cuando Freund y su colaborador Dimitar Ouzounov del Centro Goddard de Vuelos Espaciales (GSFC), examinaron datos de infrarrojo recogidos por el satélite Terra de la NASA, descubrieron un calentamiento del terreno en la India occidental, justo antes del potente terremoto de Gujarat el 26 de enero de 2001. "La anomalía térmica llegó hasta los +4 °C", dice Freund.

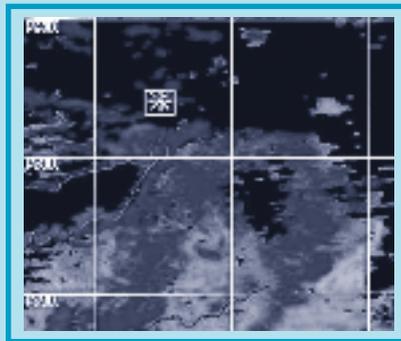


Imagen en infrarrojo de la región circundante a Gujarat, India, el 21 de enero de 2001. Se señalan áreas de anomalías termales que aparecieron días antes del terremoto del 26 de enero. La estrella marca el epicentro (Modis a bordo del satélite Terra de la NASA)

¿Cuál es la causa de que las rocas bajo presión emitan radiaciones infrarrojas? Nadie está seguro. El espectro de frecuencias de las emisiones muestra que el calor interno generado por fricción -por ejemplo, rocas rozándose entre sí- no es el responsable de la radiación.

En un experimento de laboratorio, Freund y colaboradores sometieron bloques de granito rojo a una presión de 1500 toneladas imitando, de alguna manera, lo que pasa kilómetros bajo la superficie de la Tierra. Una cámara sensitiva desarrollada en el JPL y el GSFC vigiló las rocas, y detectó emisiones infrarrojas. Además, se generó un voltaje en la superficie de la roca. Esto conduce a Freund a creer que la causa puede ser eléctrica.

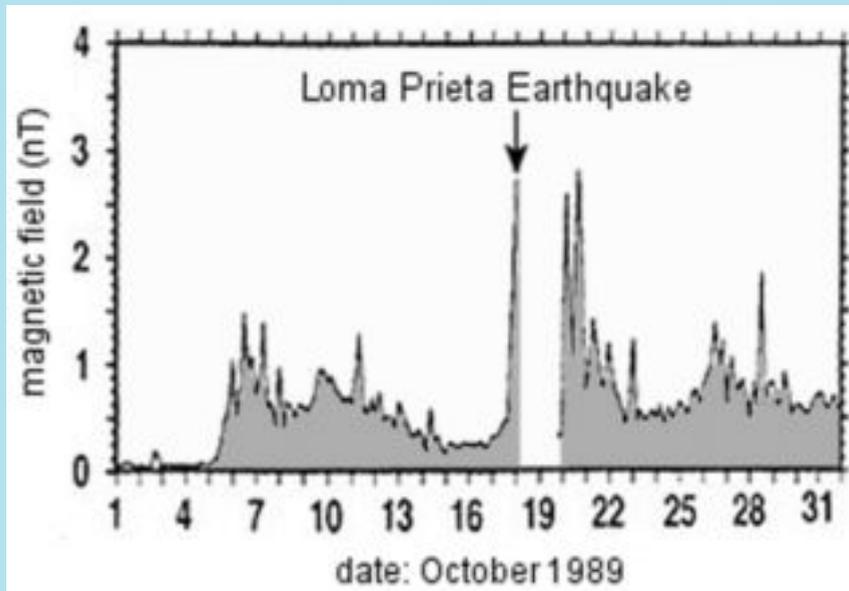


Cuando el granito rojo se somete a presiones extremas, como en este experimento llevado a cabo por Freund y sus colaboradores, su superficie emite radiación infrarroja

Las rocas ordinarias son aislantes. Sin embargo, sometidas a grandes presiones actúan, a veces, como semiconductores. Freund cree que, antes de un sismo, pares de cargas positivas llamadas "electrones desertores" o "agujeros positivos" se separan y emigran a la superficie de las rocas presionadas. Allí se combinan unos con otros y, en el proceso, liberan radiación infrarroja. Los experimentos tienden a prestar credibilidad a esta explicación; pero -hace notar-, todavía es una teoría nueva que no ha ganado amplia aceptación en la comunidad científica.

Las corrientes eléctricas en la roca podrían explicar otra curiosa observación: los científicos que llevaban a cabo experimentos usando magnetómetros justo antes de un gran sismo, recogían accidentalmente pequeñas y lentas fluctuaciones en el campo magnético de la Tierra. Un ejemplo ocurrió durante el terremoto de Loma Prieta que destruyó a San Francisco en 1989. Casi dos semanas antes del sismo las lecturas de las señales magnéticas de baja frecuencia (0,01-0,02 Hz) saltaron hasta 20 veces por encima de los niveles normales y el día del terremoto subieron, incluso, a niveles más altos.

La causa de estas señales es desconocida. Complementando la idea de Freund, hay teorías que incluyen el movimiento de aguas profundas, conductoras de iones -dentro de fracturas generadas por la rotura de las rocas-, energía electromagnética liberada por electrones desprendidos de rocas cristalinas como el granito y un efecto piezo-magnético desencadenado por la presión aplicada a cierto tipo de rocas.



Señales magnéticas de baja frecuencia recogidas durante 31 días alrededor del sismo de Loma Prieta

Una compañía llamada QuakeFinder espera que estas tenues señales magnéticas (normalmente, inferiores a una nanotesla) puedan detectarse desde satélites de órbita baja. Los sensores en tierra pueden también detectar estas fluctuaciones; pero, los satélites en órbitas polares tienen la ventaja de cubrir casi la totalidad de la superficie de la Tierra, todos los días.

El 30 de junio de 2003 QuakeFinder lanzó el QuakeSat. Midiendo sólo 10 cm x 10 cm x 30 cm, este satélite operará durante un año para determinar hasta qué punto podría detectar señales magnéticas generadas por actividad tectónica. Los primeros seis meses de la misión se dedicarán a calibrar el satélite y a adquirir los datos de referencia. Más tarde, los operadores en Tierra podrían dedicarse en serio a buscar sismos.

Los dos métodos, mediante rayos infrarrojos o magnetismo para detectar sismos, son controvertidos. Por ahora InSAR parece estar en ventaja para la previsión de terremotos. Los tres, sin embargo, ofrecen una posibilidad tentadora: algún día, el informe meteorológico local podrá pronosticar no sólo las tormentas que se ciernen sobre nosotros, sino también las que se ocultan bajo nuestros pies.

Confiabilidad de los métodos de predicción

Hay varios puntos que deben ser considerados para conocer la confiabilidad, tanto del método mismo como de la posible predicción. Estos puntos son:

- El número de aciertos logrados (aún, cuando sean a *posteriori*) en el historial sísmico de la zona.
- El número de fallas del método para el mismo historial. Esto es, las veces que se presentó sismo significativo, sin que el método lo hubiera detectado.
- El número de falsas alarmas. Se debe cuantificar el número de veces que el método emite una advertencia de sismo futuro, sin que éste se presente en el lapso especificado.

Expectativas a futuro

A la fecha, las técnicas más promisorias con las que se puede atacar el problema de "cuándo", son aquellas en las que se combina el uso de varias y se emplean métodos de observación en detalle, ya que otro problema (que puede influir rotundamente en los resultados de los métodos basados en las anomalías precursoras) es el factor de escala, pudiendo presentarse dichas anomalías en zonas muy locales y perdiendo la resolución cuando se consideran promedios en regiones mayores.

Sin embargo, los avances logrados y el conocimiento adquirido nos permiten aseverar que llegará pronto el día en que la posibilidad de anticipar la ocurrencia de un

sismo sea una realidad cotidiana.

El juego de las probabilidades

Supongamos que un precursor de sismos ha sido identificado y reconocido. Luego, debe ser confirmado y certificado como tal, a través de observaciones repetidas durante un período de varias décadas o de varios siglos. Esta dificultad, si bien raras veces es mencionada, ha sido una de las causas de que proliferaran las argumentaciones estadísticas en sismología. Algunos de estos argumentos son válidos; pero, otros pretenden reemplazar la observación directa con la mera especulación.

Los antecedentes científicos e intelectuales de la predicción sísmica no son comparables con los antecedentes de predicción del tiempo. Los meteorólogos disponen, actualmente, de todo un arsenal de equipos de medición: globos-sonda, radio-sonda, radar, satélites meteorológicos, aviones especiales, etc. El interior de la Tierra, en cambio, sigue inaccesible a cualquier medición directa.

Resulta, además, que las incertidumbres en la estructura interna de la Tierra han sido subestimadas, especialmente en el problema sísmico. Por ejemplo, la profundidad focal de un sismo no puede calcularse, en principio -aunque la Tierra fuera esférica y compuesta de capas concéntricas-, porque todas las mediciones son realizadas en la superficie. La precisión de nuestros conocimientos sobre el interior de la Tierra depende, en forma crítica, de los experimentos con explosiones. La tomografía sísmica y otras técnicas similares suelen ignorar tales limitaciones y tienden a

perpetuar los errores estructurales de generaciones de sismólogos.

De todas formas, existe tecnología que podría utilizarse para controlar el riesgo sísmico; por ejemplo:

- **Amortiguadores sísmicos.** La instalación de un amortiguador pasivo de tres toneladas en la azotea de un edificio de quince pisos puede reducir el movimiento hasta en un 60 %, lo que basta para que el edificio no se caiga. El principio es el mismo que el de un amortiguador de auto. Un bloque de hormigón corre sobre rieles al interior de recipiente lleno de agua. Al ocurrir un sismo, el bloque se desplaza dentro del agua, disipando energía y reduciendo el movimiento del edificio. Cada amortiguador tiene resortes y puede sintonizarse al período exacto de vibración del edificio.
- **Cojinetes amortiguadores.** Se usan en los cimientos de los edificios, con el objeto de aislarlos de las vibraciones sísmicas. Son bloques de hule que contienen láminas de plomo y son capaces de soportar cargas de varias toneladas. Su efectividad ha sido comprobada; especialmente, en sismos vibratorios de alta frecuencia.

¿Qué hacer ante un sismo?

Existen ciertas medidas básicas de seguridad que se pueden adoptar antes, durante y después de un sismo, con el fin de reducir los daños personales y patrimoniales.

Antes de un sismo. Todos los integrantes de

una familia sabrán qué hacer si ocurre un sismo, han practicado antes y han realizado todos los pasos de un simulacro.

1. Converse en su casa acerca de los sismos y otros posibles desastres, y formule un plan de protección civil. Determine con anticipación cuáles son los lugares más seguros en su hogar. Si tiene niños, practique la forma más rápida de llegar a ellos. Los simulacros ayudan a los niños a saber qué es lo que tienen que hacer durante un sismo, aún cuando usted no esté con ellos. Hable con sus hijos acerca de lo que ellos deben hacer si ocurre un terremoto cuando están en la escuela.
2. Participe y organice programas de preparación para futuros sismos que incluyan simulacros de evacuación. También es importante prepararse para desalojar una zona dañada por un sismo. Un buen plan ayuda a responder rápida y eficientemente a los riesgos, y facilita seguir las instrucciones de las autoridades.
 - Con su familia, haga un repaso de los planes de evacuación desde cada una de las habitaciones de su hogar.
 - Verifique si existe una forma alternativa de escape que pueda ser usada en caso de que el plan original no funcione. Todos los miembros de la familia deben saber dónde está la escalera, por si llegan a necesitarla.
 - Marque, en forma clara, los lugares donde pueden encontrar alimentos, agua, el botiquín y el matafuego.
 - Determine el lugar en el que toda la familia se debe reunir después de una emergencia.

- Determine sus prioridades.
 - Escriba una lista de prioridades en caso de emergencia, que incluya:
 - Artículos importantes que pueden ser cargados con las manos.
 - Otros artículos, en orden de importancia, para usted y su familia.
 - Artículos que pueden ser transportados en automóvil, si hay un auto disponible.
 - Cosas importantes que hay que hacer si el tiempo lo permite, como cerrar con seguro las puertas y ventanas, desconectar la energía eléctrica y cerrar el gas.
 - Escriba la información importante y confeccione una lista. Colóquela en un lugar seguro. Incluya:
 - Números telefónicos (policía, bomberos, paramédicos y centros médicos, compañía de gas y de luz).
 - Nombres, direcciones y teléfonos de sus seguros, incluyendo el número y el tipo de póliza.
 - Nombres y teléfonos de vecinos y, si es el caso, del dueño de la casa.
 - Año, modelo, número de identificación y patente de su automóvil.
 - Información de su banco o institución financiera, números y tipos de cuentas.
 - Estaciones de radio (o televisión) para escuchar la información de emergencia.
 - Reúna y guarde los documentos importantes en una caja fuerte a prueba de incendios:
 - Actas de nacimiento.
 - Escritura de propiedad (casa, autos, etc.).
 - Tarjetas del seguro.
 - Pólizas de seguro.
 - Testamentos.
 - Inventario de los artículos en la casa (de preferencia, una lista y fotos de cada habitación y de los artículos de valor).
3. Cumpla las normas de construcción y uso del suelo establecidas.
 4. Recorra a técnicos y especialistas para la construcción o reparación de su vivienda; de este modo, tendrá mayor seguridad ante un sismo.
 5. Ubique y revise, periódicamente, que las instalaciones de gas, agua y sistema eléctrico se encuentren en buen estado. Use accesorios con conexiones flexibles y aprenda a desconectarlos.
 6. Fije a la pared repisas, cuadros, armarios, estantes, espejos y bibliotecas. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de éstos; además, asegure las lámparas al techo.
 7. Tenga a la mano los números telefónicos de emergencia, un botiquín, y, de ser posible, una radio portátil y una linterna con pilas.
 8. Porte siempre un documento.

Durante un sismo. Puede tomar algunas precauciones que reducirán las posibilidades de resultar lesionado. Porque, es posible que no

haya luz y que los pasillos, escaleras y salidas queden bloqueados con muebles caídos, partes del techo y otros escombros. Si está preparado para estas situaciones, podrá actuar más rápidamente.

Si se encuentra bajo techo (en el hogar, la escuela o el trabajo):

1. Conserve la calma y tranquilice a las personas a su alrededor.
2. Evite evacuar, si la estructura es sólida.
3. Si tiene oportunidad de salir rápidamente del inmueble hágalo inmediatamente, pero en orden. Recuerde: No grite, no corra, no empuje y diríjase a una zona segura.
4. No utilice los ascensores.
5. Aléjese de bibliotecas, vitrinas, estantes u otros muebles que puedan deslizarse o caerse, así como de las ventanas, espejos y cualquier mueble grande que pueda desmoronarse o cuyas puertas puedan abrirse bruscamente.
6. En caso de encontrarse lejos de una salida, ubíquese debajo de una mesa o escritorio resistente y sólido, que no sea de vidrio; cúbrase con ambas manos la cabeza y colóquelas junto a las rodillas. Este lugar puede proporcionarle un espacio con aire, si el edificio se derrumba. Si la mesa se desplaza con el movimiento del piso, trate de moverse con ella. Las paredes internas y los marcos de puertas son los que más resisten los derrumbes y, también, sirven de escudo contra los objetos que caen durante el terremoto. Si no hay otra protección, vaya a una esquina interna o bajo el marco de una

puerta, alejado de ventanas y vidrios.

7. No use velas, fósforos ni encendedores; si hay una fuga de gas, podría producir una explosión.
8. Una vez terminado el sismo, desaloje el inmueble y recuerde: No grite, no corra, no empuje.
9. Si debe evacuar, hágalo hacia zonas extremas predeterminadas como seguras.

En lugares donde hay mucha gente:

1. Si se encuentra en un cine, tienda o cualquier lugar muy congestionado y no tiene una salida muy próxima, quédese en su lugar y cúbrase la cabeza con ambas manos, colocándolas junto a las rodillas.
2. Si tiene oportunidad, localice un lugar seguro para protegerse.
3. Si está próximo a una salida, desaloje con calma el inmueble.

En un edificio alto:

1. Protéjase debajo de una mesa, escritorio resistente, marco de una puerta, junto a una columna o esquina.
2. No se precipite hacia la salida ni utilice ascensores.

En el auto:

1. En cuanto pueda, trate de pararse en un lugar abierto y permanezca en el automóvil; active el freno y encienda la radio para enterarse de la información de emergencia. Aunque es posible que el

- auto se mueva mucho, es un buen lugar para quedarse hasta que acabe el temblor.
2. No se estacione junto a postes, edificios u otros elementos que presenten riesgos, ni obstruya las señales de seguridad.
 3. Si va en la ruta, maneje hacia algún lugar alejado de puentes o vías elevadas y permanezca en su vehículo. Si continúa manejando, tenga cuidado, ya que los terremotos pueden abrir el pavimento, derribar postes y cables de electricidad e, incluso, puentes.
 4. Si su vida corre peligro, trate de conseguir un teléfono celular o busque un teléfono público o de emergencia al lado de la ruta.

En la calle:

1. Aléjese de edificios, cornisas, muros, postes, cables, letreros colgantes y otros objetos que puedan caer.
2. De ser posible, diríjase a un área abierta lejos de peligros y quédese ahí hasta que termine de temblar.

Después de un sismo. Le recomendamos que:

1. Efectúe con cuidado una completa verificación de los posibles daños en la casa.
2. No haga uso del inmueble, si presenta daños visibles.
3. No encienda fósforos, velas, aparatos de llama o eléctricos, hasta asegurarse de que no haya fuga de gas. Sólo use linterna.

4. Localice probables cortes de cables de energía eléctrica o daños en otras redes de suministros básicos.
5. En caso de fugas de agua o gas, repórtelas inmediatamente.
6. Compruebe si hay incendios o peligro de incendio, e infórmelo a los bomberos.
7. Verifique si hay lesionados y, de ser necesario, busque ayuda médica. No intente mover a las personas lesionadas o inconscientes -a menos que estén en peligro-, cerca de cables eléctricos, zonas inundadas u otros riesgos graves. Las lesiones internas no siempre son evidentes; pero, pueden ser graves o poner en peligro la vida del herido. Si alguien ha dejado de respirar, llame a un médico o busque ayuda de primeros auxilios y, de inmediato, comience a administrar resucitación cardiopulmonar si está entrenado para hacerlo. Detenga la sangre de una lesión, aplicando presión directa a la herida.
8. Evite pisar o tocar cualquier cable suelto o caído.
9. Limpie inmediatamente líquidos derramados como medicinas, materiales inflamables o tóxicos.
10. No coma ni beba nada contenido en recipientes abiertos que hayan tenido contacto con vidrios rotos.
11. No use el teléfono, excepto para llamadas de emergencias. Verifique que todos los teléfonos estén colgados (es posible que la sacudida los haya descolgado). Encienda la radio para enterarse de los daños y recibir información.
12. Esté preparado para futuros sismos, lla-

mados réplicas. Éstos, generalmente, son más leves que la sacudida principal. Pero, pueden ocasionar daños adicionales.

13. No propague rumores.
14. Aléjese de los edificios dañados.
15. Verifique los roperos, estantes y alacenas; ábralos cuidadosamente, ya que le pueden caer los objetos encima.
16. En caso de quedar atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.
17. Aléjese de las zonas afectadas. Su presencia podría dificultar la labor de rescate y usted mismo podría ponerse en peligro.
18. Coopere con las autoridades. Si la policía, los bomberos o los servicios de emergencia están solicitando ayuda voluntaria, trate de participar; pero, no entre a las zonas afectadas a menos que las autoridades le hayan pedido su ayuda en esa zona en particular.
19. Si tiene que abandonar su hogar, coloque una nota en el lugar en el que usted y su familia acordaron dejar cualquier aviso, e indique a dónde fue. Encierre los animales domésticos en el lugar más seguro y asegúrese de dejarles suficiente comida y agua. En general, las mascotas no pueden entrar a los refugios públicos. Llévase los documentos vitales (testamentos, pólizas de seguro, etc.), artículos de emergencia y medicinas.
20. El terremoto puede ocurrir cuando los miembros de la familia no estén juntos; es posible que algunos estén en el trabajo, otros en casa y otros en la escuela. Determine de antemano el lugar y la hora

a la que se reunirán después de una catástrofe. Escoja un lugar cercano a su hogar (como la casa de un vecino o de un familiar, una escuela, iglesia o centro comunitario) que sirva de sitio de reunión. Elija un familiar que viva al menos a 150 kilómetros de distancia para que sirva de contacto entre todos los miembros de la familia en caso de que alguien no pueda llegar al punto de reunión preestablecido. Este contacto podrá ayudar a los miembros de la familia a reunirse y a decirles si alguien resultó lesionado. Registre el número y téngalo siempre consigo.

Los sismos son fenómenos naturales de permanente ocurrencia; por lo tanto, siempre se debe estar preparado. Algunas medidas previas que se deberían tomar, son:

1. La revisión de la estructura de la casa o edificio, para verificar su solidez.
2. La inspección de los sistemas de fijación, estabilización y adosamiento de vidrios, muebles altos, adornos posados y colgantes.
3. La detección de las zonas de mayor seguridad al interior y exterior inmediato de la vivienda, del lugar de trabajo o del establecimiento educacional.
4. El claro conocimiento de la ubicación y formas de cierre de las llaves de paso general de gas y agua, y del interruptor del medidor de energía eléctrica.
5. El mantenimiento de un listado actualizado de teléfonos de emergencia.
6. El mantenimiento de un botiquín de primeros auxilios, de un radio-receptor y de una linterna con pilas cargadas.



Una actividad interesante para proponer a los alumnos, en el contexto del diseño del sismógrafo, consiste en la elaboración de un plan de evacuación para personas con discapacidad.



Construcciones antisísmicas

Glosario de términos

Simetría: Equilibrio, proporción.

Rigidez: Solidez, fortaleza.

Vanos: Espacio sin ladrillos que se deja para colocar puertas o ventanas.

Uniformidad: Igualdad, semejanza.

Hormigón: Mezcla de cemento, árido fino (arena), árido grueso (trituración de gravas o de rocas sanas y durables) y agua.

Estructura: Conjunto de elementos, unidos entre sí, de un edificio que soportan, distribuyen y/o transmiten las cargas.

Heterogeneidad: Variedad, diversidad.

Monolítico: Formación de varias cosas como un todo; en este caso, los muros, vigas y techo forman un todo en forma de caja.

Enrase: Última hilada de ladrillos en una vivienda.

Colineales: Dos cuerpos o componentes que están ubicados en la misma dirección y sobre una misma línea recta.

Juntas: Espacios que quedan entre ladrillos para ser llenados con mortero.

Mortero: Mezcla de cemento, arena y agua.

Mampostería: Obra de construcción hecha con mampuestos (ladrillos o bloques de concreto).

Columnetas: Espacios que se dejan para formar una especie de columna en una pared y que no deben tener menos de 200 cm² de área.

Las situaciones problemáticas planteadas en este módulo pueden dar lugar al trabajo en el aula de otras temáticas; como, por ejemplo, construcciones sismorresistentes o los daños causados por los sismos en las construcciones.

Presentamos algunas consideraciones que pueden servir de inicio para el trabajo en el aula, en el área de *Construcciones*.

Daños más frecuentes causados por los sismos en las construcciones

Como detalláramos, la magnitud de un sismo no es suficiente para explicar los daños que éste causa. Para ello, se utiliza la escala Mercalli, aunque los daños dependen, en buena medida, de la capacidad de las construcciones para resistir los movimientos del suelo originados en el sismo y de las características específicas que presenta el sismo en particular.

Los sismos más destructivos son aquellos que se suceden cuando, en su desplazamiento, las placas tectónicas se deslizan una respecto a otra, rozando y chocando en sus zonas de contacto, liberando inmensas cantidades de energía.

Veamos un ejemplo de cómo puede afectar un sismo a una casa pequeña.

Cuando se produce un sismo, el movimiento del suelo a través de las ondas sísmicas, se transmite a la estructura de la edificación a través de sus cimientos. La inercia propia de la construcción, debida al gran peso de ésta, se opone al movimiento de la parte superior,

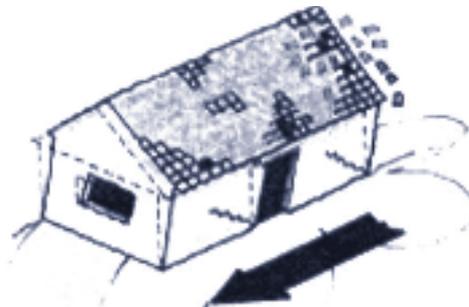
creando fuerzas que actúan sobre la estructura.

A modo de ejemplo, presentamos algunas situaciones críticas durante el desarrollo de un sismo de pequeña magnitud y analizamos cómo es afectada una construcción de un solo piso.

1. Cuando ocurre un sismo, el suelo comienza a moverse hacia atrás y hacia adelante.

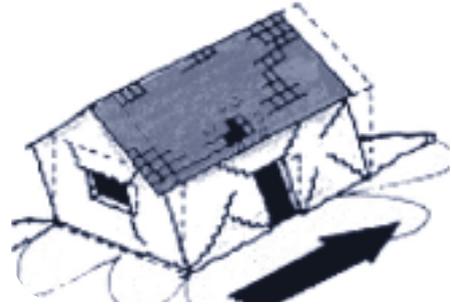


2. Por estar en contacto directo con el suelo, los cimientos y la parte inferior de la casa se mueven inmediatamente; sin embargo, por un momento, el techo permanece en reposo.

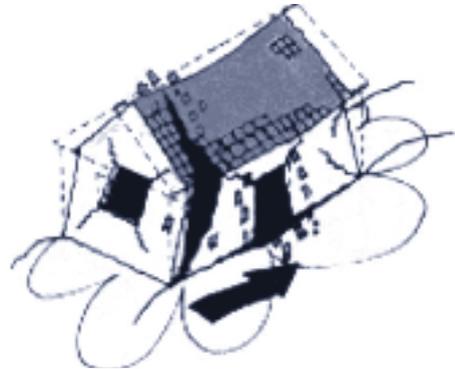


3. Gradualmente, la parte superior de la casa intenta seguir el movimiento de la parte inferior; pero, ya el suelo se mueve

en la otra dirección, dándole mayor velocidad al movimiento de la parte superior.



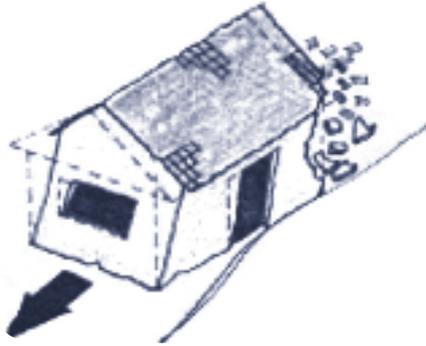
4. A medida que las ondas golpean las paredes, diferentes partes de éstas comienzan a moverse en direcciones opuestas.



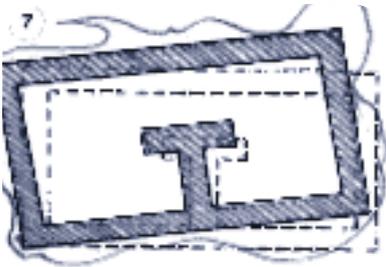
5. Éstas tratarán, primero, de abrirse o separarse y, luego, van a desplomarse.



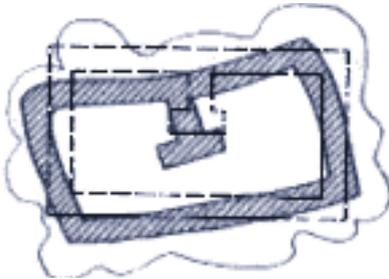
6. El daño causado por el terremoto depende de la masa, la altura, el peso de las paredes y del techo. Cuanto más altas sean las paredes, mayor será la velocidad y la fuerza de la parte superior y, por lo tanto, el daño.



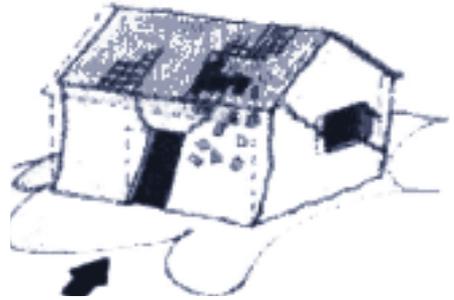
7. El movimiento de la casa durante el terremoto proviene del movimiento de la base. Si ésta está en suelos duros, se moverá así:



8. Y, si la base está en suelos blandos, se moverá así:



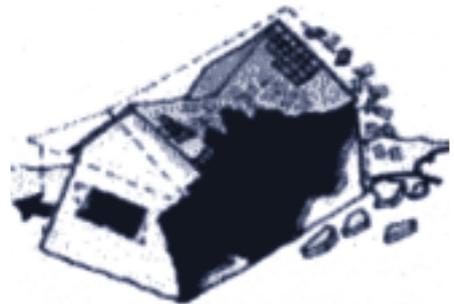
9. Se agrava el efecto del movimiento sísmico.



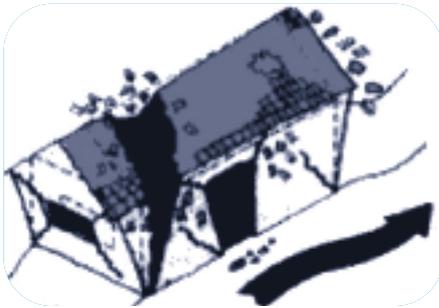
10. Si el movimiento es paralelo a la dirección de los muros de carga, especialmente éstos y también las paredes transversales, se dañarán así:



11. Si el movimiento es paralelo a aquellos muros que no son de carga, el daño será mayor, y las paredes longitudinales pueden caerse a lo largo de toda la casa y arrastrar con ellas a las transversales.



12. Si el terremoto golpea la casa en sentido diagonal, éste empujará las paredes en diferentes direcciones y la casa puede abrirse por sus esquinas.



Como puede apreciarse en las anteriores gráficas, una edificación que no esté preparada para resistir las fuerzas que la afectan durante un sismo, puede presentar múltiples daños que, en algunos casos, lamentablemente, afectan no sólo a la construcción sino también a sus ocupantes; por esto, se debe tener especial cuidado en la prevención de estos daños, con el fin de evitar tragedias irreparables, especialmente cuando se trata de pérdida de vidas humanas.

Sismorresistencia

La acción de los sismos en las viviendas tiene un carácter destructor, aunque se pueden realizar consideraciones de diseño u organizar los espacios de forma tal que la edificación sea más resistente a ella.

Es una tecnología que diseña y ejecuta procesos constructivos con elementos estructurales, previa aplicación de principios básicos -como simplicidad, simetría, resistencia, rigidez y continuidad- que permitan a las obras resistir los usos y las cargas sísmicas a

que estarán sometidas durante su vida útil y, también, los sismos.

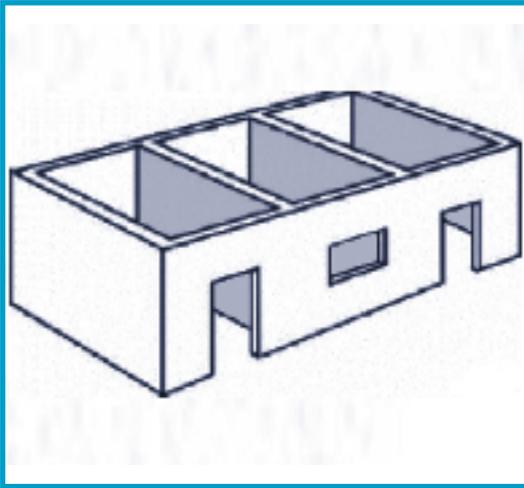
La sismorresistencia es una propiedad o atributo del que se dota a una construcción, mediante la aplicación de técnicas de diseño de su configuración geométrica y la incorporación en su constitución física, de componentes estructurales especiales que la capacitan para resistir las fuerzas que se presentan durante un movimiento sísmico, lo que se traduce en protección de la vida de los ocupantes y de la integridad del edificio mismo.

Consideremos la composición geométrica del edificio y sus efectos sobre la sismorresistencia.

Durante la etapa de diseño, al determinar cuál ha de ser la forma geométrica general de la edificación, se debe procurar que esté conformada por volúmenes de formas simples, dispuestos de forma simétrica respecto de los ejes longitudinal y transversal de la planta.

El lograr que la simplicidad de las formas y la simetría de volúmenes sea una característica de la geometría general del edificio, garantiza que los efectos que sobre éste causen los posibles movimientos sísmicos -a los que se puede ver sometido a lo largo de su vida útil- ocasionen el mínimo daño.

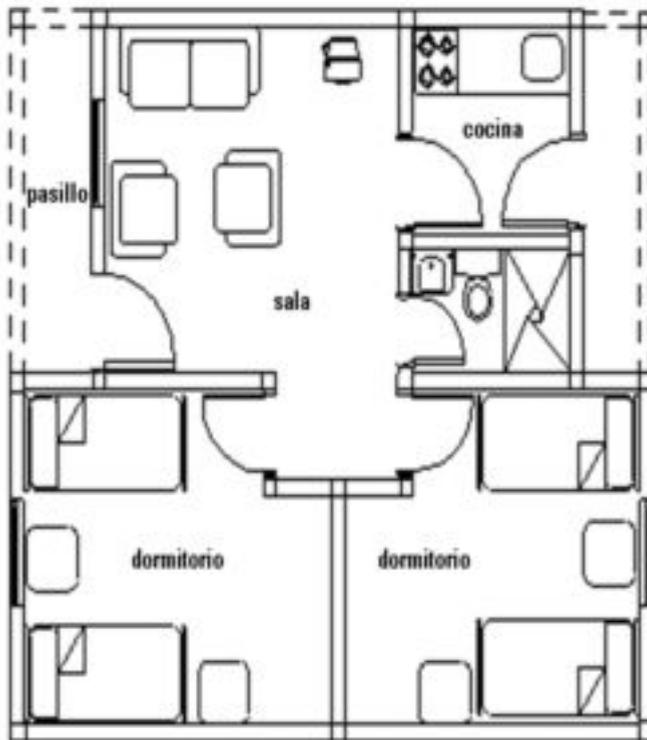
La simplicidad. En la siguiente figura se aprecia un ejemplo de edificación que involucra simplicidad en su configuración geométrica, con un comportamiento ante el sismo óptimo desde este punto de vista, pues ha sido proyectada como un diseño sencillo que facilita la distribución equilibrada de los muros portantes y evita cualquier forma irregular de la planta.



Finalmente, se puede afirmar que todo diseño arquitectónico es válido, si contempla los elementos estructurales que hacen resistente una vivienda.

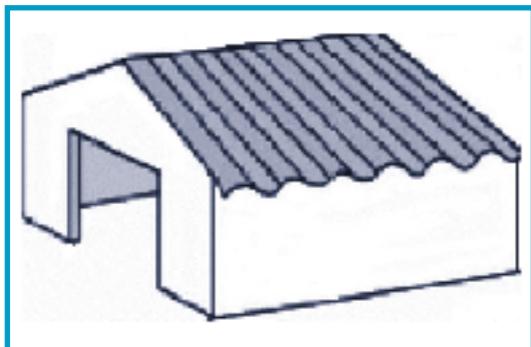
La fachada debe ser el resultado de la distribución funcional de los muros interiores.

Por otra parte, en la siguiente figura, se aprecia un diseño en planta que establece una ubicación de las diferentes partes del edificio de tal forma que sus volúmenes se ubican de forma equilibrada respecto de los dos ejes que cruzan la planta.



El diseño. Cumple con los siguientes atributos:

- Calcula y prevé el balance de los muros respecto de la distribución de vanos.
- Concibe a la edificación como un todo; todos los bloques que la conforman son simétricos con respecto a sus ejes.
- Equilibra los muros, localizando sus vanos unos frente a otros, para que los desplazamientos en caso de sismo sean uniformes.
- Evita los bloques largos y angostos con longitud mayor a 3 veces su ancho.



La forma volumétrica de la construcción más recomendable es la forma regular; en ésta, tal como se aprecia en la figura de arriba, el volumen general del edificio se muestra compacto, sin irregularidades en su conformación geométrica, sin salientes o protuberancias; es decir, muestra una forma regular que lo habilita para resistir los efectos dañinos que un sismo le pudiera causar.

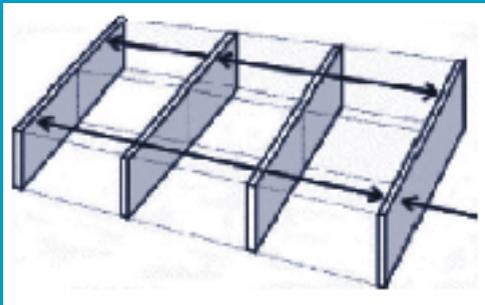
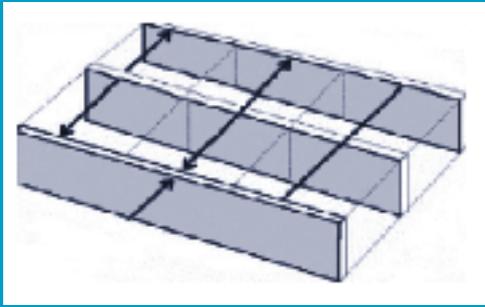
Por otra parte, **no son recomendables las formas irregulares** en la configuración geométrica general de un edificio; es decir, edificaciones compuestas por volúmenes diferentes

pero ligados unos a otros -que, al ser afectados por el sismo se deforman y reaccionan de manera independiente unos respecto a los otros- no contribuyen al comportamiento homogéneo, deseable y necesario para que las edificaciones respondan bien ante las fuerzas irregulares que un sismo transmite a la construcción.

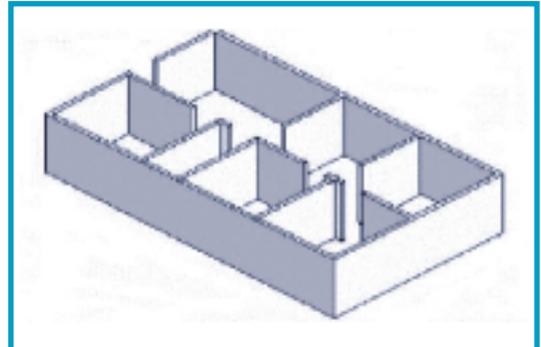


Formas irregulares. No son recomendables las formas asimétricas en volumen; por lo tanto, es importante independizarlas por medio de juntas o separaciones entre los edificios o volúmenes vecinos.

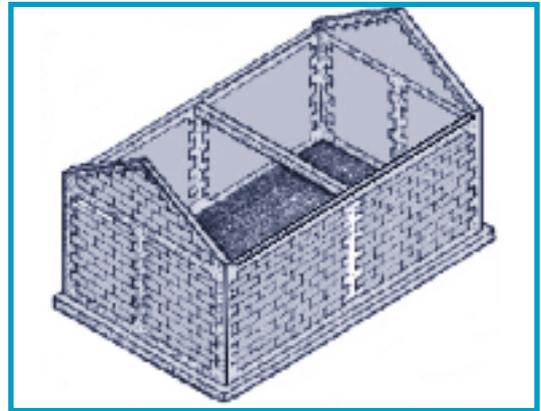
Disposición de los muros. Se debe evitar disponer todos los muros en una misma dirección pues -si bien es cierto que la edificación resultante sería resistente a fuerzas sísmicas que se presenten en la misma dirección en que están localizados los muros- resultaría sumamente débil a fuerzas que viniesen en dirección perpendicular a la pared, condición en la cual la construcción no tendría capacidad para resistirlas.



Inestabilidad en la dirección de la flecha, por falta de muros en la otra dirección



La disposición recomendable es de muros perpendiculares entre sí



La sismorresistencia es el resultado de la constitución física del edificio.

La sismorresistencia de una edificación depende, en gran medida, tanto del tipo de materiales y componentes que la constituyen, como de la correcta relación entre ellos; es decir, no basta con dotarla de unos componentes resistentes, además es necesario relacionarlos correctamente entre sí para que toda la construcción se comporte de manera homogénea ante la presencia de fuerzas provenientes del sismo.

A continuación, analizamos algunos aspectos

fundamentales para garantizar la sismorresistencia, a partir de las condiciones de relación entre los componentes de la edificación.

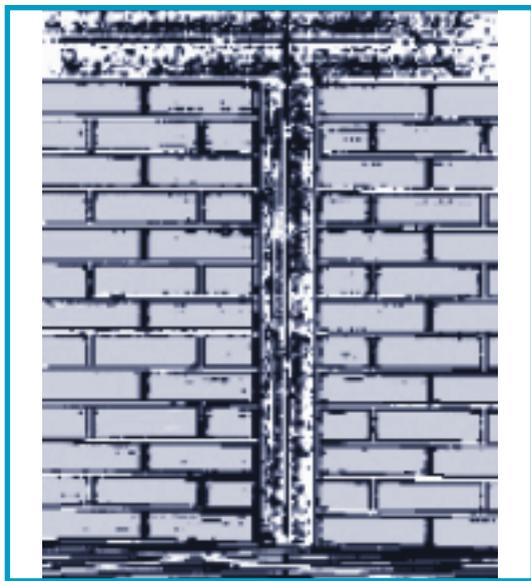
Uniformidad. Es una característica de una edificación sismorresistente; se logra cuidando que los materiales sean homogéneos en la constitución de componentes que desempeñan trabajos similares.

Por ejemplo, si los muros de carga son de ladrillo, no deben combinarse con otros vaciados en hormigón o de otro material; si la estructura de soporte es de hormigón arma-

do, no deben aparecer algunos elementos de soporte en madera, metal o ladrillo; si la cubierta está constituida, principalmente, en madera, se debe evitar combinarla con elementos metálicos para realizar el papel de vigas.

Continuidad. La continuidad de la construcción sismorresistente se da en dos sentidos:

- Todos los ejes de los muros que conforman los diferentes espacios deben ser, hasta donde sea posible, colineales.
- Debe conservarse la continuidad entre las juntas -horizontalmente- de los elementos de mampostería a las vigas, así como verticalidad del muro que integrará a las columnetas.



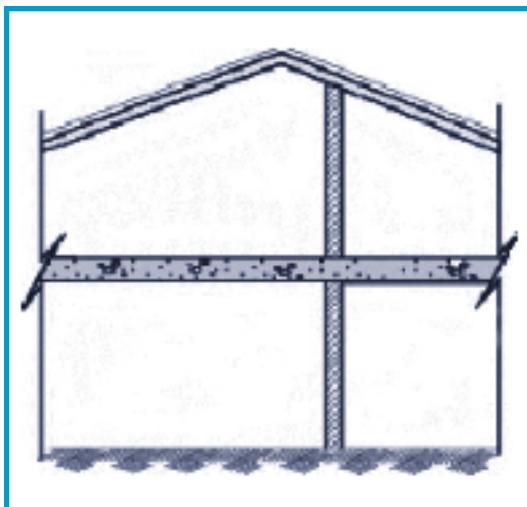
Homogeneidad. La heterogeneidad de materiales en una construcción facilita el mal comportamiento ante un sismo, por la variedad de características y resistencias de los diferentes materiales.

No debe haber paredes discontinuas, como los que muestra la figura.



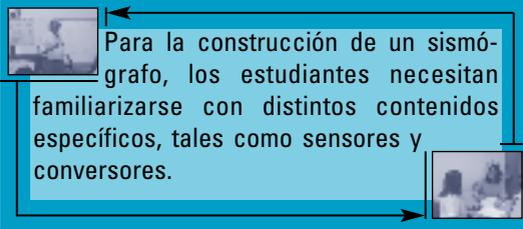
Lo incorrecto: Paredes discontinuas en la vertical

Una pared siempre debe ubicarse o continuar encima de la anterior, así sea encima de la losa.



Lo correcto: Paredes continuas en la vertical

Sensores



Los sensores o transductores, en general, son dispositivos que transforman una magnitud física cualquiera -por ejemplo, la temperatura- en otra cantidad física equivalente -digamos, un desplazamiento mecánico-.

Los sensores posibilitan la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de control, tanto eléctricos como electrónicos, utilizándose extensivamente en todo tipo de procesos industriales y no industriales, para propósitos de monitoreo, control y procesamiento.

Los sensores eléctricos, particularmente, son aquellos cuya salida es una señal eléctrica de corriente o voltaje, codificada en forma analógica o digital.

Tipos de sensores

Los sensores pueden ser clasificados de acuerdo a distintos criterios, entre ellos:

- tipo de señal de salida que entregan,
- tipo de variable física que detectan,
- método de detección,
- modo de funcionamiento,

- relación entre entrada y salida (función de transferencia),
- según el aporte de energía.

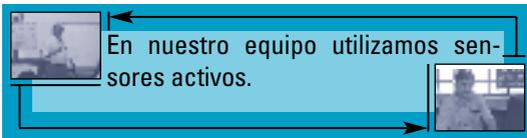


Solamente analizaremos tres criterios.

Según el aporte de energía: activos o pasivos.

Los sensores que necesitan de una o más fuentes auxiliares de energía para trabajar, se denominan sensores activos.

Por otra parte, los sensores pasivos son aquellos que pueden realizar su acción básica de transducción sin la intervención de una fuente de energía auxiliar; las termocuplas o termopares constituyen un ejemplo, ya que producen una tensión de salida proporcional a la temperatura aplicada.



Según el tipo de señal de salida: analógicos y digitales.

Los sensores analógicos entregan, como salida, una tensión o una corriente continuamente variable, dentro del campo de medida especificado.

Los sensores digitales entregan, como salida, una tensión o una corriente variable en forma de saltos o pasos discretos de manera codificada; es decir, con su valor representado en algún formato de pulsos.

Según la variable física que detectan.

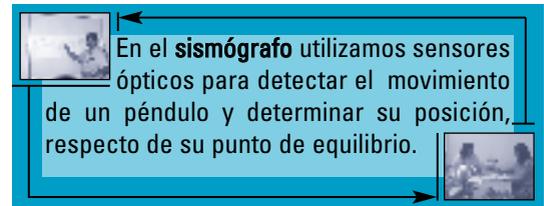
Consideramos, específicamente, los sensores ópticos

Sensores ópticos

Son dispositivos que responden a algún tipo de radiación óptica, incluyendo luz visible, infrarroja, ultravioleta, etc.

Se utilizan, por ejemplo, para detectar proximidad, movimiento, medir temperatura, velocidad, nivel, etc.

Las **fotoceldas** son dispositivos cuya resistencia o tensión de salida varía en respuesta a la cantidad de luz incidente sobre su superficie. En el primer caso, se habla de celdas fotoconductoras y, en el segundo, de celdas fotovoltaicas. Estas últimas ofrecen una mejor linealidad que las primeras y son más rápidas, pero requieren una mayor amplificación.



Estos sensores son dispositivos que pueden abrir o cerrar un circuito eléctrico por la acción de un haz de luz y un elemento fotosensible.

La detección ocurre cuando el haz de luz es interrumpido por el objeto que está siendo sentido.

Estos sensores están constituidos, en general, por dos bloques: un emisor y un receptor.

Como elemento fotosensible, el detector suele utilizar un fotodiodo o un fototransistor, asociado a un sistema óptico para detectar el haz de luz enviado por el transmisor y producir una señal eléctrica equivalente, que indica la presencia o ausencia del objeto.

El emisor y el receptor se colocan enfrenta-

dos y alineados, de forma tal que la luz del primero incide directamente sobre el segundo. La detección se realiza por bloqueo, es decir, cuando el objeto interrumpe el haz de luz.

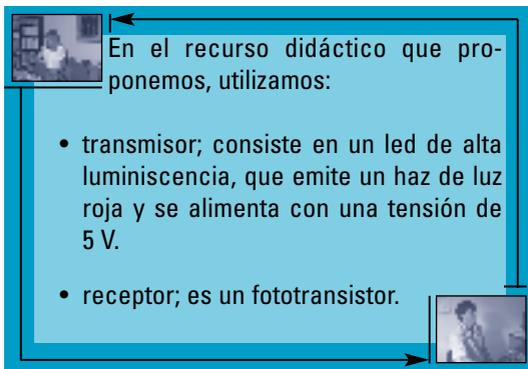
Este método, adecuado para objetos no transparentes, provee el más alto nivel de energía óptica.

Además, estos sensores toleran la contaminación de los lentes por el polvo, humo, etc.

Se utilizan principalmente para la detección de objetos pequeños, en posicionamientos precisos de piezas y en el control de partes. Su principal ventaja es que el emisor y el receptor se conectan en forma independiente.

En el recurso didáctico que proponemos, utilizamos:

- **transmisor**; consiste en un led de alta luminiscencia, que emite un haz de luz roja y se alimenta con una tensión de 5 V.
- **receptor**; es un fototransistor.



En el caso de los receptores infrarrojos, MRI, la disposición de los pines variará de acuerdo al fabricante y es conveniente consultar la hoja de datos. De todas maneras, en todos los casos nos encontramos con tres patas: una que se conecta a V_{CC} , otra a masa y, por último, V_{out} , por la que obtenemos diferentes niveles, si se recibe o no la señal infrarroja.

Señales analógicas y digitales¹⁰

Señales analógicas. Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Éstas pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica.

Varían en forma continua entre un límite inferior y uno superior. Cuando éstos coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está normalizada. La ventaja de trabajar con señales normalizadas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo.

Señales digitales. Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo, transmitiendo información según un código previamente acordado. Cada nivel eléctrico representa uno de dos símbolos: **0** ó **1**.

Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivo utilizado. Por ejemplo, si se emplean componentes de la familia lógica TTL *-transistor-transistor-logic-* los niveles son 0 V y 5 V, aunque cualquier valor por debajo de 0,8 V es correctamente interpretado como un 0 y cualquier valor por encima de 2 V es interpretado como un 1 (los niveles de salida están por debajo de 0,4 V y por encima de 2,4 V, respectivamente). En el caso de la familia CMOS *-complementary metal-oxide-semiconductor-*, los valores dependen de la alimentación. Para alimentación de +5 V, los valores ideales son, también, 0 V y 5 V; pero,

¹⁰Ficha de cátedra de "Electrónica III". Departamento de Electrónica. Universidad Nacional de Mar del Plata -UNMDP-.

se reconoce un **0** hasta 2,25 V y un **1** a partir de 2,75 V.

Estos ejemplos muestran uno de los principales atractivos de las señales digitales: su gran inmunidad al ruido.

Las señales digitales descritas tienen la particularidad de tener sólo dos estados y, por lo tanto, permiten representar, transmitir o almacenar información binaria. Para transmitir más información se requiere mayor cantidad de estados, que pueden lograrse combinando varias señales en paralelo (simultáneas), cada una de las cuales transmite una información binaria.

Si hay n señales binarias, el resultado es que pueden representarse 2^n estados. El conjunto de n señales constituye una palabra. Otra variante es enviar la información por una línea única, en forma secuencial. Si se sabe cuándo comienza y qué longitud tiene una palabra, se puede conocer su estado. El hecho de que una señal digital pueda tener 2^n estados, no nos dice nada respecto de qué significa o cómo se interpreta cada estado. Como veremos a continuación, esta interpretación depende, realmente, del código utilizado.

Habitualmente, los códigos binarios representan números (que, a su vez, representan valores que va asumiendo una variable física o eléctrica), o bien señales de control, de mando o de estado (informando sobre el estado de una operación o proceso). Nos interesa aquí el primer caso, es decir la representación de números.

Aún así, hay diversas correspondencias posi-

bles, entre ellas:

- Código binario natural.
- Código binario complementario.
- Código decimal binario (BCD).
- Códigos bipolares, entre ellos:
 - Código con bit de signo.
 - Código binario desplazado *-offset binary-*.
 - Código de complemento a 2.
- Códigos complementarios.

Conversores

La mayor parte de los fenómenos del mundo real están compuestos por señales analógicas o continuas. A pesar de la gran cantidad de instrumentación analógica existente, en la mayoría de los casos, ésta presenta serias dificultades. Así, la tecnología digital aparece como una solución.

Las señales digitales pueden ser controladas y procesadas por circuitos lógicos simples o por microprocesadores. Las operaciones complejas se realizan más fácilmente utilizando circuitos digitales que analógicos.

Cuando un circuito digital requiere procesar información del mundo real, debe estar dotado de dos tipos de interfases:

- uno para convertir la señal analógica a digital,
- otro para convertir la señal digital a analógica.

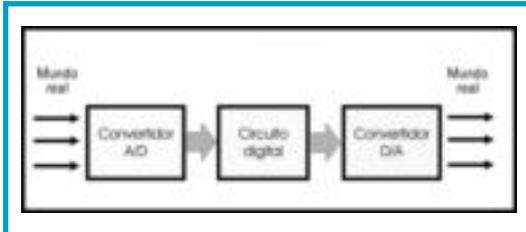
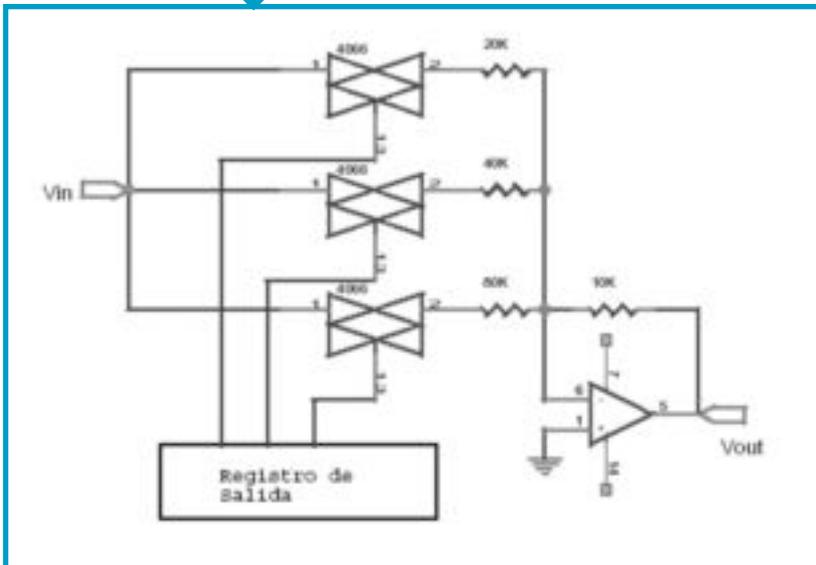


Diagrama en bloques del tratamiento de señales utilizando conversores

Conversores digitales-analógicos (DAC)

La técnica de utilizar una escala binaria de resistencias es uno de los métodos más antiguos y simples para convertir dígitos binarios o bits en una señal analógica.

En el siguiente diagrama se muestra el circuito básico de un DAC de 3 bits. Consta de un sumador análogo con amplificador operacional, un registro de almacenamiento y un juego de interruptores.



El amplificador/sumador posee tantas entradas como bits tiene la palabra binaria que se quiere convertir (en este caso, 3). El registro memoriza la señal digital de entrada, y sus salidas comandan la apertura y cierre de los interruptores analógicos. Un **0** aplicado a la entrada de control de cada interruptor lo abre y un **1**, lo cierra.

Cuando se almacena en el registro de entrada un **000** binario, todos los interruptores analógicos se abren. En estas condiciones, no hay tensión aplicada a la entrada de las resistencias del amplificador/sumador. Por consiguiente, la tensión de salida de éste es 0 V.

Cuando se aplica un **001**, el interruptor S1 se cierra. Esto provoca que se apliquen -10 V a la resistencia R1. Puesto que la entrada (-) del amplificador operacional es una tierra virtual, efectivamente hay -10 V sobre esta resistencia.

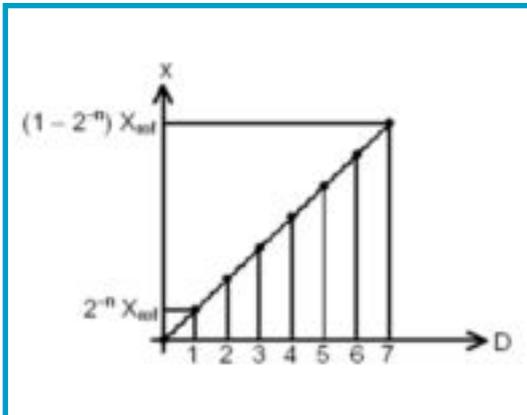
Como resultado, a través de la resistencia de realimentación ($R_f = 10\text{ K}\Omega$) circula una corriente $I = 10\text{ V} / R_f$, es decir, $I = 1\text{ mA}$. Aplicando la Ley de Ohm, la tensión en la resistencia R_f debe ser, por lo tanto, igual a 1 V.

Cuando la palabra binaria de entrada cambia a **010**, se abre el interruptor S2 y se cierra el interruptor S1. Esto causa que

una corriente de 2,5 mA circule por R_2 y R_f . La tensión a través de R_f es, en este caso, igual a 2 V.

Y, así, sucesivamente, distintas palabras binarias darán como resultado diferentes valores de tensión.

Cabe destacar que los valores de resistencias de entrada y salida se seleccionan cuidadosamente, para generar una progresión binaria (16, 8, 4, 2, 1).



Relación entre la entrada digital D y la salida analógica x de un conversor digital-analógico

Este tipo de conversor digital-analógico es muy sencillo; pero, no resulta práctico para palabras binarias de más de cuatro bits, ya que la cantidad de resistencias requeridas para obtener una progresión binaria es enorme.

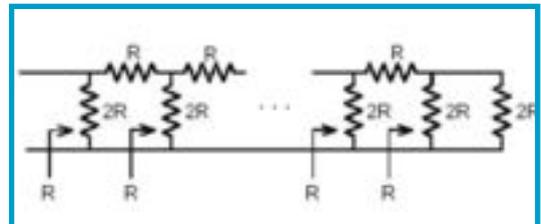
Para solucionar este inconveniente se utiliza una red de resistencias en escalera -ladder- que, además, usa valores normalizados de resistencias.

DAC de red R-2R

Esta configuración de conversor emplea una red de resistencias en escalera, comúnmente conocida como red "R-2R".

Si se conectan en paralelo dos resistencias de valor 2 R, debido a que son iguales, cualquier corriente que circule se dividirá en dos partes iguales. Además, como son iguales, pueden ser reemplazadas por una sola resistencia de valor R.

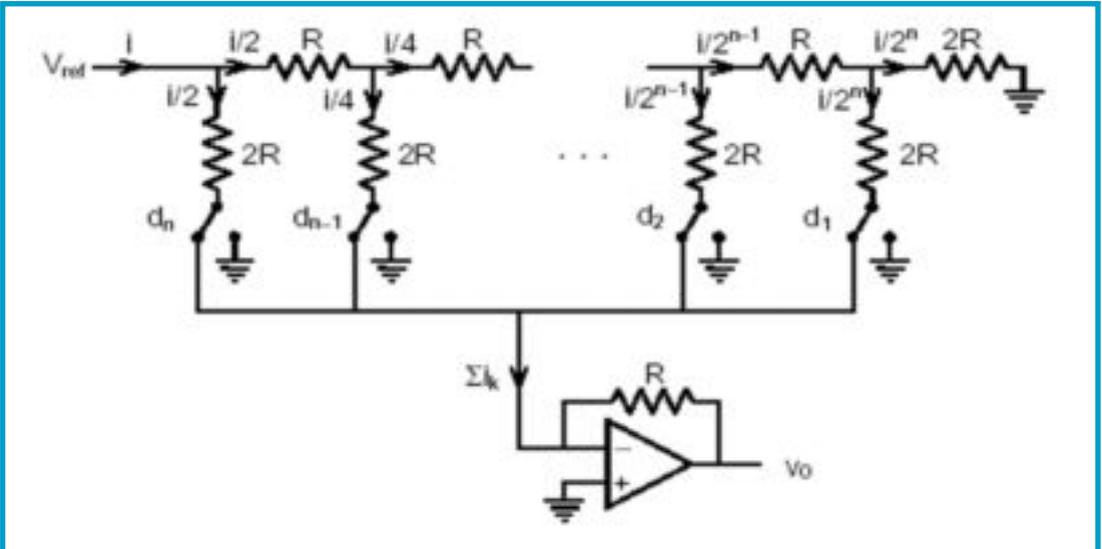
En cambio, en el caso del circuito que se muestra a continuación, las dos resistencias de valor 2 R de la derecha tienen una resistencia equivalente de valor igual a R. Esta resistencia equivalente se encuentra en serie con otra resistencia de valor R. Por lo tanto, las trayectorias 2 y 3 combinadas presentan una resistencia de $R + R = 2 R$, entre el punto B y masa.



Red R-2R

Así, esta red representa la misma situación planteada inicialmente; esto es, dos resistencias a masa, cada una de valor igual a 2 R. Por la razón anterior, cualquier corriente que entre por el nodo de esta red se divide en dos partes iguales y, además, la resistencia que hay entre la entrada y la masa es de valor R.

A continuación se presenta un circuito de un DAC con red R-2R que hace uso del principio explicado anteriormente.



DAC R-2R

La fuente de tensión de referencia (V_{ref}) observa una resistencia de valor R conectada a masa y, por lo tanto, circulará una corriente de entrada $I_{in} = V_{ref} / R$.

Esta corriente se divide en dos partes iguales: una que circula por la primera resistencia de valor $2R$ y otra que se dirige hacia el interior de la red. En la siguiente juntura o nodo de la red sucede lo mismo; es decir, la mitad de la corriente se encamina a tierra por la resistencia $2R$ y lo que resta se interna más en la red. Como resultado, el conjunto de resistencia $2R$ tiene corrientes de valores iguales a $1/2 I_{in}$, $1/4 I_{in}$, $1/8 I_{in}$, etc.

Cada uno de los interruptores conectados a la entrada de la red $R-2R$ simula un bit de las entradas digitales al convertidor. Cuando el bit es 0, el interruptor correspondiente lleva la corriente que circula por la resistencia $2R$ a masa. Cuando este bit vale 1, la enruta a la entrada de suma del amplificador.

Para un convertidor de este tipo de 4 bits, la corriente que entra al punto de suma del amplificador operacional (I_{in}) puede evaluarse analíticamente mediante la siguiente expresión:

$$I_{in} = I_{in} \cdot (1/2 B_3 + 1/4 B_2 + + 1/8 B_1 + 1/16 B_0)$$

Donde:

- B_3, B_2, B_1 y B_0 representan los valores binarios (0 y 1) de la señal digital de entrada.
- $I_{in} = V_{ref} / R$.

La corriente que resulta, para cada palabra binaria, se multiplica por la resistencia de realimentación R_f y se obtiene la tensión de salida del convertidor.

En un DAC de cuatro bits, el registro de almacenamiento se utiliza para memorizar la palabra de digital que se desea convertir y,

además, como excitación de los interruptores electrónicos de alta velocidad que conmutan las corrientes de la red R-2R.

La enorme ventaja de este tipo de convertidor digital-analógico reside en que con sólo dos valores de resistencias (R y 2 R) se organiza todo el proceso de conversión. La simplicidad del circuito permite construir DAC integrados de buena exactitud y bajo costo.

Parámetros de los DAC

Existen varios parámetros que deben tenerse en cuenta al seleccionar un convertidor para una aplicación determinada. Entre ellos, los más importantes son:

- resolución,
- tiempo de estabilización y
- exactitud.

Resolución. Está dada por el número de niveles de tensión que este dispositivo es capaz de generar. Este parámetro está directamente relacionado con el número de bits de entrada (n) que conforman la palabra binaria. El número de niveles que puede generar se calcula como 2^n . Así, un convertidor de cuatro bits tiene una resolución de 4 y puede generar 16 niveles de tensión a la salida.

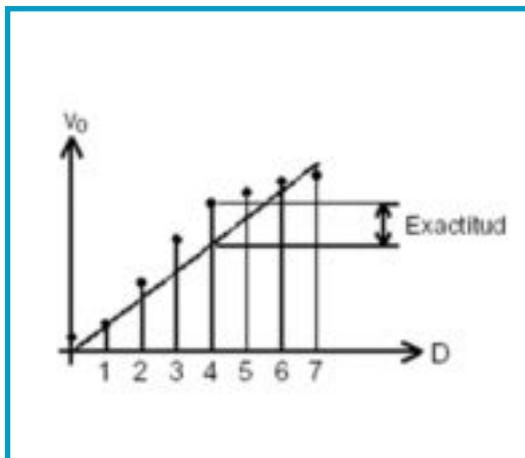
Tiempo de estabilización. Describe el tiempo requerido por la señal analógica para estabilizarse, después de que la palabra binaria aparece en la entrada. Generalmente, se especifica como el tiempo que toma la salida para estabilizarse dentro de un rango igual al

valor correspondiente a $\frac{1}{2}$ LSB (bit menos significativo) del cambio en la palabra de entrada.

Por ejemplo, si un DAC de 8 bits tiene un rango entre 0 y 10 V, el valor que corresponde al LSB es igual a $10 \text{ V}/2^8 = 39 \text{ mV}$. La mitad de este valor es 19,5 mV. El tiempo de estabilización es el requerido para que la salida alcance 19,5 mV del valor esperado. Típicamente, el tiempo de estabilización es del orden de 10 μs .

Exactitud. Se define como la variación desde la mitad hasta 2 veces el valor de un LSB. Por ejemplo, para un DAC con una exactitud de ± 1 LSB, la tensión analógica de salida puede variar tanto como el valor equivalente a un bit.

Así, a menor valor de exactitud, la salida analógica se reflejará más fielmente a la que se espera.

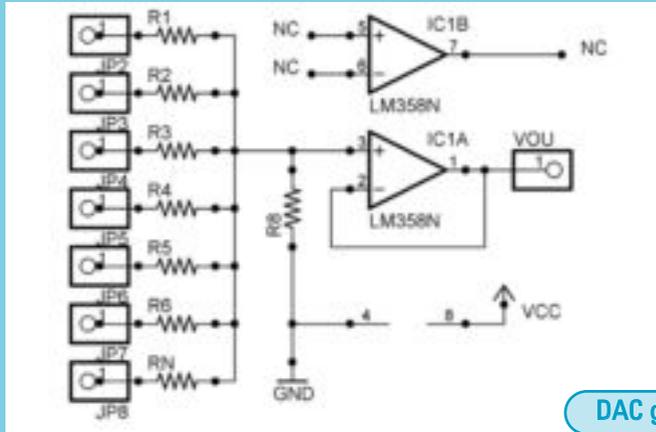


Exactitud DAC

Consideremos el convertor digital-analógico (DAC) utilizado en nuestro sismógrafo.

Basado en el convertor R-2R, se puede utilizar un amplificador operacional como sumador para obtener, a la salida, tensiones proporcionales a las señales ingresadas por su pata inversora:

$$V_o = - (R_1/ R_f \cdot V_1 + R_2/ R_f \cdot V_2 + \dots + R_n/ R_f \cdot V_n)$$



La señal de salida estará invertida 180° con respecto a la entrada, por utilizar la entrada inversora.

Si queremos obtener la salida en fase con la entrada, debemos agregar un amplificador operacional inversor a la salida.

Convertidores analógicos-digitales (ADC)

Un ADC convierte una señal analógica en palabras digitales. Cada palabra digital resultante representa el valor del nivel analógico existente en el momento de la conversión.

La forma más eficiente para que un circuito digital pueda "ver" lo que ocurre en el mundo real es a través de la toma de sucesivas muestras a lo largo del tiempo. Si un circuito digital se dedica, exclusivamente, a tomar muestras de las señales externas, no deja espacio para otro tipo de operaciones.

Un convertor ADC requiere de un tiempo finito para realizar una conversión. Por ejemplo, si un ADV hace una conversión de un nivel analógico a una palabra digital en 1 ms, la máxima velocidad con que podrá muestrear es de 1.000 conversiones por segundo.

Para digitalizar fielmente una señal analógica se requiere que la frecuencia de muestreo sea al menos dos veces la frecuencia de la señal analógica de entrada. Por ejemplo, si se quiere convertir a señal digital, una analógica de 60 Hz, a una frecuencia de al menos 120 Hz. Esta frecuencia de muestreo, igual al

doble de la frecuencia de la señal original, se denomina *frecuencia de Nyquist*.

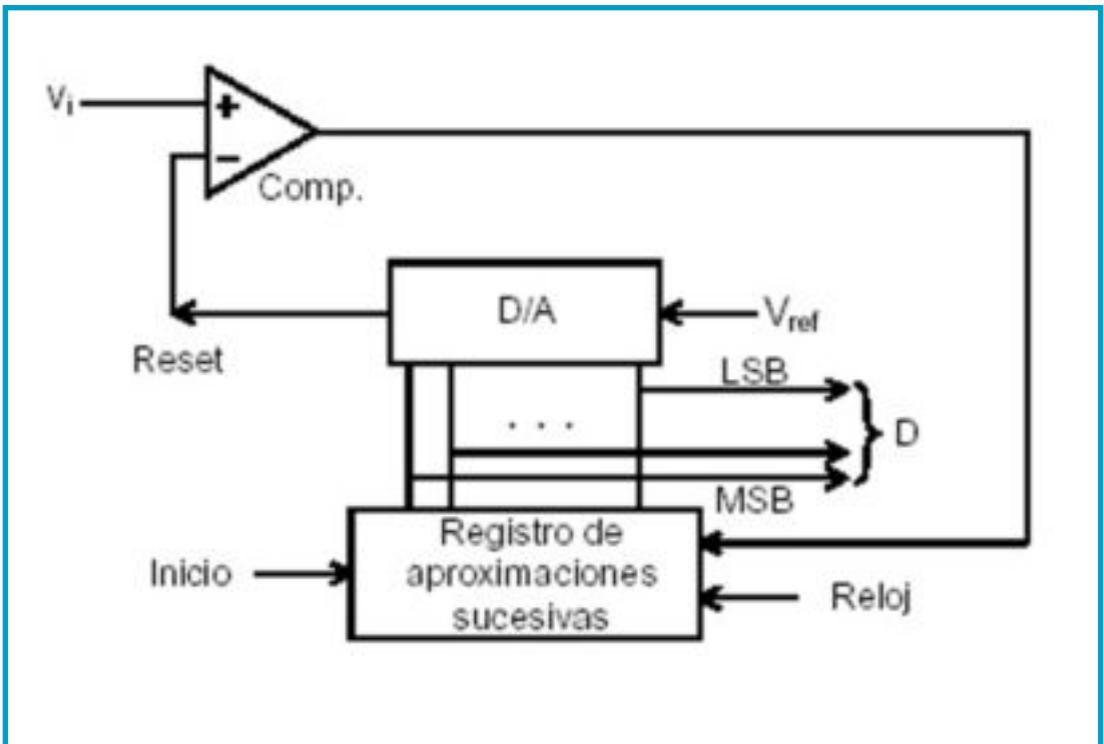
A mayor cantidad de muestras por unidad de tiempo, mejor será luego la reconstrucción de la señal.

La relación entre la frecuencia de entrada, la frecuencia de muestreo y el tiempo de conversión es muy importante durante la etapa de selección de un convertor A/D para una aplicación determinada.

Existen varios tipos de ADC y entre ellos podemos mencionar:

- convertor tipo flash,
- convertor de rampa,
- convertor de doble rampa,
- convertor de aproximaciones sucesivas (el nuestro es de este tipo).

Convertor de aproximaciones sucesivas. En la siguiente figura se muestra la estructura de un convertor analógico-digital de aproximaciones sucesivas; es uno de los más utilizados en la actualidad, pues permite una considerable velocidad de conversión y resolución alta, a un bajo costo.



ADC de aproximaciones sucesivas

Al dar una señal de inicio de la conversión, el registro aplica un **1** en el MSB (bit n) del DAC y **0** en el resto de los bits. La salida del convertidor ante dicho código (**1000...0**) se ubica en la mitad de la escala ($V_{ref} / 2$).

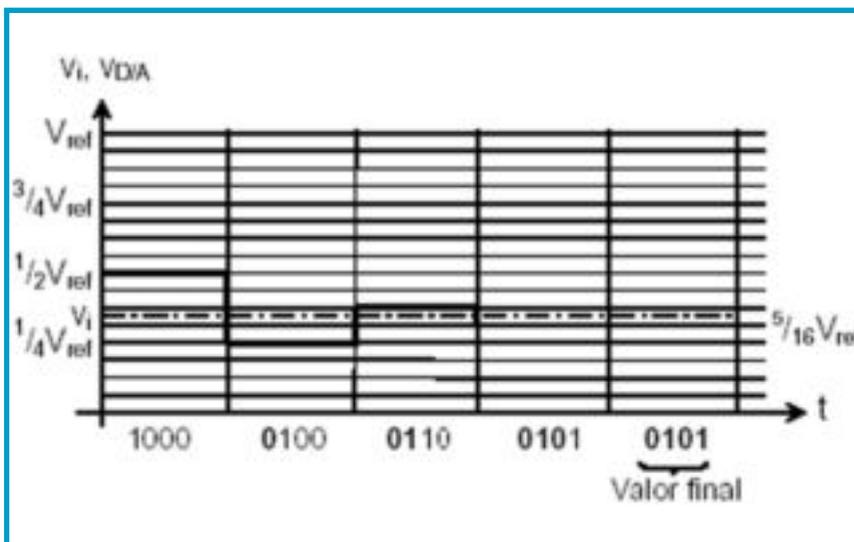
- Si $V_i \geq V_{ref} / 2$, el MSB queda fijado definitivamente en **1**.
- Si, por el contrario, $V_i < V_{ref} / 2$, el MSB vuelve a **0**.

En el paso siguiente, con independencia del valor fijado previamente para el MSB (bit n), el bit n - 1 es llevado a **1**. Nuevamente, si V_i supera el valor que ante ese código (**x100...0**) genera el convertidor, el **1** se conserva; de lo contrario, vuelve a **0**. En el tercer paso se procede de igual manera: se lleva el bit n - 2 a **1** y se compara la entrada con la salida del convertidor ante ese código (**xx10...0**) y, según el resultado, se conserva el **1** o se lo lleva a **0**. El proceso continúa hasta que se llega al LSB (bit **1**). Una vez decidido el valor de éste, queda concluida la

conversión.

Con este tipo de convertidor, el tiempo de conversión es de n ciclos de reloj, en lugar de 2 n (o aún mayor) como en los otros casos. Además de la velocidad, resulta importante el hecho de que en k ciclos de reloj ($k = n$) quedan garantizados los k bits más significativos, lo cual permite utilizar un mismo convertidor con mayor velocidad, si no se requiere la máxima resolución.

Es importante observar que, a diferencia del convertidor de balance continuo o el flash, en este caso se requiere que la entrada se mantenga rigurosamente constante; de lo contrario, podrían producirse errores muy groseros. En efecto, una vez que los bits más significativos han quedado fijados, ya no es posible cambiarlos hasta la próxima conversión, por lo cual el proceso continúa buscando la mejor aproximación que sea posible con los restantes bits. Por esta razón se requiere un *sample and hold* a la entrada.



Ejemplo del proceso de acercamiento al valor final en un convertidor analógico-digital de aproximaciones sucesivas de 4 bits. Los dígitos en negrita representan los que en cada etapa han quedado estabilizados

Se denomina **tiempo de conversión** al requerido por un conversor analógico-digital para efectuar una conversión completa.

Por otra parte, la **frecuencia de conversión** es la cantidad de conversiones por segundo que es capaz de efectuar un conversor; no necesariamente coincide con el recíproco del tiempo de conversión, ya que podría haber algunas operaciones complementarias que ocupan tiempo después de terminada la conversión propiamente dicha.

Parámetros de los ADC

Igual que en el caso de los conversores digital-analógicos, existen algunas especificaciones para estos conversores ADC; entre ellas:

Resolución. Es la cantidad de bits que entrega a su salida luego de completada la conversión. También puede expresarse como el porcentaje o partes por millón (ppm) que representa cada LSB en el rango total de entrada. Por ejemplo, un conversor de 12 bits tiene una resolución de $1/2^{12} \cdot 100 = 0,0244\%$ o de 244 ppm.

Error de cuantización. Es la máxima desviación de un conversor analógico-digital ideal con respecto a una transferencia perfectamente lineal, expresada en LSB. El error puede ser de $\pm 0,5$ LSB ó $+0 / -1$ LSB, según cuál sea el punto de conmutación. En

algunos casos se procede por truncamiento y en otros por redondeo. La desviación máxima se alcanza apenas antes de conmutar al nivel siguiente.

Error de offset. Es el valor de tensión que debe aplicarse a la entrada para tener una salida digital nula. Se debe al *offset* del comparador y se expresa en mV o en LSB nominales.

Error de cero. Es la diferencia entre el valor obtenido realmente con entrada **0** y el valor ideal (**00...0** ó **10...0** en el caso bipolar). Se expresa en LSB. Esta especificación es, en lo esencial, equivalente al error de *offset*. Consideremos, por ejemplo, un conversor de 10 bits cuya V_{ref} es 10 V y cuyo error de *offset* es 5 mV. Un LSB corresponde a:

$$\begin{aligned} 1 \text{ LSB} &= 10 \text{ V} / 2^{10} \\ 1 \text{ LSB} &= 9,76 \text{ mV} \end{aligned}$$

El error de cero resulta:

$$\begin{aligned} E_{\text{cero}} &= 5 / 9,76 \\ E_{\text{cero}} &= 0,512 \text{ LSB} \end{aligned}$$

Error de no linealidad. Es la máxima diferencia entre los códigos obtenidos realmente y los correspondientes a la recta que mejor aproxima al conversor ensayado. Esta definición implica haber eliminado previamente el error de escala, el de *offset* y el de cuantificación. En algunos casos, se toma la recta que pasa por el punto medio de los LSB extremos en lugar de la mejor aproximación.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento de un sismógrafo

El producto

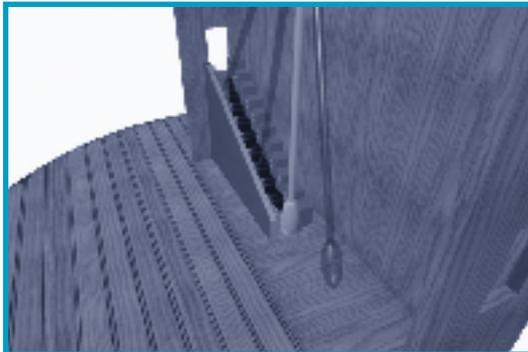
Vamos a proponerle el diseño y la construcción de un sismógrafo. Para esto, tomamos decisiones respecto a:

1. Sensado.
2. Interfases.
3. Registro de datos.

Tal como hiciera Richter, nos basaremos en la medición de un solo tipo de ondas.

1. Sensado

Para el sensado utilizamos un péndulo de 40 cm de longitud, que oscila en una sola dimensión. Según la magnitud del movimiento, es la amplitud de la oscilación del péndulo. De esta forma, teniendo información sobre la posición del péndulo, podemos calcular la magnitud del sismo.



Además, tomamos para el máximo de la escala de Richter, un desplazamiento de 30°; es decir, un desplazamiento de 20 cm en su componente horizontal.

Decidimos construir un sismógrafo que mida un solo tipo de ondas, porque esto permite una mejor comprensión de los procesos que tienen lugar en la medición de un sismo.

Además, esto vuelve más compleja la resolución del problema del sensado del movimiento, ya que ésta debe adaptarse a los componentes disponibles en el mercado.

Por otra parte, deja espacio para que los estudiantes planteen otras soluciones que permitan sensar el movimiento en sus tres dimensiones espaciales.

Como al plantear un problema, éste debe ser significativo para el estudiante y resultarle atractivo, las dificultades se deben dar progresivamente, adaptándose a los recursos materiales y a las herramientas con que se cuenta.

Por supuesto, las posibles soluciones dependerán del ingenio, de la creatividad de los alumnos y de los conocimientos que vayan integrando durante el proceso de resolución.

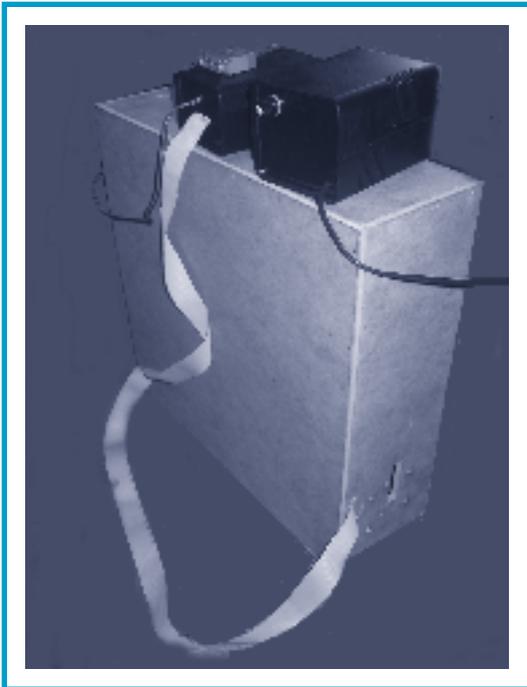
2. Interfases

Para poder tratar correctamente la información, se utilizan dos interfases: un conversor digital-analógico y uno analógico-digital.

Utilizamos el conversor ADC de aproximación sucesiva porque, al trabajar con 8 bits, tenemos 256 combinaciones posibles que, en nuestro caso, son divididas en 21 escalones; así, este conversor es el más apropiado para dividir las combinaciones de esa forma, realizando automáticamente la aproximación al valor más cercano.

3. Registro de datos

Finalmente, la información es registrada en la computadora, utilizando un software especialmente desarrollado para este equipo.



En el diseño y en la construcción de este equipo intervinieron Mariano Barragán, Ariel Núñez y Matías Scuppa, alumnos de la Escuela de Educación Técnica N° 3 de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires.

El desarrollo del software fue realizado por los ingenieros Diego Iñigo y Diego Gentile.

Los diseños y gráficos fueron hechos por Pablo Díaz.

Los componentes

Este sismógrafo consta de cinco partes:

PARTES DEL SISMÓGRAFO

1. Fuente

2. Caja con péndulo y sensores (sismómetro)

3. Conversor digital-analógico (DAC)

4. Conversor analógico-digital (ADC)

5. Software (registro digital en la computadora)

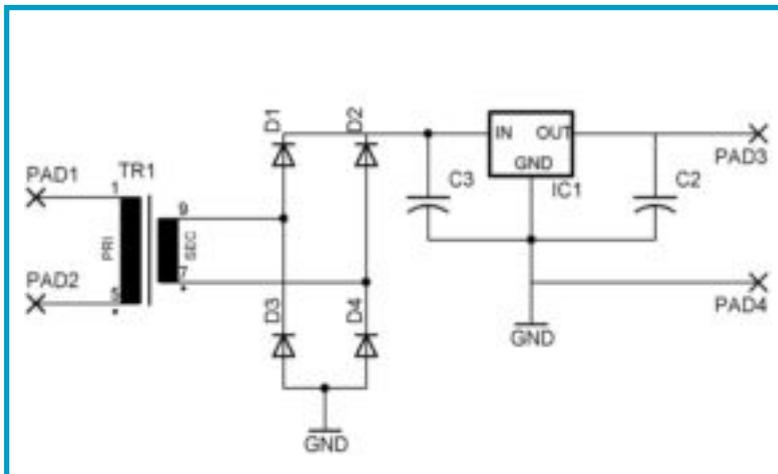
1. Fuente

Tanto los sensores como los conversores necesitan alimentación. Para ello, utilizamos una fuente de 5 V - 1,5 A, con un regulador LM 7805, que fija la tensión de salida a 5 V para alimentar los sensores, más otra salida variable con un regulador LM317 ajustada a 6,4 V, más otra salida con un LM7812 ajustada a 5,6 V.

Los circuitos digitales trabajan con tensión continua $V_{cc} = 5$ V; los otros dos superan los 5 volt debido al consumo que provocan algunos componentes (como el LM358 y las resistencias).

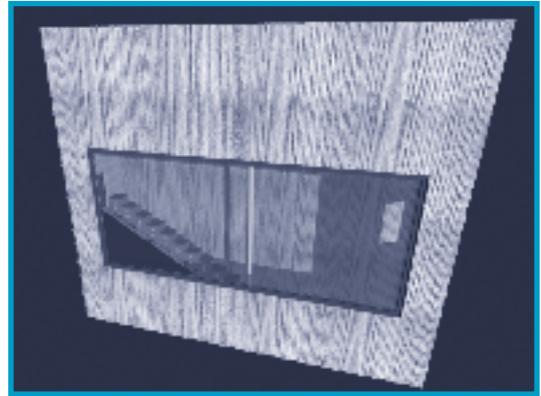
Cabe destacar que la fuente es de 1,5 A porque alimenta todos los led de alta luminiscencia, los fototransistores y, además, el convertor digital-analógico; el analógico-digital recibe alimentación desde la computadora.

Éste es el circuito utilizado:



Esquemático del circuito de la fuente

2. Sismómetro



Consta de una caja, en la cual se montan el péndulo, los transmisores (led de alta luminiscencia) y los receptores (fototransistores), para sensar la posición del péndulo.

Los receptores están ubicados en escala logarítmica. Cada dos receptores se abarca una década, de forma tal que, con los 20 receptores se barre la escala de Richter completa (0 a 12). Además, están conectados a la entrada del convertor digital-analógico (DAC).

Cuando el péndulo está en equilibrio, no corta ninguna barrera; por lo tanto, el DAC recibe un 0.

Cuando ocurre un sismo, el péndulo comienza a oscilar e interfiere la señal de 20 barreras ópticas, que están en continuo funcionamiento (desde que se prende la fuente).

Cabe aclarar que sólo

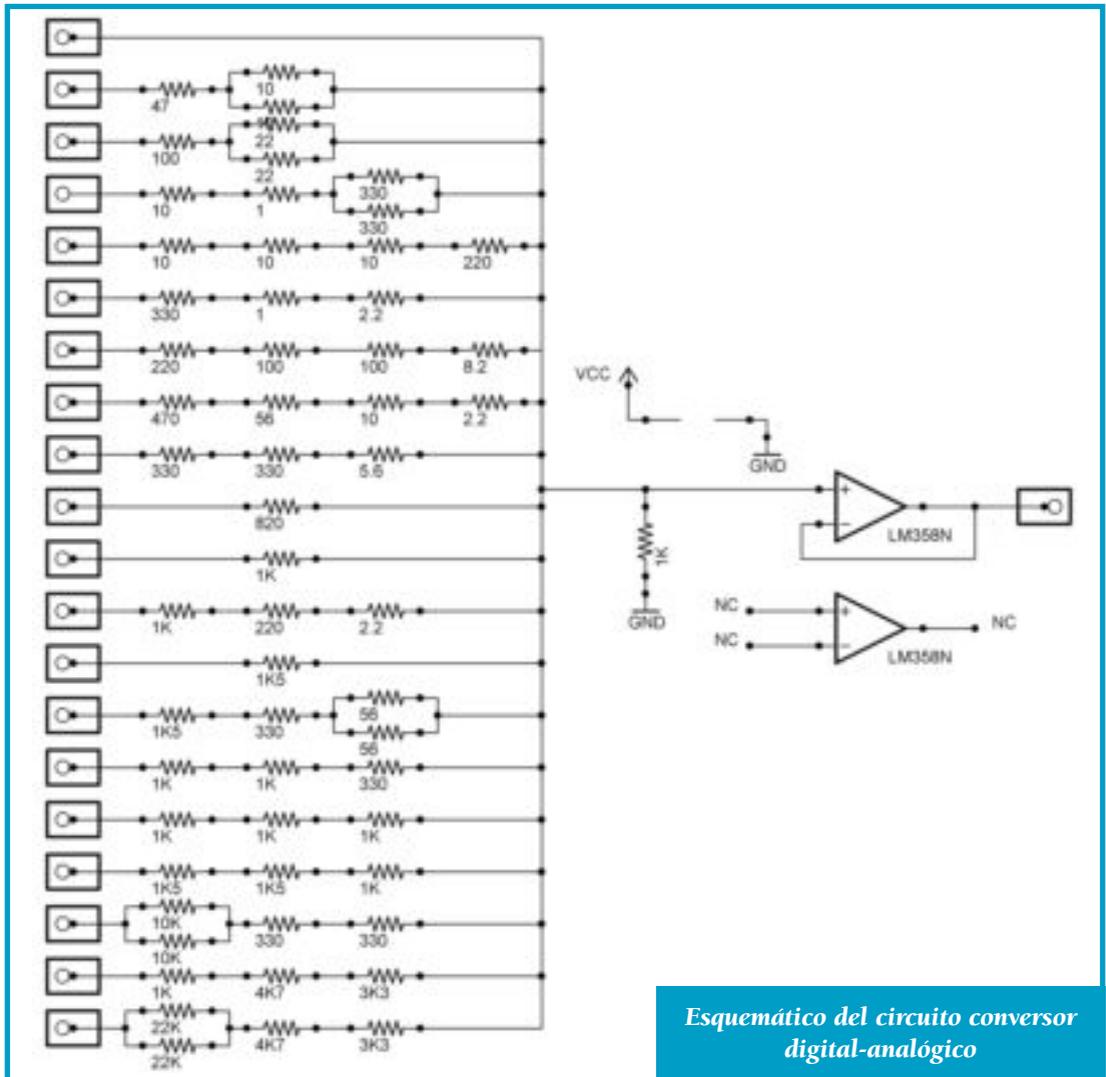
utilizamos una mitad de la oscilación del péndulo, debido a que el convertor no trabaja con valores negativos.

3. Conversor digital-analógico (DAC)

En la entrada, el convertor está recibiendo 20 bits (uno por cada receptor infrarrojo).

Como ya explicáramos, mientras recibe luz del transmisor, el fototransistor envía 0 V al DAC y éste entrega 0 V a la salida. Cuando el péndulo interfiere la luz de un receptor, éste envía una tensión de 5 V al convertor digital-analógico.

De acuerdo con la posición del receptor, el convertor entrega una tensión proporcional a la salida.

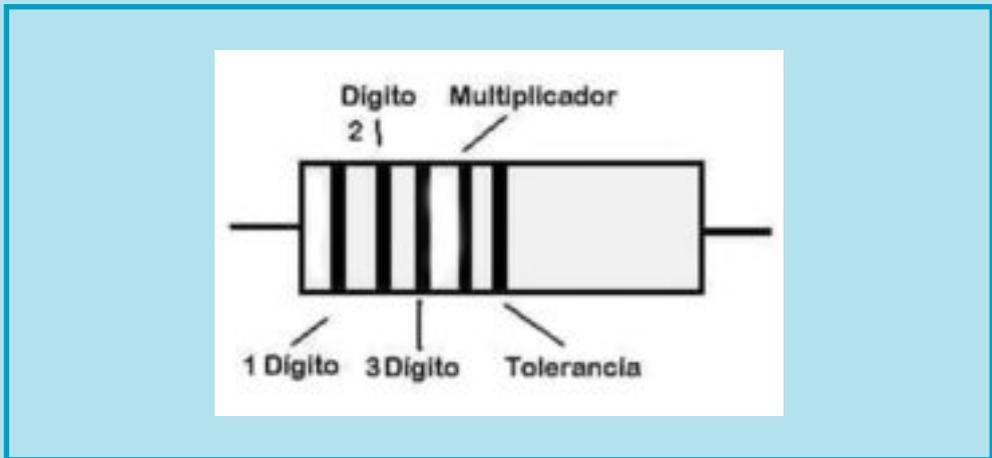


Esquemático del circuito convertor digital-analógico

Utilizamos resistencias de precisión para obtener una salida del DAC más precisa y darle, así, mayor exactitud al conjunto.

Resistencias de precisión. Se caracterizan por tener cinco bandas en lugar de cuatro. Las aplicaciones más comunes de estos componentes son los instrumentos de medición -como es nuestro caso-, máquinas-herramientas y electromedicina, entre otras.

Las bandas se distribuyen de la siguiente manera:



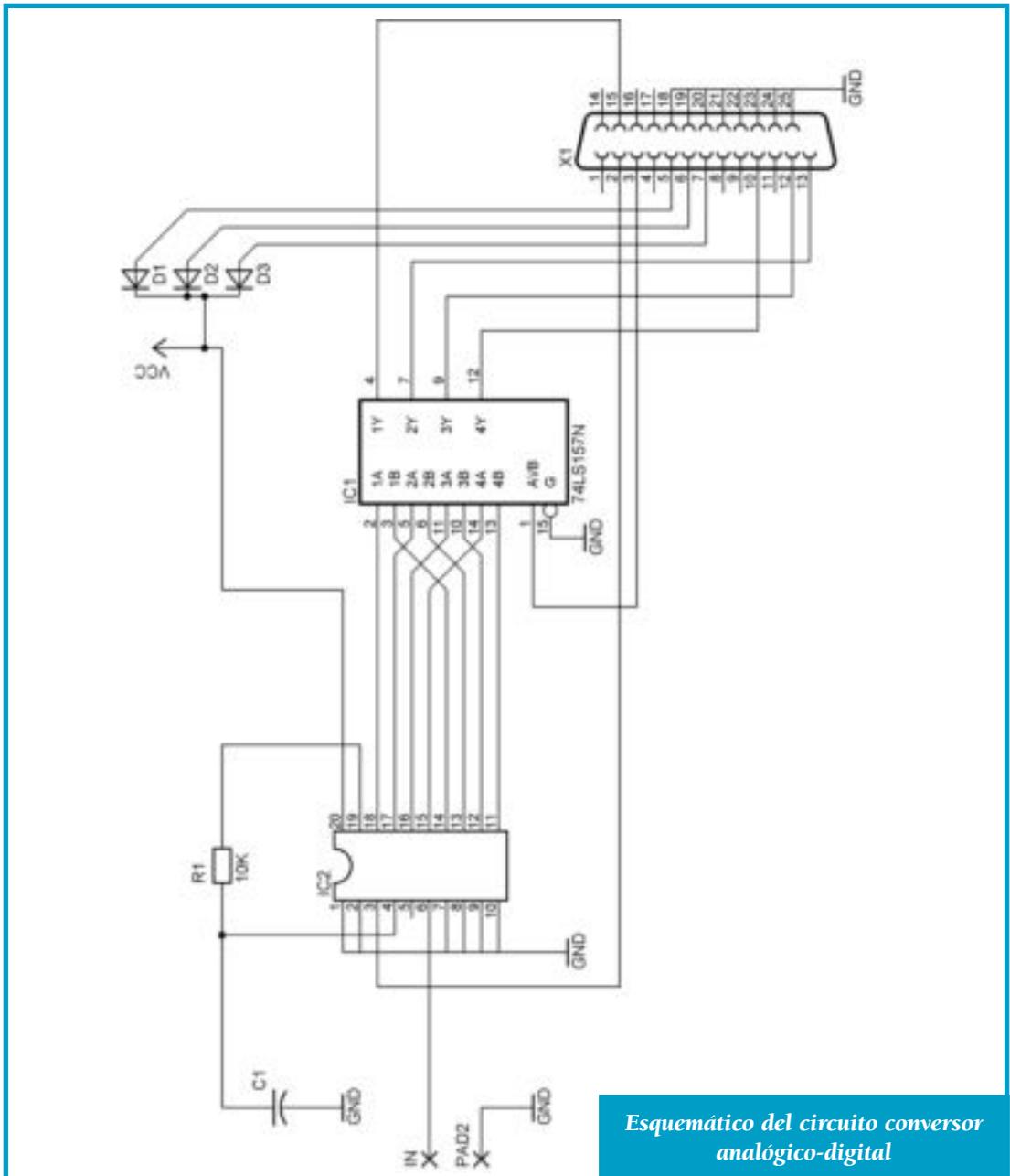
Los valores asignados a cada banda corresponden según la siguiente tabla:

Color	1 Dígito	2 Dígito	3 Dígito	Multiplicador	Tolerancia
Plata	-	-	-	0,01	-
Oro	-	-	-	0,1	-
Negro	-	0	0	-	-
Marrón	1	1	1	0	1 %
Rojo	2	2	2	00	2 %
Naranja	3	3	3	000	-
Amarillo	4	4	4	0000	-
Verde	5	5	5	00000	5 %
Azul	6	6	6	000000	-
Violeta	7	7	7	0000000	-
Gris	8	8	8	-	-
Blanco	9	9	9	-	-

4. Conversor analógico-digital (ADC)

El DAC se conecta a un conversor analógico-digital (ADC). Éste utiliza un integrado

ADC0804; tiene una salida de 8 bits y un tiempo de conversión de 100 μ s.



Esquemático del circuito conversor analógico-digital

Utilizamos este integrado porque sus características le permiten interconectarse con microprocesadores, directamente. Así, ingresamos a la computadora a través del puerto paralelo.

El ADC opera con DC de +5 V y puede digitalizar tensiones análogas entre 0 y 5 V; se alimenta a través del puerto paralelo. Para ello, se envía un **1** a los pines 5, 6 y 7, mediante el programa.

La función de este circuito es codificar o convertir a digital la señal que recibe del DAC. La tensión de referencia es igual a 5,12 V. Dado que la resolución del ADC0804 es de 8 bits, por cada 0,02 V de incremento de tensión en las entradas analógicas, la cuenta binaria se incrementa en **1**.

El ADC tiene cuatro salidas; por lo tanto, de las cinco entradas del puerto paralelo, utilizamos cuatro. Para ingresar una palabra de ocho bits, debemos multiplexar los datos; es decir, dejar pasar los primeros cuatro bits (MSB) y, luego, los otros cuatro (LSB).

¿Por qué multiplexamos? Porque, para tener 20 niveles diferentes necesitamos 5 bits ($2^5 = 32$ combinaciones) y las cuatro salidas del ADC no son suficientes. Así, utilizamos un multiplexor 74157LS.

5. Registro de datos en la computadora

Con el objetivo de facilitar el trabajo, en el CD anexo a este material de capacitación adjuntamos un programa, especialmente di-

señado para este sismógrafo. En él va a encontrar un manual de usuario que le presenta la operatoria de uso.

Para activar el conversor necesitamos enviar un pulso de 1 ms, por el pin 3 del puerto paralelo. Se continúa enviando un tren de pulsos porque, de lo contrario, habría que enviar un pulso para leer cada dato.

Luego, mediante el pin 2, el multiplexor selecciona el nibble (4 bits) que se va a leer: si es un **0**, selecciona el nibble LSB y si es un **1**, el nibble MSB.

Por último, al pulsar *Detener* en el programa, se debe cortar el tren de pulsos del pin 3. Los datos ingresan por los pines 10, 12, 13 y 15 del puerto paralelo.

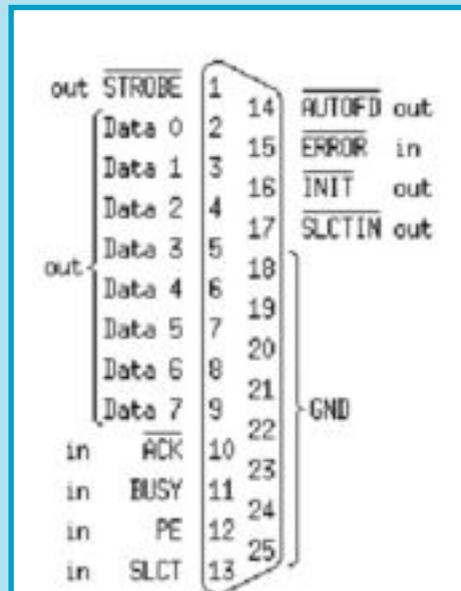


Diagrama de los pines del puerto paralelo

Así, este software recibe, a través del puerto paralelo, la información digitalizada sobre la posición del péndulo. Ésta se incorpora a una tabla que guarda los datos sobre la posición y el tiempo.

El sistema que estamos presentando está desarrollado para tomar e interpretar las lecturas que el dispositivo envía a la PC, a través del puerto paralelo.

Está destinado, específicamente, para que los profesores y alumnos que utilicen el sismógrafo puedan interpretar los movimientos que captura el dispositivo.

Este sistema tiene por objeto obtener las lecturas de los sensores, interpretarlos y, luego, plasmar estos resultados a través de planillas *Excel* y gráficos.

Básicamente, permite:

1. Leer los sensores, que son activados por el movimiento.
2. Graficar en base a los datos obtenidos (sensor / tiempo).
3. Setear los diferentes parámetros -tiempos de lectura, tipo de sensores, entre otros-.

El manual incluido en el CD va a ayudarlo a comprender los aspectos más relevantes del sistema, explicándole los pasos a seguir y su funcionalidad.

Así, intentamos proporcionarle la información básica y necesaria para la operatoria del programa, y para responder a las dudas más frecuentes.

Los materiales, herramientas e instrumentos

En el sismógrafo que proponemos, utilizamos:

Para la fuente:

- TR₁: 1 transformador de 220 V / 10 V - 1,5 A.
- C₂: 1 capacitor cerámico de 10 μ F.
- C₃: 1 capacitor 4700 μ F.
- D₁, D₂, D₃ y D₄: 1 puente de diodos.
- IC₁: 1 circuito integrado LM 7805.
- IC₂: 1 circuito integrado LM 317.
- IC₃: 1 circuito integrado LM 7812.
- 1 Preset de 4K Ω .
- 1 Preset de 1k Ω .
- 1 potenciómetro de 10 K Ω .
- 1 led.
- 1 fusible.
- 3 disipadores para los circuitos integrados.

Para el sismómetro:

- 1 placa de fibrofácil de 9 mm de espesor.
- 2 rectángulos de acrílico negro de 23 cm x 15 cm y 2 mm de espesor.
- 1 eje de acero \varnothing : 2 mm.
- 2 bujes de bronce.
- 1 varilla de 30 cm de longitud.
- 1 masa de plomo (del tipo plomada de pesca).
- 20 foto transmisores (led) de alta luminiscencia.
- 20 fotorreceptores (fototransistores).
- 20 resistencias de 330 Ω .

- Cable bifilar.

Para el DAC:

- 1 circuito integrado LM 358.
- Resistencias de alta precisión (todas de $\frac{1}{4}$ watt):
 - 1 K Ω : R₁, R₂, R₁₀, R₂₀, R₂₁, R₂₅, R₃₈, R₃₉, R₄₀.
 - 47 Ω : R₃, R₇, R₉.
 - 1K2: R₄, R₆, R₈, R₁₆.
 - 15 K Ω : R₅.
 - 330 Ω : R₁₁.
 - 1K8: R₁₂, R₁₈, R₃₀.
 - 6K8: R₁₃.
 - 1K5: R₁₄, R₂₄.
 - 33 Ω : R₁₅.
 - 470 Ω : R₁₇.
 - 18 Ω : R₁₉.
 - 22 Ω : R₂₂.
 - 2K2: R₂₃, R₂₉.
 - 22 K Ω : R₂₆.
 - 3K3: R₂₇, R₂₈, R₃₃, R₃₄.
 - 10 K Ω : R₃₁, R₃₂, R₃₅, R₃₆, R₃₇.

Para el ADC:

- IC₁: 1 circuito integrado 74157LS.
- IC₂: 1 circuito integrado ADC 0804.
- C₁: 1 capacitor de 150 pF
- R₁: 1 resistencia de 10 K Ω .
- D₁, D₂, D₃: 3 diodos N60.
- 1 ficha DB25.

Para el amplificador y fijador del nivel de continua:

- 20 transistores BC548.
- 20 diodos 1N4001.
- 20 resistencias de 10 K Ω .
- 20 resistencias de 100 Ω .

Otros insumos:

- 1 plaqueta doble faz de 32 mm x 36 mm.
- 1 plaqueta de 50 mm x 50 mm.
- 1 plaqueta de 45 mm x 105 mm.
- 2 gabinetes.
- 1 portaled.
- 1 portafusible.
- Tiraspuestos (80).
- 2 m de cable plano de 25 hilos.
- Cable bipolar.
- 1 enchufe.
- 1 m de termocontraible.
- 1 frasco de percloruro férrico.
- Estaño.
- Masilla de dos componentes.
- Cemento de contacto.
- Cianocrilato.
- 8 tornillos de 1".

Para el oscilador (en caso de ser necesario):

- IC1: 1 circuito integrado 555.
- TR: 1 transistor 2N2222.
- C1: 1 capacitor electrolítico de 1 μ F
- C2: 1 capacitor cerámico de 10 nF
- R1: 10 Ω - $\frac{1}{2}$ watt.
- R2: 10 K Ω .
- Ra: 100 Ω .
- Rb: 100 Ω .

- Rc: 47 Ω .
- Rd: 47 Ω .

Vamos a necesitar estos instrumentos y herramientas:

- Sierra.
- Caladora.
- Agujereadora.
- Soldador.
- Desoldador eléctrico.
- Fibrón indeleble.
- Pinzas.
- Alicates.
- Cutter o trincheta.
- Destornillador.
- Lima.
- Virulana.
- Téster.
- Osciloscopio.

La construcción y el armado

El proceso de construcción y armado consta de 4 etapas, más el registro de datos en la computadora:

1. Fuente (alimentación).
2. Caja con péndulo y sensores (sensado).
3. Conversor digital-analógico, DAC (interfase).
4. Conversor analógico-digital, ADC (interfase).
5. Registro de datos (computadora).

Es conveniente recordar a los estudiantes ciertas precauciones, durante el trabajo con circuitos digitales. Por ejemplo:

- Nunca se debe sobrepasar la tensión de alimentación de los rangos indicados.
- Nunca se deben superar los niveles TTL (0 a 5 V) en las entradas TTL.
- Es necesario tener especial cuidado al conectar la alimentación al módulo. Una alimentación inversa lo dañará.
- Para conectar o desconectar la interfase con el puerto paralelo de la PC, ambos equipos (interfase y PC) deben estar apagados; de lo contrario, alguno de los elementos puede resultar dañado.

1. Fuente

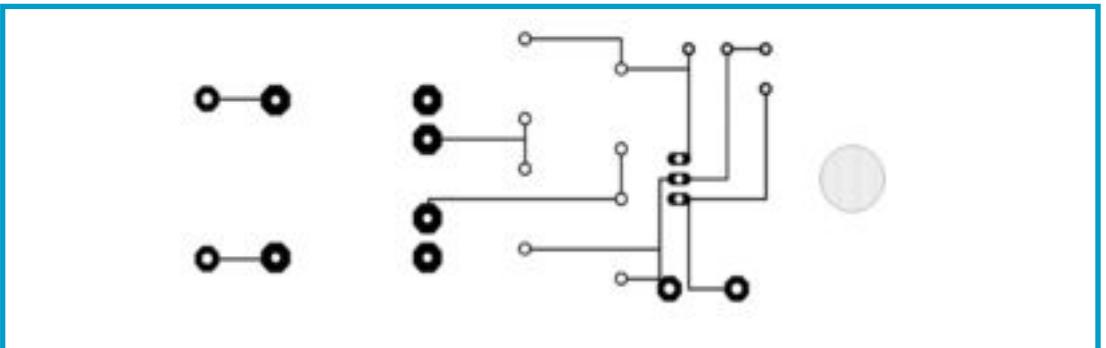
Como ya adelantáramos, la fuente de alimentación proviene de una fuente regulada de 220 alterna a 5 V de tensión continua y 1,5 A, que excede el consumo previsto.

Existen fuentes comerciales; pero también resulta interesante su diseño y construcción, para que los estudiantes puedan realizarla y tener, así, nuevas oportunidades de aprendizaje.

Esta fuente consta de un transformador de tensión, un puente de diodos y un capacitor de filtrado, que dan una tensión continua no regulada. Además, utilizamos un circuito integrado LM 7805 que regula la tensión de salida a 5 V, un LM317 que regula la tensión de 1,2 a 14 volt y un regulador LM7812 que regula la tensión a 12 volt.



La placa es un circuito simple faz. Se presenta el diagrama del circuito:



Placa fuente; lado soldadura

A continuación, se dibuja el circuito impreso en papel con un fibrón indeleble y, después, se traslada a la plaqueta.

Luego, se coloca la plaqueta en el percloruro férrico, durante el tiempo necesario para que el circuito quede perfectamente definido.

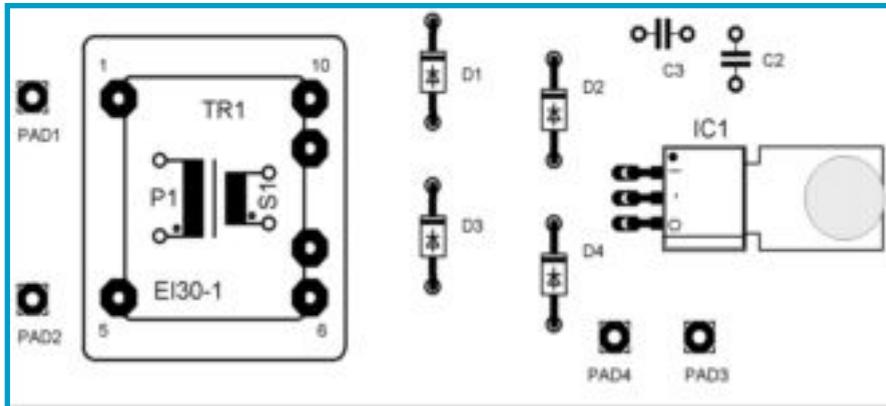


Utilizando como referencia los centros indicados, realizamos los agujeros correspondientes con una mecha de 1 mm de diámetro.

A continuación, se colocan y se sueldan los componentes, como se indica en el diagrama:

salvaguardar el sistema. También se colocan disipadores a los circuitos integrados.

Una vez completada la soldadura de los componentes en la plaqueta, se procede a probar la fuente:



Esquema de la placa de la fuente

- Se mide la tensión de salida con un voltímetro; la tensión debe ser de 5 V.
- En caso de no funcionar correctamente, se apaga de inmediato y se revisa el circuito.

Se debe tener cuidado con la conexión del capacitor electrolítico, ya que éste es polarizado.

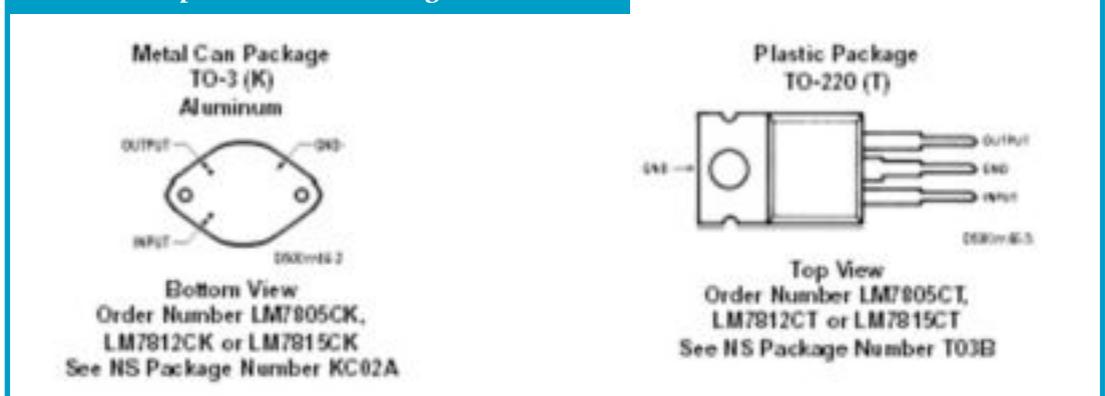
Por otra parte, hay que tener en cuenta la conexión de pines tanto del circuito integrado como del puente de diodos.

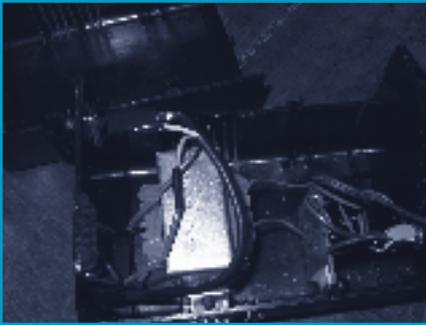
Contamos con un fusible de protección, para

Para finalizar, se realiza el montaje de todos los componentes de la fuente en el gabinete:

- plaqueta,
- transformador,
- portafusible y fusible,
- interruptor,
- portaled, led y
- enchufe.

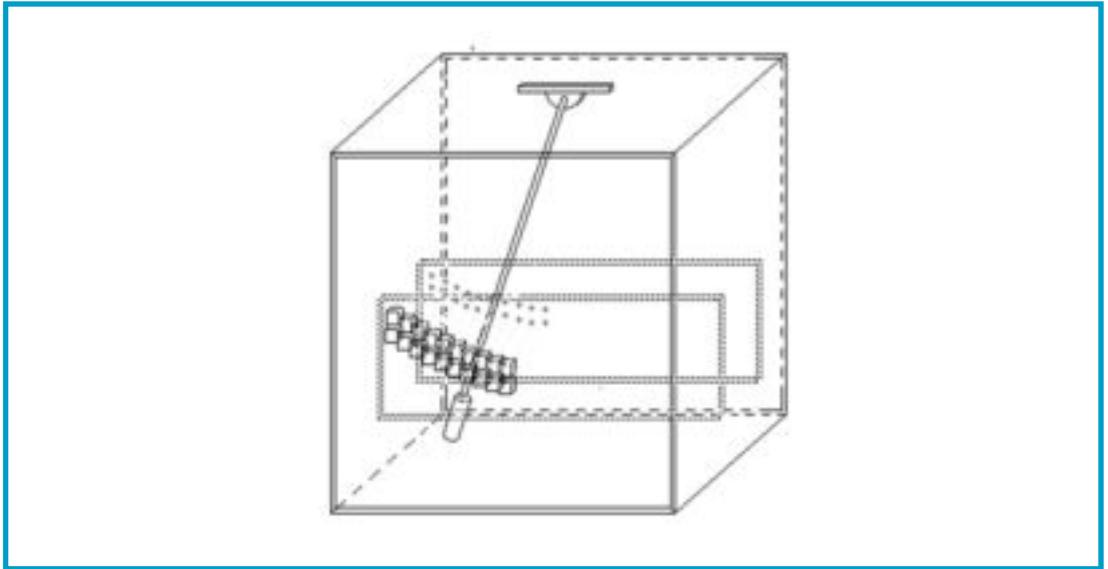
Conexión de pines del circuito integrado LM 7805





Fuente de alimentación terminada

2. Caja con péndulo y sensores



Primero, se prepara la caja sobre la que se montarán el péndulo y los sensores. Se cortan 6 rectángulos de fibrofácil de las siguientes medidas:

- 2 de 45 cm x 45 cm.
- 4 de 45 cm x 15 cm

Así, se arma una caja de 45 cm x 45 cm x 15 cm. Las medidas han sido calculadas para la

longitud del péndulo determinado para este equipo ($l = 40$ cm), pudiendo variarse.

Se deja una de las caras cuadradas (45 cm x 45 cm) sin colocar, para poder trabajar cómodamente en el montaje de los transmisores y receptores. Ésta se fijará al final, cuando el equipo esté funcionando, utilizando tornillos de 1".

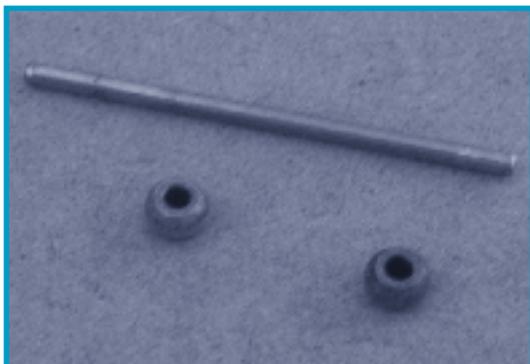


Luego, se realizan dos agujeros del diámetro de los bujes. Éstos se fijan al cubo de madera con cianocrilato o cemento de contacto.

Por otra parte, una varilla de madera (\varnothing : 9 mm) se fija al eje, con masilla de dos componentes. Una vez que la masilla está seca, se fija el conjunto al cubo de sostén del péndulo.

En caso de que quedaran excesos de masilla, se quitan con una trincheta o con una lija fina.

A continuación, se colocan el péndulo y su eje.



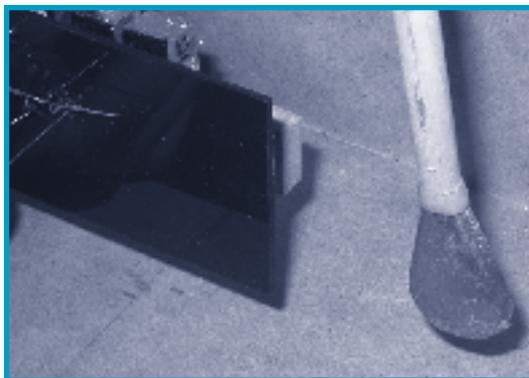
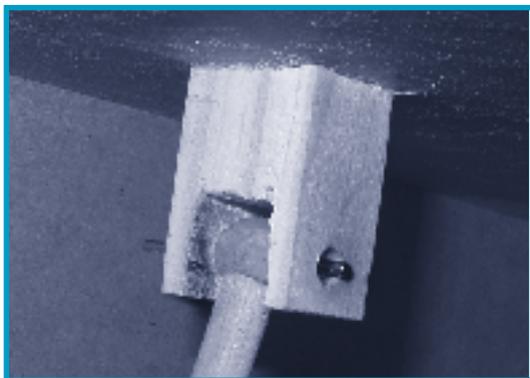
Eje y pernos para fijarlo

Para ello, se fija con un tornillo -a la cara superior de la caja- un cubo de madera de 2 cm x 2 cm. Previamente, se corta un surco, centrado, de 10 mm de espesor.

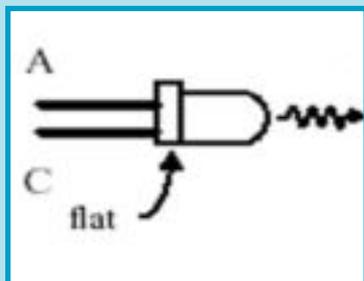


Este montaje asegura que el péndulo oscile en una sola dimensión, evitando que tenga desplazamientos laterales indeseados.

En el otro extremo de la varilla, se atornilla o se pega una plomada. Su tamaño puede variar, dependiendo de la disponibilidad de materiales, aunque, preferiblemente, debe tener poco espesor.

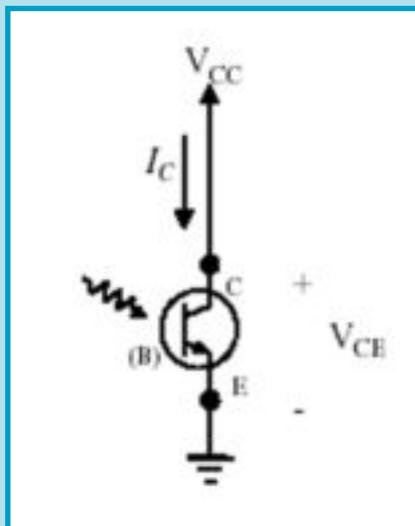


Es mejor colocar los transmisores y receptores a poca distancia del péndulo, para evitar que el haz de luz que emiten los led se disperse y llegue con su máxima potencia a los receptores. Además, para asegurar que no haya dispersión, se colocan a los led trozos de 1 cm de sorbete a los que se les podría agregar, si es necesario, una cubierta de papel aluminio o termocontraíble de 3 mm de diámetro.



Fototransmisor

Fotoreceptor



Si se utilizaran led infrarrojos, recomendamos que, para probar su funcionamiento, se utilice una máquina fotográfica digital. Al hacer esto, en su display se distingue una luz blanca por cada led encendido.

Otra recomendación es que la plomada tenga poco espesor, de manera tal que corte la emisión de un led por vez.

Así, se completa la primera parte de esta etapa.

A continuación, se instalan los transmisores y los receptores.

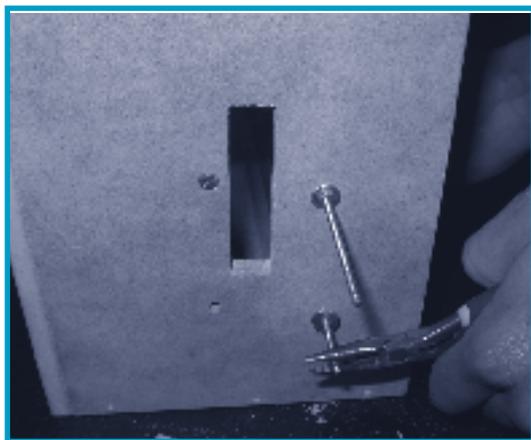


Se presentan los receptores. Se colocan y se distribuyen en la mitad de la caja, de forma tal que las ventanas queden equidistantes entre ellas. El primer receptor se coloca a continuación del eje del péndulo. Es decir que, en estado de reposo, el péndulo no corta ningún sensor.

La distancia a la cual se colocan los receptores depende del tipo disponible en el mercado.

Al rectángulo de acrílico se le realizan los cortes necesarios, para que los receptores "sigan" la trayectoria del péndulo.

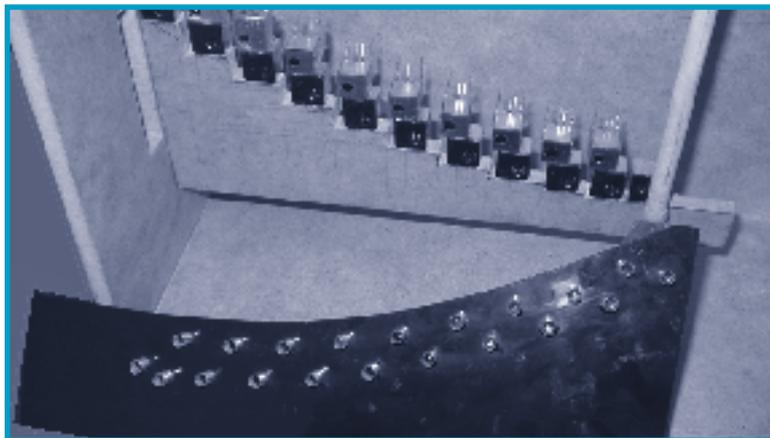
Una vez que los receptores están en su posición final, se pegan a su base con cemento de contacto. Luego, se atornilla el conjunto a la caja, con dos tornillos de 1".



Para finalizar, se les coloca 1 cm de termocontraíble para encausar el haz recibido de los led transmisores.

Se realiza un procedimiento similar con los transmisores. Éstos se presentan de modo tal que queden bien enfrentados con los receptores. Se corta el sobrante superior del rectángulo de acrílico.

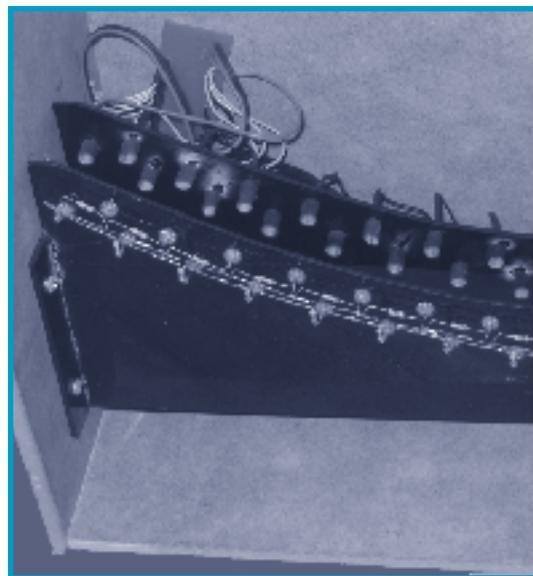
Se marcan los centros y se realizan los agujeros (con una mecha de 5 mm), por donde pasarán los transmisores. A continuación, se colocan y se fijan a presión, adhiriéndolos con cianocrilato.



Para poder fijar este conjunto a la caja, se pega un rectángulo de acrílico, a 90°. Se realizan dos agujeros y se fija con tornillos de 1", lo más cerca posible a los receptores, pero dejando espacio para el paso del péndulo.

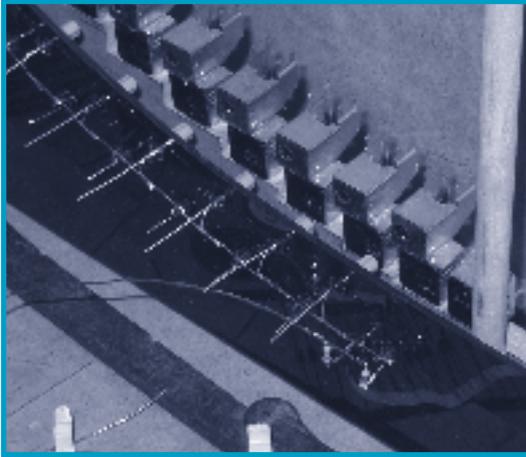
También es conveniente colocarles 1 cm de termocontraíble a los led transmisores.

Debemos tener cuidado que los receptores y transmisores queden bien enfrentados.



Para finalizar el montaje del sismómetro, se cablean los receptores y los transmisores:

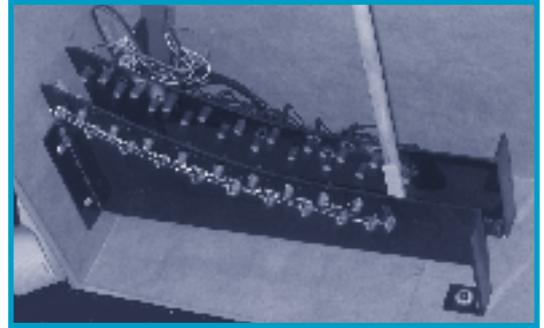
- Se conectan todos los ánodos de los transmisores a un mismo punto.



- Se suelda una resistencia de 330Ω , en serie a cada led transmisor, para limitar la corriente.
- Se conectan los transmisores entre sí, en paralelo,

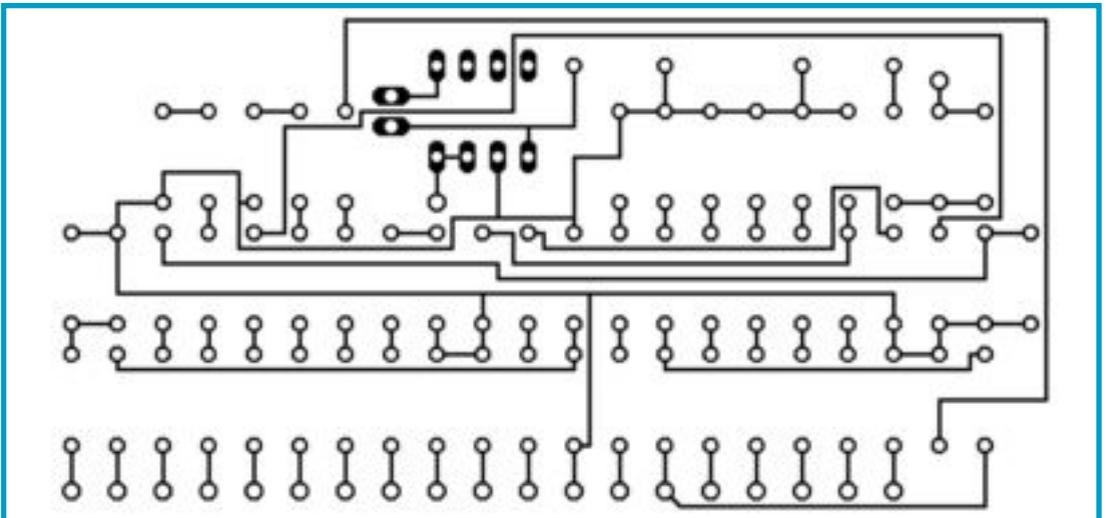
- se conecta la alimentación de todos los receptores entre sí y
- se conecta la salida de cada receptor a cada entrada del amplificador-nivelador.

Así, queda listo el sismómetro, para ser conectado al DAC.



3. Conversor digital-analógico (DAC)

Planteamos el diagrama del circuito. A continuación, se dibuja el circuito impreso en papel y, después, se traslada a la plaqueta.



Placa del conversor digital-analógico; lado soldadura

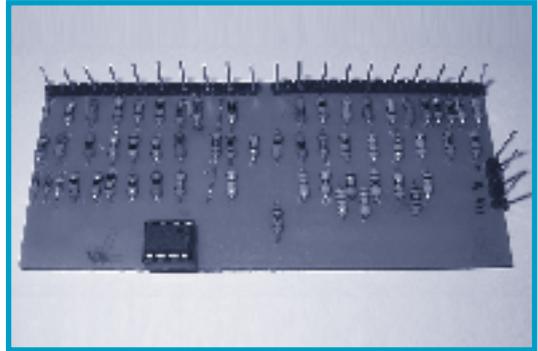
Luego, ésta se coloca en el percloruro férrico, durante el tiempo necesario para que el circuito quede perfectamente definido.

Utilizando como referencia los centros indicados, realizamos los agujeros correspondientes, utilizando una mecha de 1 mm de diámetro.

A continuación, se colocan y se sueldan los componentes, como se indica en el diagrama.

Cabe recordar que utilizamos resistencias de alta precisión.

Por otra parte, tenemos en cuenta la conexión de los pines del circuito integrado ya que, si se coloca al revés, es muy probable que se dañe.

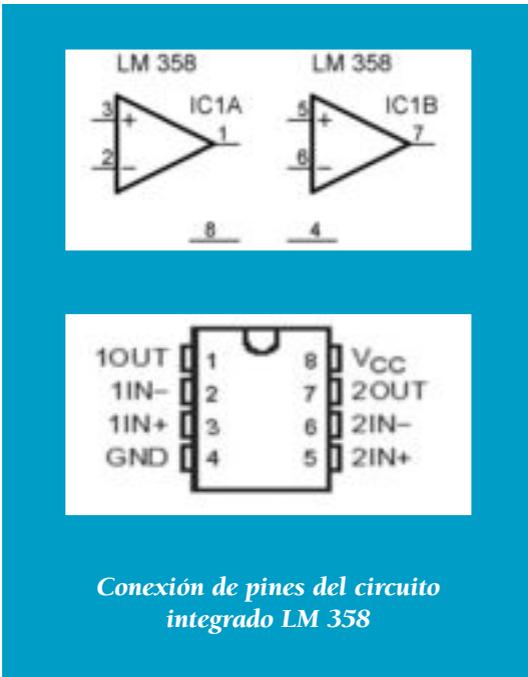


Así, se completa esta interfase.

Probamos el funcionamiento del DAC, de la siguiente manera:

- Se conectan V_{CC} y masa.
- Se alimenta cada entrada con 5 V y se mide la tensión a la salida.

Si el conversor funciona correctamente, en la salida debe haber una diferencia de 250 mV entre cada entrada consecutiva.



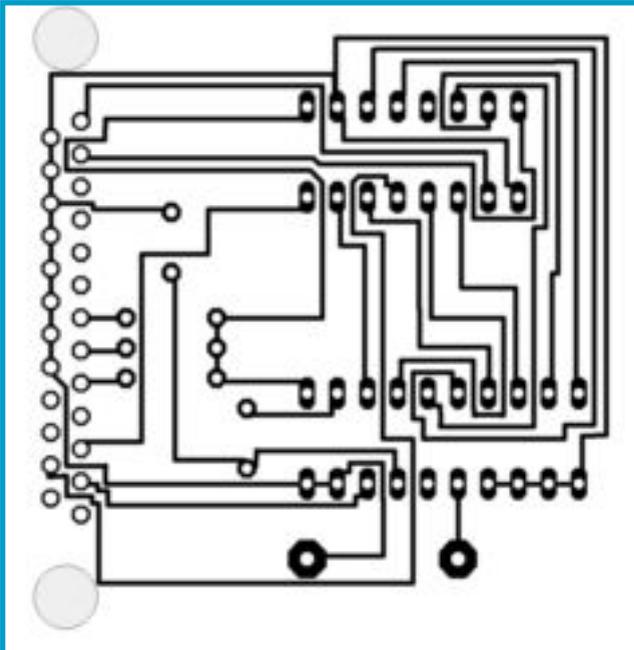
Cabe recordar que tenemos diez décadas y dos receptores por década, lo que hace un total de 20 salidas del sismómetro.

Dado que el DAC funciona en un rango de 0 a 5 V, si dividimos los 5 V entre 20, esto nos da la diferencia de 250 mV por cada entrada consecutiva.

4. Conversor analógico-digital (ADC)

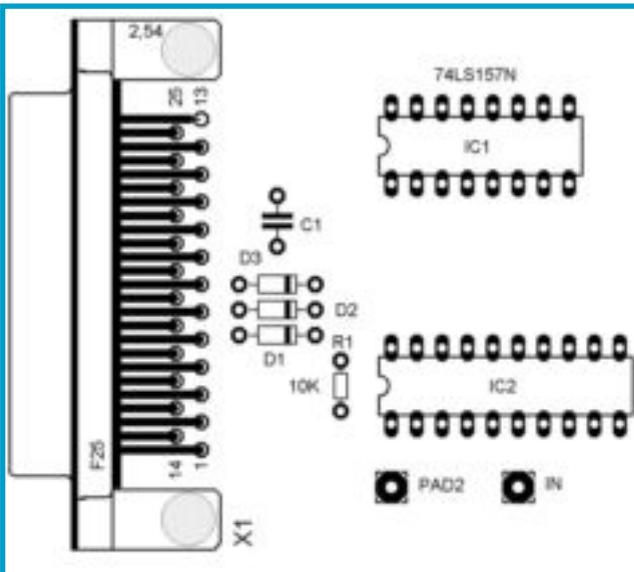
Planteamos el diagrama del circuito con la forma de la ficha DB25. A continuación, se dibuja el circuito impreso en papel y, después, se traslada a la plaqueta.

Por un lado, se sueldan los tirapostes a la plaqueta y, por otro, al cable plano de 25 hilos.



Placa conversor analógico-digital; lado soldadura

Luego, ésta se coloca en el percloruro férrico, durante el tiempo necesario para que el circuito quede perfectamente definido.

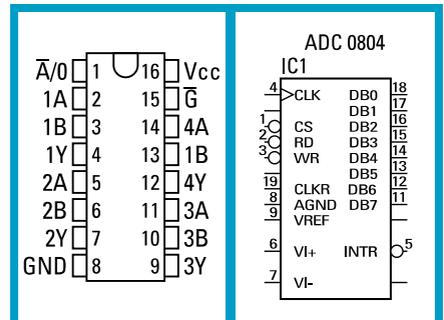


Esquema de la placa del conversor analógico-digital

Utilizando como referencia los centros indicados, realizamos los agujeros correspondientes, con una mecha de 1 mm de diámetro.

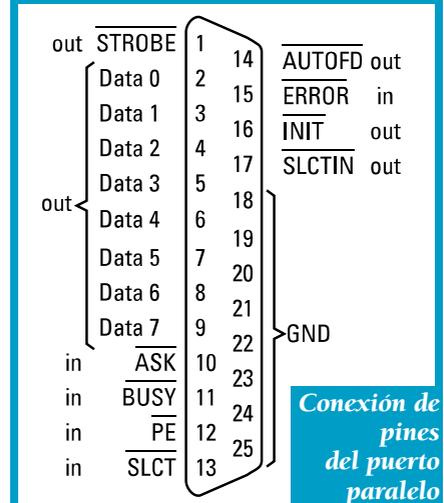
A continuación, se colocan y se sueldan los componentes, como se indica en el siguiente diagrama.

Por otra parte, tenemos en cuenta la polaridad en la conexión de los diodos; también, la conexión de los circuitos integrados, ya que si se colocan al revés, es muy probable que se dañen.



Conexión de pines del circuito integrado 74157LS

Conexión de pines del circuito integrado ADC 0804



Conexión de pines del puerto paralelo

Se completa esta interfase, colocándola en una ficha DB25 para que sea más cómoda su conexión al puerto paralelo de la computadora.

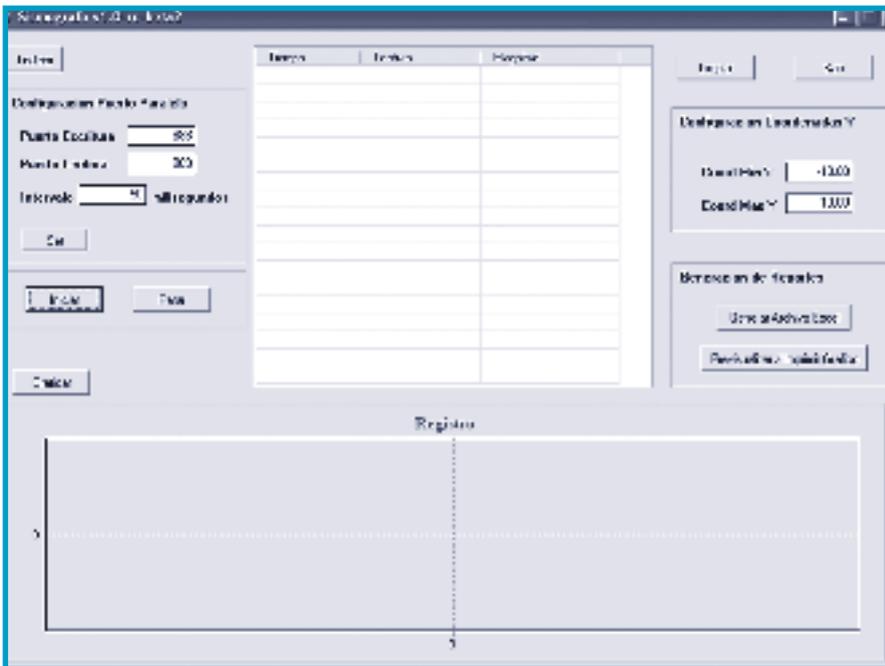
Para saber si llega información al puerto, se pueden conectar a 5 V las patas 20 del ADC 0804 y 16 del 74157LS; se lee si en las patas 10, 12, 13 y 15 hay datos de salida.

5. Software (para el registro digital en la computadora)

En el CD se adjunta el software desarrollado para el registro de los datos¹¹.

Una vez instalado en la computadora del aula, va a encontrarse con:

Pantalla de ingreso. En la pantalla va a ver:



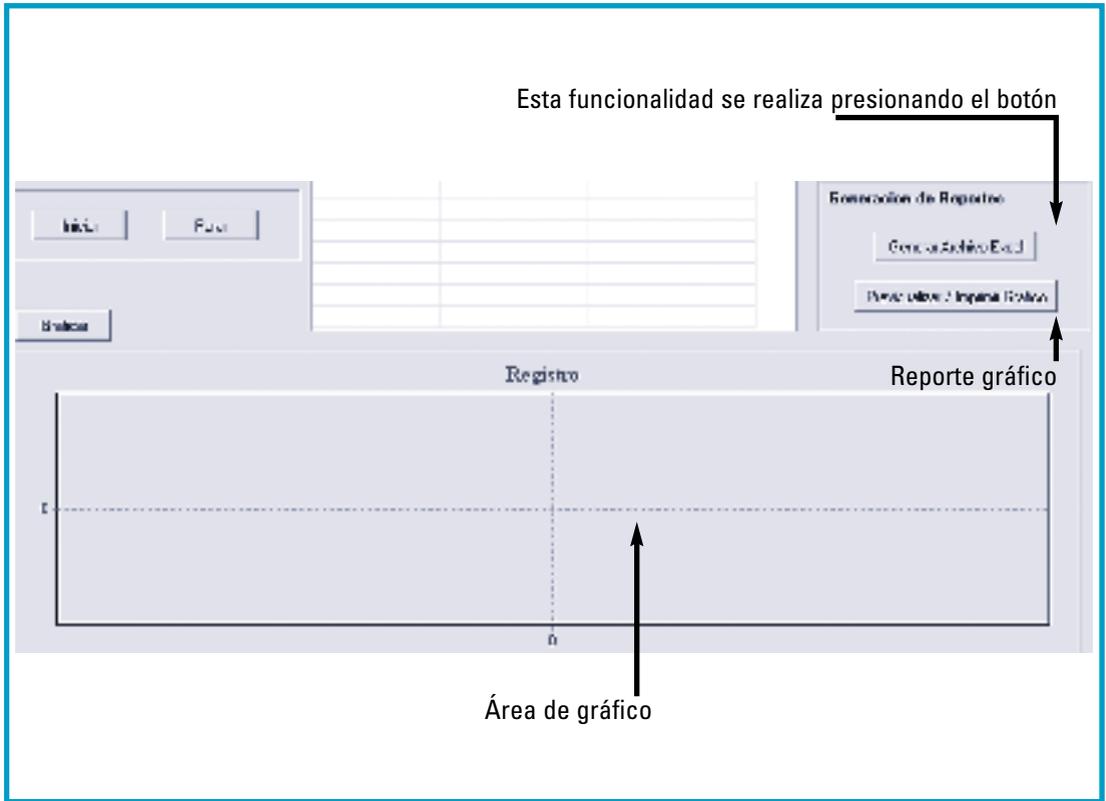
El sistema está organizado de la siguiente manera:

- En la parte superior izquierda, se encuentran los parámetros a especificar para realizar las lecturas.
- En la parte central, se visualizan los resultados de las lecturas obtenidas por el sistema.
- En la parte inferior, sobre la base de la lectura realizada, se muestra la gráfica correspondiente.
- En la parte superior derecha, existen algunas funciones adicionales como "Guardar", "Salir" y "Previsualización gráfica".

Funciones disponibles:

- **Testear.** Esta función es utilizada para calibrar las lecturas de los sensores.
- **Iniciar.** Inicia las lecturas en el puerto paralelo que son enviadas por el dispositivo; éstas se almacenan.
- **Parar.** Detiene las lecturas del puerto paralelo y muestra los resultados obtenidos, a través de la tabla y la gráfica.

¹¹ El desarrollo fue realizado por los ingenieros Diego Iñigo y Diego Gentile. www.softwaredelcentro.com.ar

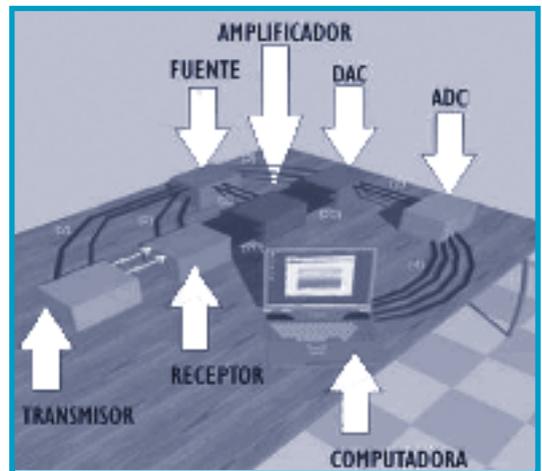


Gráficos. Otra funcionalidad importante es la visualización gráfica de los datos, la que se puede ver en el área de registro, presionando el botón "Gráfica".

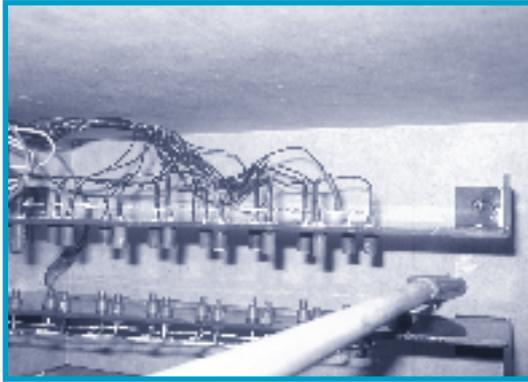
También, se puede tener un reporte gráfico para imprimir, presionando el botón "Previsualizar / Imprimir gráfico".

La puesta en marcha, el ensayo y el control

Una vez que se cuenta con todas las partes del sismógrafo, se procede a la conexión del equipo.



La fuente se conecta al DAC, y a la alimentación de los transmisores y receptores.



La salida del DAC se conecta a la entrada del ADC y éste se conecta a la computadora, a través del puerto paralelo.

La salida de los transmisores se conecta al DAC, de la siguiente manera:

- El primer receptor -el más cercano al punto de equilibrio del péndulo- se conecta a la primera entrada del DAC.
- El segundo, a la segunda entrada.
- Y, así, sucesivamente, hasta que se conecta el receptor ubicado contra la pared lateral de la caja, a la entrada 20 del DAC.



Una vez que está todo conectado, abrimos la aplicación. Se hace doble clic en "Inicio", se da alimentación al sistema y se saca al péndulo del equilibrio.

Se verá en la computadora que el sector de la tabla se comienza a completar con valores que indican la posición del péndulo, cada 1 ms.

Para realizar el sismograma, el programa ofrece dos opciones:

- Se exportan los datos de la tabla, haciendo doble clic en "Generación de reportes / generar archivo excel" y, automáticamente, los datos son guardados en formato .xls, pudiendo gestionarse los registros en las formas con que esta aplicación cuenta.
- Se puede visualizar el gráfico, haciendo doble clic en "Generación de reportes / Previsualizar / Imprimir". Se abre una ventana con el sismograma que, también, puede imprimirse.

Puede suceder que los receptores no entreguen 5 V a la salida; por esta razón, el convertor digital-analógico no funcionará correctamente. Para solucionar este problema se debe colocar una etapa amplificadora-niveladora entre la salida de los receptores y la entrada del DAC.

La superación de dificultades

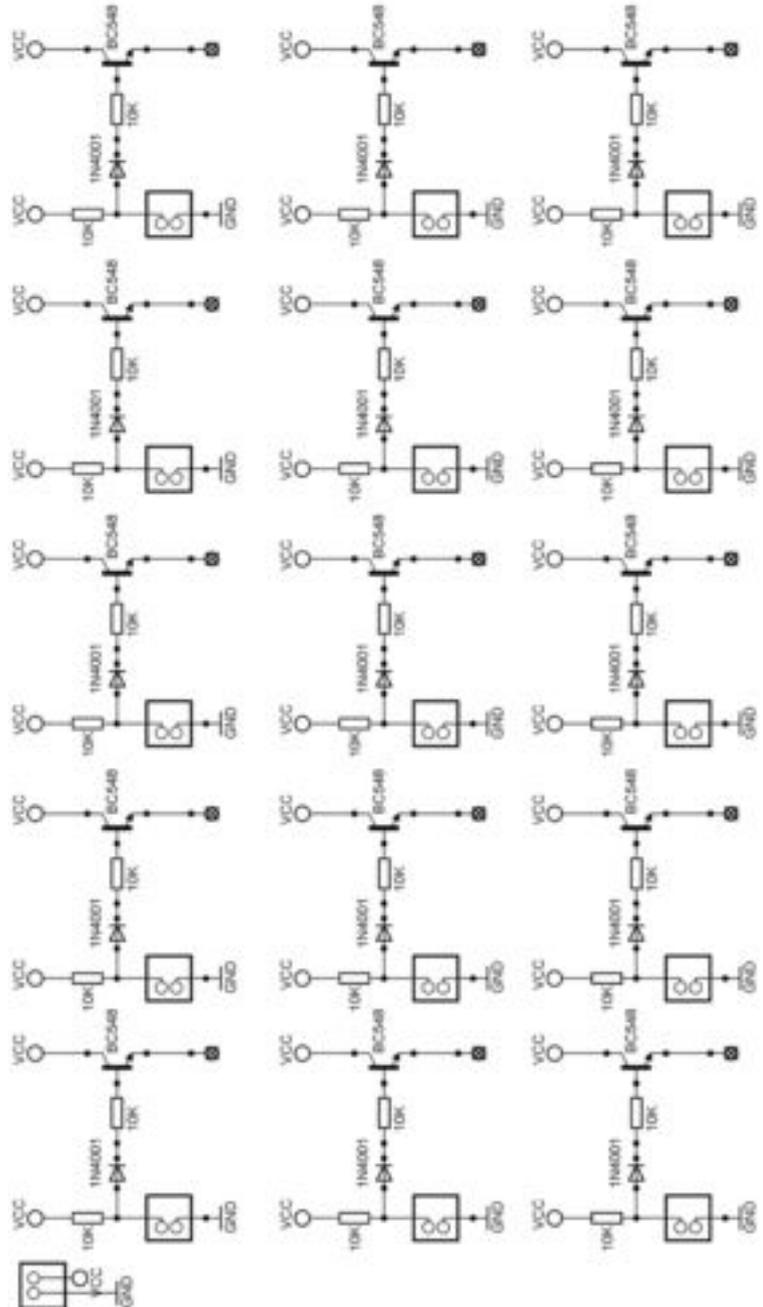
Como ya adelantáramos, los receptores no entregan 5 V a la salida, como indica su hoja de datos.

Esto hace que el convertor digital-analógico pierda exactitud y no funcione como se espera.

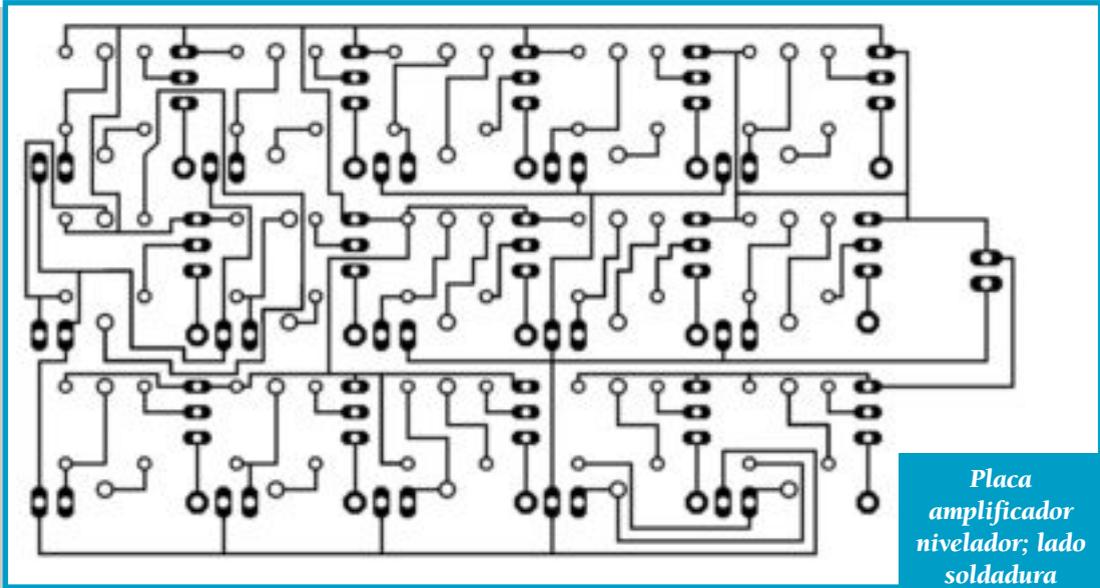
Para superar esta dificultad, se incluyó una etapa intermedia: un amplificador nivelador.

Éste asegura que, cuando el péndulo corte el haz emitido por los led, el DAC reciba 5 V y, cuando el haz no es interferido, le lleguen 0 V.

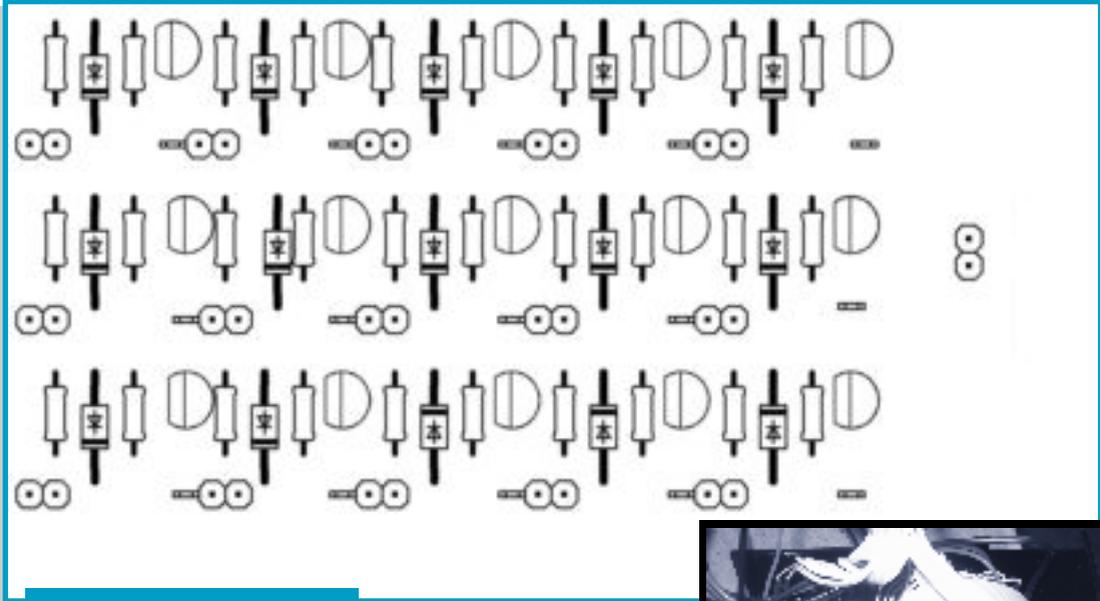
Éste es el circuito utilizado para el sismógrafo.



Esquemático del circuito del amplificador nivelador

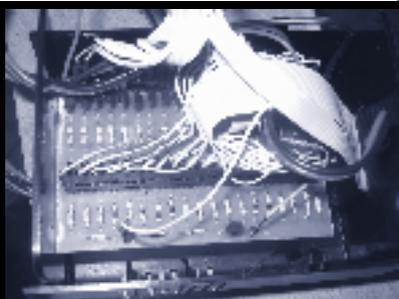


*Placa
amplificador
nivelador; lado
soldadura*



*Esquema de la placa
amplificador nivelador*

*Amplificador
nivelador
conectado entre
la etapa de recep-
ción y el DAC*



4. EL RECURSO DIDÁCTICO EN EL AULA

El recurso didáctico **Sismógrafo** promueve el trabajo interdisciplinario, ya que el desarrollo de un proyecto de estas características requiere conocimientos de distintas áreas.

Múltiples asignaturas pueden hacer uso de este recurso didáctico, más allá del espacio de ciencias y de tecnología. Por ejemplo:

Ciencias Sociales. El sismógrafo surge como respuesta a una necesidad de la sociedad. Implica que los alumnos analicen distintos temas, como placas tectónicas, sismos, cómo se producen, cómo se miden, ondas sísmicas, etc., para entender las transformaciones en estos conocimientos y cómo puede el sismógrafo ayudar a mejorar la vida de los ciudadanos.

Matemática. El abordaje desde este espacio curricular es particularmente relevante, ya que el trabajo implica el uso de fórmulas, el conocimiento de logaritmos, notación científica, generación de gráficos, los cuales deben ser analizados e interpretados a partir de los parámetros establecidos y de las distintas escalas planteadas.

Por otra parte, las medidas de las piezas, su adecuado trazado y cortado forman parte de los conocimientos que nos acerca la Matemática.

Tecnología. Este recurso implica, fundamentalmente, un proyecto de diseño y construcción, elementos claves del área de

Tecnología.

A pesar de que este equipo está orientado hacia electrónica, la construcción de un sismógrafo posibilita la implementación de variadas técnicas de construcción y amplitud en el uso de distintos elementos y materiales. Por lo tanto, el recurso puede ser utilizado para otras áreas específicas, tales como electromecánica, construcciones, informática, etc.

Electrónica. El diseño y la construcción de algunas partes del sismógrafo requieren conocimientos específicos de esta especialidad, tales como convertidores analógicos-digitales, filtros, etc. Por lo tanto, este recurso es especialmente adecuado para su uso en asignaturas de electrónica. Por ejemplo:

- En el área tecnología de control, para estudiar sensado y barreras infrarrojas.
- En el área de sistemas digitales, para investigar sobre convertidores, ADC y DAC.
- En el área de medios de comunicación y control, para establecer la comunicación entre un sistema real y la PC.

Tecnología de los materiales. Este espacio curricular tiene gran injerencia en la determinación de los materiales a utilizar, incluyendo el estudio de sus propiedades, como así también lo concerniente al análisis y a la selección de los materiales que conformarán las partes del sismógrafo.

Ciencia. Las ciencias, especialmente la Física, juegan un rol muy importante en la comprensión de los procesos que tienen lugar en la sismología. Energía, fuerzas de comprensión, esfuerzos, ondas, su propagación, son algunos de los conceptos físicos en los que se fundamenta la descripción de un sismo y, a su vez, son necesarios para la mejor comprensión de cómo medirlos.

Informática. En general las computadoras son una herramienta valiosa para el procesamiento y análisis de datos, provenientes de variados dispositivos de medición; por esto, la informática es una parte fundamental en el desarrollo del sismógrafo, para procesar, graficar las señales detectadas e interpretarlas.

Lengua. Proporciona técnicas de comunicación para el registro del proceso, resultando esto fundamental para el buen desarrollo del proyecto tecnológico y para la presentación de los resultados obtenidos. Asimismo, al trabajar en equipo, es fundamental para el alumno el intercambio de ideas, opiniones y experiencias.

Desde los distintos espacios curriculares, se van desarrollando los contenidos involucrados en este proyecto tecnológico. Así, el proceso es un aspecto más a tener en cuenta en la implementación de este recurso en el aula.

En este proceso, es posible identificar distintas fases de trabajo:

Fase	Pasos a seguir
1. Conocer	Investigar qué son los sismos, sus características, cómo se producen, cómo se miden. Aprender sobre placas tectónicas, ondas sísmicas, tipos de sismógrafos, sismogramas. Investigar sobre distintos tipos de sensores, conversores y amplificadores. Investigar sobre escalas, precisión y formas de calibración. Aprender sobre interfases y programas para graficar.
2. Diseñar	Realizar bocetos, planos del sistema de detección de las ondas. Realizar cálculos. Determinar qué sensores serán utilizados. Diseñar circuitos. Estimar la precisión.
3. Planificar	Distribuir las tareas en el grupo. Obtener los materiales, componentes y herramientas necesarios. Establecer un plan lógico de trabajo. Llevar un cuaderno de anotaciones. Registrar los aportes de cada miembro del grupo.
4. Construir	Montar los sensores. Construir el sistema de detección. Construir y poner en funcionamiento los circuitos electrónicos correspondientes. Desarrollar un programa (o, en su defecto, adaptar uno existente) para graficar la señal obtenida.
5. Evaluar	Monitorear: <ul style="list-style-type: none"> • funcionamiento del sismógrafo, • fuentes consultadas, ideas aportadas, análisis realizado, • dificultades y soluciones, • cambios introducidos y soluciones aportadas para mejorar el equipo, • utilización de las herramientas, • funcionamiento del grupo, • toma de decisiones, • síntesis final sobre el conjunto del proyecto, • actitudes cooperativas, originalidad, • comunicación del proyecto.

De igual manera, un proyecto de estas características tiene la particularidad de integrar tanto contenidos conceptuales, como procedimentales y actitudinales, permitiendo el desarrollo de competencias referentes a la búsqueda de información, a la organización, al diseño, al ensayo de soluciones y alternativas, a la creatividad, que se integran en la resolución de un problema tecnológico.

Entre los procedimentales podemos mencionar:

- habilidades necesarias para utilizar las herramientas y máquinas adecuadas para el trabajo a realizar,
- uso correcto de instrumentos de medición,
- utilización de herramientas de representación (por ejemplo, el dibujo técnico) en la etapa de diseño,
- análisis de los datos pertinentes para la resolución de los problemas planteados,
- análisis crítico para la toma de decisiones respecto de los materiales a utilizar.

Entre los contenidos actitudinales destacamos:

- trabajo en equipo, cooperación entre los miembros del grupo para el buen desarrollo del proyecto,
- desarrollo del espíritu solidario entre los grupos,
- respeto por el pensamiento y las ideas de los otros,
- valoración de los principios científicos que sirven de base para el diseño y el

desarrollo de un proyecto tecnológico, y explican el funcionamiento de máquinas y herramientas,

- desarrollo de una visión equilibrada de la Tecnología y de su impacto en la sociedad.

Modificaciones al equipo propuesto

El sismógrafo propuesto permite plantear distintas actividades, que pueden ser llevadas a cabo en el aula. Éstas dependen de la asignatura desde la cual se utilice este recurso didáctico y de los contenidos específicos a desarrollar.

Planteamos aquí, a modo de ejemplo, algunas modificaciones que los estudiantes podrían plantear al sismógrafo que hemos desarrollado.

Actividad 1. Barrera infrarroja

Una modificación al equipo propuesto consiste en realizar el sensado del movimiento del péndulo utilizando una barrera infrarroja.

Los detectores ópticos basados en la luz infrarroja son de gran popularidad, debido a las ventajas que presentan; entre ellas:

- Inmunidad ante los factores ambientales más nocivos, tales como la luz ambiental, el humo, la humedad, la temperatura, entre otros.

- Inmunidad ante factores eléctricos, como el ruido electromagnético, la presencia de energía electrostática en el ambiente, cambios bruscos en la tensión y la frecuencia de entrada.
- Su vida útil es mucho mayor con respecto a otros sensores, debido a que no presenta desgaste mecánico, porque no tiene contacto físico con el cuerpo a sensor.

Actividad 1.1. Existen barreras infrarrojas comerciales que pueden ser utilizadas, si no se dispone de mucho tiempo para desarrollar esta parte del recurso.

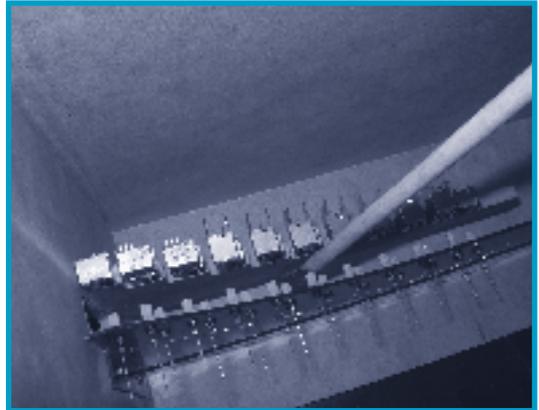
En este caso, los estudiantes tienen que resolver algunos problemas, tales como la disposición de las barreras, ya que éstas deben seguir la trayectoria (curva) del péndulo.

Actividad 1.2. Otra opción consiste en que los alumnos construyan la barrera infrarroja. Esto les brinda más oportunidades de aprendizaje que la actividad anterior.

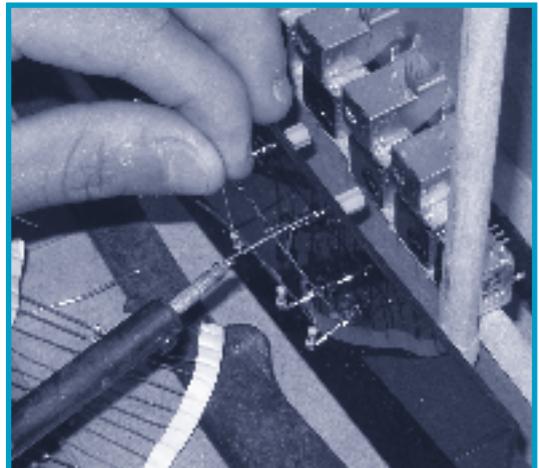
De esta forma, el sistema básicamente es el mismo que el propuesto en el diseño de nuestro recurso didáctico, pero utilizando luz infrarroja.

El sistema consiste en un transmisor y un receptor:

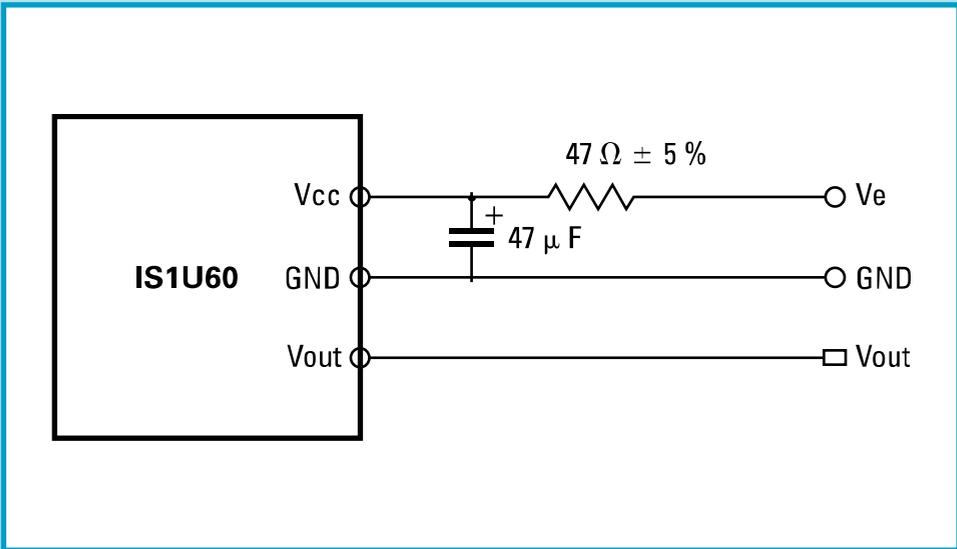
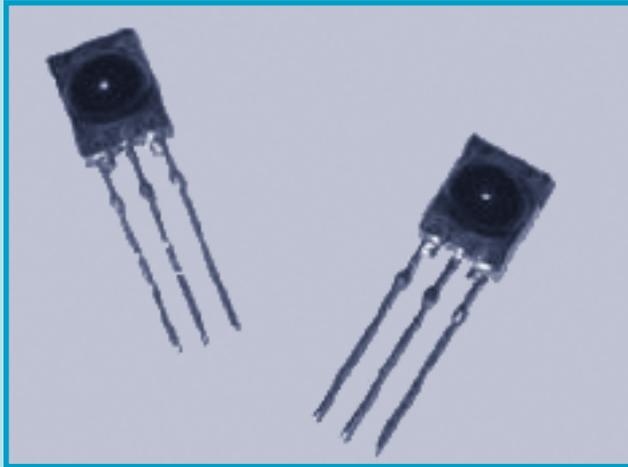
- El transmisor es un led infrarrojo.
- El receptor infrarrojo MRI es del tipo de los utilizados para los controles remotos de televisor.



Ambos se alimentan con 5 V. Se debe agregar una resistencia en serie a cada led emisor, para limitar la corriente.



Dado que, a veces, no se cuenta con la hoja de datos de los receptores infrarrojos, deben realizarse algunas mediciones para determinar cuál pata es la alimentación y cuál corresponde a la salida. Además, dependiendo del fabricante, la ubicación de las patas puede cambiar.



Recomendaciones de conexión del fabricante

La masa es siempre la pata que está más cerca del borde. Además, la carcasa también está conectada a masa. Como esta conexión interna se realiza por contacto a presión, es conveniente corroborarla.

Para ello, se mide con un óhmetro la resistencia entre la carcasa y la pata de masa. Si no estuvieran conectadas, se debe realizar esta conexión, ya que este recaudo disminuye las interferencias.

Para poder determinar cuál de las dos patas restantes se corresponde a la alimentación, se elige una como alimentación; se conecta una resistencia de 1 k Ω en serie al receptor y se alimenta con 5 V. Esta resistencia evita que éste se queme, en caso de que se haya conectado la alimentación a la salida.

Con el transmisor de un control remoto, se emite una señal al receptor y se prueba si el receptor entrega una señal a la salida. De ser así, significa que la pata elegida como alimentación, lo es.

En caso contrario, se deben invertir las patas.

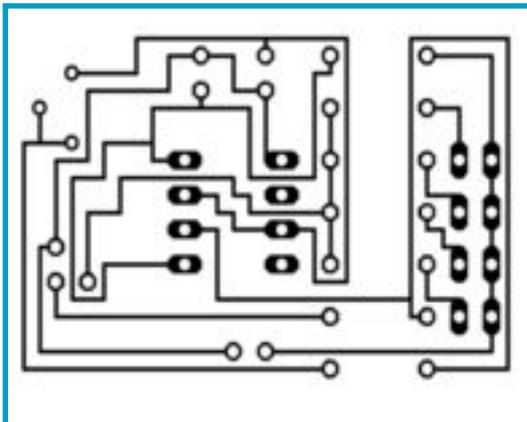
Actividad 1.3. Puede surgir otro problema relacionado con los niveles de tensión que entrega el receptor cuando está cerrado o abierto.

Puede ocurrir que la diferencia de tensión entre un nivel y otro sea muy pequeña. Esto hace que el DAC no reconozca los **0** y **1**, en cada caso.

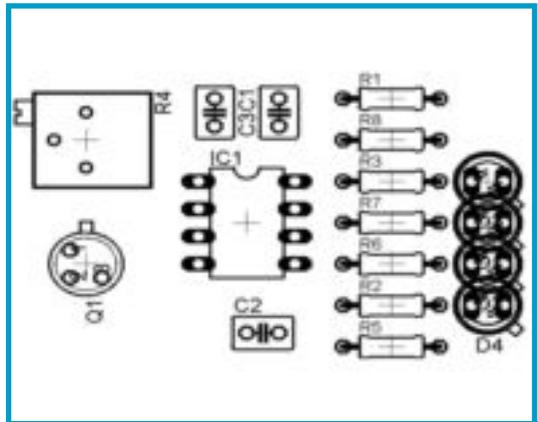
Esto puede solucionarse, alimentando los

transmisores con un oscilador, con una frecuencia entre 40 y 60 kHz. que modula la emisión de luz de los diodos led infrarrojos.

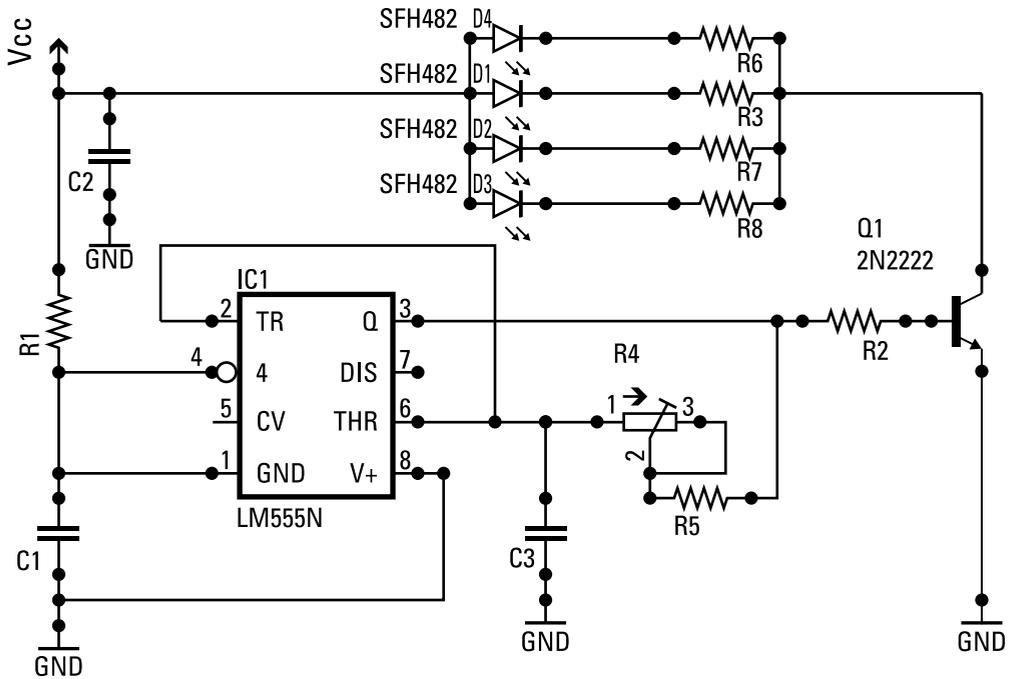
El diseño de este oscilador incluye un circuito integrado IC 555, configurado como astable simétrico, con un transistor 2N2222, para poder entregar 200 mA y alimentar a los 20 diodos infrarrojos. Sin el transistor, el 555 entrega, como máximo, 100 mA.



Placa oscilador; lado soldadura



Esquema de la placa oscilador



Esquemático del circuito del oscilador

Las resistencias y capacitores se calcularon de manera de obtener un oscilador astable, cuyos períodos son simétricos. Para ello, utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$T_1 = 0,693 \cdot (R_a + R_b) \cdot C_1$$

$$T_2 = 0,693 \cdot (R_c + R_d) \cdot C_1$$

$$f = 1/(T_1 + T_2)$$

Donde:

- T_1 : Período de carga del capacitor C_1 .
- T_2 : Período de descarga del capacitor C_2 .
- R_a , R_b , R_c y R_d : Resistencias del circuito.
- f : Frecuencia de oscilación.

La frecuencia de oscilación f es de 20 kHz, que es la que necesitan los diodos infrarrojos para poder activar los receptores.

En las hojas de datos de estos receptores infrarrojos, se informa que la frecuencia de oscilación ronda entre los 40 y 60 kHz. Sin embargo, la experiencia nos ha marcado que funcionan mejor a 20 kHz.

Este circuito incluye:

- resistencias de polarización al transistor, y
- diodos para la carga y descarga, por separado, de C_1 .

Por último, el oscilador se conecta de la siguiente forma:

- alimentación a la fuente; y,
- la salida, a los diodos infrarrojos.

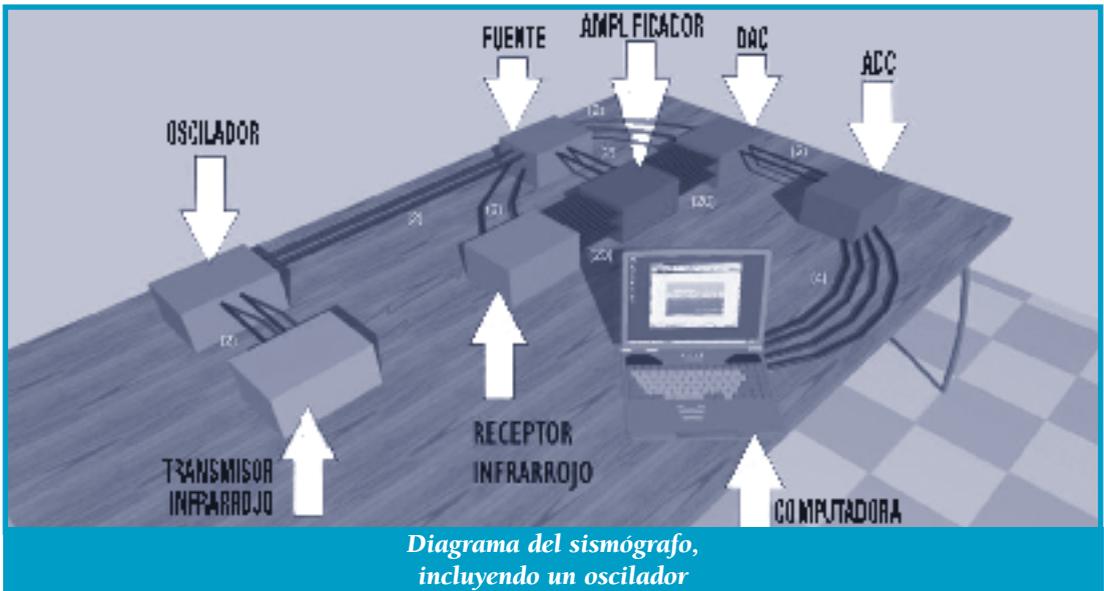
Actividad 2. Cantidad de sensores

Además, se puede modificar la cantidad de sensores:

- más de 20 da más precisión al sismógrafo,
- menos de 20, le quita precisión.

Esto implica la modificación del DAC, ya que éste tiene una entrada para receptor. De esta forma, deberían realizarse nuevamente los cálculos de las resistencias, teniendo en cuenta que los 5 V disponibles entre el nivel más bajo y el más alto, deben dividirse por la cantidad de receptores que tiene el equipo.

Por ejemplo, si se utilizaran 30 receptores, la caída entre una entrada y otra debería ser de 167 mV, es decir, $5 \text{ V} / 30$.



Actividad 3. Otro tipo de DAC

Por otra parte, se puede utilizar otro tipo de DAC, como por ejemplo el de Red R-2R.

Esta modificación brinda a los estudiantes la oportunidad de analizar distintos tipos de conversores, y las ventajas de utilizar cada uno de ellos para una prestación en particular.

Actividad 4. Hojas de cálculo

Teniendo en cuenta que el programa provisto en este recurso didáctico brinda la posibilidad de generar una tabla con los valores obtenidos, y guardarla en una hoja de cálculo, se pueden realizar distintas actividades en el aula.

El uso de planilla de cálculo permite ensayar, sencilla y rápidamente, distintas formas de representación de los valores obtenidos por el sismógrafo y determinar cuáles son las más adecuadas para este caso en particular. Por ejemplo: realizar un gráfico de puntos, otro de barras o de torta, permite comparar-

los y, así, determinar cuál es el más apropiado.

Actividad 5. Ingreso de 8 bits

En el caso en que se utilizara una PC que admite el ingreso de 8 bits a la vez, podría utilizarse un ADC sin necesidad de multiplexar los datos -como proponemos realizar en nuestro equipo-. Esto simplificaría el circuito del conversor analógico digital, pero implicaría realizar modificaciones en el programa.

Una propuesta de uso del sismógrafo en el aula consiste en modificar el programa para otro tipo de interfase.

Actividad 6. Sensor en dos dimensiones

Como ya adelantáramos, el sismógrafo propuesto mide ondas en un solo sentido.

Una modificación consistiría en utilizar un sensor del tipo mouse, que trabaja en dos dimensiones, que sería graficado en pantalla, a través del puerto serie.

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

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

Esta evaluación tiene dos finalidades:

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

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

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

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

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

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

Desde ya, muchas gracias.

Identificación del material:

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

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

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

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

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

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

2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....





3. Componentes didácticos:

3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

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

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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

.....

.....

.....

.....

.....

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

3.2. Estrategias

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

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

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

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

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

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

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

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

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



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



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

b. Es más económico.

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

d. Es más adaptable (a diversos usos).

e. Otra (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....

.....

.....

.....

.....

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

.....

.....

.....

.....

.....

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

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

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

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

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





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

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

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

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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

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

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

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

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

.....

.....

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

.....

.....

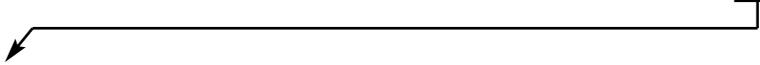
.....



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



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



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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Otras características del material teórico:

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

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

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

.....

.....

.....

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



8. Propuestas o nuevas ideas:

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

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

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

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

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

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

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



A series of horizontal dotted lines providing space for the user to write their response to the question above.

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

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
 - El aire como materia prima
 - El azufre como materia prima
 - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro

- Colección: **Construcciones**
 - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
 - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento

- Colección: **Telecomunicaciones**
 - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
 - Cálculo de enlaces alámbricos

- Colección: **Materiales**
 - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos

- Colección: **Tecnología en herramientas**
 - Historial de las herramientas de corte
 - Diseño y fabricación de herramientas de corte

- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
 - Instalaciones eléctricas
 - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
 - Familia lógica CMOS



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



Argentina

ineti
*Instituto Nacional de
Educación Tecnológica*