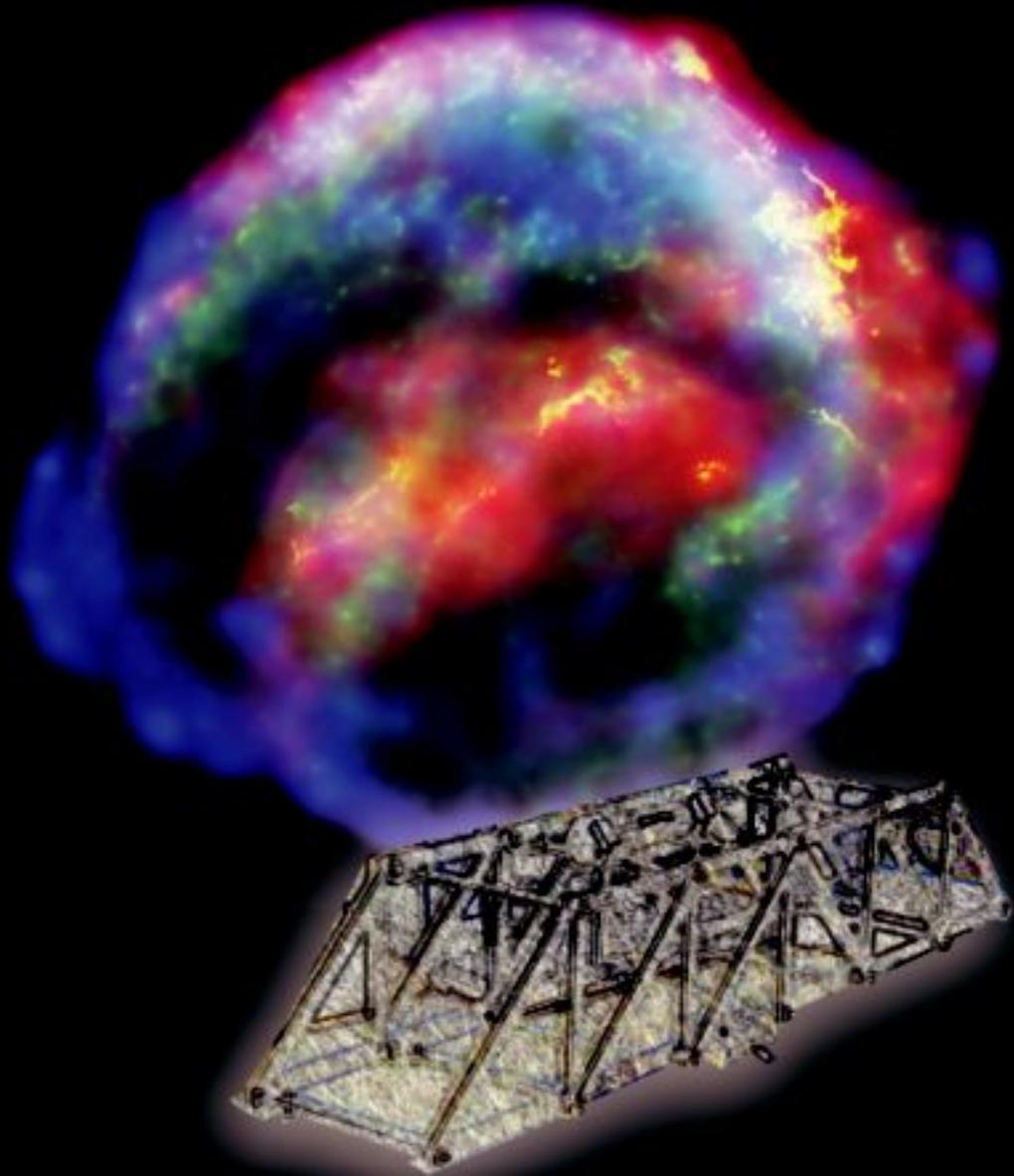




Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios



Serie: Recursos didácticos

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

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Prof. Alberto E. Sileoni

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios

Marcelo Estévez

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

Distribución de carácter gratuito.

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

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

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0524-7

Estévez, Marcelo
Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios / Marcelo Estévez;
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.
- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la
Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.
144 p. + CD-Rom ; 22x17 cm. (Recursos Didácticos; 16)

ISBN 950-00-0524-7

1. Construcciones. 2. Edificios-Estructuras.
I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 690

Fecha de catalogación: 3/11/2005

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

Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

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

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.

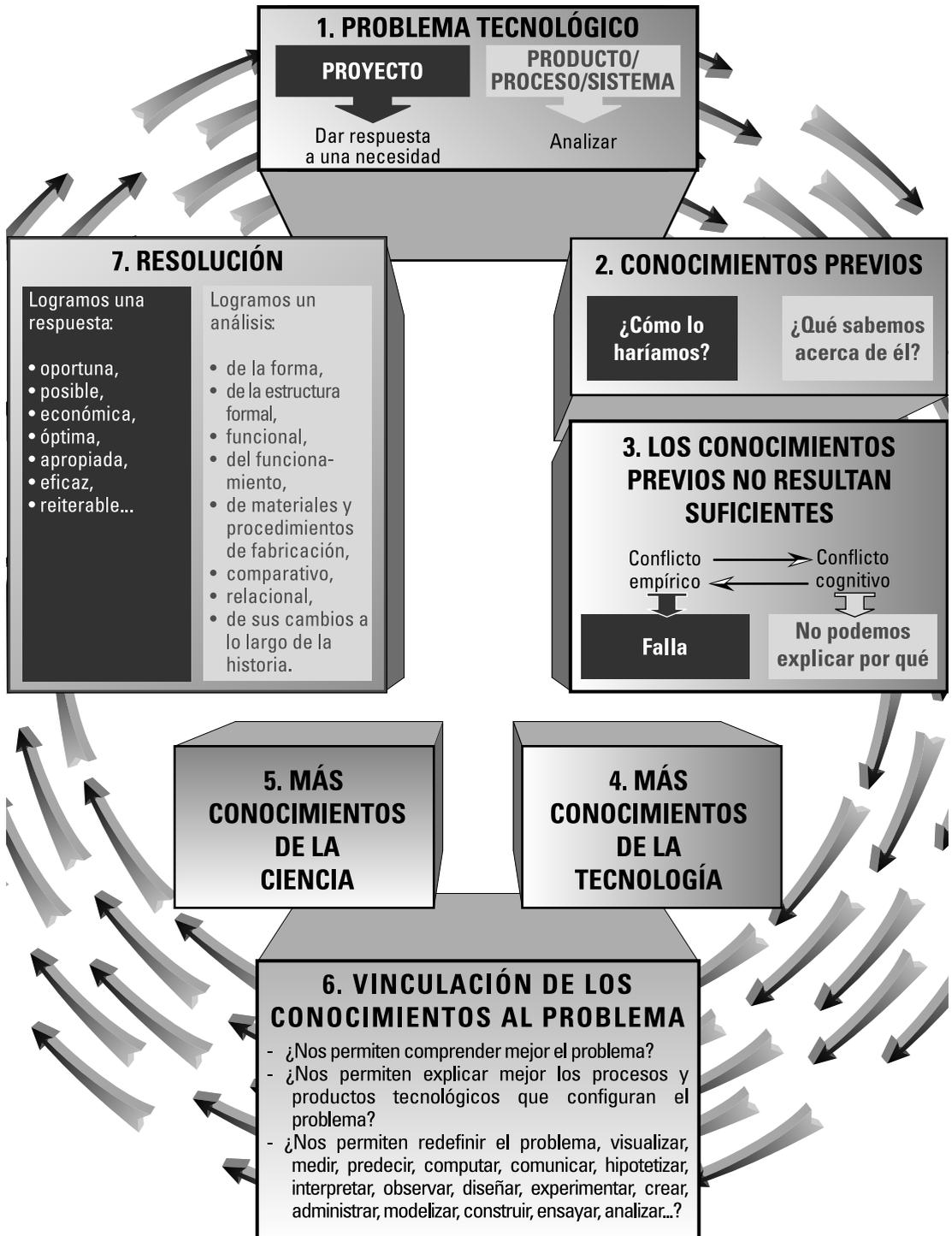
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

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-

entes. 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



16. Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Marcelo Estévez.

Estudió ingeniería en Electrónica (Universidad Nacional de La Plata), la licenciatura en Tecnología Educativa (Universidad Tecnológica Nacional) y la maestría en Técnicas de Energías Alternativas (Universidad de Andalucía, España). Es profesor titular de la Escuela Técnica N° 7, con especialidad en Aviónica (Provincia de Buenos Aires. Fuerza Aérea Argentina). Es jefe de trabajos prácticos en Ingeniería Electrónica (Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Avellaneda). Fue profesor en la Universidad Nacional de Quilmes, participando en la creación de la carrera de Ingeniería en Automatización y Control. Es autor de Microprocesadores y microcontroladores (Instituto Nacional de Educación Tecnológica. 2004. Buenos Aires).

Coordinación general:

Haydeé Noceti

Diseño didáctico:

Ana Rúa

Administración:

Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:

Laura Irurzun

Diseño gráfico:

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:

Laura Lopresti

Juan Manuel Kirschenbaum

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



Índice

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

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	8
• El diseño estructural	
• Estructuras de hormigón armado	
• Estructuras de acero	
• Estructuras de madera	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	75
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción	
• El armado	
• El ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
4 El equipo en el aula	88
5 La puesta en práctica	92

CD Anexo: Programa para el análisis de estructuras.

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

Lo invitamos a analizar estos testimonios:

El profesor de "Asesoramiento técnico sobre productos o procesos constructivos" de una escuela técnica en Construcciones está planteando a sus alumnos el estudio de las construcciones con perfiles de acero.

Para organizar la tarea, pide a los grupos que analicen la siguiente situación:

Para fin de año, una familia decide reunirse en el departamento de una de las abuelas, para evitar que ésta se traslade y que se sienta incómoda durante el viaje. Luego de cenar y de brindar por el año nuevo, todos los miembros deciden asomarse para ver los fuegos artificiales. Gracias a que el balcón es grande,

las doce personas pueden entrar en él; pero, alguien del grupo plantea la posibilidad de que el balcón no resista el peso de todos.

Ante la mirada aterrada del grupo, uno de los nietos más jóvenes -que estudia Construcciones- indica que no hay por qué preocuparse y que la familia puede disfrutar de la fiesta: el balcón tiene empotrados perfiles doble T de 0,20 m de alma cada 1 m y tiene, en voladizo, 1,50 m.

¿Cómo pudo saber que el temor a un accidente era injustificado?

El docente propone analizar la construcción de este balcón y considerar la capacidad de carga para el cual fue diseñado.

En la Tecnicatura en *Construcciones*, el grupo de alumnos considera esta situación:

Se pretende construir un puente peatonal con elementos reticulados para salvar una distancia de 10 m que corresponden al ancho de un río. El puente estará apoyado en ambos extremos y utilizará elementos a 90 y 45 grados como estructura lateral.

- ¿Qué materiales son aptos para este tipo de estructura?

- ¿Cuáles son las especificaciones que deben tener estos elementos para que resulten adecuados para esta aplicación?
- ¿Qué elementos se encuentran con mayor sollicitación?

Luego de resolver la tarea planteada, la profesora propone a sus alumnos diseñar diferentes soluciones arquitectónicas y evaluar la sollicitación de carga de los elementos que se encuentran en el centro del puente.

En "Materiales y ensayos" de la educación técnico-profesional en *Equipos e instalaciones electro-mecánicas*, los alumnos desarrollan proyectos tecnológicos vinculados con el estudio y el comportamiento de los materiales sometidos a diferentes solicitaciones de carga, para desarrollar capacidades de:

- identificación y selección de materiales estándares para la construcción,
- selección de los ensayos requeridos para evaluar la calidad del material,
- acondicionamiento y preparación de los métodos de medición y ensayos,
- realización de ensayos no destructivos y destructivos,

Integran estas capacidades al tomar decisiones sobre los materiales para la construcción de estructuras.

En este momento, los alumnos se encuentran analizando los resultados de diferentes materiales sometidos a flexión con apoyo en sus extremos y en voladizo.

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

En la ciudad de San Rafael, Mendoza, unos chicos reciclan un viejo canobote de 1 m de ancho por 4 m de largo con velas y orza, para competir en una regata a

realizarse en el embalse del Nihuil.

Para practicar a diario, deciden ubicar la embarcación en un galpón cercano a la casa de uno de ellos; pero, allí no hay lugar suficiente, de modo que se les ocurre colocar la embarcación sobre unas vigas, por encima de unas bolsas.

Para levantar el canobote, consiguen un aparejo. Ahora, tienen que decidir qué colocar entre los apoyos empotrados. Finalmente, se deciden por dos elementos que actúen como vigas para cubrir la distancia entre los apoyos de 3 m separados entre sí 2 m, y logran resolver el inconveniente de forma económica y segura.

- Analicen esta situación.
- ¿Qué elementos podrían colocar que resulten económicos y seguros?

Los alumnos van planteando algunas posibilidades:

- Colocar unos tirantes.
- Colocar unos caños.
- Colocar perfiles doble T.

Analizadas estas primeras cuestiones, su profesora plantea:

- Verifiquen qué elementos pueden resultar apropiados para la función planteada, y analicen sus propiedades y su comportamiento a la flexión.

El recurso didáctico que proponemos

Nuestra propuesta es integrar a cada una de estas clases un **equipamiento para el análisis de estructuras de edificios**. El modelo que desarrollamos -que, no es el único posible, por supuesto- está compuesto por:

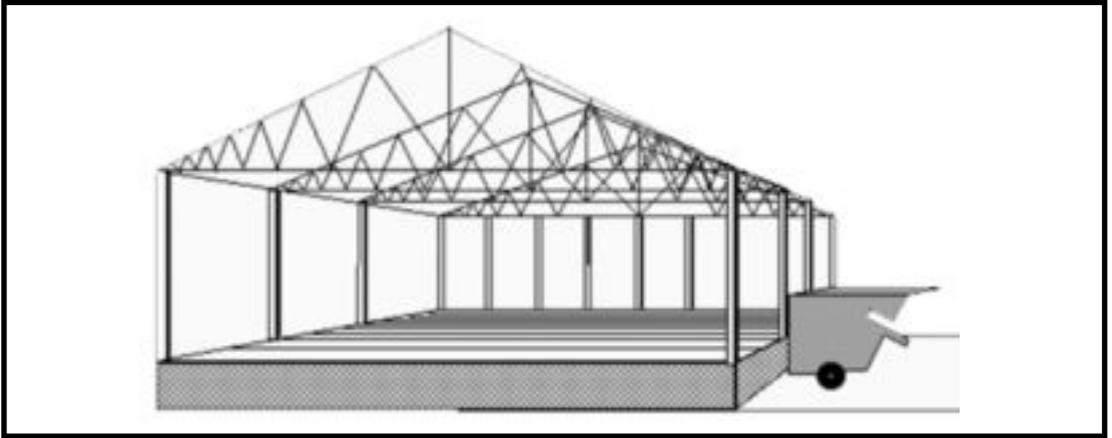
- Arreglos de barras que pueden formar esquemas estructurales muy diversos.
- Unión entre las barras por apoyo simple,

con articulación o con nodo rígido capaz de transmitir momentos.

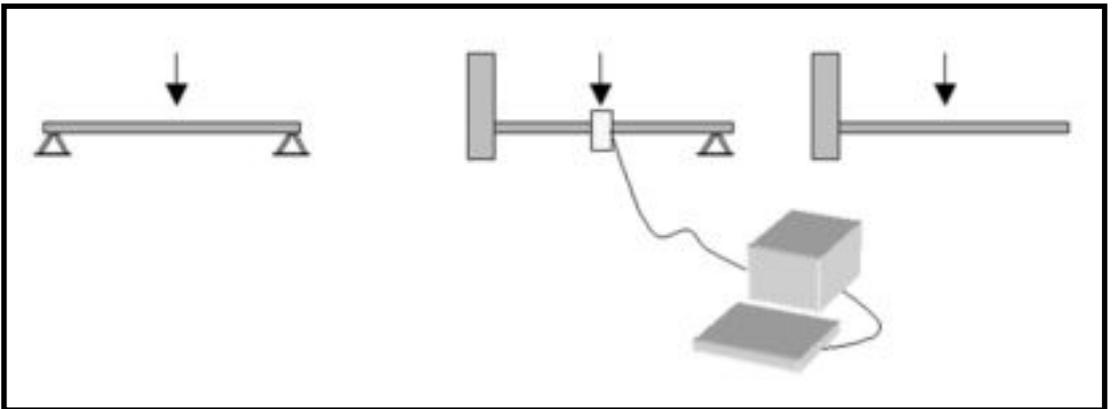
- Celda de carga montada en un miembro estructural para medir esfuerzo y deformación en diferentes puntos de la estructura

Este recurso didáctico permite a sus alumnos estudiar:

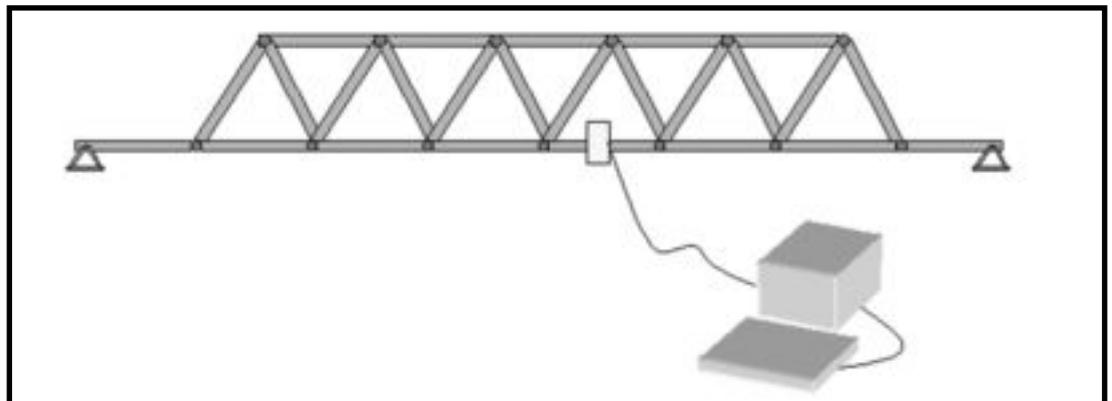
Estructuras en general:



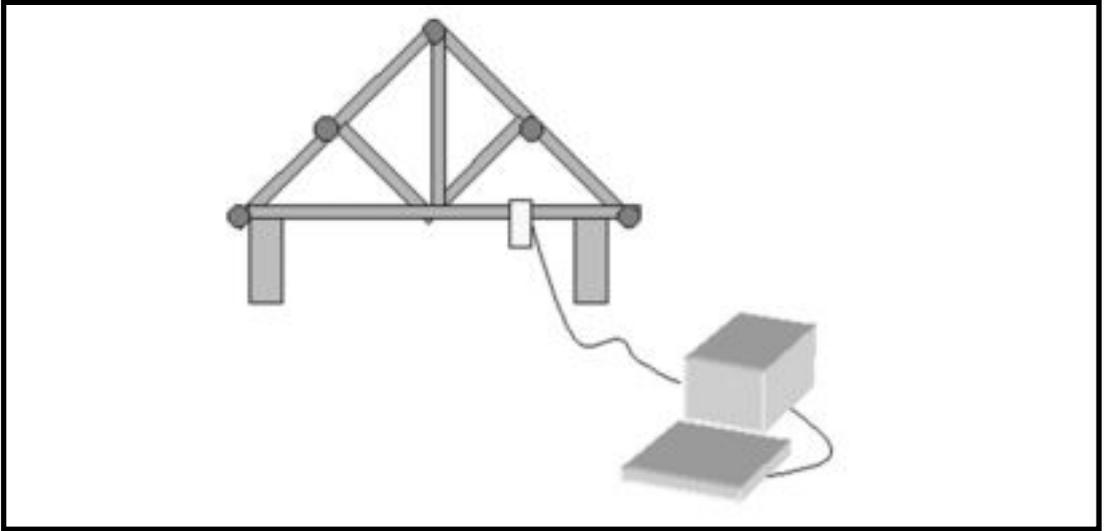
Vigas en apoyos simples, empotradas, en voladizo:



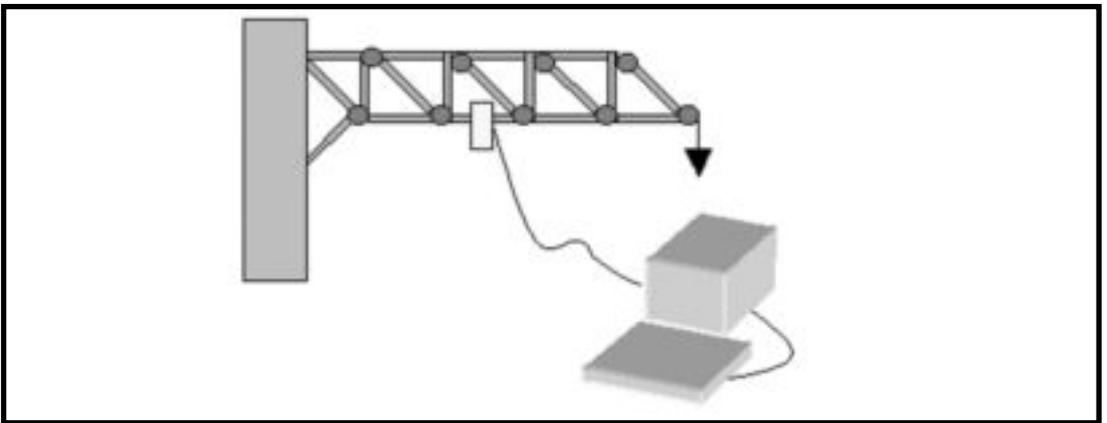
Estructuras reticulares:



Armaduras:



Cantilever:



Porque, con el **equipamiento para el análisis de estructuras de edificios** es posible:

- Experimentar diferentes estructuras, y extraer los esfuerzos y la deformación en diferentes puntos, para ser analizados y observados en una computadora.
- Analizar y evaluar las características técnicas y los elementos componentes de una obra edilicia o vial.
- Medir deformación / sollicitación de carga en un elemento.
- Graficar dicha sollicitación en la computadora.
- Analizar cargas dinámicas y graficarlas, en tiempo real, en la computadora.
- Jerarquizar y priorizar las variables detectadas, en función de un problema tecnológico.

2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

Las situaciones problemáticas que acabamos de plantearle -y todo otro problema tecnológico que involucre la construcción de una estructura-, integran contenidos relacionados con:



Para la cognición humana, todo aquello que existe posee una estructura; para los sentidos, todo lo perceptible tiene forma. Conocer la estructura y la forma implica, así, contar con información particular de los componentes, relaciones, contornos, masa, proporción y cualidades de los cuerpos existentes que constituyen el ordenamiento mental y material de elementos significativos.

Porque, la estructura del universo es producto de la capacidad humana para discernir relaciones significativas y ordenar los fenómenos que percibe o imagina; depende decisivamente de la capacidad de comprender

totalidades, de relacionar sus partes y de calificar sus comportamientos. Es, al mismo tiempo, resultado de la necesidad humana de rehacer constantemente la realidad en nuevas relaciones, nuevas partes, nuevos significados.

Estructura y forma son productos de fases importantes del comportamiento humano:



El diseño estructural

Propiedades estructurales básicas

TÉRMINOS CLAVE

Adelgazamiento. Disminución del área de la sección transversal que ocurre después de alcanzar la tensión de rotura, instantes previos a la fractura del material.

Adherencia. Capacidad de unión entre elementos.

Anclaje. Soporte o sujeción preparado para transmitir esfuerzos.

Anisotropía. Material anisótropo. Característica de un material según la cual sus propiedades son diferentes en distintas direcciones.

Apoyo. Base o cimentación que sirve para sostener una estructura.

Arrostramiento. Refuerzo, amarre.

Atiesado. Elemento sostenido firmemente o bien apoyado.

Capitel. Elemento colocado sobre el fuste de la columna que sostiene directamente el arquiteabe, arcos, etc. Suele estar decorado y adaptar diversas formas.

Carga axial. Fuerza que se aplica a un miembro estructural exactamente en coincidencia con su eje principal.

Cimbra. Armazón -generalmente, de madera- que se utiliza para la construcción de un arco o una bóveda que se desmonta una vez construida.

Claro. Espacio sin vigas o refuerzos.

Coefficiente de Poisson. Valor absoluto de la relación entre la deformación unitaria normal transversal y la deformación unitaria axial.

Coefficiente de variación. Índice que permite escalar las ecuaciones de cálculo de estructuras.

Compresión. Fuerzas que se aplican a un miembro estructural exactamente en coincidencia con su eje principal y en sentido opuesto respecto de sus caras.

Concentración de esfuerzos. Lugar donde se produce la mayor sollicitación de cargas.

Continuidad. Homogeneidad en el comportamiento de la estructura.

Contracción. Propiedad de los materiales que experimentan un acortamiento en uno de sus

ejes.

Contrafuerte. Elemento constructivo adosado al muro de un edificio para sostener su empuje.

Contraventeo. Estructura que soporta las cargas del viento que recibe una fachada.

Crujía. Pasillo que da acceso a las zonas laterales de un edificio. Cada una de las partes principales en que se divide la planta de un edificio. División o espacio comprendido entre columnas o de una arcada, tejado, etc.

Deflexión. Capacidad que poseen los materiales al ser sometidos a fuerzas que los desvían de su línea natural.

Deformación. Alteración de la forma original de un elemento, luego de ser sometido a fuerzas actuantes.

Densidad. Masa por unidad de volumen, de un sólido.

Dintel. Pieza o viga horizontal que cubre o corona el hueco de una puerta o ventana.

Ductilidad. Material dúctil. Capacidad de deformación plástica de un material antes de su rotura. Un material se considera dúctil cuando puede soportar alargamientos mayores al 5 %. Es una característica muy importante en el diseño estructural, puesto que un material dúctil es, usualmente, muy resistente a cargas de impacto. Tiene, además, la ventaja de "avisar" cuándo va a ocurrir la fractura, al hacerse visible su gran deformación.

Eficiencia estructural. Relación entre resistencia y peso volumétrico.

Elasticidad. Capacidad de un material para recuperar sus dimensiones originales al retirar el esfuerzo aplicado.

Elemento de rigidización. Componente estructural que permite darle mayor estaticidad o grado de estabilidad a la estructura.

En voladizo. Parte saliente de la estructura, sin apoyo.

Encofrado. Moldes realizados con tablas o chapas de metal. Este encofrado se rellena, por ejemplo, con hormigón; una vez fraguado éste, se desmonta el armazón y queda un bloque com-

pacto al que se da el nombre de hormigón armado.

Endurecimiento por deformación unitaria. Aumento de la dureza y la resistencia de un material dúctil al ser deformado plásticamente.

Esfuerzo. Magnitud de la fuerza por unidad de área.

Estado límite de fractura en la sección neta. Posibilidad de que el elemento estructural se fracture antes de alcanzar su flujo plástico.

Flecha. Flexión que sufre un elemento sometido a una carga axial.

Flexión. Los elementos estructurales, al ser sometidos a cargas transversales, sufren esfuerzos de tracción y compresión a cada lado de la línea neutra.

Fluencia. Inicio de la deformación plástica. Cuando se produce alargamiento de la barra sin aumentar la tensión, decimos que el material entra en fluencia. La tensión correspondiente a este período se denomina tensión de fluencia.

Fractura. Fraccionamiento o rotura de fibras internas irreversible que sufre un material, superada la tensión límite que soporta.

Fragilidad. Material frágil. Propiedad del material que se rompe sin mayor deformación plástica. Un material se considera frágil cuando se fractura con alargamientos menores al 5 %. Propiedad opuesta a ductilidad; cuando un material es frágil, no tiene resistencia a cargas de impacto y se fractura, aún en carga estática, sin previo aviso.

Frecuencia. Instancia repetitiva en un tiempo determinado: números de períodos por segundo.

Fuerza interna. Fuerza externa. Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, se presentan fuerzas resistentes en las fibras del cuerpo - fuerzas internas-. Fuerza interna es la resistencia interior de un cuerpo a una fuerza externa.

Funicular de cargas aplicadas. Condición gráfica expresada en un polígono de fuerzas o polígono funicular.

Homogeneidad material. Calidad de invariabilidad de las propiedades de un material en cada uno de los puntos constituyentes.

Inversión de esfuerzo. Pasaje de tensión a compresión, por ejemplo.

Isostática. Ante cualquier deformación impuesta a la estructura, ésta tiende a volver a su situación inicial.

Isotropía. Material isótropo. Característica de un material según la cual sus propiedades son iguales en distintas direcciones.

Juntas de morteros. Uniones realizadas con mezcla preparada para la construcción.

Límite de proporcionalidad. Punto de la curva en la gráfica de esfuerzo-deformación, hasta donde la deformación unitaria es proporcional al esfuerzo aplicado.

Límite de proporcionalidad. Tensión por encima de la cual desaparece la linealidad entre las tensiones y las deformaciones.

Límite elástico. Tensión por encima de la cual el material recibe deformación permanente.

Macromarco. Estructura formada por marcos unidos entre sí, formando cubos o paralelepípedos.

Materiales compuestos. Combinaciones de dos o más componentes. Normalmente, están formados por resinas poliméricas reforzadas con fibras o inclusiones.

Modo de falla. Propiedad que tienen los materiales al producirse una falla; este "modo" tiene características propias, según cada material.

Módulo de elasticidad longitudinal. Constante de proporcionalidad entre las tensiones normales y las deformaciones normales.

Módulo de elasticidad tangencial. Constante de proporcionalidad entre tensiones y deformaciones tangenciales.

Módulo de elasticidad. Pendiente de la parte recta del diagrama de esfuerzo-deformación y, por consiguiente, constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Se denomina con la letra E. Su valor para el acero es de 2,100,000 kg/cm²; la madera varía entre 77,300 y 1,237,500 kg/cm²; y para el hormigón podemos tomar como referencia $10,000 \sqrt{f'c}$, en donde $f'c$ es la resistencia del hormigón en kg/cm².

Moldeabilidad. Propiedad que presentan algunos materiales para generar piezas de diferentes formas al fraguar en moldes.

Muro esbelto. Pared que posee una relación alto-ancho muy marcada.

Ortotropía. Material ortótropo. Característica de un material según la cual sus propiedades son diferentes en direcciones perpendiculares entre sí.

Pandeo. Efecto que sufren los elementos estructurales, al torcerse o combarse, alabeándose.

Peralte. Elevación de los bordes o terminación de superficies.

Plano débil. Superficie que presenta menor resistencia.

Plasticidad. Capacidad de un material para deformarse bajo la acción de un esfuerzo y mantener dicha deformación al retirarlo.

Punto de fluencia. Punto en donde la deformación del material se produce sin incremento sensible en el esfuerzo.

Resiliencia. Capacidad de un material para liberar la energía absorbida en el proceso de deformación.

Resistencia a la ruptura. Esfuerzo, basado en la sección original que produce la fractura del material. Su importancia en el diseño estructural es relativa ya que, al pasar el esfuerzo último, se produce un fenómeno de inestabilidad.

Resistencia de materiales. Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo suceden dos cosas. Primero, en el interior del cuerpo se originan fuerzas que resisten a las fuerzas externas; estas fuerzas resistentes o esfuerzos se denominan, simplemente, fuerzas internas. Segundo, las fuerzas externas producen deformaciones, o sea, cambios en la forma del cuerpo. La resistencia de materiales es el estudio de las propiedades de los cuerpos sólidos que les permiten resistir la acción de las fuerzas externas, el de las fuerzas internas en los cuerpos y el de las deformaciones ocasionadas por las fuerzas externas. A diferencia de la *Estática* -que trata del estudio de las fuerzas que se inducen en las diferentes com-

ponentes de un sistema, analizando a éste como cuerpo rígido-, la *Resistencia de materiales* se ocupa del estudio de los efectos causados por la acción de las cargas externas que actúan sobre un sistema deformable.

Resistencia última. Esfuerzo máximo basado en la sección transversal original, que puede resistir un material.

Resistencia. Propiedad de un material para resistir la acción de las fuerzas. Al considerarse los tres esfuerzos básicos -compresión, tracción y corte-, estudiar la resistencia de un material implica conocer el tipo de esfuerzo a que estará sujeto. Por ejemplo, los esfuerzos de tensión y compresión del acero estructural son casi iguales, mientras que el hierro vaciado es más resistente a compresión y relativamente débil a la tracción.

Rigidez. Propiedad que tiene un material para resistir deformaciones. Si, por ejemplo, dos bloques de igual tamaño, uno de acero y otro de madera, están sujetos a cargas de compresión, el bloque de madera se acortará más que el de acero. La deformación (acortamiento) de la madera es, probablemente, 30 veces mayor que la del acero, por lo que decimos que este último es más rígido.

Sección. Área.

Solicitación. Esfuerzo o carga a que está sometido.

Tenacidad. Capacidad de un material para absorber energía de deformación, hasta su rotura.

Tensión admisible. Para que la estructura esté

siempre en condiciones elásticas y no exista la posibilidad de deformación permanente, la tensión de trabajo o tensión admisible debe adoptarse por debajo del límite de proporcionalidad. Se toma como tensión admisible del material, la tensión de fluencia dividida por un coeficiente de seguridad.

Torsión. La torsión pura, dependiendo de la forma de la sección y de la vinculación de la pieza a la que pertenezca, puede ser de tres tipos: Torsión uniforme o de Saint-Venant, que únicamente provoca en la sección tensiones tangenciales; torsión de alabeo, que provoca tensiones tangenciales y normales; torsión mixta, combinación de los dos tipos anteriores.

Trabe. Elemento colocado para transmitir cargas transversales.

Uniaxial. Multiaxial. Aplicado en un solo eje o dirección, o aplicado en varios ejes o direcciones.

Vibración. Movimiento oscilatorio rápido. En construcciones, se somete el hormigón a vibración para obtener mayor homogeneidad en su preparación.

Viga virendeel. Viga metálica formada por dos perfiles horizontales unidos por montantes verticales, sin diagonales de enlace.

Vigueta. Viga ligera que recibe la carga directamente del piso o cubierta.

Volteo. Giro o proyección de una pieza construida.

Zuncho. Empaquetamiento o abrazadera realizado con alambre o varillas de hierro de diferentes diámetros.

Las características que hacen que un material sea adecuado para cumplir funciones estructurales se relacionan, principalmente, con sus propiedades mecánicas y con su costo. Porque, las estructuras civiles implican grandes volúmenes y no siempre permiten el empleo de materiales de resistencia extraordinariamente alta, de comportamiento estruc-

tural excelente y de costo muy elevado.

Dentro de la construcción, el material suele cumplir funciones adicionales a las puramente estructurales. La estructura no es un mero esqueleto resistente, recubierto y protegido por otros componentes que tienen la función de formar una envoltura externa y de

subdividir los espacios. Con frecuencia, la estructura misma cumple parcialmente estas funciones, por lo que el material que la compone debe tener, además de características estructurales adecuadas, propiedades de impermeabilidad y durabilidad ante la intemperie, y de aislamiento térmico y acústico, por ejemplo. Además de la estructura integrada al resto de los componentes constructivos, debe poseer cualidades estéticas a la construcción.

Obviamente, no existe un material estructural óptimo; la opción más conveniente en cada caso depende tanto de la función estructural como de las propiedades no estructurales que son deseables para una situación específica.

Las propiedades estructurales de un material se definen en forma rigurosa por medio de sus leyes constitutivas; o sea, del conjunto de ecuaciones que describen el estado de deformaciones que se presentan en el material ante cada posible estado de esfuerzos, así como los estados que corresponden a condiciones de falla. De una manera más sencilla, las principales propiedades de un material pueden representarse mediante curvas **esfuerzo-deformación** obtenidas de ensayos estándar ante condiciones uniaxiales de esfuerzo (de compresión o tracción). En estos ensayos se ignoran efectos como los de la velocidad y permanencia de la carga, los de repeticiones y alteraciones de esfuerzos y los de estados multiaxiales de esfuerzos. A pesar de estas limitaciones, las curvas esfuerzo-deformación en tracción y en compresión, recabadas de ensayos en condiciones estándar, proporcionan una información relevante acerca del comportamiento de un material.

Hay algunas características no propiamente estructurales que tienen una influencia relevante en el comportamiento y en el aprovechamiento que puede darse a un material dado dentro de una estructura. Una de ellas es el **peso**; en materiales de gran peso volumétrico y de resistencia no muy alta, buena parte de la resistencia debe destinarse a soportar su propio peso -como en el caso de un puente de hormigón, por ejemplo-. Se ha llegado a manejar como medida de la eficiencia estructural de un material a la relación entre su resistencia y su peso volumétrico. El valor que puede darse a las comparaciones de eficiencia que se hacen en estos términos es muy limitado, ya que la conveniencia de uno u otro material depende de muy diversas funciones, estructurales y no, que debe cumplir la estructura.

Otro aspecto que influye en la posibilidad de usar eficientemente un material es de darle la **forma** más adecuada para la función estructural a la que está destinado, tanto en lo relativo a la forma de la sección como a la de los elementos y sistemas

estructurales básicos. Una propiedad también relevante es la **durabilidad**.

► **Durabilidad** es la capacidad de mantener inalteradas sus características con el tiempo y ante el efecto de condiciones ambientales severas, y la de requerir poco mantenimiento para alcanzarla.

Principales materiales estructurales

La gama de materiales que pueden llegar a

emplearse con fines estructurales es muy amplia. Aquí sólo destacaremos algunas de las peculiaridades del comportamiento estructural de los materiales más comúnmente usados.



Los **mampuestos** están formados por materiales pétreos de procedencia natural o artificial, unidos o sobrepuestos. Éstos son, junto con la madera, los primeros utilizados por el hombre en sus construcciones. Se caracterizan por tener resistencia y módulo de elasticidad en compresión relativamente altos, y por una baja resistencia a la tracción. La falla es de carácter frágil, tanto en compresión como en tracción.

Las zonas de contacto entre las piezas o piedras individuales constituyen planos de debilidad para la transmisión de esfuerzos de tracción y de corte. La unión entre las piedras individuales se realiza, en general, por medio de juntas de morteros de diferentes composiciones.

Los mampuestos de piedras artificiales están constituidos por piezas de tamaño pequeño en relación con las dimensiones del elemento constructivo que con ellas se integra. Las piezas pueden tener una gran variedad de formas y de materiales constitutivos; entre los más comunes están el tabique macizo o

huevo de barro fabricado de manera artesanal o industrializado, el bloque hueco de hormigón y el tabique macizo del mismo material, así como el ladrillo silico-calcáreo. En la construcción rural se emplean, también, el adobe (tabique de barro sin cocer) y el suelo-cemento (barro estabilizado con cemento, cal o materiales asfálticos). El hormigón simple suele clasificarse dentro de la categoría de los mampuestos, debido a que sus características estructurales y de tipo de fabricación y empleo son semejantes. Aunque no presenta los planos débiles debido a uniones, su resistencia en tensión es muy baja, por lo que suele despreciarse en el diseño.

Las propiedades estructurales de los mampuestos están sujetas, en general, a dispersiones elevadas, debido al poco control que puede ejercerse sobre las características de los materiales constructivos y sobre el proceso de construcción - que es, esencialmente, artesanal-. Valores típicos del coeficiente de variación de la resistencia en compresión de elementos de mampostería se encuentran entre 30 y 40 %; aunque, con piezas fabricadas industrialmente y construidas con mano de obra cuidadosa, pueden lograrse valores sustancialmente menores. Por la ele-

Como ejemplo, podemos citar el Código de construcción y edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (A efectos legales, es el texto impreso editado por INTI-CIRSOC el que tiene validez como Reglamento Nacional.) Puede acceder a él, por ejemplo, desde el sitio web de la Asociación de Abogados de Buenos Aires. <http://www.aaba.org.ar>

vada variabilidad de las propiedades, los factores de seguridad fijados por las normas para el diseño de estructuras de mampuestos son mayores que los que corresponden a los otros materiales estructurales.

El mejor aprovechamiento de los mampuestos para fines estructurales implica elementos masivos sometidos, esencialmente, a esfuerzos de compresión, como los muros y los arcos. Se emplea, también, cuando se quiere aprovechar el peso del elemento estructural para equilibrar esfuerzos de tensión inducidos por las cargas externas; tal es el caso de los muros de contención.

Pero, los mampuestos tienden a entrar en desuso en los países industrializados debido a que requiere el uso intensivo de mano de obra, lo que la hace poco competitiva respecto de otros materiales. Sin embargo, sigue teniendo amplio campo de aplicación en muchos países, cada vez más en relación con las piezas de tipo industrializado y de mejores propiedades estructurales.

El refuerzo de los materiales pétreos permite eliminar la principal limitación estructural de los mampuestos -o sea, su baja resistencia a esfuerzos de tracción-. En general, el refuerzo consiste en varillas de acero integradas a los mampuestos en las zonas y en la dirección en las que pueden aparecer tensiones.

El **hormigón armado** es el más popular y desarrollado de estos materiales estructurales, ya que aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia a la compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del hormigón, junto con las de alta resistencia a la tracción y

ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes. Manteniendo de manera adecuada la posición y cuantía del acero, se puede lograr un comportamiento notablemente dúctil en elementos sujetos a flexión. Por el contrario, el comportamiento es muy poco dúctil cuando la falla está regida por otros estados límite como cortante, torsión, adherencia y carga axial de compresión. En este último caso, puede eliminarse el carácter totalmente frágil de la falla si se emplea refuerzo transversal en forma de zuncho. El hormigón está sujeto a deformaciones importantes por contracción y flujo plástico que hacen que sus propiedades de rigidez varíen con el tiempo.

Estos fenómenos deben ser considerados en el diseño, modificando adecuadamente los resultados de los análisis elásticos, así como tomarse precauciones en la estructuración y el dimensionamiento, para evitar que se presenten flechas excesivas o agrietamientos por cambios volumétricos.

Por su moldeabilidad, el hormigón se presta a tomar las formas más adecuadas para el funcionamiento estructural requerido y, debido a la libertad con que se puede colocar el acero en diferentes cantidades y posiciones, es posible lograr que cada porción de la estructura tenga la resistencia necesaria para absorber las fuerzas internas que se presentan. El monolitismo es una característica casi obligada del hormigón colado en sitio: al prolongar y anclar el acero en las juntas, pueden transmitirse los esfuerzos de uno a otro elemento, y se logra continuidad en la estructura.

Las dimensiones -generalmente, robustas- de las secciones y el peso volumétrico relativamente alto del hormigón hacen que el peso propio sea una acción preponderante en el diseño de las estructuras de este material y en el de las cimentaciones que las soportan. Los hormigones elaborados con agregados ligeros se emplean con frecuencia en muchos países para reducir la magnitud del peso propio. En estos casos se incrementan, sin embargo, las deformaciones por contracción y flujo plástico, y se reduce el módulo de elasticidad para una resistencia dada.

Mediante una dosificación adecuada de los componentes, puede proporcionarse la resistencia a compresión más conveniente para la función estructural que debe cumplirse. Aunque, para las estructuras comunes, resulta más económico emplear resistencias cercanas a 250 kg/cm^2 , éstas pueden variarse con relativa facilidad entre 150 y 500 kg/cm^2 y pueden alcanzarse valores aún mayores con cuidados muy especiales en la calidad de los componentes y del proceso de fabricación.

La variabilidad de las propiedades mecánicas es reducida si se observan precauciones rigurosas en la fabricación; en este caso se producen coeficientes de variación de la resistencia en compresión poco superiores a 10% . Se tienen dispersiones radicalmente mayores cuando los componentes se dosifican por volumen, y sin tomar en cuenta la influencia de la humedad y la absorción de los agregados en las cantidades de agua necesarias en la mezcla; en estos casos, son frecuentes coeficientes de variación entre 20 y 30% , para la resistencia a la compresión.

Una modalidad más refinada del hormigón armado permite eliminar o, al menos, reducir el inconveniente del agrietamiento del hormigón que es consecuencia natural de los esfuerzos elevados de tracción a los que se hace trabajar al acero. Este problema se vuelve más importante a medida que los elementos estructurales son de proporciones mayores y aumentan las fuerzas que se quieren desarrollar en el acero -como es el caso de vigas de grandes claros para techos y para puentes-. Esta modalidad es el **hormigón pretensado** que consiste en inducir esfuerzos de compresión en las zonas de hormigón que van a trabajar a tracción y, así, lograr que, bajo condiciones normales de operación, se eliminen o se reduzcan los esfuerzos a tracción en el hormigón y, por tanto, no se produzca agrietamiento. Las compresiones se inducen estirando el acero, haciéndolo reaccionar contra la masa de hormigón. Para evitar que el pretensado inicial se pierda -en su mayor parte, debido a los cambios volumétricos del hormigón-, se emplea acero de muy alta resistencia (superior a 15.000 kg/cm^2).

Otras modalidades de refuerzo del hormigón han tenido aplicación limitada, hasta el momento; éste es el caso del refuerzo con fibras cortas de acero o de vidrio que, dispersas en la masa de hormigón, proporcionan resistencia a la tracción en cualquier dirección, así como alta resistencia al impacto; o el caso del refuerzo con placas de acero plegadas en el exterior del elemento con resinas epóxicas de alta adherencia.

En los mampuestos también se han usado barras de acero con la misma finalidad que para el hormigón. Pero, los *mampuestos*

reforzados han tenido un adelanto mucho menor que el hormigón armado, porque su empleo casi obligado es en muros, en los que, bajo las cargas verticales, las sollicitaciones son casi exclusivamente de compresión. Es poco práctico construir vigas y losas de mampuestos, en las que se requiere refuerzo a la tracción.

En zonas sísmicas y en construcciones que pueden estar sujetas a hundimientos diferenciales de sus apoyos, debe preverse la aparición de tensiones por flexión o por tensión diagonal en los muros de mampuestos, por lo que es necesario proporcionar algún tipo de refuerzo. El refuerzo puede ser en el interior de piezas huecas, como los bloques de hormigón, o concentrado en pequeños elementos aislados, como en mampuestos de piedra natural o artificial de piezas macizas.

La **madera** tiene características muy convenientes para su uso como material estructural y, como tal, se ha empleado desde los inicios de la civilización. Al contrario de la mayoría de los materiales estructurales, tiene resistencia a la tracción superior a la de compresión, aunque esta última es también aceptablemente elevada. Su buena resistencia, su ligereza y su carácter de material natural renovable constituyen las principales cualidades de la madera para su empleo estructural. Su comportamiento es relativamente frágil a la tracción y aceptablemente dúctil a la compresión, en la que la falla se debe al pandeo progresivo de las fibras que proporcionan la resistencia. El material es fuertemente anisotrópico, ya que su resistencia es notablemente mayor en la dirección de las fibras que en las ortogonales de ésta. Sus inconvenientes principales son la poca dura-

bilidad en ambientes agresivos, la que puede ser subsanada con un tratamiento apropiado, y la susceptibilidad al fuego, que puede reducirse sólo parcialmente con tratamientos retardantes y, más efectivamente, protegiéndola con recubrimientos incombustibles. Las dimensiones y formas geométricas disponibles son limitadas por el tamaño de los troncos; esto se supera en la madera laminada pegada, en que piezas de madera de pequeño espesor se unen con pegamentos de alta adhesión para obtener formas estructuralmente eficientes y para lograr estructuras -en ocasiones, muy atrevidas y de gran belleza-.

El problema de la anisotropía se reduce en la madera contrachapeada en la que se forman placas de distinto espesor, pegando hojas delgadas con las fibras orientadas en direcciones alternadas en cada chapa.

La unión entre los elementos de madera es un aspecto que requiere especial atención y para el cual existen muy diferentes procedimientos. Las propiedades estructurales de la madera son muy variables, según la especie y según los defectos que puede presentar una pieza dada; para su uso estructural se requiere una clasificación que permita identificar piezas con las propiedades mecánicas deseadas. En algunos países, el uso estructural de la madera es muy difundido y se cuenta con una clasificación estructural confiable; en otros, su empleo con estos fines es prácticamente inexistente y es difícil encontrar madera clasificada para fines estructurales.

De los materiales comúnmente usados para fines estructurales, el **acero** es el que tiene

mejores propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad. Su eficiencia estructural es, además, alta; esto es debido a que puede fabricarse en secciones con la forma más adecuada para resistir flexión, tracción, compresión u otro tipo de sollicitación. Las resistencias a la compresión y a la tracción son prácticamente idénticas y pueden hacerse variar dentro de un intervalo bastante amplio, modificando la composición química o mediante trabajo en frío. Hay que tomar en cuenta que, a medida que se incrementa la resistencia del acero, se reduce su ductilidad y que, al aumentar la resistencia no varía el módulo de elasticidad, por lo que se vuelven más críticos los problemas de pandeo local de las secciones y global de los elementos. Por ello, en las estructuras normales, la resistencia de los aceros no excede de 2.500 kg/cm^2 ; mientras que, para el hormigón, donde no existen problemas de pandeo, se suelen emplear aceros de 6.000 kg/cm^2 y hasta de 20.000 kg/cm^2 para pretensados. La continuidad entre los distintos componentes de la estructura no es tan fácil de lograr como en el hormigón armado; el diseño de juntas, soldadas o atornilladas, requiere de especial cuidado para que sean capaces de transmitir las sollicitaciones que implica su funcionamiento estructural.

Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen, generalmente, poca variabilidad. Coeficientes de variación del orden de 10 % son típicos para la resistencia y para las otras propiedades.

Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace más fácilmente

predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos. Las extraordinarias cualidades estructurales del acero y, especialmente, su alta resistencia a la tracción, han sido aprovechadas estructuralmente en una gran variedad de elementos y materiales compuestos -entre ellos, el hormigón armado y el pretensado; además, en combinación con madera, plásticos, mampostería y otros-.

La posibilidad de ser atacado por la corrosión hace que el acero requiera protección y cierto mantenimiento en condiciones ambientales severas. El costo y los problemas que se originan por este aspecto son suficientemente importantes como para que inclinen la balanza hacia el uso de hormigón armado en algunas estructuras que deben quedar expuestas a la intemperie, como los puentes y ciertas obras marítimas, aunque en acero podría lograrse una estructura más ligera y de menor costo inicial.

Existe una gran variedad de otros materiales que llegan a emplearse para fines estructurales, pero cuya aplicación a la fecha ha sido muy limitada:

- El **aluminio** tiene excelente resistencia; pero, su módulo de elasticidad relativamente bajo y su costo impiden su utilización en la mayoría de las estructuras civiles, aunque no en estructuras especiales - como en los aviones y en los muebles- en que su bajo peso representa una ventaja decisiva.
- Se llegó a pensar que los **plásticos**, en un gran número de modalidades, llegarían a constituir un material estructural pre-

ponderante; sin embargo, su alto costo y su susceptibilidad al fuego han limitado grandemente su desarrollo en este sentido.

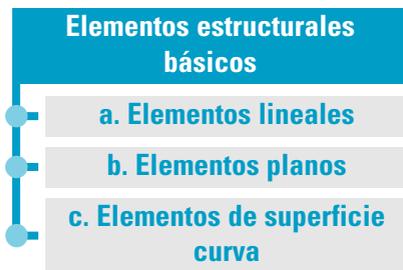
- La **resina reforzada con fibra de vidrio** ha tenido algunas aplicaciones estructurales importantes en las que se ha aprovechado su moldeabilidad, ligereza, alta resistencia a la tracción y costo razonable.

Es de esperarse que, en el futuro, se desarrollen y popularicen materiales diferentes; sin embargo, la tendencia, desde hace varias décadas, ha sido hacia el mejoramiento de las propiedades de los materiales existentes más que hacia el desarrollo de materiales radicalmente diferentes.

Los elementos más sencillos que pueden identificarse en una estructura son aquellos que se moldean como líneas; o sea, que tienen una de sus dimensiones mucho mayor que las otras dos. Trataremos estos elementos en función del tipo de sollicitación que en ellos predomina.

Estos elementos pueden analizarse y verse en funcionamiento mediante el recurso didáctico que proponemos. A través de él es posible ensayar cómo responden a las sollicitudes de cargas y comparar los esfuerzos locales.

Elementos estructurales básicos



a. Elementos lineales

Elemento lineal		
Tracción	Compresión	Flexión
Tensores	Columna o puntal	Viga
Cable colgante	Arco	

Entre los ejemplos más sencillos, podemos distinguir dos casos: el **tensor**, como elemento de eje recto sujeto a una carga actuante en dirección de su eje y el **cable colgante**, que sirve para resistir cargas transversales y que toma la configuración adecuada a cada sistema de carga que está sujeto.

Un aspecto especialmente importante en el diseño de un elemento sometido a tracción es la necesidad de un anclaje. Este elemento transmite la fuerza en él aplicada a un punto de apoyo que puede ser otra parte de la estructura o el terreno. Cuando la reacción:

- se transmite a la estructura, puede introducir en ella sollicitaciones importantes;
- se transmite al terreno, debe ser contrarrestada, ya sea por gravedad mediante un elemento de anclaje cuyo peso equilibre la reacción-, ya sea por fricción entre un elemento de anclaje y el terreno. El dispositivo de anclaje puede resultar complejo y costoso, ya que suelen intro-

ducirse en él concentraciones de esfuerzos muy elevadas.

Otra característica de los elementos sometidos a tracción es su escasa o nula rigidez para fuerzas que actúan fuera de su eje. Con frecuencia, los tensores se diseñan con cierta rigidez transversal para que absorban flexiones accidentales, como diagonales de armaduras, por ejemplo.

Respecto de los materiales

- El material clave para trabajar a tracción es el acero, por su alta resistencia y por la relativa facilidad de ser anclado. En elementos largos y en estructuras importantes, es común utilizar aceros de muy alta resistencia para aprovechar al máximo la potencialidad de este material; aunque, con esto, se presentan mayores dificultades en el anclaje. Cuando no se pretende que el elemento tenga rigidez transversal, la sección ideal es la circular, barra maciza o cable.
- El hormigón armado se emplea, en ocasiones, en tensores; aunque, aquí, la función del hormigón es puramente de protección del acero que es el que proporciona resistencia a la tracción. La ventaja de un tensor de hormigón es que puede funcionar como puntal, si las cargas llegan a cambiar de sentido y requieren que el elemento trabaje a compresión. El anclaje de tensores de hormigón se realiza, normalmente, por adherencia de las barras de hormigón dentro de la parte de la estructura contra la que se aplica la reacción. El empleo del refuerzo en tensores de hormigón reduce el problema

del agrietamiento ante esfuerzos de tracción.

- La buena resistencia a la tracción de la madera permitiría su uso como tensor; sin embargo, las dificultades de anclaje hacen poco conveniente el empleo de este material para dicho fin, excepto para elementos cortos, como diagonales de armadura.
- Los mampuestos, obviamente, son inadecuados por su pobre resistencia a la tracción.

El **puntal** es el elemento barra sujeto a compresión axial. Su denominación más común de **columna** es más apropiada cuando el puntal está sujeto a condiciones de carga más complejas que incluyen flexión.

El equivalente del cable colgante para esfuerzos de compresión es el **arco**. Sin embargo, mientras que el cable cambia de forma para transmitir las cargas a los apoyos por medio de tracción puramente axial, el arco es una estructura rígida que transmite las cargas a los apoyos por compresión pura sólo si su forma corresponde exactamente al funicular de las cargas aplicadas. Cualquier desviación de esta trayectoria implica la aparición de flexiones para que la carga pueda ser transmitida a los

El estado de compresión perfectamente axial es meramente ideal en las estructuras ya que, por las condiciones de continuidad o imperfección de la construcción, siempre se presentan excentricidades accidentales de la carga aplicada, las que dan lugar a que ésta se encuentre acompañada de cierta flexión.

apoyos. La magnitud de las flexiones es proporcional a la desviación (excentricidad) entre el eje del arco y el funicular de cargas.

La reacción en el apoyo tiene un componente horizontal, coceo, que introduce problemas en el resto de la estructura, especialmente cuando el arco es elevado. Variando la geometría del arco, se modifica la magnitud de las flexiones que se introducen y la del coceo.



- Los mampuestos y el hormigón han sido los materiales más comunes para la construcción de arcos, aprovechando su alta resistencia en compresión y su bajo costo. El arco es la forma natural de transmitir cargas transversales con estos materiales que no tienen capacidad apreciable a la tracción y, por tanto, no son aptos para transmitirla por flexión -como en las vigas- sino sólo por compresión - como en los arcos-.
- El acero es también adecuado para esta forma estructural, aunque los problemas

de pandeo suelen regir su diseño, por lo cual, en este caso, las secciones abiertas de gran momento de inercia son las más adecuadas.

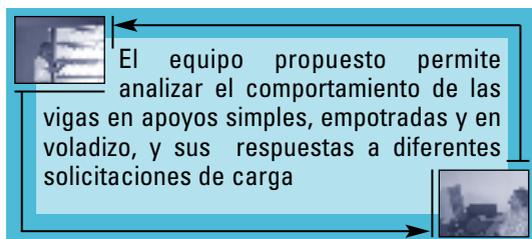


Una barra sujeta a cargas normales a su eje es una **viga** -aunque, este nombre se asigna comúnmente sólo cuando la barra es horizontal-. Una viga resiste y transmite a sus apoyos la carga por medio de flexión y cortante. La variación de esfuerzos normales a lo largo de la sección define una resultante de compresión y una de tracción que deben ser iguales, ya que la carga axial externa es nula. La magnitud del momento máximo que puede resistir la sección está definida por la magnitud de las resultantes de los esfuerzos internos de tracción y compresión que pueden desarrollarse, y del brazo de palanca de dichas fuerzas.



En una sección rectangular, cuando se alcanza el esfuerzo máximo en la fibra extrema, más de la mitad de la sección está sujeta a menos de la mitad de dicho esfuerzo máximo; por lo tanto, la sección es poco eficiente, al contrario de lo que ocurre para la carga axial de tracción o de compresión en que toda la sección está sujeta a un esfuerzo máximo constante. Para aumentar la eficiencia de una sección conviene concentrar más área cerca de los extremos.

- En acero, la sección **I** es ideal para esta función.
- En el hormigón armado, la sección **T** proporciona una mayor área de hormigón en la parte superior, para equilibrar en compresión la fuerza de tracción que puede desarrollar el acero en la parte inferior de la sección.



Además de la flexión principal, otros estados límite rigen el dimensionamiento de una viga: la falla por cortante, el pandeo lateral y el pandeo local de la zona en compresión suelen resultar críticos para definir las dimensiones del alma de la viga, de su momento alrededor del eje débil y de los espesores de las diferentes partes de la sección, respectivamente. Ocasionalmente, las vigas deben resistir, además, momentos flexionantes en dirección normal al plano de las cargas principales, así como momentos torsionantes. Todo ello hace que la sección

que puede resultar óptima para fines de resistir la flexión principal no sea necesariamente la más adecuada al considerar los otros estados límite.

En elementos sujetos a compresión o a tracción axial, las deformaciones son muy pequeñas y no suelen regir el dimensionamiento. En vigas con mucha frecuencia, el momento de inercia necesario está regido por el comportamiento de los requisitos de las flechas máximas admisibles y no por el de resistencia.

Otra diferencia de la viga con respecto al tensor y al puntal es que, mientras que en estos últimos los esfuerzos son prácticamente constantes en todo el elemento, en vigas los diagramas de momentos y de cortantes varían de una a otra sección según la forma de apoyo y el tipo de carga. En materiales como la madera y el acero, las formas disponibles obligan, casi siempre, a proporcionar en todas las secciones de un elemento, propiedades uniformes e iguales a las que se requieren únicamente en las secciones críticas, por lo que en la mayoría de las secciones la resistencia es superior a la necesaria. En el hormigón armado se tiene mucho más facilidad para variar la resistencia de una sección a otra, cambiando la cantidad y posición del refuerzo, de manera de tener la resistencia distribuida en forma similar a la requerida por el diagrama de momentos debido a las cargas actuantes.

Para un funcionamiento eficiente como viga, es esencial contar con materiales con apreciable resistencia a la tracción; de allí que el acero -solo o como elemento del hormigón armado - y la madera sean los más emplea-

dos para formar estos elementos estructurales:

- El uso de la madera está limitado a espacios no muy grandes, a raíz de las dimensiones disponibles en los elementos y por la homogeneidad en la calidad a lo largo de éstos.
- En el acero se cuenta con una amplia gama de perfiles laminados y, además, con la posibilidad de obtener secciones de formas más adecuadas al uso específico, armándolas a partir de placas y perfiles soldados. Los problemas de pandeo lateral, de pandeo local y de flexiones rigen, frecuentemente, el diseño de vigas de este material. Para vigas de tamaño pequeño, las secciones más eficientes son las que se forman doblando en frío láminas delgadas de acero de alta resistencia; esto da lugar a secciones muy eficientes, no sólo en flexión principal sino también para pandeo lateral y local, y para flexión sobre el eje débil. Secciones muy eficientes son también las de alma abierta, en las que la fuerza cortante no se resiste a través de un medio continuo sino de elementos diagonales, dando lugar a un funcionamiento como armadura.
- Es en la viga donde el hormigón armado y, especialmente, el pretensado, encuentra su aplicación más eficiente, al integrar un material compuesto que aprovecha las ventajas de sus dos materiales componentes. En el hormigón armado elaborado en sitio, la búsqueda de secciones más eficientes que la rectangular o la T no se justifica, en general, por el costo. Por el contrario, en los elementos prefabricados, generalmente pretensados, es usual

emplear secciones de formas más elaboradas en las que se obtiene un mayor aprovechamiento del material con menor área, lo que reduce en un ahorro no sólo por menor costo de material sino, principalmente, por menor peso propio de la viga.

Existe un gran número de secciones compuestas en que se trata esencialmente de combinar una parte prefabricada con alta resistencia a la tracción con otra buena resistencia en compresión, de menor costo y que, por lo general, pueda formar sistemas de piso. Para que se garantice el trabajo conjunto de la sección compuesta, es necesario que se cuente con capacidad para transmitir esfuerzos tangenciales en la superficie de contacto, lo que puede lograrse por fricción, adhesión o por anclaje mecánico.

b. Elementos planos

Elemento plano Placa	
Flexión	Compresión
Losa	Muro

Un grupo importante de elementos estructurales básicos se caracteriza por tener una dimensión muy pequeña con respecto a las otras dos y una superficie media plana. Estos elementos se identifican con el nombre genérico de **placas**, aunque adquieren nombres más específicos según la función estructural principal que desempeñan.

Las placas sujetas a cargas normales a su plano y apoyadas en sus bordes o en algunos puntos son típicas de los sistemas de piso y techo, aunque cumplen un gran número de

otras funciones en diferentes estructuras. Cuando son de hormigón, de piedra o de construcción compuesta con estos materiales, se denominan **losas**.

- Una placa **apoyada solamente en dos de sus bordes** en una misma dirección, funciona esencialmente como una viga ancha, ya que transmite la carga a los apoyos por medio de flexión en una dirección. Cuando la carga es uniforme, es válido considerar una franja de losa de ancho unitario y diseñarla como viga. En realidad, el comportamiento es ligeramente distinto, debido a las restricciones que existen a las deformaciones que se originan en dirección transversal por efecto de Poisson.
- La placa sobre **apoyos rígidos** en todo su perímetro se flexiona con doble curvatura; en su comportamiento se interpreta que una fracción de la carga se transmite por flexión en una dirección y el resto, por flexión, en la otra. De esta forma, la eficiencia es muy superior a la de la placa que trabaja en una sola dirección. La porción de la carga que transmite en cada dirección depende de la relación de claros. En las placas muy alargadas, domina la flexión en la corta dirección, así que éstas se analizan como apoyadas en una sola dirección.
- La placa sobre **apoyos flexibles** se flexiona también en dos direcciones; pero, la parte de la carga que es transmitida por flexión de la losa en dirección X debe ser transmitida por flexión en la dirección Y por las vigas de apoyo. De la misma forma, la fracción de la carga que es resistida por la losa por flexión en dirección Y

es recibida por las vigas de apoyo y debe ser transmitida por éstas a las columnas, por flexión en dirección X. Por consiguiente, el total de la carga debe ser resistido por flexión tanto en dirección X como en Y, sea por la losa misma o por los elementos de apoyo. Por esto, conviene considerar a la losa y a sus elementos de apoyo como un solo sistema capaz de resistir la flexión generada en ambas direcciones por la totalidad de la carga.

- En la placa **apoyada sobre columnas**, el total de la carga produce flexión en dirección Y. En este caso, las franjas de la losa que se encuentran sobre columnas pueden considerarse visualmente como vigas que toman la mayor parte de la flexión. De lo que se aprecia que el funcionamiento es similar al del caso anterior.

La fuerza cortante a veces llega a regir el diseño. Para la distribución de los momentos flexionantes y de las reacciones en los apoyos existen soluciones analíticas cerradas para un gran número de condiciones de carga y de apoyo, así como de formas de la losa bajo la hipótesis de comportamiento elástico-lineal. Para condiciones irregulares de forma, de carga o de apoyo, no es posible resolver la ecuación diferencial de la placa y es necesario recurrir a métodos numéricos, de elementos finitos, por ejemplo, o procedimientos aproximados.

Una placa es un elemento altamente hiperestático. Para los materiales usuales que forman estos elementos -acero u hormigón armado con baja cuantía de acero-, se tiene un comportamiento muy dúctil que permite

grandes redistribuciones de momentos. La distribución de momentos obtenida de la teoría elástica se altera sustancialmente en cuanto se produce agrietamiento en el hormigón y, más aún, cuando se alcanza el momento de fluencia en las secciones críticas. La capacidad de carga de la losa se alcanza cuando se forma una configuración de líneas de fluencia suficiente como para dar lugar a un mecanismo. La distribución de momentos tiende a uniformarse en las diferentes secciones, lo que justifica el empleo de métodos aproximados que suponen momentos constantes en franjas que abarcan la mitad central y los cuartos extremos.

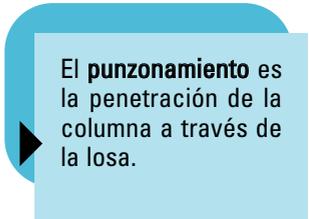
Por ser elementos que trabajan a flexión, las losas sufren deformaciones importantes bajo carga; de manera que, la limitación de la flecha y vibración en condiciones de servicio, es el aspecto que rige normalmente el espesor de la placa.

- El hormigón armado es el material más empleado en losas, por su costo relativamente bajo y por otras propiedades favorables de tipo no estructural.
- La madera contrachapeada se emplea sólo para claros pequeños.
- El acero tiene la ventaja de su alta resistencia a la tracción; pero, excepto en claros muy pequeños, el espesor que se requiere por rigidez es muy superior al necesario por resistencia, de manera que su empleo en placas macizas se limita a pequeños claros. Para obviar esta desventaja, conviene que la placa de acero tenga formas que proporcionen alta rigidez con poco espesor, tales como la placa nervada o la rejilla. Para placa en una direc-

ción, la lámina corrugada proporciona un elevado momento de inercia con un peso mínimo de material, lo que la hace muy adecuada para transmitir flexión, de modo que su uso es muy difundido, especialmente para cargas ligeras.

- Una forma muy eficiente de aumentar rigidez y resistencia consiste en utilizar un material de alta resistencia -generalmente, de costo elevado- en forma de láminas delgadas extremas de la sección y de otro material de poco costo y peso como alma, para proporcionar espesor a la sección y resistir esfuerzos cortantes. Esto da lugar a láminas llamadas placas *sándwich* que se pueden formar con un gran número de materiales.

La aseveración de que la fuerza cortante no es significativa para el diseño de placas, es válida generalmente para aquéllas que están apoyadas en todo su perímetro, pero no lo es para las que descansan sobre apoyos puntuales. En este caso, la reacción de la columna se equilibra por esfuerzos cortantes elevados en la superficie vertical de contacto con la placa; si éstos son excesivos, se produce una falla por punzonamiento. Este aspecto suele condicionar el espesor de la placa, o hacer necesario un engrosamiento o un refuerzo local para evitar la falla.



El **punzonamiento** es la penetración de la columna a través de la losa.

El **muro** es una placa vertical en la que, generalmente, predominan las cargas verticales que están distribuidas de manera uniforme

en toda la longitud del muro por medio de un sistema de piso. Por ello, es usualmente aceptable aislar una longitud unitaria de muro y diseñarla como una columna. Por su poco espesor, bastan pequeños momentos flexionantes o ligeras excentricidades en la carga vertical para reducir notablemente la resistencia. Por la misma razón, los efectos de esbeltez (pandeo) suelen ser importantes, de manera que la carga axial resistente de los muros corresponde a esfuerzos de compresión inferiores a los que se aceptan en columnas; los métodos de diseño suelen ser empíricos.

- El hormigón y los mampuestos son los materiales clásicos para muros.
- La madera se emplea en forma de tablero con armazón y cubierta de la misma madera contrachapeada o de otros materiales.

Consideremos tres variedades: el muro panel, el muro diafragma y el muro de rigidez.

El **muro panel** está sujeto a cargas laterales en su plano. Es un elemento común en edificios y en estructuras del tipo cajón en donde se aprovecha la gran rigidez lateral que estos elementos tienen por su considerable peralte, para limitar las deflexiones horizontales de la estructura. Pueden distinguirse diversas modalidades.

El **muro diafragma** es un elemento de rigidización ante cargas en el plano de la estructura. Debido a estas cargas, está sujeto a un estado de cortante en el plano. Su función es equivalente a la de diagonales de

amarre y, en muchos métodos simplificados de análisis, se idealiza como tal.

El **muro de rigidez** no se encuentra, como el diafragma, enmarcado en un sistema estructural que absorbe las cargas axiales y de flexión; por tanto, aunque su función esencial es la de rigidizar y resistir cargas laterales en su plano, debe resistir, además de esfuerzos cortantes, esfuerzos normales debidos a carga axial y a flexión. Cuando la relación altura-longitud de estos muros no es muy baja, predominan los efectos de flexión en lo que respecta a los modos de falla.

Los materiales empleados son los mismos mencionados para muros sujetos a carga vertical. En los muros diafragma de mampuestos y hormigón, el refuerzo no es indispensable debido a que se presentan tensiones diagonales por el efecto de cortante; existe un efecto de puntal de compresión que sigue siendo efectivo aún después del agrietamiento diagonal. En los muros de rigidez, el refuerzo es esencial para proporcionar la resistencia a momentos flexionantes.

El muro sujeto a cargas normales a su plano funciona como una losa, por lo que para él valen los comentarios anteriores. Casos típicos son las paredes de tanques y depósitos, y los muros de contención en los que la flexión y el volteo debidos al empuje de la tierra son aspectos críticos.

Una placa que actúa como viga con flexión en su plano se denomina **viga-diafragma**. La diferencia con respecto a una viga normal es que, por la baja relación claro-peralte (menor de cuatro), las deformaciones de cortante predominan sobre las de flexión, y la hipóte-

sis de secciones planas no es aceptable. Se trata de elementos de alta rigidez que se emplean, especialmente, cuando es necesario transferir grandes cargas concentradas de una a otra posición. Además de los problemas de flexión y cortante, los de pandeo pueden regir su diseño.

c. Elementos de superficie curva

Elemento de superficie curva	
Tracción	Compresión
Membrana	Cascarón

Ya hemos analizado cómo puede aprovecharse la forma de un elemento lineal para transferir cargas transversales a los apoyos de la manera más eficiente. Éste toma la forma de un cable -para equilibrar las cargas exteriores mediante tracción axial- o de un arco -para hacerlo por medio de compresión-. De manera semejante, un elemento placa puede tomar la curvatura más adecuada para transmitir cargas por medio de esfuerzos axiales.

La **membrana** es un elemento superficial de espesor pequeño que, colgándose de sus apoyos, toma la forma que le permite eliminar la flexión y transformar en tensión las cargas transversales aplicadas. Es el equivalente en el espacio del cable colgante que adquiere una determinada forma bajo una condición de carga dada, ajustándose a la superficie funicular. Sus características de funcionamiento estructural son, también, similares a las del cable:

- gran eficiencia estructural con mínimo peso propio de la estructura,

- rigidez transversal despreciable que lleva a la necesidad de cambiar de forma para soportar cada estado de fuerzas diferente,
- transmisión de elevadas fuerzas de anclaje concentradas en algunos puntos y con dirección inclinada, que exigen una estructura de soporte que puede resultar particularmente costosa.

La rigidez de una membrana se incrementa notablemente si se aplican tensiones en sus extremos para que quede pretensada antes de la carga. De esta manera, la membrana sufre sólo pequeños cambios de forma al pasar de un estado de carga a otro. Una forma muy conveniente de lograr buena rigidez en una membrana es asociando una doble curvatura con pretensado.

El material ideal para membrana es el acero, por su alta resistencia a la tracción; éste se utiliza ya sea en superficies continuas -como en el caso de paredes de recipientes a tracción- o en redes de cables -como en las cubiertas colgantes-. Las lonas de fibras naturales o artificiales han sido también empleadas en cubiertas colgantes y resultan muy eficientes.

La acción de membrana se desarrolla como un mecanismo secundario para resistir fuerzas en elementos planos de espesor no despreciable que transmiten las cargas por flexión. Si éstos llegan a tener flechas muy elevadas en relación con su espesor, comienzan a resistir las cargas por efecto de membrana, al colgarse de sus apoyos.

El **cascarón** es un elemento de superficie curva que resiste cargas; esencialmente, por

esfuerzos de compresión. El cascarón es a la membrana como el arco es al cable; para que esté sujeto a compresión pura, su forma debe ser el inverso del funicular de cargas. Por esto, la transmisión de cargas implica, casi siempre, la aparición de tensiones, de cortantes y, ocasionalmente, de flexiones cuya magnitud debe tratarse de mantener mínima por medio de la adopción de la forma más eficiente -por lo general, con el aprovechamiento de la doble curvatura-. Por otra parte, debido a los pequeños espesores que se logran en los cascarones por la gran eficiencia estructural de su forma, la resistencia puede estar regida por pandeo local de la superficie. También, por la misma razón, la resistencia del cascarón ante flexiones es reducida, por lo que su capacidad para soportar cargas concentradas es pequeña, excepto en zonas donde las curvaturas son muy grandes. Otro aspecto que debe tomarse en cuenta son las concentraciones de esfuerzos que suelen presentarse en los apoyos y en los bordes, las que requieren frecuentemente de engrosamientos locales o de elementos de rigidización.

Los cascarones pueden tomar formas muy variadas y se prestan a crear estructuras de gran belleza. Las de geometría más sencilla son los cascarones cilíndricos o superficies de traslación; éstos se generan por la traslación de una línea recta sobre una línea curva plana. La traslación de un arco de círculo sobre una línea recta da lugar a la bóveda cilíndrica, en la cual la acción de cascarón se genera en una sola dirección, pero con mucha eficiencia debido al gran momento de inercia de la sección. Un funcionamiento semejante tienen las láminas corrugadas y las placas plegadas.

Principales sistemas estructurales

Una estructura está formada, generalmente, por un conjunto de elementos básicos que hemos descrito. El **conjunto** debe aprovechar las características peculiares de cada elemento y lograr la forma más eficiente del sistema estructural global, cumpliendo con las restricciones impuestas por el funcionamiento de la construcción y por muchos otros aspectos.

Conviene hacer algunas consideraciones iniciales acerca de ciertas características deseables de los sistemas estructurales.

De manera semejante de lo que se estableció para los materiales y elementos, las características estructurales más importantes de un sistema estructural son:

- resistencia,
- rigidez y
- ductilidad.

El sistema debe **resistir** de manera eficiente las diversas condiciones de carga a las que puede estar sometida la estructura y poseer **rigidez** para las diferentes direcciones en que las cargas -tanto verticales como horizontales- pueden actuar.

Conviene que posea **ductilidad**, en el sentido que no baste con un estado límite de resistencia en una sola sección para ocasionar el colapso brusco de la estructura, sino que ésta posea capacidad para deformarse sosteniendo su carga máxima y una reserva de capacidad antes del colapso; esto, siempre

que los modos de falla que se presenten sean dúctiles y que las secciones tengan suficiente capacidad de rotación. A este respecto, hay que recalcar las ventajas de la hiperestaticidad del sistema: Mientras mayor es el grado de hiperestaticidad, mayor es el número de secciones individuales que tienen que llegar a su máxima capacidad antes de que se forme un mecanismo.

Principales sistemas estructurales		
a. Sistemas formados por barras	Arreglos triangulares - tipo armadura-	
	Arreglos tipo marco: <ul style="list-style-type: none"> • Puntal y vigas. • Marco rígido. • Viga Virendeel. 	
b. Sistemas basados en placas -tipo cajón-	Cajón tridimensional.	
c. Otros sistemas estructurales	Horizontal o de piso.	Placa plana maciza. Losa plana. Losa reticular.
	Vertical o de soporte.	Muro. Núcleo central. Tubo. Tubo en tubo. Tubo subdividido en celdas.

a. Sistemas formados por barras

Con arreglos de barras pueden formarse esquemas estructurales muy diversos, de los cuales una primera subdivisión es entre:

- **arreglos triangulares**, tipo armadura; aquí, las cargas externas se resisten esen-

cialmente por fuerzas axiales en los miembros;

- **arreglos tipo marco**; aquí, la transmisión de las cargas implica la aparición de flexión y cortante.

También puede hacerse una distinción entre:

- sistemas bidimensionales o aquellos que pueden considerarse compuestos por subsistemas más bidimensionales factibles de analizarse en forma independiente;
- sistemas que sólo pueden analizarse como tridimensionales..

Otro aspecto importante es diferenciar el comportamiento estructural de los apoyos, el tipo de unión entre las barras, que puede ser:

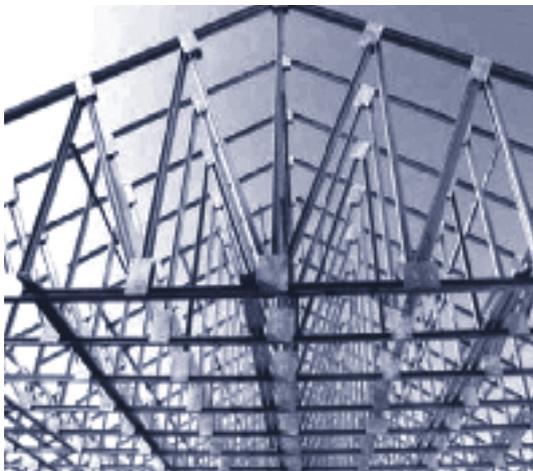
- apoyo simple,
- articulación o
- nodo rígido capaz de transmitir momentos (empotramiento).



El equipamiento propuesto permite analizar distintos arreglos de barras triangulares y de tipo marco; en ellos, es posible comprobar el comportamiento de sistemas estructurales simplemente apoyados o bien empotrados en voladizo, considerando sus características de respuesta a diferentes solicitaciones de carga.



La **armadura plana** es un sistema formado por barras rectas articuladas en sus extremos y arregladas de manera que formen triángulos cuya alta rigidez para fuerzas en su plano hace que las cargas exteriores se resistan exclusivamente por fuerzas axiales en los elementos. El sistema sirve, igual que la viga, para transmitir cargas transversales a los apoyos y puede visualizarse, de hecho, como una viga de alma abierta en que el momento flexionante en cada sección se equilibra. La fuerza cortante se equilibra por fuerzas axiales en los elementos diagonales y verticales. El material se aprovecha de manera sumamente eficiente en las armaduras, debido a que todos los elementos están sujetos a cargas axiales que son, además, uniformes en toda su longitud. Este rasgo se complementa con la presencia de claros grandes. En los arreglos triangulares tipo armadura, lo más recomendable es que las barras que están sujetas a compresión sean lo más cortas posible para evitar, de esta manera, los esfuerzos de pandeo y pandeo local, involucrados con la compresión; no sucede lo mismo para los elementos en tracción, donde la longitud relativamente no es importante.

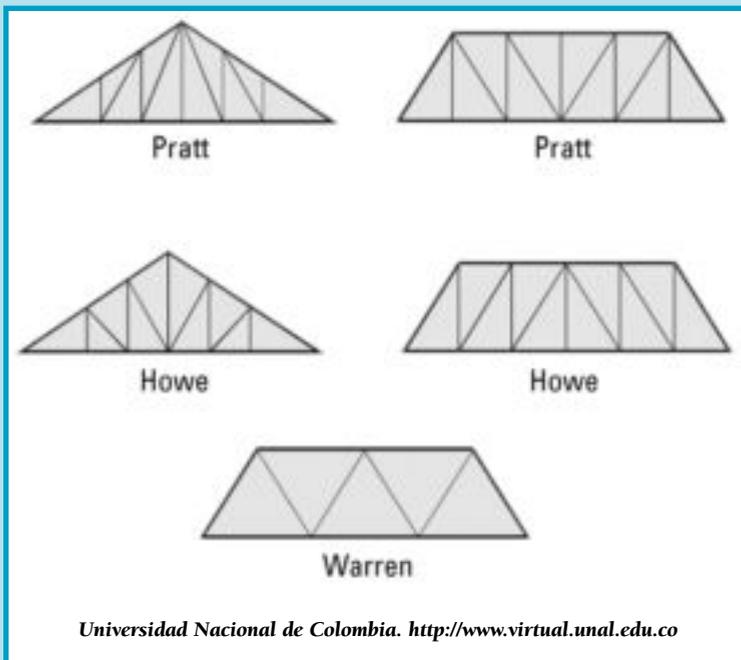


En la práctica, el tipo de conexión que se emplea para la mayoría de materiales y procedimientos constructivos es el más cercano a un nodo rígido que a una articulación; de esta manera, estos sistemas deben modelarse más rigurosamente como elementos triangulares de barras conectadas rígidamente. Sin embargo, por el arreglo triangular de las barras y por estar la mayor parte de las cargas aplicadas en los nodos, los momentos flexionantes que se introducen son, en general, pequeños y las diferencias con respecto a los resultados de un análisis -considerando los nodos articulados- son despreciables. Por tanto, es válida la idealización como armadura, con lo que el análisis resulta mucho más sencillo y el comportamiento mucho más claro de visualizar.



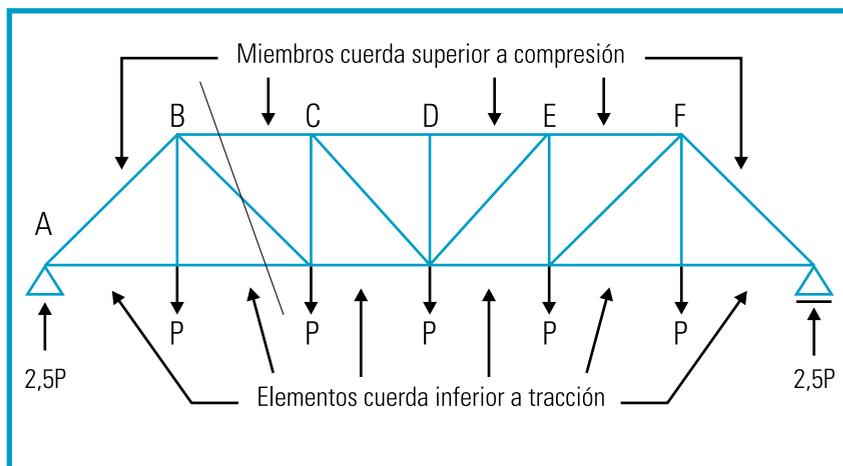


El **equipamiento para el análisis de estructuras de edificios** que le proponemos integrar en su aula, trabaja, principalmente, con nodos articulados, de modo que los resultados obtenidos son una buena aproximación para los distintos conjuntos de barras triangulares y de tipo marco que se puedan analizar.



La triangulación es el aspecto clave de una armadura. Del conjunto apropiado de los elementos depende la eficiencia de la transmisión de cargas. Para lograr alta rigidez, conviene evitar que los lados de los triángulos formen ángulos muy agudos (ángulos de entre 30° y 60° resultan apropiados). Asimismo, la longitud de los elementos debe limitarse de manera que la resistencia no se vea reducida sustancialmente por efectos de pandeo.

Entre los arreglos de barras que no son triangulados, el más elemental que puede imaginarse para transmitir cargas de un techo o piso a la cimentación es el que se obtiene por la simple superposición de vigas sobre columnas, de manera que cada uno cumple su función sin una interacción compleja entre ellos: las vigas trasladan las cargas hacia sus apoyos y las columnas las bajan a la cimentación. Este conjunto de elementos es la forma más elemental de marco y es uno de



Universidad Nacional de Colombia. <http://www.virtual.unal.edu.co>



los sistemas estructurales primitivos empleados por el hombre para sus construcciones. En este sistema no existe transmisión de momentos entre vigas y columnas, lo que hace muy clara y más fácil de calcular la distribución de fuerzas internas en los elementos; pero, da lugar a que la transmisión de cargas sea poco eficiente, especialmente para fuerzas laterales. La resistencia a cargas laterales se funda en el trabajo en voladizo de las columnas, las que deben estar empotradas en la cimentación (de lo contrario, sólo contarían con las fuerzas

de la gravedad para contrarrestar el momento de volteo). En la actualidad, el sistema se emplea en construcciones de un nivel en que las cargas que deben resistirse son muy bajas y, excepcionalmente, en construcciones de varios niveles, siempre en combinación con otros sistemas estructurales que proporcionen rigidez y resistencia a la carga lateral. El empleo más común es en estructuras de elementos prefabricados de hormigón y en naves industriales.

En un marco propiamente dicho, la transmisión de esfuerzos de una a otra barra no se realiza por simple sobreposición sino que existe una conexión entre ellas que proporciona capacidad para transmitir no sólo compresiones sino también tensiones y cortantes. La conexión puede ser una articulación; aunque, en la mayoría de las estructuras modernas, se resuelve mediante un nodo rígido con capacidad de transmitir, además de las fuerzas internas ya mencionadas, momentos flexionantes. Se obtiene así el llamado **marco rígido**, cuyas principales ventajas con respecto al de columnas y vigas son una mayor proyección contra acciones accidentales que pueden introducir tensiones en las conexiones y, especialmente, un aumento sustancial de la resistencia y rigidez ante cargas laterales. El marco rígido es, además, una estructura hiperestática en la cual, cuando el material es dúctil, si se sobrepasa el intervalo lineal de comportamiento, se presentan redistribuciones importantes de momentos y se puede tener una notable reserva de capacidad. El comportamiento y eficiencia de un marco rígido dependen, por ser una estructura hiperestática, de la rigidez relativa de vigas y columnas. Para que exista una restricción efectiva a los giros en los extremos de las

columnas y vigas, de manera que ante cargas laterales y verticales un tablero adopte configuraciones deformadas, la rigidez relativa de los elementos debe encontrarse dentro de ciertos límites.



Ante cargas verticales, la restricción al giro de los extremos de las vigas, impuestas por su continuidad con las columnas, hace relativamente rígido el sistema. En las columnas, las cargas se transmiten esencialmente por fuerzas axiales, excepto cuando hay asimetrías importantes en la geometría de la estructura o en la distribución de las cargas verticales. Por el contrario, las cargas horizontales se resisten esencialmente por flexión tanto en las vigas como en las columnas, lo que hace que el control de las deformaciones sea un aspecto importante en el diseño de estructuras basado en marcos que deban resistir cargas laterales de cierta consideración; especialmente, cuando se trata de marcos de varios niveles.

Para que el sistema funcione efectivamente como marco rígido, es fundamental el diseño detallado de las conexiones, para proporcionar a éstas rigidez y capacidad de transmitir momentos. La continuidad del nodo es

sencilla de lograr en estructuras de hormigón fabricadas en sitio y en las de acero; pero, se dificulta notablemente en las estructuras de hormigón prefabricadas. En la madera, la estructuración basada en marcos es poco común; para proporcionar continuidad en los nodos, son necesarios procedimientos de conexión más complejos que los usuales.

El marco es el sistema estructural más común en las estructuras modernas, en las que constituye generalmente el esqueleto vertical resistente, particularmente en los edificios. Sus ventajas residen no sólo en una buena eficiencia estructural sino, sobre todo, en que ocasiona una mínima interferencia con el funcionamiento de la construcción, al permitir gran libertad en el uso del espacio encerrado.

Ocasionalmente, el marco se emplea como viga para transmitir cargas transversales hacia los apoyos. Se denomina, en este caso, **viga Virendeel** y tiene como desventaja grave respecto de la armadura que, al no existir triangulación de barras, la fuerza cortante en cada tablero no resiste por fuerzas axiales sino por flexión y cortante en las cuerdas. A pesar de esta desventaja, el hecho de que la falta de diagonales permite el paso a través del tablero, hace atractivo este sistema en algunas construcciones; especialmente, cuando se interrumpen ejes de columnas que vienen de pisos superiores, porque se requiere un claro mucho más considerable en un nivel inferior.

Una de las mayores limitaciones de los marcos rígidos -su excesiva flexibilidad ante cargas laterales- se supera si se recurre a contraventeo que, por su alta rigidez, absorbe la

mayor parte de las cargas laterales. Más adelante, al comentar acerca de los sistemas estructurales para edificios de varios niveles, entraremos en mayor detalle sobre estos sistemas compuestos.

b. Sistemas basados en placas

Mediante arreglos verticales (muros) y horizontales (losas), se pueden formar sistemas de diversas características, los que en general se pueden denominar **tipo cajón**. La sobreposición de placas -simplemente apoyadas en una sola dirección- y de muros, integra un sistema equivalente al de columnas y vigas, que tiene limitaciones semejantes. La falta de continuidad en los apoyos lo hace muy vulnerable ante acciones accidentales que pueden introducir tensiones verticales o esfuerzos cortantes en la conexión. Su principal limitación es la escasa resistencia a cargas laterales que deben ser resistidas por flexión normal al plano de los muros: por los espesores -normalmente, delgados- de los muros, éstos resultan débiles a flexión. El sistema fue muy empleado en edificios de varios pisos, basándose en muros de carga de mampuestos en zonas no sísmicas; pero, recurriendo a espesores cada vez más exagerados a medida que crecía el número de pisos.

Si se obtiene la continuidad en las conexiones muro-losa, se logra una acción de marco con la cual se reducen los momentos y las deflexiones de la losa; pero, se introducen flexiones en los muros ante cargas verticales. Esta solución es posible en materiales que presentan resistencia a tracción, como el hormigón armado o el acero. Ante cargas laterales, la acción de marco proporciona cier-

ta rigidez y resistencia; sin embargo, el sistema resulta, en general, poco eficiente debido a que los momentos de inercia de los elementos placa son pequeños por su espesor reducido.

El arreglo ideal para elementos placa es un sistema tipo **cajón tridimensional**. La losa se apoya en su perímetro con lo que su rigidez y resistencia ante cargas verticales aumentan notablemente. La ventaja más importante es que existen elementos verticales en dos direcciones ortogonales; las fuerzas laterales en una dirección cualquiera son resistidas por los muros mediante las fuerzas en su plano, para lo cual poseen gran rigidez y resistencia. Para el funcionamiento en cajón se requiere que la losa forme un conjunto horizontal que tenga alta rigidez para cargas en su plano, de manera que las cargas laterales se puedan transmitir a los muros más rígidos en cada dirección. Las conexiones losa-muro deben ser capaces de resistir fuerzas cortantes y, también, tensiones en estructuras de altura notable, por los momentos de volteo producidos por las cargas laterales.

Las cargas verticales se transmiten a la cimentación, esencialmente por fuerzas axiales en los muros; los momentos flexionantes transmitidos por las losas son, en general, pequeños por ser éstas de claros reducidos y con apoyo en dos direcciones. Las cargas laterales se resisten -como hemos dicho- por flexión de los muros en su plano. Si la relación altura-longitud de los muros es pequeña, predominan las deformaciones de cortante en el compor-

tamiento de los muros; de lo contrario, las deformaciones son debidas, principalmente, a flexión de los muros, que funcionan como voladizos verticales. El sistema tipo cajón es claramente tridimensional y, con frecuencia, no se presta a ser dividido en subsistemas bidimensionales; especialmente, cuando los muros no son placas rectangulares separadas sino que tienen geometrías irregulares formando, a veces, secciones de tipo tubular.

Este tipo de estructuración es el común en los edificios a partir de muros de carga alineados en dos direcciones ortogonales. Se emplean muros de mampuestos y losa de hormigón, o muros y losa de hormigón; esto último, principalmente, con elementos prefabricados para los cuales es crítico el diseño de las conexiones. En edificaciones de pocos pisos.

c. Otros sistemas estructurales

Existen innumerables sistemas que pueden formarse con combinaciones de los elementos lineales, planos o curvos.



Para los principales tipos de estructuras civiles existen estructuraciones comunes cuyas ventajas han sido comprobadas con el tiempo. No debe perderse de vista que, prácticamente, todos los sistemas estructurales son tridimensionales y que su descomposición en subsistemas planos tiende a ignorar la interacción entre ellos y el comportamiento de conjunto. En particular, pueden ser importantes los momentos torsionantes que se generan entre un sistema plano, y los ortogonales a éste y las solicitaciones que pueden presentarse por la asimetría en planta de la estructura.

En la mayoría de las construcciones y, principalmente, en los edificios, pueden identificarse dos subsistemas estructurales acerca de los cuales pueden tomarse algunas decisiones independientes, relativas a la solución más conveniente, antes de proceder al análisis de la estructura completa. Estos subsistemas son:

- Horizontal o de piso.
- Vertical o de soporte.

A pesar de esta subdivisión, es importante tener en mente que el sistema estructural de la construcción es una sola unidad y que la interacción entre los diversos subsistemas no es, en general, despreciable.

Casi toda construcción requiere pisos con superficie de apoyo superior horizontal y con superficie inferior que no debe diferir mucho de la horizontal. La función estructural de un **subsistema de piso** es transmitir las cargas verticales hacia los apoyos que, a su vez, las bajan hasta la cimentación. Es casi siempre

necesario que cumpla, además, la función de conectar los elementos verticales y distribuir entre ellos las cargas horizontales, para lo cual debe formar un conjunto con alta rigidez en su plano. Por ser los de piso subsistemas planos, las cargas verticales introducen momentos flexionantes importantes, lo que hace críticos los problemas de flechas y vibraciones; de manera que el espesor y las características que definen la rigidez del sistema de piso están regidas, generalmente, por el cumplimiento de estados límite de servicio.

La variedad de soluciones estructurales que puede darse a un sistema de piso es muy grande. En estos sistemas es mayor el número de innovaciones, las que se presentan continuamente ligadas sobre todo a tecnologías de construcción que tratan de hacer más rápida y más sencilla la fabricación.

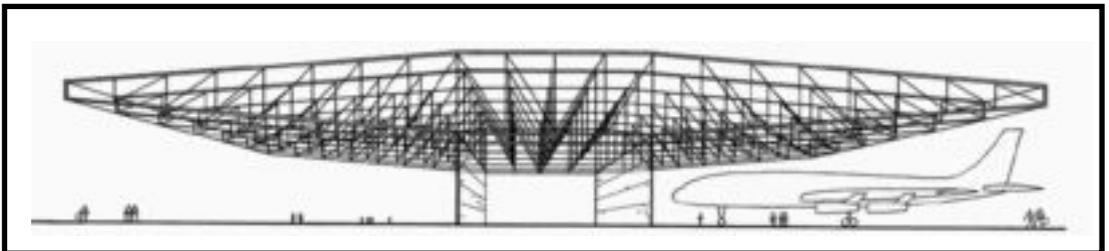


En el pasado, la mayoría de los sistemas de piso se construían por la sobreposición de elementos que trabajan en forma prácticamente independiente. El elemento de cubierta se apoya sobre retículas ortogonales sucesivas de vigas simplemente apoyadas unas sobre otras y distribuidas de manera tal de

llevar en la forma más directa la carga hacia los apoyos verticales. Las vigas aumentan su peralte a medida que se procede de arriba hacia abajo, ya que tienen que soportar una carga cada vez mayor y su claro también crece. El espesor total del sistema de piso resulta de la suma de los peraltes necesarios para los elementos individuales. El sistema se origina en las primeras construcciones de tablonos y vigas de madera; pero, se ha empleado en diversos materiales y se sigue usando, especialmente con vigas de acero que soportan cubiertas de diferentes materiales. Se trata de una forma muy poco eficiente de resistir las cargas, ya que se desprecia la oportunidad de lograr el trabajo de conjunto de los diferentes elementos y hacer que resista la flexión aprovechando el peralte total del sistema de piso.

En la construcción moderna, para todos los materiales se han desarrollado procedimientos que logran el trabajo integral de los diferentes elementos. Esto se obtiene de manera natural en las estructuras de hormigón fabricadas en sitio; en otras estructuras, como en las de acero, se requieren elementos de conexión con capacidad de transmitir esfuerzos cortantes horizontales -como mencionamos al tratar los diferentes tipos de placas-. El ahorro sustancial en las dimensiones de las vigas justifica, en general, el costo de los dispositivos de conexión.

En estos sistemas, conviene que el espesor de la placa de piso sea el mínimo necesario por requisitos constructivos, de aislamiento o de resistencia al impacto. La retícula de vigas inmediatamente inferior debe tener la separación máxima con la que la placa de piso funciona adecuadamente desde el punto de vista estructural; si esto permite hacer coincidir las vigas con la posición previa para los apoyos, no son necesarias retículas adicionales. El arreglo de vigas debe hacer mínimo el espesor necesario de losa y, además, debe procurar una estandarización de elementos para fines de economía y sencillez de construcción. Cuando la distribución de apoyos es regular, los arreglos de vigas son claros y sencillos; para distribuciones de apoyos o formas de planta irregulares, el arreglo de vigas puede resultar más complejo.



En algunos sistemas de construcción se forman retículas de vigas con separaciones muy pequeñas, de manera que el funcionamiento del sistema de piso equivale al de una placa cuyas propiedades se pueden igualar a las de un ancho unitario de la retícula de vigas y losa. Esta idealización es aceptable cuando la separación de vigas (llamadas, en este caso, *nervaduras*) no excede de una octava parte del claro. Los sistemas de piso que se pueden idealizar como placas presentan como modalidades de funcionamiento estructural losas en una dirección, losas en dos direcciones apoyadas en su perímetro y losas en dos direcciones sobre apoyos puntuales.

Vamos a describir algunos de los subsistemas de piso más comunes, agrupándolos según el principal material que los constituye.

- En madera, el sistema más antiguo basado en tabloncillos sobre retículas de vigas ha ido evolucionando, primero con el *machimbrado* de las tablas para que funcionen como placa en la que es factible la repartición de alguna carga concentrada elevada entre diversos elementos; después, con la substitución de la tabla con placas de madera contrachapeada. En claros grandes, las vigas de sección rectangular se substituyen por pequeñas armaduras del mismo material. Es cada vez más frecuente el empleo de métodos de conexión entre las vigas y la placa que permitan la transmisión de cortantes y aseguran un funcionamiento de sección compuesta. Estos pisos, junto con muros de carga de estructuración similar, forman estructuras tipo cajón que se pueden prefabricar por secciones y ensamblar en la obra con mucha faci-

dad, y que son muy populares en algunos países, para construcciones pequeñas.

- El hormigón armado es el material más empleado para sistemas de piso por su durabilidad, moldeabilidad y economía. La losa maciza en dos direcciones apoyada sobre muros de carga es el sistema típico para claros pequeños, como los usuales en la vivienda económica. Existen diversas variantes que no alteran el funcionamiento estructural como losa maciza pero que presentan algunas ventajas constructivas. La mayoría de ellas están asociadas con la intención de reducir el encofrado que es responsable de una fracción significativa del costo total y del tiempo de ejecución. Los sistemas de viguetas y bovedillas, o de semi-viguetas y bovedillas permiten la integración de unas vigas prefabricadas de hormigón pretensado, o de tipo armadura, con una capa de compresión colada en sitio. La losa se hace trabajar, generalmente, en una sola dirección lo que reduce, en parte, la eficiencia; pero, por otra parte, se aprovecha acero de mayor resistencia y se tienen peraltes mayores con menos cantidad de hormigón y acero con respecto a una losa maciza. La capa de compresión vaciada en sitio proporciona la continuidad entre los distintos elementos y es necesaria para la acción de conjunto ante fuerzas en el plano de la losa. El mejor aislamiento térmico y acústico que se obtiene por los mayores espesores y por los elementos huecos de aligeramiento es una ventaja importante de estos sistemas.

Conviene llamar la atención sobre un aspect-

to particular del diseño de estos sistemas y, en general, de todos los de construcción compuesta, en los que se pretende que algún elemento prefabricado soporte inicialmente todo el piso, el cual adquiere su resistencia final y trabaja en forma integral sólo después del fraguado del hormigón vaciado en sitio. El elemento prefabricado debe diseñarse para soportar el peso propio de todo el piso más las cargas de construcción, debido a que, en un sistema de piso, el peso propio representa una parte importante de la carga total. Esta condición de diseño resulta muy crítica y hace que el elemento en cuestión resulte muy robusto o que se requiera un apuntalamiento provisional. El éxito de los sistemas de este tipo se funda en el grado en que se logre resolver este aspecto, sin afectar el costo ni la rapidez de la construcción.

En el campo de la prefabricación es grande el número de variantes de losas precoladas, generalmente aligeradas y pretensadas, que se tienen diseñadas para trabajar en una o dos direcciones.

El sistema de losas y vigas de hormigón fabricadas en sitio es la solución más usual para estructuras a partir de marcos. Tradicionalmente, se han diseñado estos pisos considerando de manera independiente el trabajo de la losa apoyada perimetralmente sobre las vigas y el de estas últimas soportando cargas que se encuentran en su área tributaria de losa, pero incluyendo una porción de losa como parte integrante de la viga con una sección en T. El diseño de las losas se ha simplificado mediante coeficientes que permiten determinar los momentos promedio en franjas de cierta longitud y que se derivan del análisis elástico de placas; pero, corri-

das para tomar en cuenta las redistribuciones de momentos que se presentan en estos elementos altamente hiperestáticos, así como cierta interacción con las vigas de apoyo. Procedimientos de este tipo se encuentran, por ejemplo, en las normas técnicas complementarias para estructuras de hormigón del Reglamento para Construcciones. Cuando el peralte de las vigas no es netamente superior al de las losas, ya no es aceptable suponer que éstas constituyen apoyos infinitamente rígidos para las losas y es necesario considerar que es el conjunto viga-losa el que tiene que transmitir las cargas por flexión en dos direcciones.

Para adentrarse en el Reglamento para construcciones, sus alumnos pueden consultar información en el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles -CIRSOC-

<http://www.inti.gov.ar/cirsoc/publicaciones/contenidos.html>

La información disponible allí es:

- Reglamento CIRSOC 101. Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de estructuras de edificios.
- Reglamento CIRSOC 102. Acción del viento sobre las construcciones.
- Recomendación CIRSOC 102-1. Acción dinámica del viento sobre las construcciones.
- Reglamento INPRES-CIRSOC 103. Normas argentinas para construcciones sismorresistentes.
- Reglamento CIRSOC 104. Acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones.

- Recomendación CIRSOC 105. Superposición de acciones (Combinación de estados de carga).
- Recomendación CIRSOC 106. Dimensionamiento del coeficiente de seguridad.
- Recomendación CIRSOC 107. Acción térmica climática sobre las construcciones.
- Reglamento CIRSOC 201. Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado.
- Recomendación CIRSOC 201-1. Acero para hormigón armado con $f_s = 500 \text{ MN/m}^2$ y $f_s = 600 \text{ MN/m}^2$.
- Reglamento CIRSOC 202. Hormigón liviano de estructura compacta. Dimensionamiento, elaboración y control.
- Reglamento CIRSOC 204. Hormigón pretensado parcial.
- Reglamento CIRSOC 301. Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de acero para edificios.
- Recomendación CIRSOC 301-2. Métodos simplificados admitidos para el cálculo de las estructuras metálicas.
- Reglamento CIRSOC 302. Fundamentos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero
- Recomendación CIRSOC 302-1. Método de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero
- Recomendación CIRSOC 303. Estructuras livianas de acero.
- Reglamento CIRSOC 304. Estructuras de acero soldadas.
- Reglamento CIRSOC 306. Estructuras de acero para antenas.

Para claros considerables, resulta económico recurrir a vigas pretensadas conectadas a losas también prefabricadas o coladas in situ; tratándose de secciones compuestas, debe diseñarse un procedimiento de conexión que asegure la continuidad entre los distintos elementos constructivos.

La losa apoyada directamente sobre columnas es una solución que se ha vuelto muy popular para pisos de hormigón armado; mediante un encofrado sencillo se logra una superficie inferior plana, con un peralte total muy reducido del sistema de piso y con gran rapidez de construcción. Para claros pequeños, la solución de placa plana maciza es la más conveniente; mientras que, para claros mayores, el peralte necesario hace esta solución muy pesada y obliga al empleo de arcos y vigas, en un sistema denominado **losa plana**, con el fin de mantener pequeño el espesor de la mayor parte de las losas. Para edificios comunes, esta última solución es poco conveniente por la obstrucción que ocasionan los arcos y vigas en el espacio habitable; en estos casos, resulta más atractivo el aligeramiento formando huecos por medio de elementos removibles o que quedan formando parte de la losa **-losa reticular-**; se genera, así, una retícula de nervaduras poco espaciadas en las que se concentra el esfuerzo de flexión. El análisis de estos sistemas se realiza con métodos aproximados que permiten calcular qué fracción de los momentos flexionantes totales en cada dirección debe ser resistida por diferentes franjas de losa. Problemas específicos de estas losas son el diseño por cortante de la zona alrededor de la columna para evitar que falle por punzonamiento y algunos aspectos del diseño sísmico.



- El acero se emplea para construir el sistema de piso completo sólo en algunas estructuras industriales. Su función más común es en vigas de sistemas mixtos con losas de hormigón. Nuevamente, resulta muy atractivo económicamente aprovechar la acción compuesta de la viga con la losa mediante el empleo de conectores. Las vigas de acero de alma abierta o de secciones de lámina doblada proporcionan, en general, soluciones más ligeras y económicas que los perfiles laminados y que otras vigas de alma llena, aunque dan lugar a un comportamiento menos dúctil que el de los primeros.
- Una variante usa una lámina de acero corrugada apoyada sobre las vigas, como encofrado de la losa de hormigón, con la

cual se logra continuidad por medio de corrugaciones en las láminas en las que penetra el hormigón, produciendo un anclaje mecánico. De esta manera, la lámina de acero de alta resistencia trabaja a la tracción, eliminando o reduciendo la necesidad de refuerzo en el lecho inferior. El sistema es particularmente indicado para pisos que deben soportar cargas elevadas.

- La construcción compuesta resulta muy económica cuando se emplean elementos ligeros de acero como perfiles de lámina delgada o pequeñas armaduras conectadas a la losa de hormigón.

Decíamos que, entre los sistemas estructurales, es posible reconocer un subsistema horizontal o de piso, y un subsistema vertical o de soporte. Los sistemas para edificios de varios pisos corresponden a este segundo grupo.

Pero, no puede separarse de manera tajante el estudio del sistema de soporte vertical del relativo a los sistemas de piso de un edificio, ya que el trabajo conjunto es el que define el comportamiento y la eficacia, especialmente en lo que se refiere a las cargas laterales. Por ello, aunque el énfasis se ponga en el sistema vertical, haremos mención de la interacción de este sistema con el sistema de piso.

Vamos a desarrollar, especialmente, el sistema vertical resistente de los edificios; en particular, en lo referente a su eficiencia para resistir las cargas laterales de viento o sismo, cuya importancia crece a medida que aumenta la altura del edificio. Lo ideal es que el sistema estructural que se requiere y que repre-

senta la solución óptima para resistir las cargas verticales de diseño, resulte suficiente para resistir también -sin modificación alguna- las cargas laterales, contando para ello con la reducción en los factores de seguridad que admiten las normas de diseño para resistir esta última condición de carga, por ser de tipo accidental. Sin embargo, esto llega a ser cierto sólo en edificios de pocos pisos y en zonas donde las acciones de diseño por sismo o viento son moderadas. A medida que crece la altura, las modificaciones para resistir cargas laterales son mayores. El problema puede plantearse como el de sobreprecio que hay que pagar para la resistencia a cargas laterales, que aumenta con el número de pisos hasta que, para edificios muy altos, éste es el aspecto que domina la elección del sistema estructural más apropiado.

El sistema estructural debe proporcionar resistencia a las fuerzas laterales y rigidez para mantener las deformaciones ante esas cargas, dentro de los límites tolerables. El segundo aspecto suele ser más decisivo que el primero para definir el esquema estructural apropiado.

- Los primeros sistemas estructurales empleados para construcciones de más de un piso fueron, probablemente, de madera. Sin embargo, pocas veces las construcciones de este tipo han sobrepasado los dos niveles y no por limitaciones de tipo estructural -ya que, concentrándose en este aspecto, podría superarse fácilmente la decena de pisos-. El uso de la madera para edificios de varios pisos ha sido limitado por las normas de seguridad contra incendio.

- Los muros de carga de mampuestos han constituido el sistema estructural clásico para edificios de varios niveles, asociados a sistemas de piso de madera o de bóveda de mampuestos. La limitación de este sistema se debe a que su escasa resistencia en compresión y a tracción obliga a una alta densidad de muros con espesores considerables. Por ello, la estructuración es aceptable sólo cuando el uso de la construcción implica la subdivisión del espacio en áreas pequeñas, como en edificios de vivienda y hospitales. En la actualidad, la construcción basada en muros de carga de mampuestos se emplea usualmente para edificios de hasta cerca de cinco pisos, aunque existen ejemplos de construcciones de quince o más pisos con muros de mampuestos de piezas de alta resistencia y con altas cantidades de refuerzo.
- El material más apropiado para la estructuración con muros de carga es el hormigón, sea en la modalidad de hormigón colado en el lugar o en la de paneles prefabricados -ésta, muy popular en diversos países-. La mayor limitación de esta solución a partir de muros de carga es la falta de flexibilidad en el uso del espacio interior de la construcción. La distribución de áreas no puede modificarse en el tiempo, debido a que los muros tienen función estructural y la distribución de éstos no puede alterarse de un piso a otro. Desde el punto de vista estructural, las ventajas básicas son la transmisión de cargas verticales por fuerzas esencialmente axiales y la gran rigidez ante cargas laterales, que se logra por la alta densidad de muros en ambas

direcciones.

- Sólo cuando se comienza a utilizar el acero con fines estructurales en los edificios, se llega a obtener espacios libres interiores de dimensiones apreciables y con posibilidad de adaptarse a diferentes usos, lo que proporciona el inicio de la construcción de los edificios realmente altos. En un principio, las vigas y columnas de acero no formaban propiamente un marco rígido, ya que no se construían con conexiones capaces de transmitir momentos. Estos edificios, hasta de un par de decenas de pisos, contaban con la contribución de algunas paredes divisorias y de fachada (supuestamente, no estructurales) para lograr cierta rigidez y resistencia ante cargas laterales. Sin embargo, sólo la adopción del marco rígido en la primera década del siglo pasado permite superar esas alturas y llegar a edificaciones del orden de los 50 pisos. El marco rígido de acero es el preferido para los rascacielos, por la rapidez de construcción y por la poca área de columnas que se tiene en las plantas. Algunas décadas más tarde se comienzan a usar marcos de hormigón para edificios de hasta 20 a 30 pisos, aprovechando el menor costo que, en muchos países, este sistema estructural implica. Sin embargo, la pérdida progresiva de área útil que se tiene por las dimensiones de columnas cada vez mayores, a medida que aumenta el número de pisos, limita el empleo de este sistema y da lugar al desarrollo de otros sin esa deficiencia.

En los edificios muy altos, destinados principalmente a oficinas, la necesidad de grandes

espacios libres se vuelve crítica en todos o al menos en algunos de los pisos. Por otra parte, el marco es una estructura que resiste cargas laterales esencialmente por flexión de sus elementos, lo que lo hace poco eficiente, especialmente cuando los claros son considerables. Esto hace que la estructuración a partir de marcos no sea muy eficiente para edificios altos. A medida que crece el número de pisos, es mayor la cantidad en que hay que incrementar las dimensiones de las vigas y columnas para resistir las caras y la rigidez necesarias ante cargas laterales. El sobrepeso que hay que pagar para resistir las cargas horizontales es considerable. No es posible fijar un límite general para el número de pisos que es económicamente conveniente estructurar con marcos. En zonas poco expuestas a sismos o huracanes, este límite se encuentra en poco más de 20 pisos. En zonas de alto riesgo sísmico, es probablemente menor de 10 pisos.

La forma más sencilla de rigidizar un marco ante cargas laterales sin perder todas sus ventajas, es colocar en algunas de sus crujeas un contraventeo diagonal o ligarlas a algún muro de rigidez de mampuestos (para edificios no muy altos) o de hormigón. Ésta ha sido la forma más popular de rigidización, tanto para marcos de hormigón como de acero. Ambos casos pueden visualizarse como una viga vertical de gran peralte y en voladizo, lo que aporta gran rigidez cuando la relación altura a longitud del muro o de la crujía contraventeada es relativamente pequeña. En estos casos, el muro absorbe prácticamente la totalidad de las cargas laterales, mientras que el diseño del marco queda regido por la resistencia a cargas verticales únicamente.

Cuando la relación altura-longitud del marco crece, se reduce muy rápidamente su rigidez y se presenta una interacción básicamente compleja en el muro. Existe una diferencia importante: Los dos tipos de sistemas se deforman lateralmente. En un marco, la deformación de un piso relativa al inferior (desplazamiento relativo de entrepiso) es proporcional a la fuerza lateral total aplicada arriba de dicho entrepiso (cortante de entrepiso), de manera que el desplazamiento relativo de entrepiso tiende a ser mayor en los pisos inferiores que en los superiores, a menos que las dimensiones de las secciones se reduzcan radicalmente con la altura. En el muro esbelto, por el contrario, los desplazamientos relativos crecen en los pisos superiores, ya que las deformaciones de cortante dejan de ser significativas; la deformidad del muro es, entonces, la de una viga en voladizo.

Para que un muro rigidice una estructura de manera efectiva, su condición debe tener un momento de inercia tal que evite que se presente el fenómeno descrito anteriormente. En los edificios de pocas decenas de pisos es relativamente sencillo disponer de uno o más muros que cumplan esta condición: sea en el interior de la planta o en la fachada o, en forma más eficiente, aprovechando un núcleo que encierra ductos de servicio (escaleras, elevadores, instalaciones) que, por su sección cerrada, proporcione rigidez. Por ello, la estructuración de marcos con muros de rigidez es la solución más común en edificios de esta índole, en zonas donde se debe resistir fuerzas laterales significativas. Un aspecto importante es que la ubicación de los muros en planta sea simétrica, para que no se presenten torsiones en la respuesta ante car-

gas laterales.

Cuando la altura del edificio es considerable, existen diversos procedimientos para aumentar la rigidez de los muros. Uno consiste en acoplar dos o más muros a través de vigas de buen peralte en cada piso, las que restringen los giros de los muros en cada nivel y tienden a hacer trabajar los muros, que acoplan como una unidad. La eficiencia de los muros acoplados depende de la rigidez de la viga que los conecta, la cual está sujeta a fuerzas cortantes considerables y requiere un cuidado especial en su diseño y detallado.

En lugar de acoplar los muros en todos los pisos, puede optarse por hacerlo sólo en algunos de ellos mediante una viga cuyo peralte es el de todo un entrepiso, a través del cual se cancela localmente el paso. Se obtiene lo que se denomina un *macromarco* ya que los muros, en lugar de comportarse como voladizos, se deforman como marcos de uno o más niveles, según el número de vigas de acoplamiento que se coloquen.

En otra modalidad, las vigas de gran peralte del caso anterior, en lugar de conectar entre sí dos o más muros, conectan un solo muro - o, más generalmente, un gran núcleo central - con las columnas de los marcos en las cuales, al tratar de flexionarse el muro, se introducen cargas axiales que tienden a equilibrar el momento flexionante en cada piso, incrementando notablemente la rigidez del conjunto. La eficiencia es mayor si se colocan estas vigas de gran peralte en varios pisos.

En edificios de muchas decenas de pisos, ya no es suficiente la rigidez que pueden proporcionar algunos muros o un núcleo cen-

tral, y la necesidad de contar con el mayor espacio posible en el interior lleva naturalmente a tratar de aprovechar la fachada para dar rigidez ante cargas laterales. La solución más eficiente es contraventear todo el perímetro exterior de la construcción de manera que actúe como un gran tubo, aprovechando la máxima sección disponible. Un funcionamiento similar se obtiene si, en lugar de tener un conjunto triangulado de los elementos de fachada, se tiene una retícula formada por columnas muy poco espaciadas y por vigas de piso de alta rigidez, de manera que las deformaciones de flexión de las columnas sean pequeñas y el trabajo de éstas sea fundamentalmente a carga axial. En este sistema, llamado comúnmente **de tubo**, se aprovechan las columnas de fachada integrándolas a la ventanería y reduciendo mucho el costo de ésta. Éste ha sido el sistema estructural más popular en los últimos 20 años para los mayores rascacielos construidos en EEUU que superan los 100 pisos. Existen diversas variantes que tienden a obtener una rigidez todavía mayor, como la de acoplar el tubo en un núcleo central de muros de hormigón (**tubo en tubo**) o de subdividir la planta en una serie de tubos interiores (**tubo subdividido en celdas**). Incluso en el edificio del Banco de Hong Kong de Norman Foster se utiliza un sistema de tubo en fachada unido a un mega mástil central de acero.

Otra forma de rigidizar las fachadas es formando marcos de elementos muy robustos, de manera que las deformaciones de flexión sean muy reducidas. En este caso, el gran tamaño de las vigas y las columnas no interfiere con el uso del espacio interior, aunque presenta cierta dificultad para lograr una solución aceptable.

Un problema común a todos estos sistemas que se basan en rigidizar la fachada, es la interferencia con el funcionamiento de la planta baja, en la cual se registra, casi siempre, la exigencia de grandes claros en la fachada para los accesos. Este problema se suele resolver empleando uno de los pisos inferiores como viga virendeel para aumentar sustancialmente el espaciamiento entre columnas debajo de ellas. Esta solución es debatible, desde el punto de vista del comportamiento sísmico.

Estructuras de hormigón armado

El hormigón simple es resistente a la compresión pero débil a la tracción, lo que limita su aplicabilidad como material estructural. Para resistir tracciones, se emplea el acero en forma de barras, colocado en las zonas donde se prevé que se desarrollarán esfuerzos de tracción bajo las acciones de cargas de servicio. El acero restringe el desarrollo de las grietas originadas por la poca resistencia a la tracción del hormigón.

La combinación de hormigón simple con acero constituye lo que se llama **hormigón armado**.

El uso del acero no está limitado a esta finalidad, también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración y para proporcionar confinamiento lateral al hormigón lo que, indirectamente, aumenta

su resistencia a la compresión.

El **hormigón pretensado** es una modalidad del hormigón armado en la que se crea un estado de esfuerzos de compresión en el hormigón antes de la aplicación de las acciones. De este modo, los esfuerzos de tracción producidos por las acciones quedan contrarrestados o reducidos. La manera más común de pretensar consiste en tensar el acero de refuerzo y anclarlo en los extremos del elemento.

a. Hormigón

El **hormigón** es una mezcla de cemento, agregados inertes (por lo general, grava y arena) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo de mezclado.

Los elementos que componen el hormigón se dividen en dos grupos: activos e inertes.

- Son **activos**, el agua y el cemento, a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla, llamada pasta cementicia, se endurece (fragua) hasta alcanzar un estado de gransolidez.
- Los elementos **inertes** (agregados) son la grava y la arena, cuyo papel fundamental es formar el "esqueleto" del hormigón, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se logra abaratarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado -la elevación de temperatura y la contracción de la pasta cementicia al endurecerse-.

El agua que entra en combinación química

con el cemento es, aproximadamente, un 33 % de la cantidad total; esa proporción disminuye con la resistencia del hormigón. En consecuencia, la mayor parte del agua de mezclado se destina a lograr fluidez y trabajabilidad de la mezcla, coadyuvando a la "contracción del fraguado" y dejando en su lugar los vacíos correspondientes, cuya presencia influye negativamente en la resistencia final del hormigón.

Salvo casos muy especiales, en general se usa el **cemento portland**.

El **cemento** es el material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro en cantidades convenientemente calculadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar y agua, así como otros materiales que no excedan del 1 % en peso del total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

La composición química del cemento pórtland es muy compleja; pero, puede definirse esencialmente como un compuesto de cal, alúmina y sílice. Los componentes fundamentales son: el aluminato tricálcico, el silicato tricálcico, el silicato dicálcico y el ferro aluminio tricálcico.

Se fabrican cinco clases de cemento portland:

- *Tipo I*: Normal, destinado a usos generales: estructuras, pavimentos, bloques, tubos.
- *Tipo II*: Modificado, adecuado, en general, para obras hidráulicas por su calor de

hidratación moderado y su regular resistencia a los sulfatos.

- *Tipo III:* Rápida resistencia alta, recomendable para sustituir al tipo I en obras de emergencia o cuando se desee retirar pronto el encofrado para usarlo un número mayor de veces; en igualdad de condiciones, adquiere una determinada resistencia en la tercera parte del tiempo que necesita para ello el cemento del tipo I. Sin embargo, la resistencia final es la misma que la correspondiente al cemento normal.
- *Tipo IV:* De bajo calor, adecuado para la construcción de grandes espesores (presas) porque su calor de hidratación es muy reducido en función de su resistencia, la que se adquiere lentamente.
- *Tipo V:* De alta resistencia a los sulfatos, recomendable en cimentaciones expuestas a la acción de aguas sulfatadas y agresivas.

También se produce cemento pórtland blanco, de características semejantes al tipo I, usado en construcciones urbanas, cuando lo demandan razones arquitectónicas.

Consideremos algunas características del hormigón.



La densidad del cemento portland es muy elevada; su **peso volumétrico** depende de la compactación; pero, puede aceptarse un valor medio de 1500 kg/m^3 , el

cual concuerda con la costumbre de suponer un volumen de 33 litros para el saco de cemento de 50 kg. El peso volumétrico del hormigón común es variable, de acuerdo con la densidad de los agregados, y puede estimarse entre 2200 y 2500 kg/m^3 , como promedio, lo que lo coloca entre los materiales de construcción pesados en relación con la intensidad de las cargas que soporta, especialmente cuando trabaja a flexión.

► Puede definirse como **tiempo de fraguado** de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido.

El Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles - CIRSOC- pauta:

Hormigón de masa normal. Hormigón cuya masa por unidad de volumen, del material seco hasta masa constante (105°C) está comprendido entre 2.000 kg/m^3 y 2.800 kg/m^3 .

Hormigón liviano. Hormigón cuya masa por unidad de volumen, del material seco hasta masa constante (105°C) es menor que 2.000 kg/m^3 .

Hormigón pesado. Hormigón cuya masa por unidad de volumen, del material seco hasta masa constante (105°C) es mayor que 2.800 kg/m^3 .

La producción de hormigones ligeros ha sido preocupación constante de los investigadores quienes, en un principio, dirigieron su interés hacia los agregados de poco peso: tezontles y piedras pómez, los cuales presentan la dificultad de sus cualidades

higroscópicas que hacen casi imposible la correcta dosificación del agua de mezclado, de la que depende la resistencia del hormigón.

La dificultad que presentan los agregados ligeros parece haber sido superada con los inclusores de aire, los que producen burbujas en el seno de la mezcla, disminuyendo su peso volumétrico y aumentando, al mismo tiempo, su trabajabilidad, cohesión y resistencia a la acción de los sulfatos y las heladas. Los inclusores de aire son productos químicos, generalmente compuestos de fino polvo de aluminio o zinc, que se agregan en la mezcladora o que vienen ya añadidos en el propio cemento.

Detengámonos, ahora, en el **fraguado** del hormigón. Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento, se presenta un estado en que la mezcla pierde su plasticidad de modo apreciable y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla.

A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final. La determinación de estos dos estados -cuyo intervalo se llama *tiempo de fraguado de la mezcla*- es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa.

- El tiempo de *fraguado inicial* es el mismo para los cinco tipos de cemento enuncia-

dos y alcanza un valor de 45 a 60 minutos.

- El tiempo de *fraguado final* se estima en 10 horas, aproximadamente.

El fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y, de preferencia, dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del hormigón de la fábrica a la obra, se recurre al uso de retardantes del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales, como el cloruro de calcio.

El **endurecimiento** del hormigón depende, a su vez, del endurecimiento de la pasta formada por el cemento y el agua, entre los que se desarrolla una reacción química que produce la formación de un coloide gel, a medida que se hidratan los componentes del cemento. La reacción de endurecimiento es muy lenta, por lo que permite la evaporación de parte del agua necesaria para la hidratación del cemento, que se traduce en una notable disminución de la resistencia final. Es por ello que debe mantenerse húmedo el hormigón recién colado, "curándolo". También se logra evitar la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento, cubriendo el hormigón -al que se le han retirado los armazones de madera- con una película impermeable de parafina o de productos especiales que se encuentran en el mercado.

Cuando la relación agua-cemento se

mantiene constante, la resistencia del hormigón de la mezcla también se mantiene constante. En consecuencia, si se fabrica una mezcla de hormigón con agregados limpios, sanos y suficientemente duros, la resistencia a la compresión del hormigón dependerá exclusivamente de la resistencia de la pasta cementicia, es decir, de la relación agua-cemento empleada. El **proporcionamiento** del hormigón se reduce a elegir una relación agua-cemento para una resistencia dada y a definir la graduación (granulometría) de los agregados, para que satisfaga dos requisitos:

- que la mezcla sea trabajable y
- que el volumen de vacíos entre los agregados, destinado a ser ocupado por el cemento y el agua, sea el menor posible.

La primera condición hace posible el manejo del hormigón; la segunda consigue la fabricación más económica de la mezcla.

Consideremos algunas características que definen la **permeabilidad** del hormigón: El hormigón normal es un material permeable. Los vacíos que dejan los agregados no son llenados totalmente por la mezcla de agua y cemento; además, el agua de mezclado -la que se utiliza, en gran parte, para conseguir una adecuada trabajabilidad del hormigón- se evapora en los primeros minutos del colado, dejando huecos más o menos numerosos.

Es posible, así, disminuir notablemente la permeabilidad del hormigón si se atienden los siguientes aspectos de su fabricación, por orden de importancia:

- Emplear mezclas secas, de baja relación agua-cemento. Los hormigones más resistentes son los menos permeables.
- Lograr una granulometría con el mínimo de vacíos posible.
- Colar el hormigón con el uso discreto de vibradores que compacten la mezcla y expulsen parte de las burbujas de aire.

Las anteriores recomendaciones pueden no ser suficientes para lograr un hormigón prácticamente impermeable en la construcción de tanques de almacenamiento u otras estructuras semejantes; en tales casos, es aconsejable terminar el colado con una capa de cemento y arena fina de unos dos centímetros de espesor, o recurrir al empleo de polvos muy finos (tierras diatomizadas) o sustancias que aumenten la trabajabilidad de la mezcla y que permitan reducir la cantidad de agua del colado. La impermeabilidad total de los tanques de almacenamiento puede lograrse colocando una película de plástico líquido, una vez que se han secado suficientemente las paredes.

Resistencias de los hormigones		
Clase de hormigón	Resistencia característica a la edad de 28 días σ'_{bk} N/mm ²	Aplicaciones en hormigones
H - 8	8	Sin armar
H - 13	13	Sin armar y armados
H - 17	17	
H - 21	21	Armados y pretensados
H - 30	30	
H - 38	38	
H - 47	47	

En función del tipo de estructura y del cemento portland a utilizar en su ejecución, el proyectista de la estructura establece la edad de diseño a la cual se obtendrá, en obra, la resistencia característica a la compresión especificada. Se adoptan las edades de diseño que se indican en la tabla, a menos que los planos o especificaciones técnicas del proyecto indiquen otra edad. ▶

Edades de diseño, en función del tipo de cemento portland	
Tipo de cemento	Edad de diseño (días)
Cemento portland de alta resistencia inicial	7
Cemento portland normal	28
Cemento portland moderadamente resistente a los sulfatos, sin adiciones	
Cemento portland altamente resistente a los sulfatos, sin adiciones	
Cemento portland resistente a la reacción álcali-agregado	
Cemento portland puzolánico	90
Cemento portland altamente resistente a los sulfatos, con adiciones	
Cemento portland de bajo calor de hidratación	
Cemento portland con escorias de alto horno	
Cemento de escorias de alto horno	

Teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada estructura, se puede requerir el uso de cementos que, además de permitir alcanzar en el hormigón la resistencia especificada, cumplan con las siguientes normas: ▶

Tipos de cemento		
Norma IRAM	Tipo de cemento	A usar en hormigón
1 503	Cemento portland normal	Sin armar, armado o pretensado
1 592	Cemento portland con filler calcáreo	
1 636	Cemento portland con escorias de alto horno	
1 646	Cemento portland de alta resistencia inicial	
1 651 - I	Cemento portland puzolánico	
1 656	Cemento portland moderadamente resistente a los sulfatos	
1 669 - I y II	Cemento portland altamente resistente a los sulfatos	
1 670	Cemento portland de bajo calor de hidratación	
1 671	Cemento portland resistente a la reacción álcali-agregado	
1 730	Cemento portland compuesto	
1 630	Cemento de escoria de alto horno	

b. Acero para el hormigón armado

El acero para el hormigón se utiliza en distintas formas; la más común es la barra o varilla que se fabrica tanto de acero laminado en caliente, como de acero trabajado en frío. Los diámetros usuales de barras varían de ¼ pulgadas a 1 ½ pulgadas (algunos productores han fabricado barras de 5/16 pulgadas, 5/33 pulgadas y 3/16 pulgadas) En algunos países se usan diámetros aún mayores. Todas las barras, con excepción del alambroón de ¼ de pulgadas -que, generalmente, es liso- son conformadas o nervuradas en la superficie para mejorar su adherencia al hormigón.

Generalmente, el tipo de acero se caracteriza por el límite de esfuerzo de fluencia.

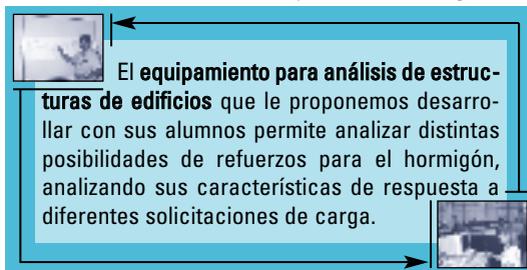
- Las barras laminadas en caliente pueden obtenerse con límites de fluencia desde 2200 hasta 4200 kg/cm².
- El acero trabajado en frío alcanza límites de fluencia de 4000 a 6000 kg/cm².

Una propiedad importante que debe tenerse en cuenta en refuerzos con detalles soldados es la *soldabilidad*. La soldadura de aceros trabajados en frío debe hacerse con cuidado.

Otra propiedad importante es la *facilidad de doblado*, que es una medida indirecta de ductilidad y un índice de su trabajabilidad.

Se ha empezado a generalizar el uso de mallas, como refuerzo de losas, muros y algunos elementos prefabricados. Estas mallas están formadas por alambres lisos unidos por puntos de soldadura en las intersecciones. El

acero es del tipo trabajado en frío, con refuerzos de fluencia del orden de 5000 kg/cm². El espaciamiento de los alambres varía de 5 a 40 cm y los diámetros de 2 a 7 mm, aproximadamente. En algunos países, en lugar de alambres lisos, se usan alambres con algún tipo de irregularidad superficial, para mejorar la adherencia. El acero que se emplea en estructuras pretensadas es de resistencia francamente superior a la de los aceros que hemos descrito. Su resistencia última varía entre 14000 y 22000 kg/cm² y su límite de fluencia, definido por el esfuerzo correspondiente a una deformación permanente de 0.002, entre 12000 y 19000 kg/cm².



El equipamiento para análisis de estructuras de edificios que le proponemos desarrollar con sus alumnos permite analizar distintas posibilidades de refuerzos para el hormigón, analizando sus características de respuesta a diferentes solicitaciones de carga.

Las barras, alambres, cordones y mallas de acero para hormigón armado y pretensado, deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas:

- IRAM-IAS U 500-502. Barras de acero, laminadas en caliente, lisas y de sección circular, para hormigón armado.
- IRAM - IAS U 500-528. Barras de acero conformadas, de dureza natural, para hormigón armado.
- IRAM - IAS U 500-06. Mallas de alambre de acero soldados para hormigón armado.
- IRAM - IAS U 500-26. Alambres de acero conformados para hormigón armado.
- IRAM - IAS U 500-113. Barras de acero para hormigón armado. Método de ensayo de fatiga.

- IRAM - IAS U 500-97. Barras para hormigón armado. Soldadura.
- IRAM - IAS U 500-96. Soldaduras. Calificación de soldadores.
- IRAM - IAS U 500-138. Ente habilitante, y entes de calificación y certificación de soldadores y operadores de soldaduras.
- IRAM - IAS U 500-164. Soldadura. Calificación de procedimientos.
- IRAM - IAS U 500-91. Ensayo de doblado y desdoblado.
- IRAM - IAS U 500-03. Cordón de siete

alambres para hormigón pretensado.

- IRAM - IAS U 500-07. Cordón de dos o tres alambres para hormigón pretensado.
- IRAM - IAS U 500-517. Alambres para hormigón pretensado.
- IRAM - IAS U 500-114. Alambres, barras y cordones de acero para hormigón pretensado. Método de ensayo de relajación isotérmica.
- IRAM - IAS U 500-117. Alambres, barras, cordones y cables de acero para hormigón pretensado. Método de ensayo de fatiga.

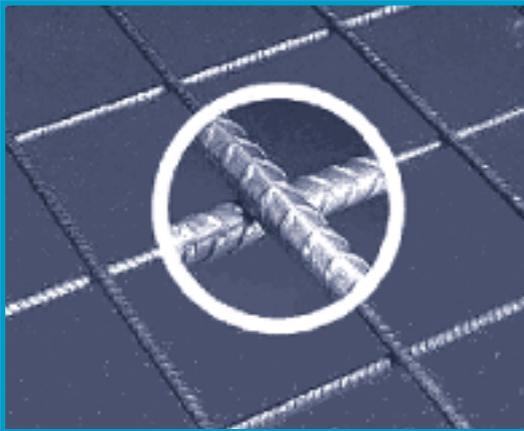
Tipos de acero para estructuras de hormigón armado y sus propiedades											
Forma de utilización en obra		1		2		3		4		5	
		Barras de acero				Alambres de acero		Mallas de acero			
Designación del acero (***)		AL 220		ADN 420		ATR 500 P ATR 500 N		AM 500 L		AM 500 P AM 500 N	
Elaboración del acero		Laminado en caliente		Dureza natural		Dureza mecánica		Dureza mecánica			
Conformación superficial		Lisa (L)		Nervurada (N)		Alambres perfilados (P) nervurados (N)		Alambres lisos		Alambres perfilados (P) nervurados (N)	
Designación abreviada		I		III DN		IV AP y IV AN		IV ML		IV MP y IV MN	
1	Diámetro nominal (d)	mm	6 - 8 - 10 - 12 16 - 20 - 25	6 - 8 - 10 - 12 - 16 20 - 25 - 32 - 40	4 a 12		(**) 3 - 3,4		4 a 12		
2	Límite de fluencia mínimo ($\beta_{st 0,2}$ $\beta_{st 1}$)	MPa	220	420	490		490		490		
3	Resistencia a la tracción mínima (R)	MPa	340	500	550		550		550		
4	Alargamiento porcentual de rotura, mínimo (A_{10})	%	18	12	6		6		6		
5	Resistencia al corte de las uniones soldadas en las mallas; mínima	kN	-----	-----	-----		0,175 $S_{m\acute{a}x.}$ (*)		0,15 $S_{m\acute{a}x.}$ (*)		
6	Diámetro del mandril de doblado. Angulo de doblado 180°	mm	2 d	d < 25 d = 32 d = 40	3,5 d 5,0 d 7,0 d	4 d		4 d		4 d	

(*) $S_{m\acute{a}x.}$ = Área de la sección nominal transversal del alambre de mayor diámetro de la unión soldada, en mm².

(**) Estos alambres no deben ser utilizados como armadura resistente, a excepción de que formen parte de un sistema constructivo industrializado, aprobado por la Subsecretaría de Vivienda de la Nación a través del Certificado de Aptitud Técnica correspondiente.

(***) La designación corresponde al valor característico del límite de fluencia del acero.

Nota: Se advierte que tendrá validez lo establecido en la última versión de las Normas IRAM-IAS mencionadas



Malla de acero soldada para uso estructural.
Acindar: www.acindar.com.ar

ADN es una sigla que significa **acero de dureza natural**. Las características mecánicas de límite de fluencia, resistencia a la tracción y el alargamiento, son definidas por la composición química del acero y por el proceso de laminación en caliente. Este acero para hormigón no tiene tratamiento de estirado o torsionado, para elevar el límite de fluencia

ATR proviene de **alambre trefilado**, aunque desde hace varios años el alambre para hormigón se fabrica a partir de alambres de bajo carbono por laminación en frío, lo que permite cambiar el diseño perfilado por el de nervaduras, con la consiguiente mejora en la adherencia. Los alambres ATR son fabricados con aceros de bajo carbono (SAE 1010/1011) y contenidos de fósforo y azufre también relativamente bajos, lo que los hace soldables. El tipo de soldadura usada no deberá producir calentamientos prolongados a temperaturas altas, porque el alambre perdería sus propiedades mecánicas

Los aceros ADN solamente tienen especificados por norma los contenidos de azufre y

fósforo, por lo que la composición queda a elección del fabricante.

En general, las medidas menores se fabrican con un acero similar al SAE 1045 y las medidas medias con un grado aproximado al SAE 1541. En las medidas 25 y 32 mm se utiliza, frecuentemente, acero microaleado con niobio -Nb- o vanadio -V-.

Los alambres ATR y las mallas se fabrican con aceros del tipo SAE 1010, 1011, 1015 o 1016. Las normas que cumplen estos aceros:

ADN 420	Norma IRAM IAS U 500-528
ATR 500N	Norma IRAM IAS U 500-26
AM 500N	Norma IRAM IAS U 500-06
AL220	Norma IRAM IAS U 500-502

Las solicitaciones características se obtienen para las superposiciones de acciones (estados de cargas) que puedan presentarse durante el uso o el período de construcción de la estructura, de acuerdo con lo indicado en los Reglamentos que detallamos a continuación:

- Las acciones permanentes originadas por el peso propio de la estructura y por las acciones debidas a la ocupación y el uso, según el Reglamento CIRSOC 101 "Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de estructuras de edificios".
- La acción del viento, según el Reglamento CIRSOC 102 "Acción del viento sobre las construcciones".
- Las acciones sísmicas, según el

Reglamento INPRES-CIRSOC 103 "Normas Argentinas para las construcciones sismorresistentes".

- Las acciones resultantes de la nieve y del hielo, según el Reglamento CIRSOC 104 "Acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones".
- Las acciones térmicas pueden ser determinadas según la Recomendación CIRSOC 107 "Acción térmica climática sobre las construcciones".

Otras acciones -como, por ejemplo, máquinas, equipos, vehículos, etc. se deben ajustar a lo estipulado en los reglamentos especiales o, si éstos no existieran, el profesional responsable debe justificar los valores que adopte. Se admite una superposición de acciones (combinación de estados de carga) según la Recomendación CIRSOC 105 "Superposición de acciones (Combinación de estados de carga)", solamente cuando pueda ser aplicada en forma íntegra.

Como medios auxiliares para el cálculo y el dimensionamiento pueden utilizarse:

- Cuaderno 220: "Dimensionamiento de los elementos de hormigón y de hormigón armado". Comisión Alemana para el Estudio del Hormigón Armado. Publicado en castellano por el IRAM.
- Cuaderno 240: "Métodos auxiliares para el cálculo de las sollicitaciones y deformaciones de estructuras de hormigón armado". Comisión Alemana para el Estudio del Hormigón Armado. Publicado en castellano por el IRAM.

Características, acción y respuesta de los elementos de hormigón

Una construcción u obra puede concebirse como un sistema. Un edificio, por ejemplo, está integrado por varios subsistemas: el de los elementos arquitectónicos para encerrar espacios, el estructural, las instalaciones eléctricas, las sanitarias, las de acondicionamiento de aire y los elevadores. Todos estos subsistemas interactúan de manera que, en su diseño, debe tenerse en cuenta la relación que existe entre ellos. Así, no puede confiarse que el lograr la solución óptima para cada uno conduzca a la solución óptima para el edificio en su conjunto.

Sistema es un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan en forma ordenada para cumplir con una determinada función.

Una estructura puede concebirse, también, como un sistema; es un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada que puede ser la de salvar un claro -como en los puentes-, encerrar un espacio -como sucede en los distintos tipos de edificios- o contener un empuje -como en los muros de contención, tanques o silos-. La estructura debe cumplir la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, deben satisfacerse otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determina-

das exigencias estéticas.

El objeto del diseño de estructuras consiste en determinar las dimensiones y características de los elementos de una estructura para que ésta cumpla cierta función con un grado de seguridad razonable, comportándose además satisfactoriamente una vez en condiciones de servicio. Debido a estos requisitos es preciso conocer las relaciones que existen entre las características de los elementos de una estructura (dimensiones, refuerzos, etc.), las solicitaciones que debe soportar y los efectos que dichas solicitaciones producen en la estructura. En otras palabras:

Es necesario conocer las características acción-respuesta de la estructura estudiada.

Las **acciones en una estructura** son las solicitaciones a que puede estar sometida. Entre éstas se encuentran, por ejemplo, el peso propio, las cargas vivas, las presiones por viento, las aceleraciones por sismo y los asentamientos.

La **respuesta de una estructura** o de un elemento, es su comportamiento bajo una acción determinada. Puede expresarse como deformación, agrietamiento, durabilidad, vibración. Desde luego, la respuesta está en función de las características de la estructura o del elemento estructural considerado.

Si se conocen las relaciones para todas las combinaciones posibles de acciones y características de una estructura, se cuenta con una base racional para establecer un método de diseño.

El **método de diseño** tiene por objeto determinar las características que debe tener una estructura para que, al estar sometida a ciertas acciones, su comportamiento o respuesta sea aceptable desde los puntos de vista de seguridad frente a la falla y de utilidad en condiciones de servicio.

En los procedimientos de diseño, el dimensionamiento se lleva a cabo, normalmente, a partir de las acciones interiores, -calculadas por medio de un análisis de la estructura-. Aún cuando, para diseñar satisfactoriamente no siempre es necesario obtener las acciones interiores inducidas por las exteriores.

Las principales acciones interiores que actúan en las estructuras son:

- compresión,
- tracción,
- flexión
- torsión y
- corte.

Cuando la compresión en elementos estructurales se presenta con tracción, se denomina **flexión**.

En los diversos elementos estructurales se pueden presentar muchas combinaciones:

Solicitaciones	Combinación de solicitaciones
Flexión	Flexo - Tracción
Tracción	Flexo - Compresión
Compresión	Flexión - Corte
Corte	

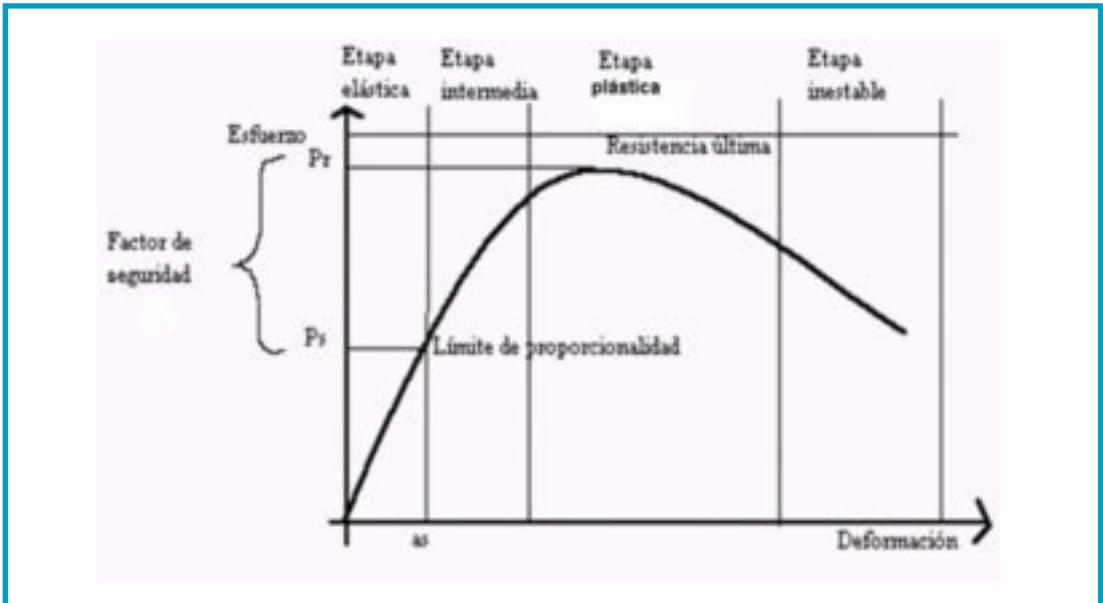
Son éstos los elementos estructurales más importantes y las acciones principales que se presentan en ellos:

Elemento	Acciones internas
Zapatas	Flexión, corte
Pilotes	Carga axial, Flexión
Pilas	Carga axial, Flexión
Losas de cimentación	Flexión, corte
Cimentaciones de piedra brasa	Carga axial
Columnas	Carga axial, pandeo
Vigas	Flexión, cortante
Losas en una dirección	Flexión y cortante
Losas en dos direcciones (perimetralmente apoyadas)	Flexión, cortante
Losas en dos direcciones (planas)	Flexión, cortante
Ménsulas	Cortante

La primera condición que debe satisfacer un diseño es que la estructura resultante sea lo suficientemente resistente. Una vez determinada la resistencia a cierta acción, se compara este valor máximo con el valor correspondiente bajo las condiciones de servicio. De esta comparación se origina el concepto de **coeficiente**. De un modo rudimentario, éste puede definirse como el cociente entre la resistencia y el valor estimado de la acción correspondiente en condiciones de servicio.

En términos de las características acción-respuesta, se puede definir la **resistencia** de una estructura o elemento a una acción determinada como el valor máximo que dicha acción puede alcanzar.

Para tener una idea más clara sobre la relación acción-respuesta de los elementos estructurales, se presenta la gráfica de esfuerzo-deformación de una viga en voladizo.



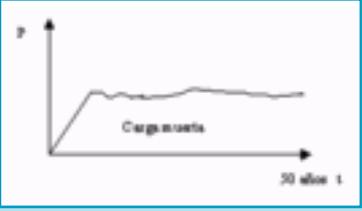
Se pueden distinguir cuatro etapas en el comportamiento del voladizo:

- a. Una **etapa inicial elástica**, en la que las cargas son proporcionales a las deformaciones. Es frecuente que, bajo las condiciones permanentes de servicio (excluyendo las cargas de corta duración como el viento o sismo), la estructura se encuentre en esta etapa. La carga de servicio se ha marcado en la figura como P_s y la deformación correspondiente como a_s .
- b. Una **etapa intermedia** en la que la relación carga-deformación ya no es lineal, pero en la que la carga va creciendo.
- c. Una **etapa plástica**, en la que se producen deformaciones relativamente grandes para incrementos pequeños o nulos de las cargas. La resistencia P_r , se encuentra en esta etapa. Debido a la forma de la curva, es difícil establecer cuál es la deformación correspondiente a la resistencia.
- d. Una **etapa inestable**.

De la gráfica se puede definir el coeficiente de seguridad como el cociente P_r/P_s . La estructura tiene una resistencia adecuada, si este factor es mayor que un valor predeterminado considerado como aceptable.

Las acciones que obran sobre la estructura:

- permanentes, como la carga muerta;
- variables, como la carga viva;
- accidentales, como sismo y viento.

<p>Cargas muertas</p>	<p>Son aquellas cuya magnitud y posición permanecen prácticamente constantes durante la vida útil de la estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • peso propio, • instalaciones, • empujes de rellenos definitivos, • cargas debidas a deformaciones permanentes. 
<p>Cargas vivas</p>	<p>Son cargas variables en magnitud y posición, debidas al funcionamiento propio de la estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • personal, • mobiliario, • empujes de cargas de almacenes.
<p>Cargas accidentales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Viento. Estas cargas dependen de la ubicación de la estructura, de su altura, del área expuesta y de la posición. Las cargas de viento se manifiestan como presiones y succiones. • Sismo. Estas cargas inducidas en las estructuras están en relación con su masa y elevación a partir del suelo; así como de las aceleraciones del terreno y de la capacidad de la estructura para disipar energía; estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a las masas de la estructura; aunque, en ocasiones -debido a la altura de los edificios o a su esbeltez- se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a que estará sometida la estructura.

Coefficiente de seguridad. Las cargas nominales se multiplican por coeficiente de seguridad antes de hacer el análisis estructural. Estos factores son números con los que se incrementan las cargas nominales máximas o se reducen las mínimas, de tal manera que con ellos se aumenta o se disminuye, respectivamente, la probabilidad de que las cargas sean excedidas o no sean alcanzadas. Los coeficientes de seguridad toman en cuenta la posibilidad de que se presenten sobrecargas e imprecisiones en los métodos de análisis estructural. Para considerar que la probabilidad de que varias acciones existan simultáneamente con su máxima intensidad es pequeña, generalmente se especifican coeficientes de seguridad menores para acciones combinadas.

Resistencias. Se entiende por resistencia, la magnitud de una acción o de una combinación de acciones, que provocaría la aparición de un estado límite de falla en un elemento estructural o en una estructura. Por ejemplo, la resistencia a flexión de una viga

es la magnitud del momento flexionante que provocaría su falla en flexión; su resistencia al corte es la magnitud de la fuerza de corte que provocaría una falla de este tipo del elemento; la resistencia a flexocompresión de una columna es la magnitud del momento flexionante y de la carga axial que, combinadas, producen la falla del elemento.

Para el cálculo de las deformaciones del hormigón bajo cargas de servicio, se admite un módulo de elasticidad constante E_b igual para compresión y para tracción. Su valor figura en la tabla, en función del tipo de resistencia.

Estos valores se pueden utilizar sólo para hormigones de densidad normal.

En los casos en que sea de importancia la consideración del coeficiente de dilatación transversal μ , se debe usar $\mu = 0,2$, según el artículo 15.1.2. CIRSOC.



Valores de cálculo del módulo de elasticidad del hormigón

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Tipo de resistencia	H-8	H-13	H-17	H-21	H-30	H-38	H-47
2	Módulo de elasticidad E_b en MPa (*)	17 500	24 000	27 500	30 000	34 000	37 000	39 000

(*) 1 Mpa: 10 kgf/cm²

- E_c Módulo de elasticidad estático a la compresión del hormigón.
- E_d Módulo de elasticidad dinámico del hormigón.
- σ'_b Resistencia individual a la compresión de un hormigón (resultado de un ensayo).
- σ'_{bt} Resistencia característica de rotura a compresión del hormigón, especificada.



Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios

Estructuras de acero

De los materiales comúnmente usados para fines estructurales, el acero es el que tiene mejores propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad. Su eficiencia estructural es alta debido a que puede fabricarse en secciones con la forma más adecuada para resistir la flexión, compresión u otro tipo de sollicitación.

► El **acero** es una aleación de hierro y carbono (este último, entre 0.5 y 1.5 %).

Las resistencias en compresión y a la tracción son prácticamente idénticas y pueden hacerse variar, dentro de un intervalo bastante amplio, modificando la composición química o mediante trabajo en frío.

Es necesario considerar que:

- A medida que se incrementa la resistencia del acero, se reduce su ductilidad.
- Al aumentar la resistencia no varía el módulo de elasticidad, por lo que se vuelven más críticos los problemas de pandeo local de las secciones y global de los elementos.

Por esto último, en las estructuras normales, la resistencia de los aceros no excede de 2500 kg/cm^2 , mientras que para el acero del hormigón, donde no existen problemas de pandeo, con frecuencia se emplean aceros hasta 6000 kg/cm^2 y para pretensado de hasta de 20000 kg/cm^2 .

La continuidad entre los distintos componentes de la estructura no es tan fácil de lograr como en el hormigón armado, por lo que el diseño de las juntas, soldadas o atornilladas requiere de especial cuidado para que sean capaces de transmitir las sollicitaciones que implica su funcionamiento estructural.

Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen, generalmente, poca variabilidad. Coeficientes de variación del orden de 10 por ciento son típicos para la resistencia y las otras propiedades.

Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace más fácilmente predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos.

Las extraordinarias cualidades estructurales del acero y, especialmente, su alta resistencia a la tracción, han sido aprovechadas estructuralmente en una gran variedad de elementos y materiales compuestos; primero entre ellos, el hormigón armado y el pretensado; además, en combinación con madera, plásticos, mampuestos y otros.

La posibilidad de ser atacado por la corrosión hace que el acero requiera protección y cier-

to mantenimiento en condiciones ambientales. El costo y los problemas que se originan por este aspecto son suficientemente importantes como para inclinar la balanza hacia el uso de hormigón armado en algunas estructuras que deben quedar expuestas a la intemperie, como puentes y ciertas obras marítimas, aunque en acero podría lograrse una estructura más ligera y de menor costo inicial.

Calidad	Normas	Análisis químicos (%)					Usos
		C máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Si máx.	
1010	SAE	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050	-	Acero para uso general
1045	SAE	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050	-	
ESP 003	COMERCIAL	0.23	1.20	0.040	0.050	-	Acero para uso general y estructural
F00	IRAM-IAS U 500-42	0.20	Ceq-0.55	0.040	0.050	-	
F22	IRAM-IAS U 500-42	0.21	Ceq-0.44	0.030	0.035	0.35	
F24	IRAM-IAS U 500-42	0.21	Ceq-0.45	0.030	0.035	0.35	
F30	IRAM-IAS U 500-42	0.21	Ceq-0.55	0.030	0.035	0.35	
F36	IRAM-IAS U 500-42	0.26	Ceq-0.58	0.030	0.035	0.55	
A36	ASTM	0.25	-	0.040	0.05	0.40	
A283 G°C	ASTM	0.24	0.90	0.035	0.040	0.40	
A572 G°50	ASTM	0.23	1.35	0.040	0.050	0.40	
Calidad	Normas	Características mecánicas			Usos		
		RTmin.(Mpa)	Emin. (Mpa)	A% (Lo:50m.m.)			
F22	IRAM-IAS U 500-42	363-513	216	26	Acero para uso general y estructural		
F24	IRAM-IAS U 500-42	412-562	235	24			
F30	IRAM-IAS U 500-42	490-640	294	22			
F36	IRAM-IAS U 500-42	510-660	353	22			
A36	ASTM	400-550	250	21			
A283 G°C	ASTM	380-515	205	25			
Espesor (mm)	Peso (kg/m ²)	Espesor (mm)	Peso (kg/m ²)				
0.90	7.06	6.35	49.85				
1.25	9.81	7.93	62.25				
1.60	12.56	9.52	74.73				
2.00	15.70	12.70	99.69				
2.50	19.62	15.87	124.58				
3.17	24.88	19.05	149.54				
4.00	31.20	20.00	161.94				
4.76	37.37	22.00	174.43				

La Norma IRAM IAS U 500 42, es prácticamente compatible con la Norma ASTM A 36.

El acero al carbono más utilizado es el SAE 1020, el acero de 1200 kg/cm² -llamado acero dulce, utilizado para herrería- y el acero para construcción 2400 kg/cm², que es con el que se fabrican todos los tipos de perfiles, placas y barras. Cualquier otro tipo de acero se desarrolla a partir de un pedido especial y en tanto se demande una cantidad importante de éste, debido al tamaño de los hornos en los que es fundido el acero, lo cual eleva mucho su costo.

Debido a las características de alta resistencia, el acero se utiliza como estructura en edificaciones con condiciones severas de carga y forma, grandes alturas, grandes claros, pocos puntos de apoyo, voladizos y dificultades de ejecución.

Ventajas	Desventajas
Alta resistencia	Lograr continuidad
Alta rigidez	Juntas
Alta ductilidad	Corrosión
Relación forma-resistencia	Poca resistencia al fuego
Muy bajo coeficiente de variabilidad de su resistencia	Alto costo inicial
	Mano de obra especializada
	Mantenimiento continuo

Principios generales de diseño de estructuras metálicas

El propósito fundamental del diseñador de estructuras es lograr una estructura económica y segura, que cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos. Para alcanzar esta meta, el diseñador debe tener un

conocimiento completo de las propiedades de los materiales, del comportamiento estructural, de la mecánica y análisis estructural, y de la relación entre la distribución y la función de una estructura; cuenta, también, con una apreciación clara de los valores estéticos con objeto de trabajar en colaboración con otros especialistas y contribuir, así, al desarrollo de las cualidades funcionales y ambientales deseadas en una estructura.

Las estructuras pueden dividirse en dos grupos principales:

- **estructuras de cascarón**, hechas principalmente de placas o láminas, tales como tanques de almacenamiento, silos, cascos de buques, carros de ferrocarril, aeroplanos y cubiertas de cascarón para edificios grandes;
- **estructuras reticulares**, construidas de conjuntos de miembros alargados, tales como armaduras, marcos rígidos, traveses, tetraedros o estructuras reticuladas tridimensionales.

La lámina o placa utilizada en las estructuras de cascarón desempeña, simultáneamente, el doble papel de cubierta funcional y de elemento principal de carga; para ello se lo rigidiza mediante bastidores que pueden o no soportar las cargas principales.

En cambio, los miembros principales de las estructuras reticulares no son, generalmente, funcionales y se usan sólo para la transmisión de las cargas; esto obliga a colocar elementos adicionales, tales como muros, pisos, techos y pavimentos, que satisfagan los requisitos funcionales.

Por tanto, puede parecer que las estructuras de cascarón son más eficientes que las reticuladas, ya que la cubierta o cáscara es usada con un doble propósito: funcional y estructural. Hasta la fecha, los cascarones no han sido utilizados ampliamente en estructuras metálicas, lo cual es atribuible a la economía que puede obtenerse con este tipo de diseño, que estriba, principalmente, en el peso de la estructura y en una efectividad restringida a ciertos claros y distribuciones; los ahorros en peso pueden ir acompañados de correspondientes aumentos en los costos de construcción que, para ser reducido, demandan una reorganización y una renovación del equipo, tanto en los talleres como en las cuadrillas de construcción. Estos factores se están resolviendo en la actualidad, con lo cual se obtiene una gran variedad de sistemas estructurales metálicos.

El famoso puente Verrazano-Narrows en Nueva York utiliza la alta resistencia a la tracción de los alambres de acero en sus cables y soportes; cada una de las torres de acero, de 210.30 metros de altura, soporta una carga vertical de 95,255 toneladas, al mismo tiempo que resiste las cargas horizontales. Las armaduras colocadas a lo largo de la calzada rigidizan el puente contra el tráfico móvil y contra las fuerzas dinámicas de viento y sismo.



Una estructura reticular convencional está compuesta de barras unidas entre sí por medio de conexiones. Una barra puede ser:

- **perfil laminado estándar:** ángulos de lados iguales (LI), ángulo de lados desiguales (LD), perfil \square estándar ($\square E$), perfil \mathbf{I} estándar (\mathbf{IE}), perfil \mathbf{I} rectangular (\mathbf{IR}), perfil T rectangular (TR), redondo sólido liso (OS), tubo circular (OC), tubo cuadrado o rectangular (\square), perfil \square formado en frío ($\square F$), perfil Z formado en frío (ZF);
- **barra compuesta por varios perfiles** unidos por soldadura, remaches o tornillos

Los elementos de una estructura pueden estar sometidos a cuatro tipos fundamentales de esfuerzos, por lo que se los clasifica de acuerdo con ellos:

- **tensores**, sometidos a esfuerzos de tracción,
- **columnas**, sometidas a esfuerzos de compresión y pandeo,
- **vigas**, sometidas a esfuerzos de flexión.

En la práctica, es improbable que un miembro transmita cargas de un solo tipo; aún en caso de que sea un miembro horizontal o diagonal sometido a tracción y conectado por medio de pasadores, éste se ve sujeto a una pequeña flexión, debido a su propio peso. Por consiguiente, la mayoría de los miembros transmite una combinación de flexión, torsión, y tracción o compresión axial. En

puentes y edificios, es muy raro que se diseñe un miembro principalmente por torsión; pero, con bastante frecuencia, los miembros diseñados para otros tipos de carga están también sujetos a torsión.

Generalmente, cuando los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño; por tanto, los elementos estructurales pueden clasificarse y estudiarse de acuerdo con sus cargas predominantes.



El dispositivo que le proponemos integrar a sus clases como recurso didáctico, si bien está construido con elementos de aluminio, permite analizar estructuras reticulares con miembros unidos entre sí por conexiones.

Es posible crear diferentes estructuras y analizar elementos individuales críticos en el diseño, estudiando desde una computadora su reacción ante solicitudes de carga.

Es importante recordar que, en el procedimiento para calcular un elemento estructural, lo que nos interesa es que nuestro elemento estructural soporte las cargas y/o acciones a que está sometido; por tanto, primero se tienen que determinar dichas acciones para, posteriormente, proponer una sección determinada y, por último, revisar si

resiste dichas acciones. Así, el procedimiento para calcular la resistencia de elementos ya existentes y elementos nuevos es el mismo.

Existe un interés que aumenta cada vez más, por el uso de miembros sometidos a tracción en el diseño de edificios, tales como colgantes para pisos y cables para techos. A través de ellos pueden desarrollarse muchas formas para techos, las cuales cubren grandes áreas sin soportes intermedios y presentan, a la vez, líneas estéticas de agradable apariencia.

Una **barra simple sometida a tracción** es una barra recta sujeta en sus extremos a dos fuerzas que tratan de estirarla. Es un miembro eficiente y económico porque utiliza toda el área del material de manera efectiva, trabajando al esfuerzo uniforme máximo permitido por el diseñador; por lo común es fácil de fabricar, de embarcar y de montar en una estructura.

En general, existen cuatro grupos de elementos en tracción:

- alambres y cables,
- varillas y barras,
- perfiles estructurales y placas simples, y
- miembros armados.

Los **cables** de alambre con núcleo de fibra se utilizan casi exclusivamente para propósitos de izaje, como puede ser el izar pilotes; los cables de alambre con núcleos independientes de cable de alambre, se utilizan para líneas de sustentación o cables de izaje.

Las prácticas de manufactura para estos cables varían, dependiendo del uso que se

piensa darles. Los cables de alambre se emplean para malacates, grúas, contravientos y cables de suspensión de puentes. Los cables principales de los puentes colgantes se hacen de alambres paralelos, sin torcer, colocados en la obra por medio de dispositivos especiales.



Las ventajas del cable de alambre son su flexibilidad y resistencia. Se requieren accesorios especiales para las conexiones de sus extremos.

Aunque los cables de alambre se usan ocasionalmente para miembros de contraventeo, su aplicación es limitada, debido a su incapacidad para soportar fuerzas de compresión, a la necesidad de accesorios especiales de conexión y a su alargamiento excesivo cuando se utiliza toda su resistencia. En algunas estructuras especiales, tales como torres de acero atirantadas con cables, pueden diseñarse los alambres y los cables con una tensión inicial considerable, de modo que la estructura tenga un pretensado que aumente su efectividad para resistir las cargas exteriores; los cables pretensados pueden soportar compresiones resultantes de las cargas exteriores, siempre que no excedan la tensión inicial.

A menudo se hacen miembros pequeños a tracción con **varillas** laminadas en caliente, de sección cuadrada o redonda, o bien con barras planas. La resistencia a la tracción de estos miembros depende del tipo y grado de acero; el acero estructural al carbono es el material más comúnmente usado para ellos. Debido a su esbeltez, su resistencia a la compresión es despreciable.

Las varillas y las barras se emplean como miembros a tracción en sistemas de contraventeo, tales como contraventeos diagonales, o bien como miembros principales en estructuras muy ligeras, como torres de radio. Cuando se usan barras, es recomendable colocarlas con su dimensión mayor en el plano vertical, con objeto de reducir su flecha por peso propio.



Las conexiones soldadas en los extremos de las varillas o barras son relativamente sencillas, ya que no se requiere ninguna fabricación especial. También pueden roscarse y atornillarse los extremos de las varillas, usando diferentes detalles de conexión. El roscado en los extremos reduce el área neta de la varilla y, por lo tanto, su resistencia, pero no afecta apreciablemente la rigidez del miem-

bro; cuando se escoge el tamaño de las varillas -por su rigidez más que por su resistencia-, la pérdida de área en la sección de la rosca, por lo general, carece de importancia. Si se desea conservar la resistencia de la sección principal, pueden engrosarse los extremos y rosarlos después; este tipo de varillas es costoso, debido al trabajo adicional que se requiere para forjar los extremos, excepto en el caso en que se ordenen cantidades importantes. Las varillas pueden conectarse también por medio de horquillas de ojo, o bien pueden forjarse haciéndoles un ojal en el extremo. Las barras planas pueden soldarse, remacharse, o atornillarse a las partes adyacentes, o bien pueden forjarse con un ojal o con una barra de ojo en el extremo y conectarse, así, a un pasador.

La principal desventaja de las varillas y de las barras es su falta de rigidez, lo cual tiene como resultado flechas apreciables debidas a su peso propio, especialmente durante el montaje; además, es casi imposible fabricarlas de manera que ajusten perfectamente en la estructura:

- si son demasiado largas, se doblarán al forzarlas a su posición;
- si son demasiado cortas, tendrán que estirarse para colocarlas y pueden producir esfuerzos iniciales no deseables en la estructura y en ellas mismas.

Por esta razón, a menudo, se requieren templadores o tuercas ajustables para absorber las variaciones en la longitud de las varillas.

Diámetros, pesos y áreas de varillas

Número de varillas

#	Ø pulg	Ø cm	Peso kg/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	¼	0.64	0.248	0.32	0.64	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.56	2.88	3.20
2.5	5/16	0.79	0.388	0.49	0.98	1.47	1.96	2.45	2.94	3.43	3.92	4.41	4.90
3	3/8	0.95	0.559	0.71	1.42	2.13	2.84	3.55	4.26	4.97	5.68	6.39	7.20
4	½	1.27	0.993	1.27	2.54	3.81	5.08	6.35	7.62	8.89	10.16	11.43	12.70
5	5/8	1.59	1.552	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.83	13.86	15.84	17.82	19.80
6	¾	1.90	2.235	2.85	5.70	8.55	11.40	14.25	17.10	19.95	22.80	25.65	28.50
7	7/8	2.22	3.042	3.88	7.76	11.64	15.52	19.40	23.28	27.16	31.04	34.92	38.80
8	1	2.54	3.973	5.07	10.14	15.21	20.28	25.35	30.42	35.49	40.56	45.63	50.70
9	1 1/18	2.86	5.028	6.41	12.62	19.23	25.64	32.05	38.46	44.87	51.28	57.69	64.10
10	1 ¼	3.13	6.207	7.92	15.84	23.76	31.68	39.60	47.52	55.44	63.36	71.28	79.20
11	1 3/8	3.49	7.511	9.58	19.16	28.74	38.32	47.90	57.48	67.06	76.64	86.22	95.80
12	1 1/2	3.81	8.938	11.40	22.80	34.20	45.60	57.00	68.40	79.80	91.20	102.6	114.0

Cuando se requiere una cierta rigidez o cuando las inversiones de carga pueden someter al miembro diseñado para tracción a ciertas compresiones, los cables varillas y barras no cumplen con las necesidades del caso; en tal situación, deben emplearse **perfiles estructurales** sencillos o armados. El perfil laminado más sencillo y que se usa más a menudo como miembro a tracción es el ángulo (una objeción sería al uso de un sólo ángulo es la presencia de excentricidades en la conexión).

Los ángulos tienen una rigidez considerablemente mayor que los cables, las varillas o las barras planas; pero, pueden ser todavía muy flexibles si los miembros son de gran longitud; por lo tanto, los ángulos sencillos se usan, principalmente, para contraventeos, miembros a tracción en armaduras ligeras y en casos donde la longitud de los miembros no es excesiva.

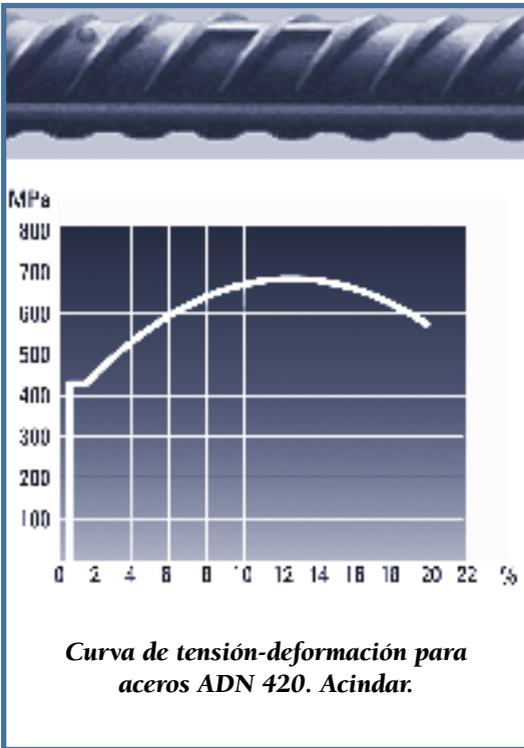
Ocasionalmente, se usan las secciones I estándar (IE) e I rectangular (IR) como miembros a tracción. Aunque, para una misma área, las secciones IR son más rígidas que las secciones IE, tienen a menudo inconvenientes para conectarse, ya que cada variante del tamaño nominal tiene un peralte distinto; los perfiles IE tienen varias secciones para un mismo peralte, por lo que pueden ajustarse mejor a una cierta estructura, pero no existe una variedad suficiente de secciones para realizar una elección económica. Usualmente, las secciones laminadas simples son más económicas que las secciones armadas y se usan siempre y cuando pueda obtenerse la rigidez y la resistencia adecuadas, así como las conexiones convenientes.

Los **miembros armados** se obtienen conectando entre sí dos o más placas o perfiles, de modo que actúen como un miembro único. Estos miembros pueden ser necesarios debido a:

- requisitos de área la que, en ocasiones, puede no llegar a abarcarse con un perfil laminado sencillo;
- requisitos de rigidez, ya que para una misma área puede obtenerse un momento de inercia mucho mayor con secciones armadas que con perfiles laminados sencillos;
- necesidad de una conexión adecuada, cuando el ancho o el peralte requeridos para la conexión del miembro no puedan obtenerse con una sección laminada estándar;
- la necesidad de contar con la suficiente rigidez para soportar compresión tanto como tracción, lo que es deseable en estructuras donde puedan presentarse inversiones de esfuerzos.

- Reglamento CIRSOC 301. Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de acero para edificios.
- Recomendación CIRSOC 301-2. Métodos simplificados admitidos para el cálculo de las estructuras metálicas.
- Reglamento CIRSOC 302. Fundamentos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero.
- Recomendación CIRSOC 302-1. Método de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero.
- Recomendación CIRSOC 303. Estructuras livianas de acero.
- Reglamento CIRSOC 304. Estructuras de acero soldadas.

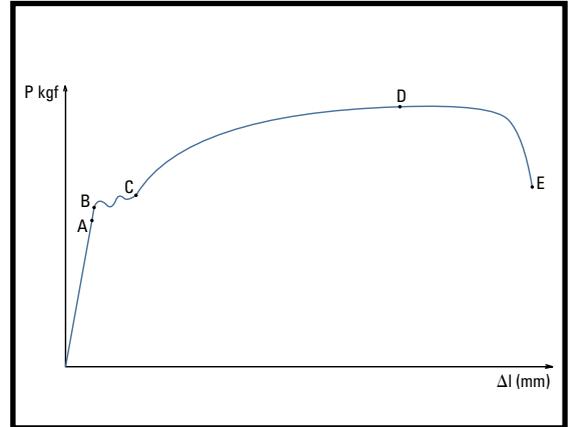
Deformaciones bajo cargas de servicio



Por las condiciones de ensayo, el de tracción estática es el que mejor determina las propiedades mecánicas de los metales, al definir sus características de resistencia y deformabilidad. Permite obtener, bajo un estado simple de tensión, el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática, sobre la base de cuyos valores se fijan los de las tensiones admisibles o de proyecto (sadm.) y, mediante el empleo de medios empíricos, se puede conocer el comportamiento del material sometido a otro tipo de solicitaciones (fatiga, dureza, etc.).

Cuando la probeta se encuentra bajo un esfuerzo estático de tracción simple, a medi-

da que aumenta la carga, se estudia ésta en relación con las deformaciones que produce. Estos gráficos permiten deducir sus puntos y zonas características.



El gráfico nos presenta el caso de un acero dúctil, en donde el eje de las ordenadas corresponde a las cargas y el de la abscisas al de las deformaciones longitudinales o alargamientos en milímetros.

1. **Período elástico.** Se observa en el diagrama que, el comienzo, desde el punto O hasta el A, está representado por una recta que pone de manifiesto la proporcionalidad entre los alargamientos y las cargas que lo producen (Ley de Hooke). Dentro de este período y proporcionalmente hasta el punto A, los aceros presentan la particularidad de que la barra retoma su longitud inicial al cesar la aplicación de la carga, por lo que recibe el nombre de *período de proporcionalidad o elástico*.
2. **Zona de alargamiento pseudoelástico.** Para el límite proporcional se presenta un pequeño tramo ligeramente curvo AB - que puede confundirse prácticamente

con la recta inicial- en el que a los alargamientos elásticos se les suma una muy pequeña deformación que presenta registro no lineal en el diagrama de ensayo. La deformación experimentada desde el límite proporcional al B no sólo alcanza a valores muy largos, sino que fundamentalmente es recuperable en el tiempo, por lo que a este punto del diagrama se lo denomina límite elástico o aparente o superior de fluencia.

3. **Zona de fluencia o escurrimiento.** El punto B marca el inicio de oscilaciones o pequeños avances y retrocesos de la carga con relativa importante deformación permanente del material. Las oscilaciones en este período denotan que la fluencia no se produce simultáneamente en todo el material, por lo que las cargas se incrementan en forma alternada, fenómeno que se repite hasta que el escurrimiento es total y nos permite distinguir los "límites superiores de fluencia". El límite elástico aparente puede alcanzar valores de hasta el 10 al 15 % mayores que el límite final de fluencia.

4. **Zona de alargamiento homogéneo en toda la probeta.** Más allá del punto final de fluencia C, las cargas vuelven a incrementarse y los alargamientos se hacen más notables; es decir, ingresa en el período de las grandes deformaciones, las que son uniformes en todas las probetas hasta llegar a D, por disminuir, en igual valor, en toda la longitud del material, la dimensión lineal transversal. El final de período de alargamiento homogéneo queda determinado por la carga máxima, a partir de la cual la deformación se localiza en una determinada

zona de la probeta, provocando un estrechamiento de las secciones que la llevan a la rotura. Al período DE se lo denomina de estricción. En la zona plástica se produce, por efecto de la deformación, un proceso de endurecimiento, conocido con el nombre de "acritud", que hace que al alcanzar el esfuerzo la resistencia del metal, éste adquiera -al deformarse- más capacidad de carga, lo que se manifiesta en el gráfico hasta el punto D.

5. **Zona de estricción.** En el período de estricción, la acritud, si bien subsiste, no puede compensar la rápida disminución de algunas secciones transversales, produciéndose un descenso de la carga hasta la fractura.

El ensayo de tracción es el que mejor define las propiedades mecánicas de los metales sometidos a la acción de cargas estáticas.

Estas propiedades quedan determinadas si se calcula la aptitud del material a resistir las cargas que le pueden ser aplicadas (propiedades de resistencia) y las deformaciones que experimente por la acción de éstas (propiedades de deformaciones).

Propiedades mecánicas de resistencia

Del gráfico de ensayo pueden determinarse los valores de las cargas a los límites proporcionales y de fluencia, y la que corresponde a la máxima, valores que permiten calcular las tensiones convencionales que fijan las propiedades de resistencia.

Resistencia estática a la tracción:

$$\sigma_{ET} = \frac{P_{max}}{S_0} \text{ [Kgf/mm}^2\text{]}$$

Tensión al límite inicial de fluencia:

$$\sigma_f = \frac{P_f}{S_0} \text{ [Kgf/mm}^2\text{]}$$

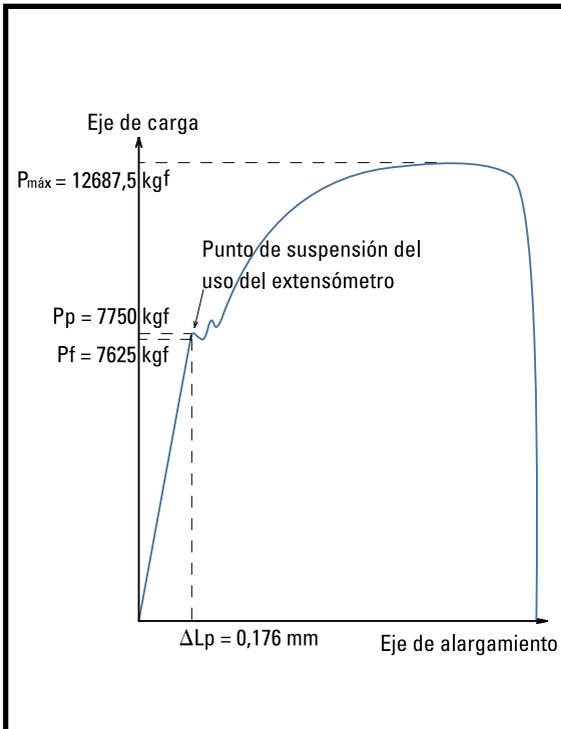
Tensión al límite convencional 0,2:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{S_0} \text{ [Kgf/mm}^2\text{]}$$

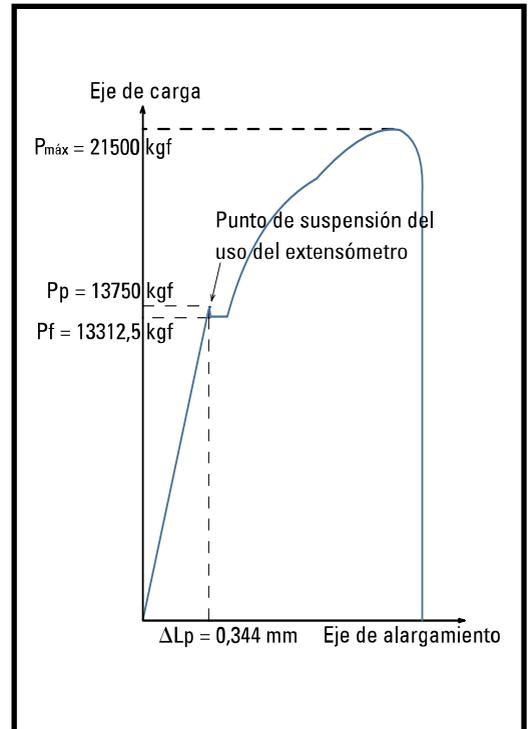
La determinación de los límites convencionales requiere el empleo de extensómetro o de máquinas con registradores electrónicos (Le recomendamos analizar con sus alumnos el artículo 17.2.1. en CIRSOC).

Como módulo de elasticidad del acero **Es** se toma **210.000 MPa** (2.100.000 kgf/cm²), tanto para tracción como para compresión.

Ensayo de tracción SAE 1015:

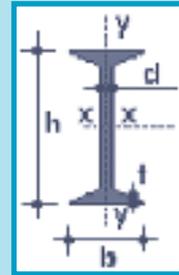


Ensayo de tracción SAE 1045:



Características de los perfiles doble T normales

J: Momento de inercia
 W: Módulo resistente
 F: Sección
 I: Radio de giro



PN	b mm	d mm	t mm	F cm ²	peso kg/m	Wx cm ³	Jx cm ⁴	lx cm	Jy cm ⁴	ly cm
8	42	3.9	5.9	7.58	5.95	19.5	77.8	3.2	6.29	0.91
10	50	4.5	6.8	10.6	8.32	34.2	171	4.01	12.2	1.07
12	58	5.1	7.7	14.2	11.2	54.7	328	4.81	21.5	1.23
14	66	5.7	8.6	18.3	14.4	81.9	573	5.61	35.2	1.4
16	74	6.3	9.5	22.8	17.9	117	935	6.4	54.7	1.55
18	82	6.9	10.4	27.9	21.9	161	1450	7.2	81.3	1.71
20	90	7.5	11.3	33.5	26.3	214	2140	8	117	1.87
22	98	8.1	12.2	39.6	31.1	278	3060	8.8	162	2.02
24	106	8.7	13.1	46.1	36.2	354	4250	9.59	221	2.2
26	113	9.4	14.1	53.4	41.9	442	5740	10.4	288	2.32
28	119	10.1	15.2	61.1	47	542	7590	11.1	364	2.45
30	125	10.8	16.2	69.1	54.2	653	9800	11.9	451	2.56
32	131	11.5	17.3	77.8	61.1	782	12510	12.7	555	2.67
34	137	12.2	18.2	86.8	68.1	923	15700	13.5	674	2.8
36	143	13	19.5	97.1	76.2	1090	19610	14.2	818	2.9
38	149	13.7	20.5	107	84	1260	24010	15	975	3.02
40	155	14.4	21.6	118	95.6	1460	29210	15.7	1160	3.13
42 ½	163	15.3	23	132	104	1740	36970	16.7	1440	3.3
45	170	16.2	24.3	147	115	2040	45850	17.7	1730	3.43
47 ½	178	17.1	25.6	163	128	2380	56480	18.6	2090	3.6
50	185	18	27	180	141	2750	68740	19.6	2480	3.72
55	200	19	30	213	167	3610	99180	21.6	3490	4.02
60	215	21.6	32.4	254	199	4630	139000	23.4	4670	4.3

Estructuras de madera

La principal propiedad mecánica que caracteriza a la madera de los demás materiales estructurales es la anisotropía; es decir, que no presenta características o propiedades comunes a lo largo de su estructura

Existen maderas estructurales

- Coníferas, también llamadas gimnospermas, árboles de hoja perenne en forma de aguja con semillas alojadas en sus conos. Su madera está constituida, esencialmente, por un tipo de células denominadas traqueidas (pino, roble, nogal, etc.).
- Latifoliadas, también llamadas angiospermas, árboles de hoja caduca de forma ancha que producen sus semillas dentro de frutos. Su madera está constituida por células denominadas vasos, fibras y rárénquima (tropicales: caoba).
- Madera contrachapeada, placa compuesta de un conjunto de chapas o capas de madera unidas con adhesivo, generalmente en número impar, en la cual las chapas adyacentes se colocan con la dirección de la fibra perpendicularmente entre sí.

Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de madera de especies coníferas (kg/cm²)

Flexión	σ'_{fu}	170
Tensión paralela a la fibra	σ'_{tu}	115
Compresión paralela a la fibra	σ'_{cu}	120
Cortante perpendicular a la fibra	σ'_{nu}	40
Cortante paralelo a la fibra	σ'_{vy}	15
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0,50}$	100,000
Módulo de elasticidad correspondiente al 5º percentil	$E_{0,05}$	55,000

Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de madera de especies latifoliadas (kg/cm²)

Flexión	σ'_{fu}	300
Tensión paralela a la fibra	σ'_{tu}	200
Compresión paralela a la fibra	σ'_{cu}	220
Cortante perpendicular a la fibra	σ'_{nu}	75
Cortante paralelo a la fibra	σ'_{vy}	25
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0,50}$	160,000
Módulo de elasticidad correspondiente al 5º percentil	$E_{0,05}$	120,000

Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad y módulo de rigidez de madera contrachapeada de especies coníferas (kg/cm²)

Flexión	σ'_{fu}	190
Tensión	σ'_{tu}	140
Tensión: fibra en las chapas exteriores perpendicular al eje (tres chapas)	σ'_{tu}	90
Compresión en le plano de las chapas	σ'_{cu}	160
Compresión perpendicular al plano de las chapas	σ'_{nu}	25
Cortante a través del grosor	σ'_{vu}	20
Cortante en el plano de las chapas	σ'_{ru}	5
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0,50}$	105,000
Módulo de rigidez promedio	$G_{0,50}$	5,000

Factores de reducción de resistencia para madera maciza y contrachapeada (Fr)

Es posible reutilizar el equipo propuesto con todos sus elementos en madera, adaptando una celda de carga montada en un elemento de este material.



Acción	Madera maciza	Madera contracha-peada
Flexión	0.80	0.80
Tensión paralela	0.70	0.70
Compresión paralela y en el plano de las chapas	0.70	0.70
Compresión perpendicular	0.90	0.90
Cortante paralelo, a través del espesor y en el plano de las chapas	0.70	0.70

Estructuras de madera Tensiones admisibles para las maderas -Norma DIN 1052-

Madera sana y seca	Dureza	Tensión en kg/cm ²				
		Tracción	Compresión	Flexión	Corte	
					II	I
Maderas argentinas Muy duras (Más de 10 unidades Brinel)						
Itín	12,7	125	90	130	20	40
Palo Santo	12,6	120	85	110	15	35
Guayacán	12,3	85	95	115	15	35
Quebracho colorado	12,0	110	90	125	20	45
Quina	11,5	110	85	120	15	40
Mora	10,2	90	85	100	15	35
Curupay	10,0	110	90	125	15	40
Urunday	10,1	100	80	110	15	40
Urundel	10,0	95	95	120	15	35
Duras (Entre 7 y 10 unidades Brinel)						
Lapacho	9,8	100	80	130	15	35
Viraró	9,7	75	60	100	10	30
Palo lanza	9,6	80	70	100	15	35
Incienso	8,7	85	75	125	15	35
Nandubay	8,3	90	75	110	15	35
Guayabí	7,8	70	60	105	15	30
Guatambú	7,8	70	60	110	15	35
Quebracho blanco	7,6	60	50	85	15	30
Espina corona	7,1	55	60	90	10	25
Palo blanco	7,0	60	65	100	10	25

Madera sana y seca	Dureza	Tensión en kg/cm ²				
		Tracción	Compresión	Flexión	Corte	
					II	I
Semiduras (Entre 4 y 10 unidades Brinel)						
Varapitá	6,8	65	60	80	10	30
Algarrobo	6,8	50	50	95	15	25
Caldén	5,7	55	45	65	10	25
Petiribí	5,6	55	55	80	15	30
Guaicá	4,8	60	55	75	15	25
Tipa blanca	5,4	50	50	80	10	30
Laurel negro	4,7	50	50	65	10	25
Ingá	4,5	50	50	70	10	25
Roble salteño	4,0	35	35	60	10	25
Roble pellín	4,5	50	45	80	10	30
Coihue	4,3	50	45	70	10	25
Nogal salteño	4,2	50	50	70	10	20
Blandas (Menos de 4 unidades Brinel)						
Timbó colorado	2,9	35	35	45	10	20
Raulí						
Cedro misionero	3,3	35	40	60	10	20
Pino misionero	3,1	30	40	70	10	20
Pino Neuquen	3,2	30	40	70	10	20
Álamo						
Maderas extranjeras						
Muy duras (Más de 10 unidades Brinel)						
Ébano	12,4	125	95	120	15	35
Duras (Entre 7 y 10 unidades Brinel)					}	
Caoba	7,5	60	65	95	15	25
Fresno	6,8	55	50	95	15	25
Semiduras (Entre 4 y 10 unidades Brinel)						
Cedro	6,5	55	50	80	10	235
Roble eslabona	6,1	50	50	80	10	25
Abedul	4,4	50	50	75	10	25
Haya	4,3	55	50	75	10	25
Nogal de Italia	4,1	50	50	70	10	25
Pino tea	4,0	60	50	75	10	25
Blandas (Menos de 4 unidades Brinel)						
Pino oregon	3,2	35	40	65	8	20
Pino spruce	3,0	30	35	55	5	20
Pino blanco	2,9	25	30	50	5	20

Bibliografía

- Bowles, Joseph (1984) *Diseño de acero estructural*. Limusa. México.
- Bresler, Boris (1988) *Diseño de estructuras de acero*. Limusa. México.
- CIDEPINT. *Anales*.
- CONARCO. *Técnica de la soldadura*.
- Ediciones Don Bosco (1997) *Tecnología de la madera*.
- Ediciones Reverté (1981) *El acero en la construcción*.
- Ediciones SIDOR (1990; 2° ed.) *Manual de proyectos de estructuras de acero*.
- Green, Norman (1980) *Edificación, diseño y construcción sismorresistente*. Gustavo Gili. Madrid.
- Johnston, Bruce G., et. al.(1989) *Diseño básico de estructuras de acero*. Prentice-Hall. México.
- Massi, F (1965) *Construcciones metálicas*. Buenos Aires.
- Matthei, Jürgen (1980) *Hormigón. armado, armado aligerado, pretensado*. Reverté. Barcelona.
- Moisset, Daniel (1992) *Intuición y razonamiento en el diseño estructural*. Escala. Bogotá.
- Park, R, y T. Paulay (1983) *Estructuras de concreto reforzado*. Limusa. México.
- Parker, Harry (1988) *Diseño simplificado de armaduras de techo para arquitectos y constructores*. Limusa. México.
- Parker, Harry (1988) *Diseño simplificado de estructuras de madera*. Limusa. México.
- Parker, Harry (1988) *Ingeniería simplificada para arquitectos y constructores*. Limusa. México.
- Parker, Harry (1991) *Texto simplificado de Mecánica y resistencia de materiales*. Limusa. México.
- Parker, Harry (1988) *Diseño simplificado de concreto reforzado*. Limusa. México.
- Portland Cement Association (1990) *Diseño de edificios de concreto de poca altura*. Limusa. México.
- Prenzlów, C. (1986) *Cálculo de estructuras por el método de Cross*. Gustavo Gili. México.
- Schueller, Wolfgang (1977) *High-Rise building structures*. John Wiley & Sons. Washington.
- Torres, Marco Aurelio (1989) *Concreto. Diseño plástico. Teoría elástica*. Patria. México.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

El producto

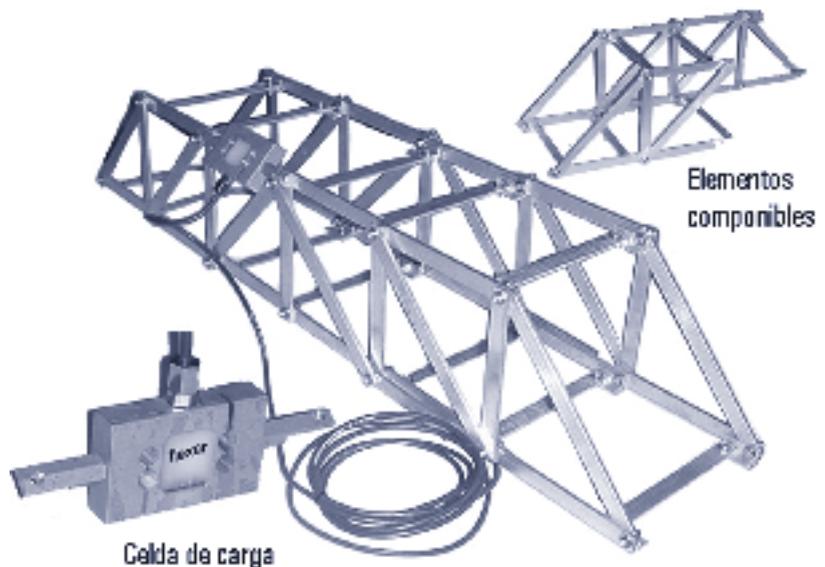
Presentamos aquí el equipamiento para el análisis de estructuras de edificios.

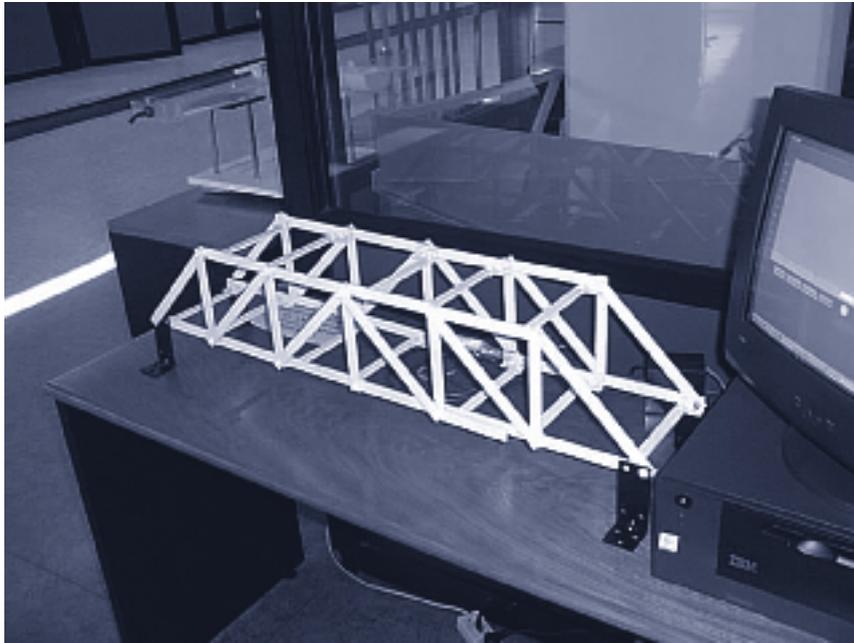
Este recurso didáctico:

- permite a sus alumnos experimentar en el diseño de diferentes estructuras, y extraer los esfuerzos y las deformaciones en diferentes puntos, para ser analizados y observados en una computadora;
- posibilita, además, analizar cualitativamente y evaluar las características técnicas y los elementos componentes de una obra edilicia o vial, medir deformación / solicitación de carga en un elemento, graficar dicha solicitación en la computadora, analizar cargas dinámicas y graficarlas en tiempo real, comprender el comportamiento de una estructura ante diferentes cargas.

Al utilizar elementos componibles, es posible armar diferentes estructuras para su análisis: vigas en apoyos simples, empotradas, en voladizo, estructuras reticulares, armaduras, cantilever, etc., utilizadas en construcciones civiles y viales -edificios, puentes, monumentos, estructuras para transporte de carga-.

Como una aplicación posible, hemos construido una estructura para un puente. ¿Recuerda la situación problemática planteada en la primera parte? La hemos resuelto técnicamente con una estructura de armadura Howe de seis paneles que podría salvar distancias de hasta 18 m.





Los componentes

El sistema está compuesto por elementos estructurales de aluminio, una celda de carga con un sistema de sujeción adaptado a diferentes longitudes, tornillos, tuercas, arandelas, una interface para la computadora, y un software que permite la lectura de los datos y la visualización de sollicitación de carga en forma dinámica.

a. Celda de carga

Permite hacer las mediciones de esfuerzos y

traducir dicha fuerza en una señal analógica de tensión que, amplificada y convertida, se transmite a la computadora para su lectura e interpretación.



De acuerdo con los cálculos realizados, determinamos que la celda de carga más adecuada para medir las solicitaciones de carga estimadas es un modelo "CZ" -celda de tipo "S" de baja capacidad, 30 kg, en aluminio, para aplicaciones de tracción o compresión-

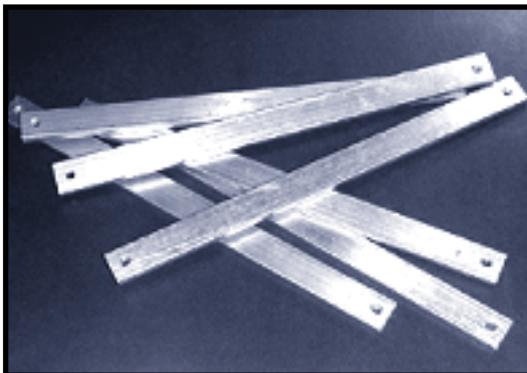
Tensión máxima	15 Vcc
Capacidad	30 kg
Sensibilidad [mV/V]	2 +/- 10 %
Resistencia del puente	350 ohm
Rango de compensación de temperatura	-10 a 40 °C

b. Elementos estructurales

Éstos son de aluminio, cortados a distintas medidas, de acuerdo con la estructura a estudiar.

Para resolver nuestro problema, optamos por una estructura de armadura Howe de seis paneles.

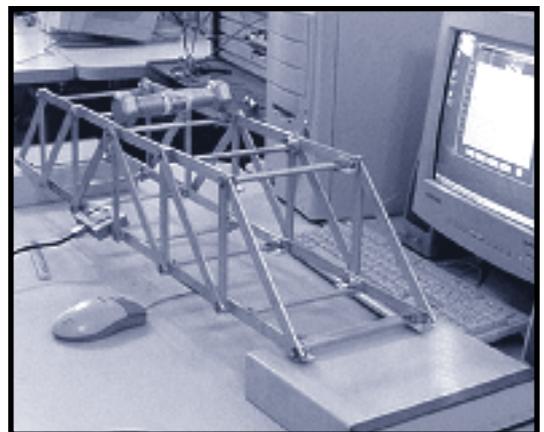
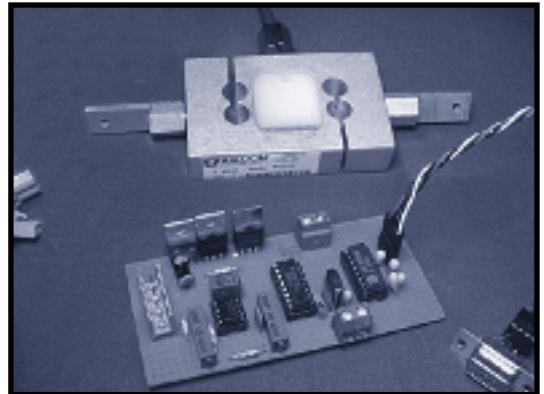
Utilizamos planchuelas de aluminio de 15.88 x 4.00 mm, cortadas a 160 mm y a 220,5 mm, agujereadas con mecha de 4 mm a una distancia del borde de 7 mm; en todos los casos, para tornillos 5/32.



c. Interface

Ésta resuelve la amplificación y la transmisión de los datos a la computadora, para ser visualizados mediante el software.

La interface está resuelta por un amplificador OP07 -de los utilizados en balanzas comerciales- y de un microcontrolador de *Motorola* MC68HC908KX8 que realiza la conversión de datos analógicos a digitales y los transmite a la computadora mediante un adaptador de niveles Max 232. Además, incluye resistencias, capacitores, cristal y software para comunicación -en *assembler* para el microcontrolador y en *Visual Basic* para la computadora-



d. Otros componentes

El resto de los componentes son tornillos 5/32 por 1/2", 3/4", 1" y 1 1/4" de largo, arandelas y tuercas 5/32.



Los materiales, herramientas e instrumentos

Para el armado del equipo son necesarios:

- Microcontrolador (MC68HC908KX8)².
- Cristal 9,8304 MHz.
- Amplificador OP07.
- Preset multivoltas.
- Fuente de alimentación de +/- 5 V simétrica y sin ripple.

- Adaptador de niveles para comunicación serie Max232.
- Cable de comunicación serie.
- Plaqueta experimental.
- Cables.
- Borneras.
- Resistencias.
- Capacitores.
- Celda de carga 30 kg.
- Planchuelas de aluminio seis metros de 15.88 x 4.00 mm.
- Tornillos arandelas y tuercas 5/32.
- Ángulos de aluminio 1 m.
- Barra hexagonal 20 cm.

Las herramientas principales, son:

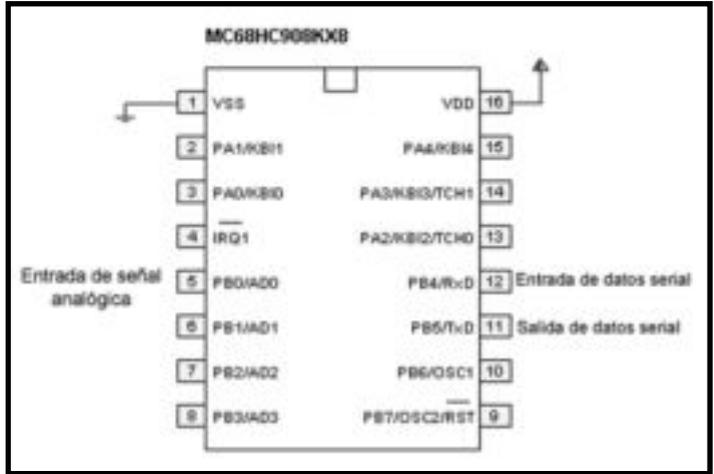
- Soldador (no mayor a 40 W).
- Estaño de 0,7 mm.
- Multímetro para medir tensiones para la calibración.
- Sierra para cortar aluminio.
- Máquina de agujerear y mecha de 4 mm.
- Torno para maquinar soportes de celda de carga.
- Llaves para ajustar tornillos de cabeza hexagonal.
- Destornillador.

En nuestro equipo, decidimos utilizar aluminio para los elementos estructurales; pero, bien podrían utilizarse otros materiales: madera, hierro, caños de distintos materiales, etc.

² Si lo desea, puede consultar: Estévez, Marcelo. 2004. *Microprocesadores y microcontroladores*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Buenos Aires. La publicación digital está disponible en: www.inet.edu.ar. Opción "Materiales de capacitación", "Serie: Desarrollo de contenidos", "Colección: Controladores lógicos programables".

Para la interface electrónica elegimos usar un microcontrolador de la serie 68HC08 de Motorola® porque:

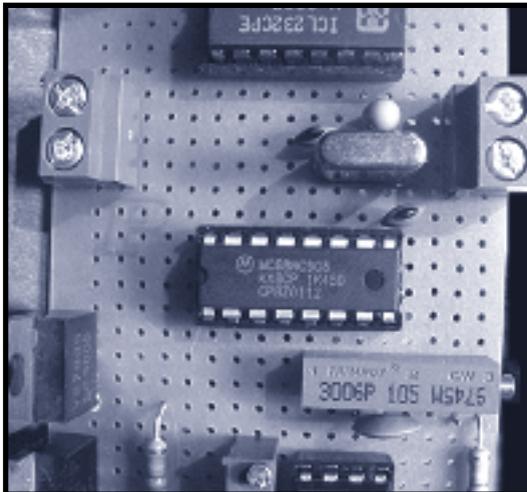
- resulta un software familiar,
- es un producto de bajo costo,
- está alimentado con 5 voltios,
- posee conversores analógico/digital para la celda de carga,
- puede ser programado fácilmente desde la PC,
- posee conectividad con las computadoras mediante un puerto serial.



El transductor elegido es una celda de carga de 30 kg, modelo "CZ" celda de tipo "S".

Para mayor información, puede usted consultar la web www.flexar.com.ar

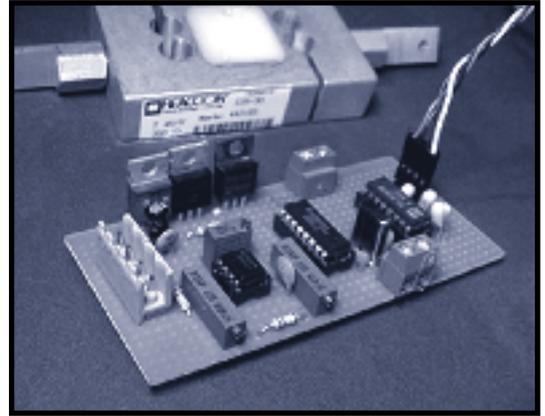
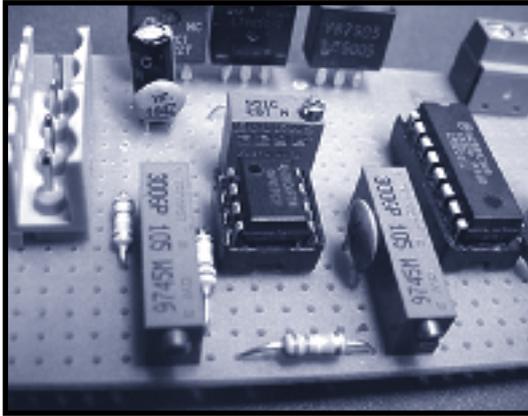
Optamos por el microcontrolador de Motorola® MC68HC908KX8, porque resulta acorde al tamaño de nuestro diseño, ajustado a la necesidad del conversor analógico/digital y a la posibilidad de comunicación serial.



Celda de carga

Dado que las señales eléctricas generadas por la celda de carga son de muy baja tensión, colocamos un amplificador.

El amplificador utilizado es el OP07, muy usado en balanzas comerciales.



La construcción

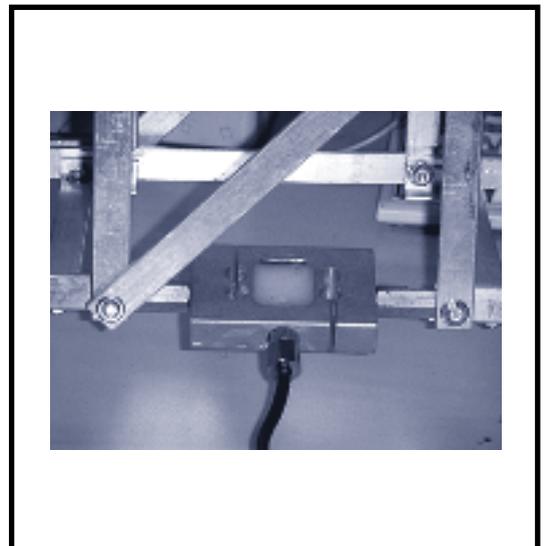
Los pasos que seguimos son:

- Con una sierra, cortamos la planchuela de aluminio de seis metros con una sierra, sosteniéndola -de ser posible en una morza-. Nos adecuamos a las medidas de 160 mm y de 220,5 mm, teniendo en cuenta la cantidad necesaria de cada una -la más larga corresponde a las diagonales-.
- Agujereamos las planchuelas en sus puntas; lo hacemos a 7 mm del borde, utilizando una mecha de 4 mm.
- Armamos del dispositivo electrónico que actúa de interface; este proceso no requiere mayor cuidado que el de todo dispositivo electrónico. El recaudo básico es soldar los componentes lo más cercanos posible, para evitar la inducción de ruido y para reducir al máximo el cableado. Verificamos, asimismo, que no tenga soldaduras frías y, de ser posible, colocamos buenas masas y una fuente simétrica con muy bajo riple.

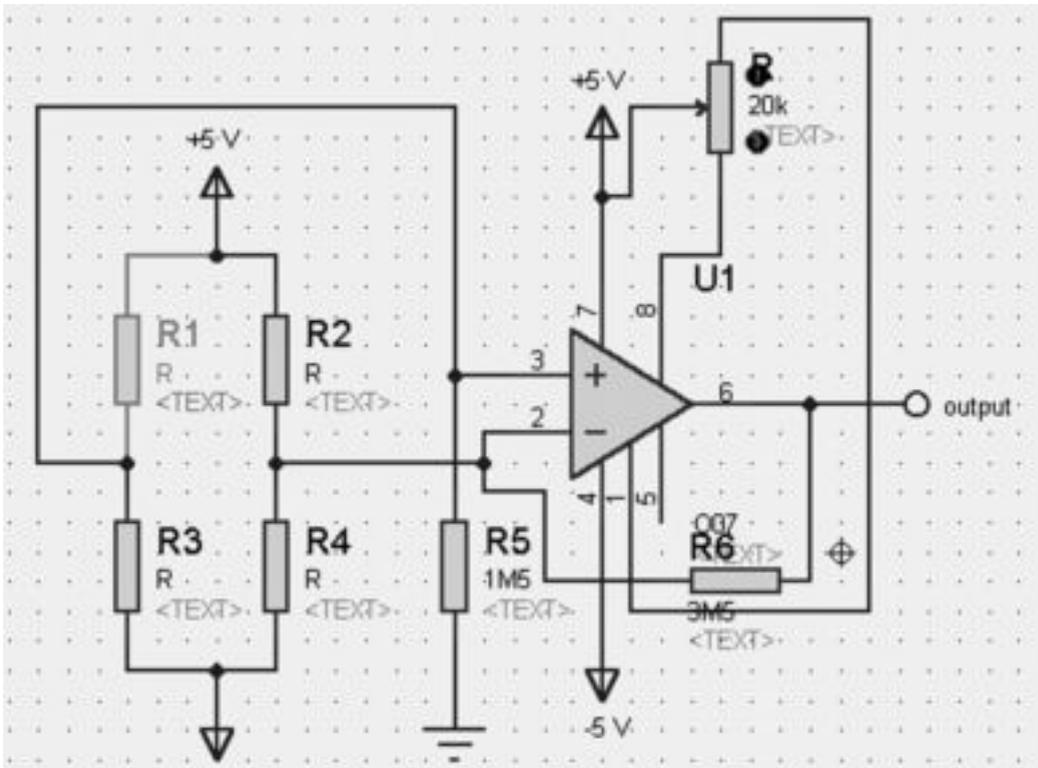
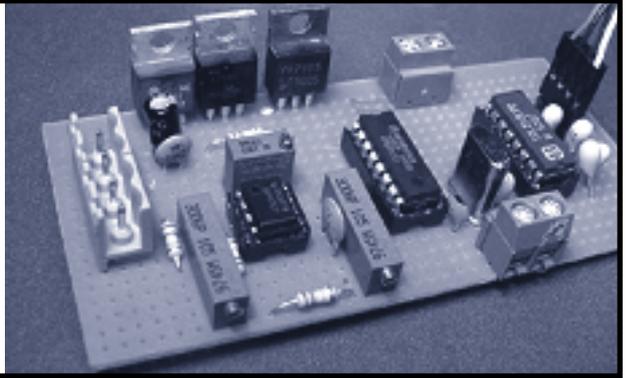
El armado

La estructura elegida no resulta difícil de construir:

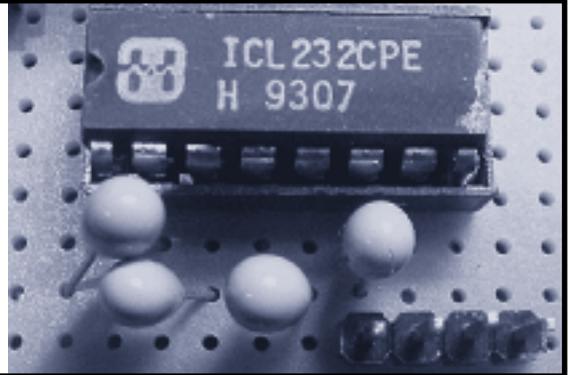
- Identificamos los elementos estructurales.
- Vamos atornillándolos, cuidando colocar a la celda de carga en el lugar adecuado para la medición.



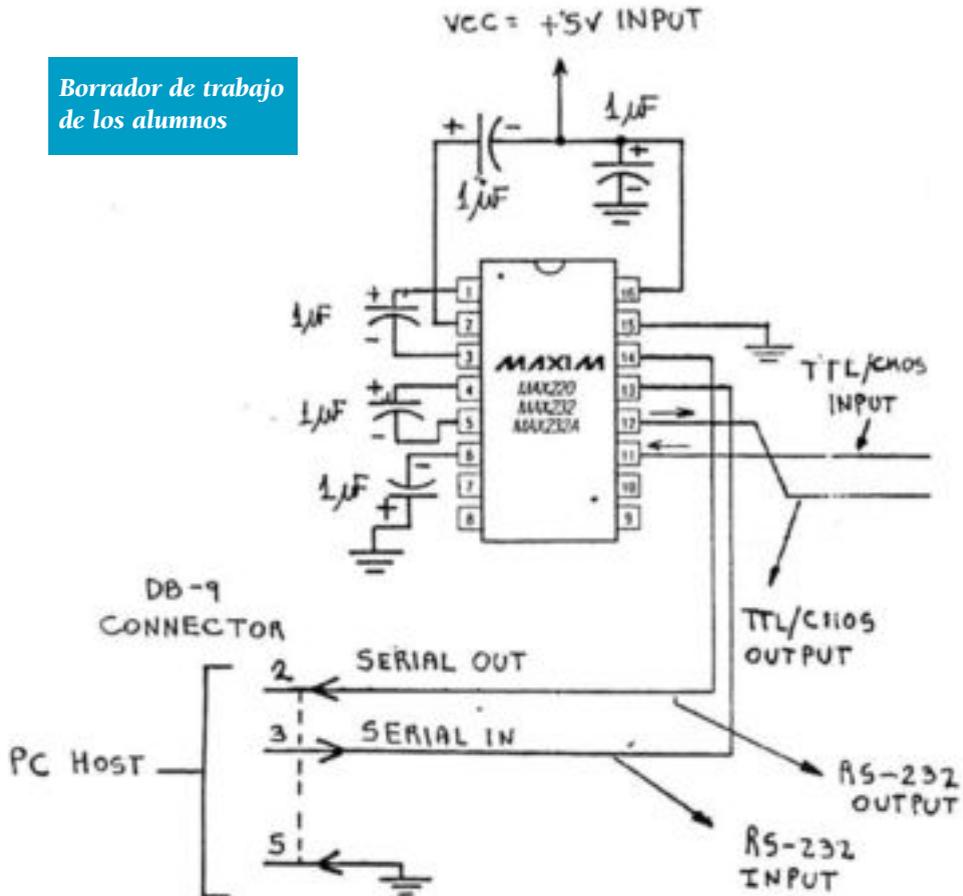
En la interface, colocamos la etapa de amplificación junto al microcontrolador y junto al adaptador de niveles para la comunicación con la computadora. Son éstos los únicos chips que lleva la interface.



Colocamos las resistencias para fijar la amplificación y capacitores para su estabilidad. Armamos la fuente partida de ± 5 V, y colocamos el microcontrolador y el adaptador de comunicación serie con sus capacitores.



Borrador de trabajo de los alumnos



Los bajos voltajes manejados hacen a esta etapa la más sensible al ruido eléctrico

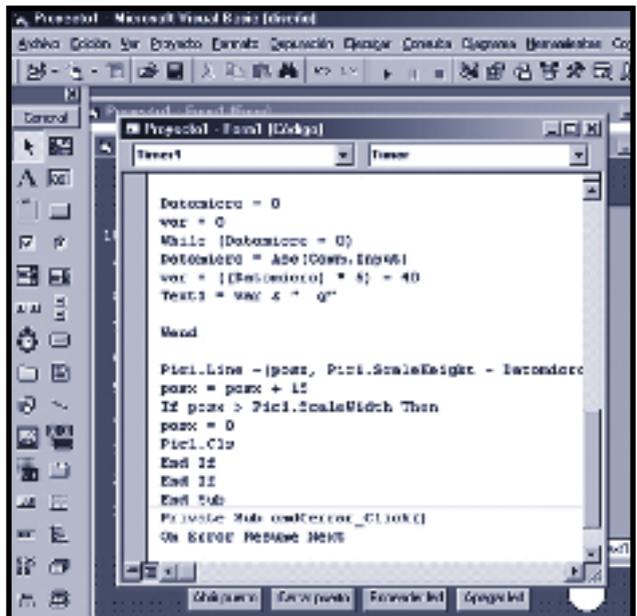
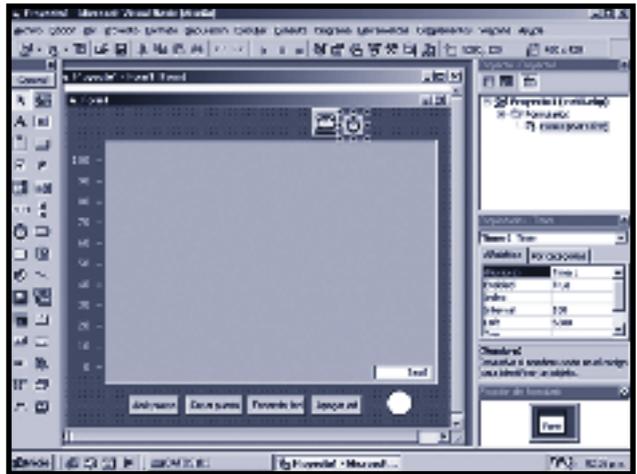
Colocamos, además, condensadores de 10 μF de tantalio en paralelo con 0,1 μF cerámicos entre fuentes y tierra, y entre la fuente de $\pm 5\text{ Vcc}$ de la celda, para el filtrado de la alimentación.

Soldamos los zócalos, resistencias, capacitores, preset, cristal y borneras, y colocamos un diodo en la entrada analógica del microcontrolador para evitar que lleguen voltajes negativos, ya que -de no invertir los terminales de señal de la celda-, ésta, en tracción, entrega un voltaje opuesto al de compresión.

Respecto del software provisto, sólo es necesario hacer doble clic en la aplicación, conectar el equipo y activar la lectura, abriendo el puerto de comunicaciones.

Inmediatamente, usted y sus alumnos comienzan a recibir datos.

También tenemos la posibilidad de trabajar sobre el programa fuente realizado en Visual Basic, que nos permite cambiar el puerto de comunicaciones, de ser necesario, y realizar otro tipo de gráficas o almacenamiento de históricos; para esto, necesitamos una versión del programa igual o superior a la versión "Visual Basic 6.0" y trabajar con ese entorno.

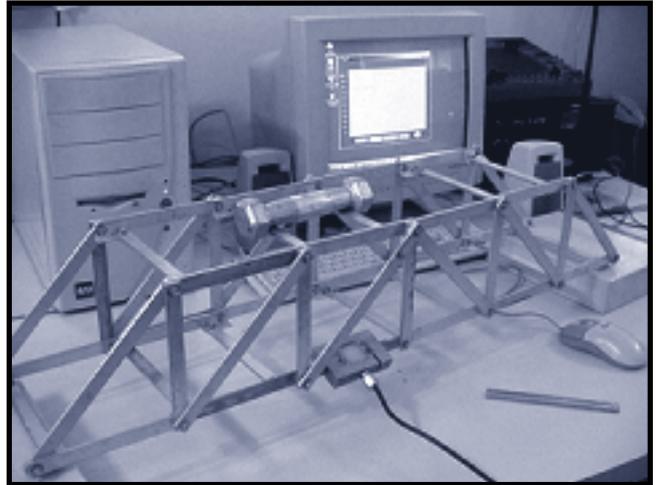


El ensayo y el control

Centrémonos, ahora, en las mediciones y ajustes de nuestro equipamiento para el análisis de estructuras de edificios.

Básicamente:

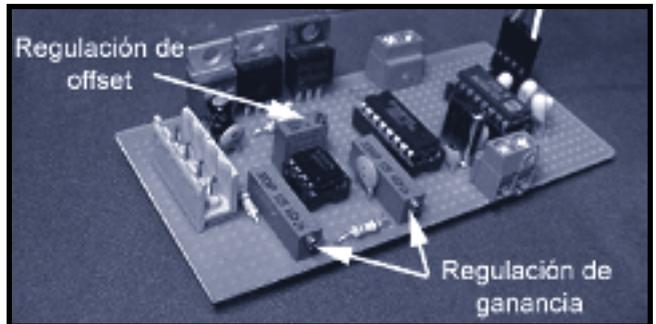
- conectamos adecuadamente el puerto serial de comunicaciones de la computadora, con la interface,
- conectamos el resto de los elementos, fuente de alimentación, celda de carga y
- ejecutamos el programa.



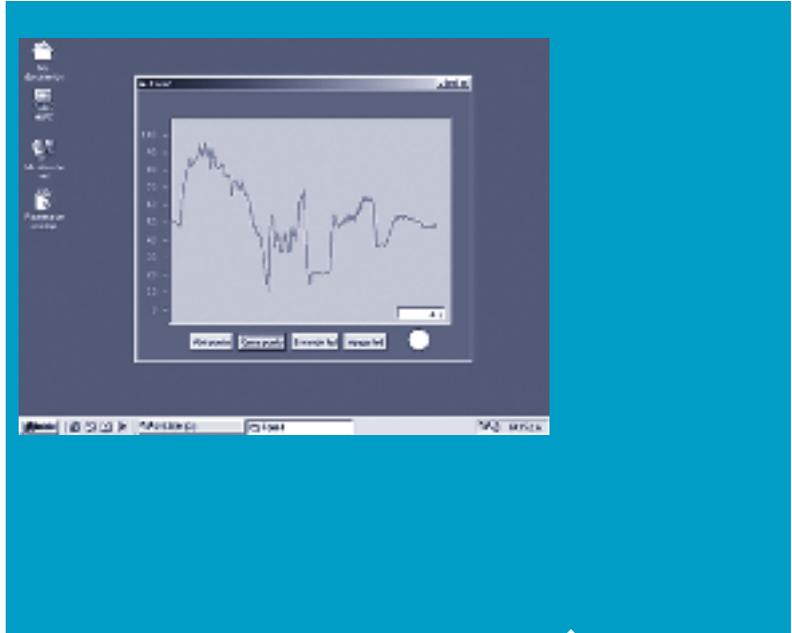
Haciendo doble clic en la aplicación, se abre una ventana. A continuación, picamos con el mouse en el botón "Abrir puerto" y ya tenemos el sistema funcionando.



Si la indicación es muy pequeña, podemos aumentar la ganancia de la interface, que consiste en modificar los valores de los *preset* resistivos, que regulan la amplificación de la señal que se obtiene de la celda de carga.

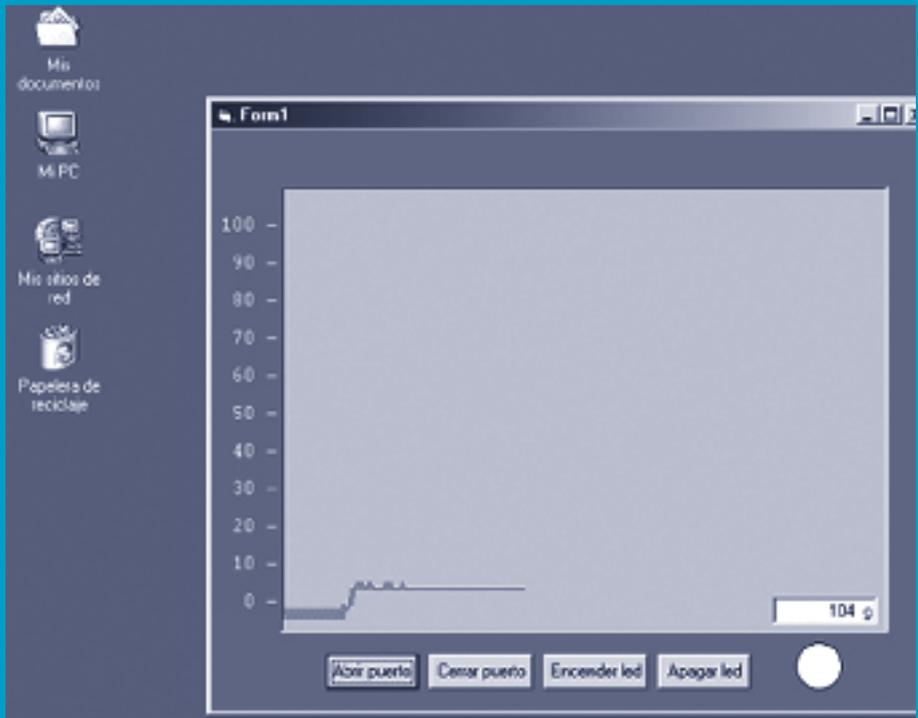


Para fijar la posición del *preset* de la etapa de amplificación, procedemos a la inserción de un destornillador, de modo de fijar una ganancia acorde a la visualización que deseamos. Podemos ajustar el *offset* para leer sólo esfuerzos de tracción o compresión, o con el cero en el medio de la escala medir tracción y compresión, simultáneamente.



Tracción y compresión ▲

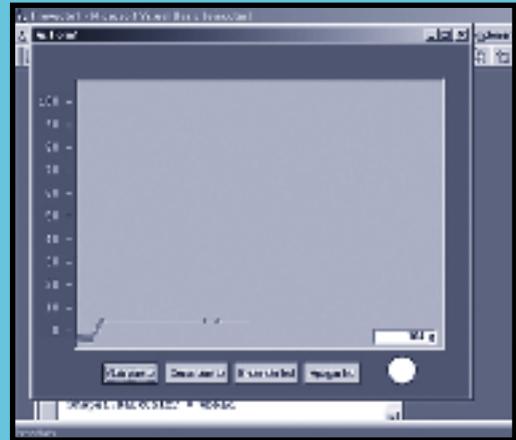
Sólo
tracción ó
sólo
compresión ▶



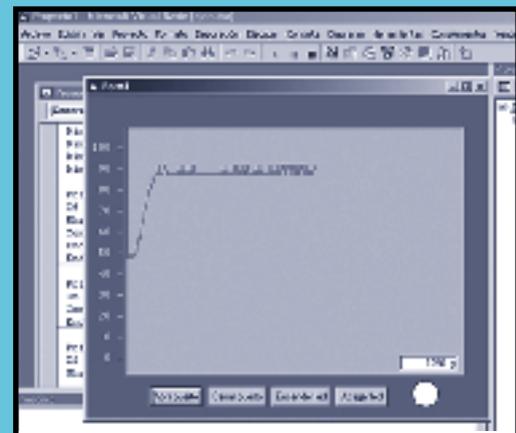


Si queremos una lectura absoluta de esfuerzo medida en gramos, aplicamos una carga conocida en la celda para calibrar la lectura.

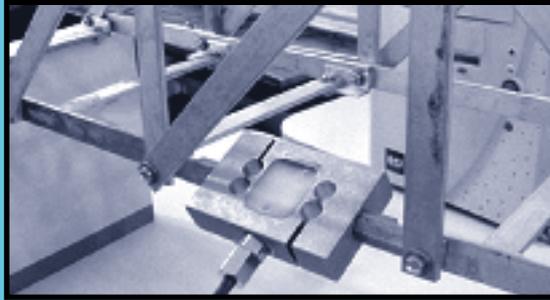
Colocamos una carga conocida cercana a los 100 gramos y ajustamos la ganancia:



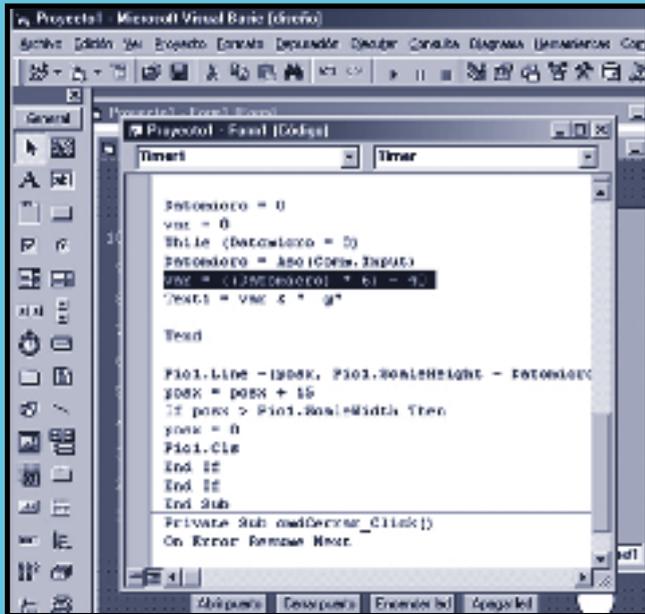
Comprobamos la indicación con otra carga conocida cercana a 1 kg, que no exceda el límite de la pantalla.



Luego, colocamos la celda en el lugar de la medición:



Para realizar los ajustes, procedemos a variar la ganancia y el *offset*, además de modificar la lectura en el programa, ajustándolo por software para que indique el valor correspondiente.



La superación de dificultades

Si el sistema no funciona adecuadamente, usted y sus alumnos deben tener en consideración:

Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios

Ítem	Control	Testeo
1.	Verificar que el equipo está alimentado.	
2.	Verificar que existe comunicación con la computadora (com 1 / 2).	
3.	Verificar que la estructura está sometida a esfuerzos.	
4.	Verificar que la celda de carga está colocada en el lugar adecuado.	
5.	Controlar que el software en la PC está funcionando adecuadamente.	
6.	Variar la ganancia en la interface y verificar la variación en la gráfica de la PC.	

4. EL EQUIPO EN EL AULA

El **equipamiento para el análisis de estructuras de edificios** permite desarrollar aplicaciones didácticas vinculadas a las prácticas de:

- Medir esfuerzos, ubicando la celda de carga en distintas posiciones.
- Graficar esfuerzos/deformaciones en la computadora.
- Realizar estudios cualitativos de solicitaciones de carga en una estructura.
- Analizar los esfuerzos y verificar los elementos críticos en una estructura.

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

Un viejo balcón

El grupo de alumnos se encuentra analizando las características de las construcciones con perfiles de acero, en función de determinar si un balcón puede soportar el peso de doce personas. ¿Recuerda la situación?

Frente al problema, los alumnos buscan bibliografía sobre perfiles de acero, propieda-

des del acero, utilización y características de los elementos estructurales en las construcciones.

Con esta información, se plantean determinar las características principales de las construcciones que utilizan perfiles de acero y, para observar cualitativamente dicha construcción y sus características, preparan el **equipamiento para el análisis de estructuras de edificios**.

Para analizar las características de la estructura, adecuan el equipo para simular una situación similar, en escala, pero con elementos estructurales en aluminio. Luego, colocan la celda de carga en lugar de los elementos que sostienen el balcón, para medir las cargas:

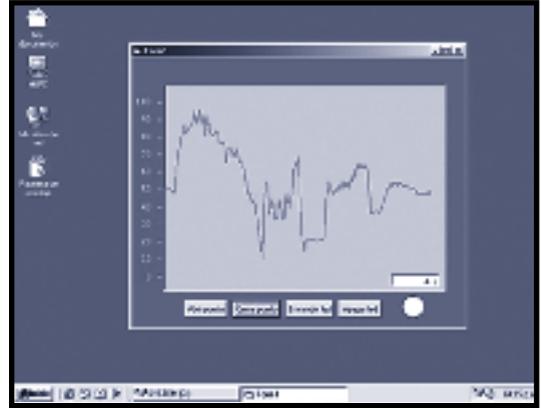
Las estructuras con balcones poseen, generalmente, refuerzos con perfiles "L" o "I" para absorber los esfuerzos que generará la estructura que está en voladizo.

- Colocan cargas a distintas distancias y toman las mediciones.
- Observan los momentos resultantes.
- Visualizan las peores situaciones para dimensionamiento.
- Determinan y analizan cuáles son los elementos críticos en la estructura.

Para esto, arman una estructura similar con elementos de aluminio, y colocan la celda de carga en los lugares de sollicitación de cargas necesarios para el dimensionamiento. Conectan la interface a la celda de carga y a la computadora; alimentan la interface con ± 5 Vcc y ejecutan la aplicación. Realizan un clic con el mouse en "Abrir puerto" y ya están realizando lecturas cualitativas de esfuerzos de tracción o compresión.

Para realizar mediciones cuantitativas, colocan un peso conocido en la celda y ajustan la amplificación de la interface hasta obtener la lectura correspondiente.

Finalmente, analizando páginas web y catálogos de fabricantes, determinan cuál es el perfil más adecuado, a partir de la consideración de las especificaciones, y diagnostican la resistencia del balcón y la capacidad de carga para la cual fue diseñado.

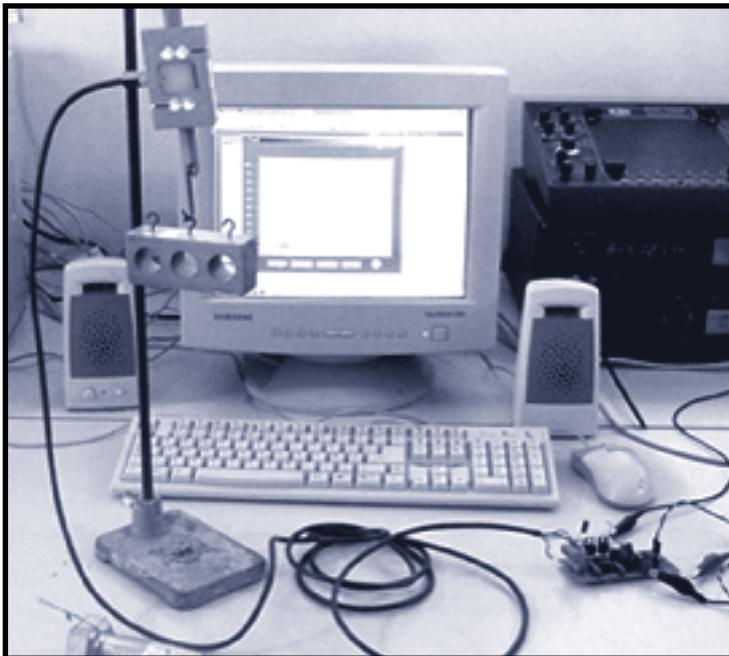


Puente peatonal

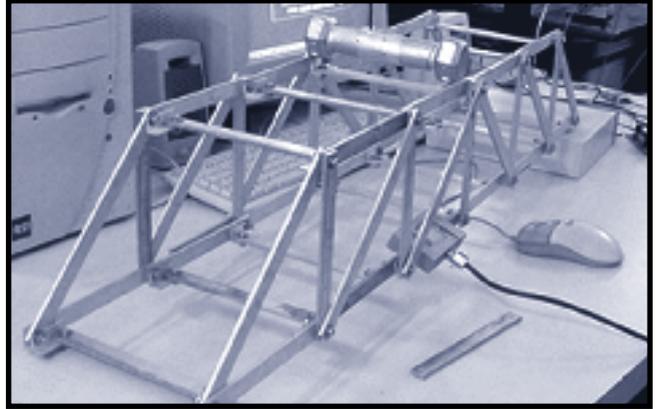
Los alumnos que se proponen construir el puente, cursan la Tecnicatura en *Construcciones*. En su aula-taller, el estudio se centra en las estructuras de armadura y, específicamente, en la sollicitación de carga que tendrá cada elemento de la estructura reticulada.

Entre los modelos a analizar para salvar la distancia y cruzar el río, se encuentra una estructura de armadura Howe, que les permite considerar:

- la sollicitación de carga de cada elemento estructural,
- el tipo de esfuerzo ejercido sobre cada elemento estructural,
- las distintas soluciones respecto de otras configuraciones de estructuras de armadura.



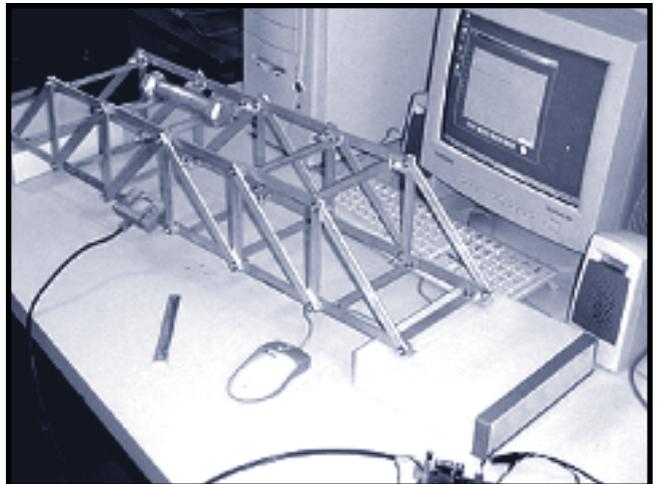
Para este planteo, la profesora propone a sus alumnos medir la sollicitación de carga a la que están sometidos los elementos más críticos, cambiando de lugar la celda de carga y ejerciendo esfuerzos en distintos puntos, lo que posibilita la representación de las fuerzas actuantes.



Los alumnos extrapolan datos para otros materiales -madera o hierro-, y sacan conclusiones de las secciones necesarias y de los perfiles indicados para esta aplicación.



Colocan cargas en distintas posiciones y analizan los resultados. Analizan, finalmente, las fuerzas actuantes y estudian, en el gráfico de la pantalla, la acción dinámica de las fuerzas en tiempo real; tensiones, compresiones y flexiones son graficadas y consideradas cualitativamente para tomar decisiones en el diseño.



Guardemos el canobote

Consideremos, finalmente, la situación problemática de sostener un canobote con un par de vigas.

En el momento en que los alumnos se encuentran analizando los resultados de diferentes materiales que sometidos a flexión, con apoyo en sus extremos y en voladizo, la profesora plantea a sus alumnos la posibilidad de usar el equipo, acondicionándolo para tal fin.

Valiéndose de las características del *kit*, el grupo analiza los materiales utilizados en la construcción, visualiza los esfuerzos para cargas en distintas posiciones y estudia el comportamiento de diferentes materiales (aluminio, madera, hierro, etc.) que, por sus apoyos y cargas aplicadas, se ven sometidos a flexión.

Los alumnos preparan el equipo, analizan la flecha producida y las cargas que la provocaron, logrando hacer un estudio cualitativo, y determinar las flechas máximas y los límites de utilización para cada material.

El proceso de análisis permite al grupo construir un cuadro comparativo de los materiales que se adecuan para esta solución, y caracterizarlos por sus propiedades de resistencia, deformación y seguridad.

Otras aplicaciones

El equipo para el análisis de estructuras de edificios puede ser utilizado en otras situa-

ciones problemáticas de la educación técnico-profesional que requieran:

- Analizar nuevos materiales para la construcción.

Si bien el equipo propuesto está concretado con elementos estructurales de aluminio, podría hacerse con otros materiales en escala y estudiar las propiedades de éstos en estructuras comunes, para desarrollar un cuadro comparativo.

- Estudiar nuevas estructuras con refuerzos en los elementos de mayor sollicitación.

Los alumnos integran estas comprobaciones cuando el objetivo es demostrar que se pueden utilizar materiales que permitan refuerzos en los lugares de máxima sollicitación de carga.

- Modificar estructuras en aplicaciones arquitectónicas, para modernizar su aspecto y utilidad.
- Estudiar y verificar el comportamiento de las estructuras tradicionales con distintos materiales (aluminio, hierro, madera, etc.).
- Analizar el comportamiento de una estructura frente a fuerzas de la naturaleza (viento, olas, etc.)
- Utilizar el soft para vincular el estudio de las deformaciones y esfuerzos en las estructuras, con programas de cálculo de elementos finitos.

Como usted puede evaluar, las posibilidades de aplicación del equipo **para el análisis de estructuras de edificios** son numerosas, por lo que éste se constituye en un eficaz recurso didáctico.

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"/>

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

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

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

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

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	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)

.....

.....

.....



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 responses to the prompt 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*