

00149

8

LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES

**Un proyecto didáctico para la
Carrera de Arquitectura
en la División de Ciencias y Artes para el Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco**

**Tesis que para obtener el grado de
Maestro en Arquitectura
presenta**

CARLOS H. MORENO TAMAYO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



**División de Estudios de Posgrado
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México**

**Ciudad de México
2003**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Director de tesis: DR. ANTONIO TURATI VILLARÁN

**Sinodales: DR. JESÚS AGUIRRE CÁRDENAS
DR. ÁLVARO SÁNCHEZ GONZÁLEZ
DR. JUAN GERARDO OLIVA SALINAS
M. EN DIS. ARQ. JAN VAN ROSMALEN JANSEN**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

El **Laboratorio de Modelos Estructurales**, es un espacio didáctico resultado del compromiso y labor de equipo de un grupo de personas que han compartido la convicción de la factibilidad de una idea que no habría tenido posibilidad de materialización sin la concurrencia de sus personales talentos y generosa entrega.

El día 22 de noviembre de 2001 fue formalmente inaugurado después de remontar no pocas dificultades para su implementación. Es necesario recordar ahora la idea primera de Juan Guillermo Gerdingh que constituyó la semilla del proyecto, así como la colaboración diligente y talentosa de Javier Salinas Rocha en el trabajo de investigación en los primeros tiempos. El día de hoy se cuenta con una cantidad importante de aparatos de experimentación que son producto de numerosas sesiones de análisis y deliberación del grupo de trabajo y de la manufactura profesional e ingeniosa de Antonio Abad y Jesús Martínez. El local en que se ubica es por lo pronto reducido pero suficientemente equipado y con posibilidades de expansión; en su acondicionamiento se contó con las facilidades administrativas brindadas por Alejandro Viramontes y Julio Moreno.

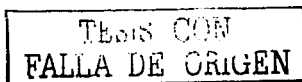
Las aportaciones de Juan Guillermo Gerdingh y Carlos García Malo y el desempeño entusiasta y comprometido de Mario Ramírez, han sido decisivos para el desarrollo del proyecto. Durante las prolongadas sesiones del seminario conformó un respaldo sustancial la asesoría experta de Oscar González Cuevas, profesor distinguido de nuestra casa de estudios. Del mismo modo, debe mencionarse la reciente incorporación al grupo de trabajo de José de la Cera, quien generosamente aceptó la no fácil tarea de traducir los manuales del equipo de línea suministrado por la casa Harry Mazal.

La producción de material digitalizado es un complemento indispensable para documentar la fundamentación teórica y descriptiva del equipo didáctico y para la realización de las prácticas de clase. A esa tarea se han avocado con dedicación y entusiasmo Gabriela Solís, Sergio Pineda y Mauricio Chacón, aportando su habilidad y talento creativo en el uso de programas electrónicos.

El documento que hoy se presenta no constituye solamente la relatoría de una experiencia y un esfuerzo continuados a lo largo de mucho tiempo en el ámbito de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Pretende más bien fundamentar los argumentos didácticos y metodológicos que dan sustento a la propuesta y mostrar sus productos de trabajo. El inapreciable apoyo de Gabriela y Sergio en la captura de datos y formación de páginas y gráficos, ha sido fundamental para la elaboración de esta tesis.

A todos quienes directa o indirectamente han contribuido a la realización de este trabajo, quiero dar testimonio de gratitud.

Carlos Moreno



A Chela, Karlita y Cocó,
por nuestra afortunada e íntima
cruzada familiar de titulación.

A la memoria de
Don Pepe y Doña Gloria.

A mis hermanos,
como tributo de amor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al doctor Antonio Turati Villarán
Por su estímulo, su compromiso académico,
su paciencia y generosa guía.

INDICE	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	7
3. PROPUESTA DE UN LABORATORIO DIDÁCTICO.	11
3.1 Objetivos, metas, metodología, plan de trabajo, encuadre.	
3.2 Consideraciones didácticas.	
3.3 Proyecto interdivisional CyAD-CBI*	
4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	21
4.1 Análisis de proyectos de referencia.	
4.2 Análisis de documentación curricular: Programas de estudio de la Carrera de Arquitectura Cartas temáticas de las U.E.A.** que serán apoyadas	
4.3 Conclusiones particulares.	
5. DESARROLLO DEL PROYECTO.	33
5.1 Selección y adquisición de aparatos de línea.	
5.2 Selección y fabricación de aparatos sobre diseño.	
5.3 Apoyo teórico y manuales de prácticas.	
5.4 Desarrollo de material didáctico digital para apoyo audiovisual.	
5.5 Prospectiva.	
6. CONCLUSIONES.	40
7. BIBLIOGRAFÍA	42
8. ANEXOS	42
8.1 APÉNDICE A. Prototipos de experimentación de línea (SERIE STR). APÉNDICE A. Prototipos de experimentación de línea (SERIE HST).	
8.2 APÉNDICE B. Prototipos de experimentación sobre diseño (SERIE SD).	
8.3 APÉNDICE C. Material didáctico digitalizado complementario a las líneas de prototipos de experimentación del Laboratorio de Modelos Estructurales.	
8.4 APÉNDICE D. Prototipos de experimentación (Catálogo). Serie: Laboratorio de Modelos Estructurales. 2ª. Parte. Cyad UAM-A 1982. Aparatos realizados por el arquitecto José Creixell.	
8.5 APÉNDICE E. Film Guide Engineering Film Series: Mechanics Of Structures & Materials (6 Films).	

* La Universidad Autónoma Metropolitana se estructura en divisiones académicas que corresponden a las cuatro áreas de conocimiento. CyAD : Ciencias y Artes para el Diseño. CBI : Ciencias Básicas e Ingeniería. CSH: Ciencias Sociales y Humanidades. CBS: Ciencias Biológicas y de la Salud.
 ** Unidades de enseñanza aprendizaje.

1. INTRODUCCIÓN

La planeación de la educación universitaria en el campo de la arquitectura es un tema que genera constante debate, inquietud y controversia. Un punto importante de discusión es la dificultad que las instituciones de enseñanza superior enfrentan para obtener un perfil de egreso de alta calidad acorde a las necesidades de servicio profesional requerido por una sociedad cada vez más compleja y demandante. En el mismo sentido, muchos son los jóvenes que traspone el umbral de las aulas universitarias con la expectativa de incorporarse a la actividad profesional, encontrándose frecuentemente ante la carencia de ciertos elementos formativos que les permitan competir, en condiciones de suficiencia, en un mercado de trabajo exigente y selectivo. Muy diversos son los aspectos problemáticos que nuestro sistema educativo afronta cotidianamente, desde la elaboración, actualización y adecuación de los planes y programas de estudio hasta la dotación de recursos humanos y materiales suficientes, para que el alumno tenga acceso a una formación de alto nivel y a la información necesaria para el desarrollo de sus estudios profesionales.

Un problema recurrente en la enseñanza de la arquitectura, es la ausencia de un sistema integral de apoyos didácticos que atiendan las distintas facetas de la carrera para que, orientadas hacia una metodología de diseño, permitan entender los problemas temáticos de la arquitectura como una TOTALIDAD. Parte importante de ese esquema es la escasez de espacios académicos destinados a reforzar el aprendizaje de los tópicos teóricos específicos que tienen incidencia en la práctica edificatoria.

Este trabajo explora una alternativa didáctica, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia en la enseñanza de la temática relacionada con el comportamiento de las estructuras. De tal manera se pretende que profesores y alumnos puedan encontrar una ayuda útil para la mejor comprensión del fenómeno estructural y con ello tener mejores elementos para abordar el proyecto arquitectónico desde una óptica unitaria, donde los aspectos estructurales formen parte de las consideraciones conceptuales del diseño.

1.1 La UAM y La División de Ciencias y Artes para el Diseño como un sistema alternativo de enseñanza-aprendizaje: contexto para la inserción del proyecto.

Quando en el año de 1974 inició actividades la Universidad Autónoma Metropolitana en la Unidad Azcapotzalco, la División de Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD), por primera vez recibió reconocimiento oficial en una estructura universitaria como depositaria de la cuarta área del conocimiento, para sumarse a las tres áreas tradicionalmente aceptadas: las Ciencias Básicas e Ingeniería, las Ciencias Sociales y Humanidades y las Ciencias Biológicas y de la Salud (CBI, CSH y CBS respectivamente). La bondad del esquema académico planteado ha sido reconocida en diversas ocasiones. Así lo hace en el informe de fecha reciente el Comité de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (CADU), integrante de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES), cuando se refiere a los planes de estudio para la formación del arquitecto, en tanto ... *Algunas instituciones, con una profunda inquietud y por la voluntad de experimentar formas de estudio dirigidas a nuevos objetivos culturales, han intentado cambios al respecto.*

Tal es el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana en sus dos unidades, Azcapotzalco y Xochimilco, en las que a través de la organización académico-administrativa en divisiones de Ciencias y Artes para el Diseño, la enseñanza de la arquitectura interactúa cotidianamente con otras disciplinas del diseño, como: diseño gráfico, diseño de los asentamientos humanos y diseño industrial. La experiencia constituye un aporte al manejo de los planes de estudio, ya que se plantea al diseño como un elemento integrador de las cuatro disciplinas.¹

Desde su creación, la División fue considerada como una alternativa académica cuya tesis establece de manera organizada y congruente la integración de cuerpos de conocimiento eslabonados, donde la teoría, la metodología y la tecnología, como marcos generales de conocimiento, concurren y desembocan en un marco operativo donde se desarrolla la práctica proyectual, auxiliándose para ello de *laboratorios de investigación y talleres de*

¹ Comité de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, CIEES. *La educación de la arquitectura en México*. CONPES, 1997, Pág. 17.

*producción*². La nueva entidad fue organizada departamentalmente *por disciplinas específicas o conjuntos homogéneos de éstas*³, y sería entonces responsable de la implementación de los planes y programas de estudio de manera no limitativa, para las carreras afines relacionadas con el diseño, tales como Arquitectura, Diseño de la Comunicación Gráfica y Diseño Industrial. El Modelo General del Proceso de Diseño, estructurado en cinco fases: Caso, Problema, Hipótesis, Proyecto y Realización, es el instrumento pedagógico que complementa las principales características que le otorgaron personalidad propia a nuestra División⁴.

La original propuesta académica fue resultado del análisis y estudio, por más de diez años, de los diversos sistemas de educación superior implementados en el país y fuera de nuestras fronteras, y constituyó un modelo interesante que, si bien ha sido considerado ejemplar para otras instituciones de nueva creación, en nuestra propia universidad y a más de 25 años de distancia, parece no haber sido suficientemente explorado y menos aún cabalmente implementado. Debido a una planeación insuficiente o inacabada, la estructura curricular ha ido perdiendo, con el tiempo, su carácter eslabonario ya que en la actualidad, los contenidos asignados a cada unidad de enseñanza-aprendizaje no necesariamente tienen el enfoque interdisciplinario y concurrente hacia el Eslabón Operativo, que es el espacio donde se gesta el proyecto.

Por otra parte, asignaturas como los Laboratorios de Diseño, originalmente planteados como espacios dedicados a la experimentación y al necesario refuerzo del aprendizaje, nunca funcionaron como tales, sino como talleres de dibujo u ocupándose del estudio de las instalaciones, dejando un importante vacío didáctico. De manera similar, a los Talleres Interdisciplinarios, creados como unidades de liga con otras disciplinas distintas al diseño pero relacionadas con él, les fueron asignados contenidos convencionales con temáticas tales como los métodos matemáticos, la estática y la resistencia de materiales, por mencionar algunas. Tales contenidos, si bien indispensables, ocupan un lugar en la estructura, que no corresponde al espíritu de la propuesta original caracterizada por ser una alternativa académica innovadora.

Paralelamente, como resultado de las sucesivas crisis económicas de la década de los 80, emigró una parte de los cuadros docentes que nacieron junto con la Universidad; situación que se complicó con el considerable aumento de la matrícula estudiantil el cual precisó de la incorporación de una cantidad importante de nuevos profesores que no fueron formados con suficiencia bajo la tesis de la Cuarta Área del Conocimiento, razón por la cual no compartieron la misma primigenia mística que caracterizó los primeros años. Con una deficiente formación en tal sentido, los nuevos cuadros docentes se han ido incorporando a las tareas universitarias sin conocer a cabalidad el modelo CyAD y sin involucrarse, por consecuencia, en el compromiso y en la mística que son necesarios para que el modelo funcione de acuerdo al propósito inicialmente planteado.

En síntesis, hoy día la carrera de arquitectura en la UAM Azcapotzalco, quizá más que las otras carreras de diseño, si bien en lo formal es diferente a otras opciones de educación superior, en el fondo corresponde un poco más o un poco menos a la estructura tradicional que opera en cualquier otra universidad del país. *Podríamos decir que el rápido crecimiento del número de alumnos, la dificultad de contar con el número adecuado de profesores investigadores y la falta de una estructura de respaldo, han ido desdibujando las características del proyecto inicial*⁵, quedando inconclusa la opción revolucionaria que se planteó como posibilidad en la propuesta original.

Cierto es que las condiciones actuales en términos de avance tecnológico y científico, así como los procesos acelerados de globalización, exigen respuestas en la formación profesional acordes a las nuevas demandas de la sociedad; es por tanto necesario revisar la situación actual de la carrera de arquitectura en la División de Ciencias y Artes para el Diseño y definir la vigencia de los principios básicos de la tesis académica que le dio sustento, retomando en su caso aquellos que sean aplicables, pero siempre con el propósito de lograr una estructura secuencial e integrada.

Los contenidos deberán estar relacionados horizontal y verticalmente para que el estudiante pueda avanzar en su carrera en forma consistente. Los apoyos didácticos deben estar formalmente integrados al currículum, a fin de contar con espacios de experimentación y refuerzo del conocimiento adquirido en el aula. En este punto y como

² De Hoyos Carrasco, Gilberto, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.26

³ Pérez Infante, Carlos, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.18

⁴ Castro Almeida, Oscar, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.71

⁵ Castro Almeida, Oscar, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.71

se verá más adelante, los talleres y laboratorios entendidos como espacios físicos de apoyo a la docencia, no han tenido el mismo desarrollo en la carrera de arquitectura como en las de diseño industrial y de la comunicación gráfica, quizá por las peculiares características de unas y otras. Aunque esa situación se ha ido modificando con el paso del tiempo, no se tienen aún los apoyos didácticos necesarios para que profesores y estudiantes de arquitectura se desempeñen en la carrera en términos de suficiencia, especialmente en aquellas asignaturas que por su carácter técnico requieren de tales apoyos.

1.2 La arquitectura como sistema.

El diseño arquitectónico, como toda forma de creación humana, no puede ser considerado aisladamente, sino en constante interacción con otras disciplinas, con el medio físico y con la comunidad y/o el usuario al cual va a servir. Por tanto debe ser entendido como un SISTEMA TOTAL que conceptualmente es integrado por subsistemas subordinados que, como punto de partida, regirán primero el proceso de diseño y más tarde la construcción y operación de la obra de que se trate.

La enseñanza de la metodología proyectual en arquitectura transcurre con frecuencia en forma paralela a la enseñanza de los sistemas estructurales y constructivos, tocándose de cuando en cuando como si fuesen líneas de conocimiento distantes, si bien relacionadas. Aún en el ejercicio cotidiano de la profesión no es poco frecuente considerar a la estructura como un sistema de sustentación de la obra que deberá adaptarse a las necesidades funcionales del proyecto (o viceversa), lo cual es, por lo menos, una apreciación parcial e incompleta. Hemos señalado en diferentes foros el carácter integral y totalizador de la arquitectura como sistema, que supera los límites autoimpuestos entre la propuesta funcional, la concepción estructural y el resultado volumétrico. Los tres subsistemas que lo integran, FORMA, FUNCION y ESTRUCTURA, atienden respectivamente a los aspectos simbólico, organizativo y constructivo de la edificación, y conforman un todo indivisible del que son factores interactuantes e interdependientes.

El principio fundamental del diseño arquitectónico es indiscutiblemente la intención de dar solución a las múltiples variables del programa, donde la HABITABILIDAD CON CALIDAD DE ESPACIOS es el eje del problema.

En lo referente a las particularidades de la obra, la parte funcional u operativa debe ser resuelta con una adecuada distribución e interrelación de los espacios, proporción, particiones, dimensiones adecuadas y recorridos mínimos. Del mismo modo, los aspectos ambientales, climáticos y de iluminación deben ser controlados. Para obtener un resultado conveniente, es claro que deberán resolverse en consecuencia los requerimientos de orden constructivo, tales como la provisión de energía, los equipos mecánicos, los servicios, la estructura y el sistema de edificación.

Deberá también preverse la factibilidad financiera, que consiste en lograr equilibrio en la aplicación de los recursos, así como en la adecuada relación costo-beneficio. Conviene minimizar los costos de operación y mantenimiento procurando a la vez optimizar la vida útil de la obra.

La inserción en el contexto se hará de manera tal que la obra se integre armoniosamente al entorno (rural o urbano), tomando en cuenta las características del emplazamiento tanto en lo físico (topografía, clima, resistencia del terreno), como en lo cultural (valores visuales, jerarquía, simbolismo, imagen). Así mismo, para lograr un proyecto sustentable en términos ecológicos, deberá procurarse el aprovechamiento de medios naturales para una adecuada climatización, iluminación y la canalización racional de desechos.

Por otra parte, satisfacer las necesidades de orden psicológico y simbólico del usuario debe ser una consideración de primera importancia asociada a los elementos meramente funcionales y volumétricos, a fin de dar respuesta a la expectativa del destinatario de la obra de ver reflejados en ella sus valores sociales y culturales y los de la sociedad a la que pertenece. *De hecho, se puede decir que el reto fundamental de todos los proyectos es aportar un planteamiento humanista para el desarrollo de actividades, que sea*

intrínsecamente inspirador, en vez de ser indiferente, e incluso, degradante para el usuario⁶.

Por ello es necesario subrayar que el proyecto debe ser concebido como una totalidad que integre distintos componentes. Una vez resuelta la fase conceptual, es decir, la idea primaria que contemple de manera general la integridad de sus distintos elementos, podrá entonces procederse a la solución de mayor detalle.

El orden geométrico.

Un proceso común en las prácticas estudiantiles de proyecto, es seguir la socorrida secuencia lineal de solución: primero la función, luego la forma y finalmente la estructura, sin tener preconcebida una propuesta integradora de esos tres subsistemas. Cuando se considera que ha sido resuelto el problema funcional, que hasta ese momento ha sido planteado solo bidimensionalmente, el estudiante tiende a proponer una volumetría derivada de la simple elevación de la solución en planta, obteniendo por consiguiente una "planta inflada" cuya geometría carece de intención formal definida. Al proyectar en planta con frecuencia se deja de lado la consideración de las categorías formales (proporción, escala, ritmo, simetría, fondo-figura, contraste etc.) y los recursos de generación tridimensional de rotación, traslación, repetición, adición, sustracción, yuxtaposición y otros, sin dejar de mencionar los sistemas de redes y la composición modular, que permiten ordenar el espacio edificable. Conceptos todos que fueron estudiados en los cursos de diseño básico, pero que han sido olvidados al paso de los trimestres como si carecieran de importancia y de sentido.

El problema no radica sólo en los alumnos, sino también en los propios profesores, quienes al iniciar el tronco específico de la carrera, atienden las asignaturas del trimestre en curso sin considerar la importancia de los conceptos que, vistos previamente, conforman lo que debiera ser fundamento de la construcción de criterios formales y organizativos para ser utilizados durante toda la carrera. Resulta obvio que de lo que hemos hablado líneas arriba es ni más ni menos que de la necesidad de la aplicación de la GEOMETRÍA, y es el orden geométrico el que posibilita una concepción racional del espacio dotándole de sentido estructural y volumétrico, dado que es precisamente en ese orden geométrico donde se da la posibilidad de **conurrencia de lo formal, lo estructural y lo funcional**.

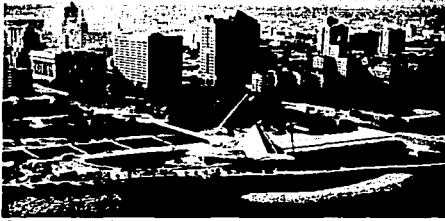
El conocimiento de los principios de la geometría y su aplicación al proyecto, permite interrelacionar aspectos constructivos, estructurales e incluso simbólicos, involucrando un resultado formal lógico, racional, edificable, abriendo además la posibilidad de dotar al proyecto de un alto contenido significante. La arquitectura y la geometría, así como la geometría y la estructura, son conceptos pares complementarios y retroalimentativos.

El subsistema estructural.

Llevada al campo de la tecnología de construcción, la situación de relativo divorcio, o en el mejor de los casos de presencia desfasada en el proceso de diseño entre la conceptualización formal-funcional y la propuesta estructural, resulta siempre inconveniente y en ocasiones crítica, toda vez que con frecuencia se asume erróneamente que la solución estructural puede incorporarse a los conceptos formal y funcional una vez que éstos han sido ya resueltos, como una adaptación que garantice la viabilidad y estabilidad de los espacios proyectados.

En la vida profesional, entender el comportamiento, límites y capacidades de los sistemas estructurales es indispensable para concebir integralmente un planteamiento arquitectónico, si bien también es cierto que para mejores resultados, especialmente en obras de cierta complejidad, siempre será aconsejable una coordinada colaboración entre el proyectista de arquitectura y el ingeniero especialista en cálculo estructural.

⁶ Lin, T. Y., Stotesbury S. D. *Conceptos y Sistemas Estructurales para Arquitectos e Ingenieros*. Editorial LIMUSA, México, 1991.



Santiago Calatrava.
Ampliación del Museo de Arte de Milwaukee,
Wisconsin, E.U.A., 1994-2001
Ejemplo de integración funcional, formal,
estructural y urbana.

Es común en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la arquitectura, que la idea arquitectónica se interprete inicialmente como una respuesta a necesidades funcionales propias de un programa arquitectónico, a sus requerimientos de índole climática, su relación con el sitio, la topografía y por supuesto el carácter formal que identificará los mencionados componentes del diseño. Sin embargo, los aspectos relacionados con el procedimiento constructivo y estructural, generalmente son aplicados como parte de un capítulo posterior de la propuesta arquitectónica, lo cual no es en sí mismo saludable para una concepción integral del proyecto.

La formación e información del arquitecto en cuanto a criterios estructurales y constructivos es un aspecto de importancia capital para lograr una propuesta creativa desde el inicio del proyecto. En este punto se toca un problema educativo en la enseñanza de las estructuras: la especialización en la formación profesional puede, con más frecuencia de lo que fuera deseable, ocasionar una visión fragmentada ...*del conocimiento técnico, que no contribuye a dar una respuesta creativa por parte de los diseñadores, por lo que es siempre preferible promover en el aula la comprensión de los sistemas estructurales antes que el análisis particular de sus elementos, en función de lo cual el estudiante tendrá siempre presente que su conceptualización del espacio-forma del conjunto le permitirá controlar los detalles, y no al contrario?* En las asignaturas correspondientes el tópicos estructural tiende ser analizado con un ENFOQUE ELEMENTAL, donde se hace énfasis generalmente en el diseño del elemento y no en su relación con el sistema constructivo general aplicable a un cierto tipo de estructura. Ciertamente sería conveniente que el análisis de los elementos estructurales se hiciera relacionándolos siempre con el sistema en el que están inscritos, a fin de darles contexto. Al establecer las premisas de la propuesta estructural, siempre será recomendable privilegiar un ENFOQUE de CONJUNTO con énfasis en el diseño del subsistema estructural, atendiendo al concepto de ESPACIO-FORMA TOTAL.

El reto es tratar de manera coherente e integral esa complejidad sistémica, donde el conjunto determina los elementos o partes, induciendo consecuentemente una estrategia de diseño que va de lo general a lo particular.

El Laboratorio de Modelos Estructurales plantea una estrategia dividida en dos etapas: la primera de ellas desarrolla el análisis de los elementos estructurales, no por discrepar de la aseveración que privilegia el enfoque sistémico por encima del elemental, sino por razones de factibilidad operativa. Así, en una segunda fase del desarrollo de este proyecto una de las líneas importantes de trabajo estará enfocada a la asesoría de proyectos en los distintos trimestres de la carrera, a fin de que puedan integrarse los subsistemas funcionales, formales y estructurales que deben caracterizar toda obra arquitectónica, desde su concepción. Por supuesto, en ambas, prevalece el criterio general de que el proyecto, antes de adentrarse en la fase del detalle de sus diversos componentes, debe considerar a la estructura como una de las condicionantes formales y funcionales de primer orden.

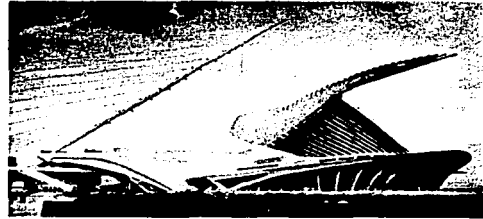
En resumen, de los distintos subsistemas que integran el SISTEMA ARQUITECTÓNICO, podemos distinguir como sobresalientes:

SIMBÓLICO
ORGANIZATIVO
CONSTRUCTIVO



FORMA
FUNCION
ESTRUCTURA

Santiago Caltrava.
Ampliación del Museo de Arte de
Milwaukee, Wisconsin. E.U.A. 1994-2001.
La forma, la función y la estructura,
coexisten armoniosamente.



Desde el punto de vista general del proceso de enseñanza - aprendizaje, en un ejercicio autocrítico de nuestros planes y programas de estudio, debemos reconocer que no pocas de las unidades del currículum se desempeñan como entidades de conocimiento autónomas, con una liga nula o por lo menos discutible con otros espacios curriculares, cuando que la propuesta académica de nuestra División ha planteado desde sus inicios la necesaria concurrencia temática de todas las asignaturas hacia el Eslabón Operativo, espacio académico donde se gesta el proyecto. Se requiere entonces de una revisión detallada de los contenidos en vista de la INTEGRACION e interacción disciplinaria, posible solo si se logra interrelacionar las distintas unidades académicas.

Desde un punto de vista más particular, para integrar el concepto estructural al proyecto arquitectónico como tal, deben plantearse dos distintos pero complementarios enfoques docentes. El primero encaminado al establecimiento de una METODOLOGÍA DE DISEÑO que deberá desarrollarse trasponiendo la mera deducción del programa de necesidades y el conocimiento de la normatividad y del sitio. Más bien se deberá promover la comprensión del problema y la conceptualización de la propuesta, partiendo de la consideración de que la estructura y la geometría que de ella deriva, conforman, como se ha mencionado, un subsistema de elementos generadores del espacio arquitectónico⁸. Por otra parte, es necesaria la implementación de apoyos didácticos complementarios a través de un programa que contemple la instalación de un laboratorio específico equipado idóneamente, que permita acercarse al conocimiento y la experimentación de la forma y la estructura.

2. ANTECEDENTES

Frecuentemente, la exposición en el aula de diversos tópicos teóricos y aún técnicos, no resulta suficiente para efectos de una real y completa comprensión del tema tratado, por lo que es deseable y en ocasiones necesario disponer de espacios académicos complementarios de corte experimental que permitan aplicar, visualizar, identificar y aún dimensionar los efectos de ciertas propuestas teóricas, reforzando así la comprensión y el conocimiento a través de una experiencia real o simulada con modelos.

En el medio de la educación superior del diseño y las ingenierías, tradicionalmente la preocupación por apoyar con laboratorios y equipo didáctico la enseñanza de las ciencias consideradas experimentales se ha circunscrito a las diversas ramas de la ingeniería y algunas carreras de diseño, donde la arquitectura hasta épocas recientes, ha contado solo por excepción con apoyos adecuados en ese renglón.

En la actualidad existen en la División laboratorios especializados como lo es el de Arquitectura Bioclimática y el de Estructuras Ligeras. Sin embargo en lo relacionado con la enseñanza y comprensión del fenómeno estructural en su conjunto hacen falta espacios de este tipo, siendo el Laboratorio de Modelos Estructurales uno de los más urgentes.

Una de las razones por las que existen pocas instalaciones de corte didáctico-experimental o no se han implementado, es seguramente la carencia de equipo de fabricación nacional que permita inversiones con bajo presupuesto. Los esfuerzos para equipamiento que en este particular tema se han realizado en otras instituciones han dependido de insumos extranjeros de alto costo. Derivado de ello, ciertas asignaturas que

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

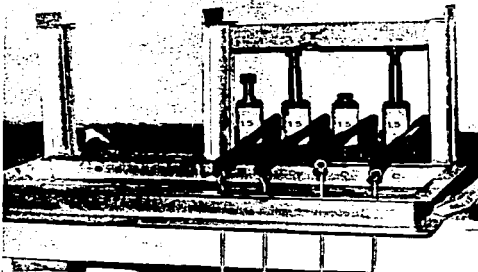
⁸ Turati Villarán, Antonio. *Una Propuesta de Integración de Conocimientos*. Facultad de Arquitectura U.N.A.M. 2000, Pp. 20, 21.

requieren del apoyo señalado, son tratadas como materias teóricas sin posibilidad de comprobación directa.

Mario Medina Valenzuela, en su "Didáctica de las Ciencias Físico-Químicas", hace referencia al panorama de las ciencias experimentales en el sistema educativo nacional, donde un porcentaje importante de la enseñanza ha sido verbalista, atribuyendo esa situación a las causas siguientes:

- a) *La construcción de aparatos de experimentación (a cualquier nivel educativo), no existe en el país ni siquiera en forma incipiente.*
- b) *Desconocimiento por parte del maestro de las formas y modos de construir aparatos y hacer que los alumnos los construyan, quedando sin aprovecharse todas las ventajas que desde el punto de vista educativo tienen estas actividades.*
- c) *Como consecuencia de lo anterior, el maestro sigue la línea del menor esfuerzo y se contenta con hacer la clase verbalista⁹.*

Esa posición resulta sin duda radical, ya que es necesario reconocer distintos esfuerzos realizados en instituciones y entre particulares, si nos atenemos a lo observado, por ejemplo, en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del I.P.N., donde desde hace varias décadas cuentan con un laboratorio inicialmente equipado con aparatos de importación, pero complementados con otros fabricados en el propio instituto. Otra referencia importante es la experiencia del arquitecto José Creixell, quien varios años atrás y asociado con un ingeniero de apellido Bozanno, construyó por cuenta propia y por su singular interés en la comprensión de los efectos de los sismos y de las cargas en las estructuras, aparatos diversos tanto rústicos como muy sofisticados donde se derrochó ingenio e imaginación en su concepción y realización, como podremos ver más adelante. En nuestra propia división se observa ocasionalmente a profesores interesados en el tema, realizar modelos destructibles para apoyar sus exposiciones de clase. A pesar de ello, la generalización de Medina Valenzuela resulta válida si observamos el panorama educativo en su conjunto, puesto que, aún cuando existen esfuerzos en este sentido, éstos son aislados, inconstantes y casi por excepción, sin constituirse en programas de apoyo educativo sólidos y organizados institucionalmente.



*Mecanismo para probar vigas a flexión.
Arq. José Creixell.
Archivo: Laboratorio de Modelos Estructurales.
UAM-A*

Con base en las consideraciones anteriormente expuestas, como se ha detectado reiteradamente, es clara la necesidad en la práctica docente de hacer más objetivos los conceptos del comportamiento de las estructuras, no solamente para garantizar la estabilidad de los edificios, sino como un elemental principio de diseño que posibilite la mejor selección y propuesta de sistemas constructivos.

Considerando la dificultad que frecuentemente tienen los estudiantes para comprender ciertos conceptos a partir de fórmulas y proposiciones teóricas, la División de Ciencias y Artes para el Diseño, a través de la Coordinación de Arquitectura y del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, ha considerado necesaria la creación de un **Laboratorio de Modelos Estructurales** que pretende operar como un apoyo importante

⁹ Medina Valenzuela Mario. *Didáctica de las Ciencias Físico-Químicas*. Ediciones Oasis, S.A. SEP 1967. Pp. 9,10.

para las asignaturas relacionadas con el tema, utilizando aparatos y prototipos experimentales se promoverá la mejor comprensión del comportamiento de los materiales, elementos y sistemas estructurales así como los principios y características del trabajo estructural de los edificios. Es necesario reiterar la estrecha vinculación de este recurso académico con el taller de proyectos, en tanto que un objetivo fundamental del Laboratorio de Modelos Estructurales es que el concepto de diseño arquitectónico se involucre con el sistema estructural como un elemento generador del espacio.

Laboratorios y Talleres en CyAD.

En la División de Ciencias y Artes para el Diseño, la creación de infraestructura de apoyo a las carreras de diseño, tan necesaria como es, se enfocó desde el principio hacia las áreas más claramente identificadas del diseño industrial y el diseño de la comunicación gráfica. De esa manera se construyeron y equiparon los talleres ...*que ganaron a la División la reputación de ser una de las escuelas mejor equipadas, dando esto de inmediato resultados en la calidad de los trabajos. Los talleres de maderas, plásticos, metales, cerámica, textiles, serigrafía, fotografía, cine animación, audiovisuales, fueron de primer nivel distinguiéndose en especial el taller de televisión el cual fue verdaderamente innovador dentro de las escuelas de diseño gráfico*¹⁰. La carrera de arquitectura no contó con apoyos de este tipo sino mucho tiempo después, en la medida que se desarrolló el interés por ciertos estudios como las estructuras ligeras, la cartografía urbana y la arquitectura bioclimática, dando lugar a la creación de los laboratorios correspondientes.

*La necesidad de contar con una buena infraestructura en talleres y laboratorios surge desde la concepción misma del Modelo Académico de la División de Ciencias y Artes para el Diseño; una de las premisas para lograr una alta formación profesional, consiste en proporcionar al estudiante una sólida formación integral, que guarde equilibrio entre los conocimientos teóricos y su aplicación y comprobación empírica. De esta manera, el alumno adquiere las técnicas y las habilidades necesarias para apoyar el correcto desarrollo de las distintas fases del proceso de diseño, y las destrezas que le permitan visualizar soluciones y resolver problemas relativos a su realización*¹¹. Con esta idea fueron construidos y equipados los distintos talleres y laboratorios con los que cuenta actualmente nuestra División, de los cuales los relativos a la carrera de arquitectura no alcanzan el 20% de la capacidad instalada.

12	Taller o laboratorio	m2	principal apoyo a:
	Fotografía	412	Diseño de Comunicación Gráfica y Diseño Industrial
	Fotomecánica	300	D.C.G
	Impresión (Offset)	105	D.C.G
	Cine-animación	160	D.C.G
	Televisión	267	D.C.G
	Audiovisuales	196	D.C.G
	Aerografía	205	D.C.G
	Serigrafía	231	D.C.G
	Grabado		D.C.G
	Maderas	268	Diseño Industrial
	Metales	283	D.I
	Plásticos	274	D.I
	Cerámica	237	D.I
	Vidrio	140	D.I
	Yeso	77	D.I
	Modelos Estructurales*	90	Arquitectura
	Maquetas	105	Arquitectura
	Cartografía Urbana	35	Arquitectura
	Arquitectura de Tierra	50	Arquitectura
	Bioclimática	193	Arquitectura
	Salón Electrónico	75	Posgrado en Nuevas Tecnologías
	Experimentación Digital	75	Posgrado en Nuevas Tecnologías
	Centro del Placer	75	Posgrado en Nuevas Tecnologías

* En 1984 se asignó un espacio del edificio de talleres de D.I. para el Laboratorio de Modelos Estructurales, sin embargo fue eliminado durante la remodelación y ampliación de ese edificio en 1987.

**El Laboratorio de Cubiertas Ligeras fue instalado posteriormente en un espacio de 60 m2, siendo desde entonces su titular el arquitecto Francisco Montero.

¹⁰ Sánchez de Carmona, Manuel, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.33

¹¹ Martínez de Velasco, Emilio, ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A 1999. Pag.89

¹² Martínez de Velasco, Emilio, *ibid.* Pag.92



Laboratorio de Materiales.
División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
UAM-A.

En tanto el estudio de las estructuras en la División no había contado hasta la fecha reciente con un espacio idóneo, inicialmente se contempló la posibilidad de utilizar el Laboratorio de Estructuras del Departamento de la División de CBI. Este es un laboratorio de pruebas de materiales de corte convencional que requiere de ciertos insumos y de tiempos amplios en la preparación de las probetas, generalmente a escala 1:1, y por lo mismo se utiliza en proyectos muy específicos donde la participación directa de los alumnos se ve limitada a grupos reducidos. Su aplicación en la práctica cotidiana para la atención a grupos mayores que requieren reforzar el aprendizaje de conceptos básicos del trabajo de las estructuras, se enfoca a temas generales.

La idea de crear un laboratorio didáctico con modelos simplificados y a escala reducida para apoyar la enseñanza de los principios y sistemas estructurales aplicables al proyecto arquitectónico no es precisamente nueva. Se remonta a varios años atrás, cuando por iniciativa de la Coordinación de Arquitectura (el arquitecto Juan Guillermo Gerdingh primero y el arquitecto Alberto González Pozo posteriormente) y de profesores interesados en el tema, se inició una investigación de campo con el propósito de identificar los referentes que en esa materia han sido desarrollados en otras instituciones. Tales son los casos de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, el Laboratorio de Estructuras Ligeras de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el propio Acervo Audiovisual de la Coordinación de Servicios de Información (COSEI) de la UAM Azcapotzalco, además de incorporar la importante experiencia que a través de muchos años ha tenido el arquitecto José Creixell en la fabricación de este tipo de modelos.

De esa indagación derivó la intención de crear un Laboratorio de Modelos Estructurales y surgieron las primeras luces que permitirían relacionar diversos aparatos de experimentación, catalogarlos y desarrollar fichas técnicas en un esfuerzo compartido del profesor Javier Salinas Rocha y quien suscribe, apoyados por varios profesores del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

Varios fueron los productos de trabajo que se concretaron en el desarrollo del proyecto, contándose, entre otros, ciclos de conferencias, traducción de filmes del Acervo Audiovisual y la transferencia a video de dos de ellos, fabricación de algunos aparatos e inicio de la instalación del local del Laboratorio. Entre los años de 1981 y 1985 se llevaron a cabo distintas tareas y eventos para la promoción de ese importante apoyo didáctico con la participación de profesores y alumnos de la División. Todo lo anterior se realizó con un mínimo presupuesto y con la aportación y financiamiento de los profesores involucrados, lo cual impidió arribar a las metas trazadas en los tiempos y con los alcances previstos.

Lamentablemente, en distintas ocasiones se tuvo que cancelar la adquisición de aparatos de línea, la fabricación de otros y la apertura de una plaza del técnico académico que debería atender el laboratorio, en razón de los reiterados recortes presupuestales. Tal situación restó viabilidad al proyecto, ocasionó la cancelación del espacio físico asignado y el deterioro y pérdida de los prototipos hasta entonces elaborados. Finalmente el proyecto debió ser suspendido.

Actualmente y gracias a la posibilidad de acceso a un programa de financiamiento del Fondo para el Fomento de la Educación Superior (FOMES) de la SEP, después de dos años de trabajo que fueron necesarios para retomar aquella antigua idea, el Laboratorio de Modelos Estructurales ha sido conformado dentro de un modesto espacio físico, pero con posibilidades reales de desarrollo para la atención formal y sistemática a profesores y alumnos, no solo de arquitectura sino también de diseño industrial y de las Ingenierías civil y mecánica.

La importancia del tema, su carácter innovador y la factibilidad de su aplicación inmediata como instrumento didáctico que permitirá cubrir un vacío importante en la comprensión del comportamiento de las estructuras, conforman argumentos suficientes que lo justifican como objeto de estudio y propuesta que debe afinarse para su aplicación curricular sistemática, no solamente en el nivel doméstico sino con posibilidades de interacción con otras instituciones universitarias.

3. PROPUESTA DE UN LABORATORIO DIDÁCTICO.

Objetivos.

General: La creación de este laboratorio obedece a la urgente necesidad de brindar apoyo a los programas de las Carreras de Arquitectura en lo relativo al estudio de la interrelación de la estructura con los otros componentes formales y funcionales fundamentales del Diseño. Igualmente, el desarrollo de proyectos arquitectónicos en los trimestres más avanzados, encontrará en este proyecto un auxilio importante para la experimentación de sistemas estructurales que acrecienten la creatividad del diseñador, quien podrá alcanzar por este medio un criterio estructural suficiente para el ejercicio de su profesión.

El beneficio de este laboratorio se extiende a las carreras de Ingeniería Civil y de Diseño Industrial.

Específicos: Para lograr lo anterior es necesario manejar dos enfoques: el primero relativo a la demostración de los principios de la estática, la resistencia de materiales y el cálculo estructural. El segundo se refiere a la experimentación de alternativas estructurales aplicadas a proyectos arquitectónicos, tales como estructuras espaciales, cubiertas laminares, cables etc. Ambos enfoques podrán manejarse en diferentes niveles y grados de dificultad, desde la intuición del fenómeno estructural hasta su demostración y análisis matemático.

Adicionalmente, y como parte esencial de su propósito y de su dinámica de trabajo, se debe establecer en el laboratorio contacto con otras entidades de educación superior que desarrollan programas similares a efecto de intercambiar experiencias y enriquecer sus posibilidades.

Metas.

- a) Adquisición de diversos equipos y aparatos para la demostración de las deformaciones de las estructuras y sus elementos.
- b) Diseño y fabricación de prototipos de experimentación no disponibles en el mercado.
- c) Habitación del espacio físico adecuado para la instalación del Laboratorio.
- d) Elaboración de manuales de operación de los aparatos y ejercicios específicos aplicables a las distintas temáticas de la carrera de arquitectura relacionadas con estructuras. Elaboración de manual de mantenimiento.
- e) Elaboración de material didáctico audiovisual complementario.
- f) Implementación de un programa de difusión de las actividades y servicios ofrecidos por el Laboratorio.
- g) Implementación de un programa de atención a grupos de las distintas asignaturas involucradas.
- h) Participación en congresos, exposiciones y eventos varios que se relacionen con este campo.
- j) Organización de cursos de actualización y conferencias sobre estos temas.

Metodología de trabajo.

Después de varios años y ante la posibilidad de la obtención de fondos para su reanudación, se han iniciado de nueva cuenta - prácticamente desde cero - actividades para la puesta en marcha de ese importante espacio académico a partir del mes de octubre de 1998, proponiendo un plan de trabajo acordado con la Dirección y Secretaría Académica de CyAD en los términos siguientes:

1. Formación de un seminario permanente integrado por profesores de asignaturas técnicas relacionadas con la enseñanza de las estructuras.
2. Investigación documental para la identificación y referencia de proyectos similares en otras universidades e institutos en los ámbitos nacional e internacional.

3. Identificación de proveedores de material didáctico para la adquisición de equipo existente en el mercado que no pueda ser fabricado en la Universidad.
4. Identificación de los modelos experimentales por bloques temáticos atendiendo a su relación curricular con planes y programas de estudio de la carrera.
5. Participación en el seminario del Grupo de Investigación de Tecnología y Diseño en las Edificaciones, al cual pertenece este proyecto, con reuniones mensuales para el encuadre de estrategias y políticas departamentales.
6. Reuniones de trabajo quincenales o semanales de los integrantes del proyecto con la participación de Departamento de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería en la selección de los prototipos de experimentación, formulación de la fundamentación teórica y desarrollo constructivo de los aparatos a fabricar, así como la revisión y la habilitación en su caso de los manuales de prácticas correspondientes considerando su adecuación a los programas de estudio a los cuales se aplicarán. Realización de fichas técnicas.
7. Programa de adquisición de los aparatos de línea, complementado con capacitación en su uso y mantenimiento.
8. Fabricación de prototipos con el apoyo de los talleres de Diseño Industrial, o bien con apoyos externos.
9. Implementación de un programa permanente de análisis y elaboración de nuevos prototipos.
10. Adecuación del local asignado por la División para el Laboratorio.
11. Programación de las actividades del Laboratorio a fin de brindar apoyo a las distintas U.E.A.(unidades de enseñanza-aprendizaje), poniendo las instalaciones del Laboratorio a disposición de los profesores así como brindando asesorías específicas para el desarrollo de proyectos de los alumnos.
12. Programación e inicio de actividades de atención a grupos.
13. Establecimiento de un programa permanente de difusión y eventos especiales relacionados con la temática.
14. Intercambio de experiencias y programas conjuntos de trabajo con otras instituciones.
15. Programa de mantenimiento y actualización del equipo e instalaciones del Laboratorio.

Plan de trabajo.

Se considera una primera etapa para la implementación y puesta en marcha del Laboratorio, que requerirá, para la realización de las actividades anteriormente señaladas, de al menos siete trimestres:

La programación de atención a grupos se efectuará tan pronto como se cuente con el apoyo de técnicos académicos asignados al Laboratorio, sin embargo, la presentación de ciertos modelos y material audiovisual, podrá ponerse a disposición de los profesores solicitantes a partir del segundo trimestre. Esta actividad, así como las relacionadas con la fabricación de aparatos y la elaboración de manuales de prácticas continuarán en una segunda etapa durante cuatro trimestres.

Inicio del proyecto: Trimestre 2000-1

Encuadre.

El propósito de la creación de este Laboratorio deriva de la preocupación por la elevación del nivel de calidad en la formación de egresados a partir de la consideración de que enfrentamos un panorama donde el producto académico de las instituciones de enseñanza superior no se identifica en la circunstancia actual con el deseable, ya que difícilmente puede responder a un perfil profesional capaz de competir, en condiciones de suficiencia, en un mercado de trabajo exigente y selectivo. Por otra parte, se atiende a la consideración de que el Laboratorio de Modelos Estructurales es solo una parte del esfuerzo académico para la elevación de la calidad docente y por la obtención de un perfil de egresado con capacidad y calidad propositiva.

En el aspecto académico administrativo el proyecto se inscribe en los programas del Grupo de Investigación de Tecnología y Diseño para las Edificaciones del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. El desempeño del Laboratorio en lo tocante al ámbito docente se subordina a la Coordinación de la Carrera de Arquitectura, identificándose con sus planes y programas de estudio. Por otra parte atiende a los objetivos y necesidades planteados por el Departamento de Materiales de CBI, en los respectivos planes y programas de la carrera de ingeniería civil.

LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES														
PROGRAMA DE ACTIVIDADES PERIODO 02-P / 06-I														
ACTIVIDAD	2002			2003			2004			2005		2006		
	02I	02P	02O	03I	03P	03O	04I	04P	04O	05I	05P	05O	06I	06O
SEMINARIO														
TRADUCCIÓN DE 12 MANUALES, EQUIPOS STR Y HST														
CAPACITACIÓN DE PROFESORES PARA OPERACIÓN DE EQUIPOS STR Y HST														
ELABORACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO EN GRÁFICOS CDR (36)														
ELABORACIÓN DE DIDÁCTICOS INTERACTIVOS DE REALIDAD VIRTUAL														
PREPARACIÓN DEL LABORATORIO PARA ATENCIÓN A UEA 'S RELACIONADAS INICIO DE ATENCIÓN A GRUPOS *														
PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE 20 NUEVOS PROTOTIPOS SOBRE DISEÑO														
ELABORACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO EN GRÁFICOS CDR (20 nuevos)														
PROGRAMA DE ATENCIÓN Y ASESORIAS A TRABAJOS TERMINALES *														
INTERCAMBIO ACADÉMICO Y CONVENIOS DE VINCULACIÓN CON OTRAS INSTITUCIONES														
DIFUSIÓN Y PARTICIPACIÓN EN EVENTOS ACADÉMICOS Y FOROS INTERINSTITUCIONALES														
APOYO PROGRAMAS DE SERVICIO SOCIAL														

* CONDICIONADO A LA AMPLIACIÓN DEL LOCAL E INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DEL MODELOS ESTRUCTURALES.

3.1 Consideraciones didácticas.

Medios para el aprendizaje.

La enseñanza del tema estructural comparte varios aspectos problemáticos de otras disciplinas donde, si fuese necesario concebir un esquema para la clasificación de los factores que en ella inciden, debería tomarse en cuenta la importancia del formato¹³. El medio a través del cual se presenta un tema es materia central del interés docente, puesto que los aspectos teóricos pueden verse reforzados de distintas maneras, más allá de la exposición vía pizarrón. El valor y la fuerza de las imágenes proyectadas en diaporamas o videogramas es un agente digno de considerarse para ejemplificar diversos casos aplicables al tema. De este modo, podrán ilustrarse tópicos tales como el equilibrio de fuerzas o los principios de la resistencia de los materiales, con efectos muy positivos. Por su parte, los sistemas interactivos programados por computadora pueden dar resultados muy interesantes en la comprensión de los estudiantes por su precisión y versatilidad, amén del abanico de opciones que pueden ofrecer. Otra vía es el uso de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹³

Berman, Arthur I *Nueva Tecnología en la enseñanza de las ciencias. Medios de aprender.* Editorial Teide, UNESCO, Barcelona 1975.

modelos experimentales tridimensionales, los cuales permiten en alto grado el refuerzo del aprendizaje mediante la manipulación directa de aparatos y dispositivos con diverso grado de complejidad, cuyo impacto y contundencia aventajan en gran medida el efecto de otros medios.

Docencia presencial y experiencia profesional.

Reconociendo en toda su dimensión la bondad y los avances en las técnicas tradicionales así como en las nuevas tecnologías, no podrá estimarse suficiente por sí mismo alguno de estos medios en forma aislada, ni como prescindible la presencia del profesor. El primer ingrediente para guiar el proceso de enseñanza aprendizaje es la asesoría directa del docente, quien apoyándose en los medios tendrá mejores instrumentos para conducir exitosamente el proceso.

Por eso, transcurrida la etapa de euforia producida en los años setenta y ochenta por la enseñanza programada – aún hoy día persiste cierta inercia en algunos sectores de la educación –, podemos observar que en el tránsito del siglo XX al XXI se valoran con nuevo vigor los esquemas cotidianos donde la intervención del maestro resulta relevante. Esta tendencia presupone obligadamente ciertas consideraciones sobre la capacidad, preparación, vocación de servicio y actitud del profesor frente al problema educativo en lo general, de cara a la relación directa con los estudiantes.

En este delicado punto, la enseñanza del diseño en general y particularmente de la arquitectura, presenta aristas problemáticas que le otorgan un cariz de informalidad, hasta ahora normalmente tolerada en el medio de la educación superior y que tienen relación directa con la escasez o nula de preparación y profesionalización de la docencia. Es común aceptar que la experiencia y práctica profesional automáticamente califica al profesor para intervenir en el proceso de enseñanza aprendizaje, sin mayores consideraciones para la actualización, no digamos solamente sobre temas propios de la asignatura, sino en el campo de la formación didáctica y pedagógica. Por lo mismo la práctica docente se ve poco provista de planeación y preparación de clase, careciendo en muchos casos de los medios con los cuales el docente podría hacer más comprensible, fluido y eficaz ese proceso.

El Doctor Antonio Turati Villarán hace patente esa conocida circunstancia cuando se refiere a la particular problemática del diseño arquitectónico: "Es un hecho que el profesor de diseño, con algunas excepciones, no está acostumbrado a organizar un plan de clases, con el argumento de que la materia por esencia se niega a sistematizarse y a quedar sujeta a una planeación didáctica, ya que por tradición la enseñanza se limita en forma exclusiva al ejercicio proyectivo asesorado en su desarrollo por profesores que apoyan su práctica docente solo en la experiencia que tengan como diseñadores, la cual en muchos casos no es suficiente por no haber una vinculación directa con la práctica continua y variada del diseño"¹⁴. Aún cuando en el mejor de los casos esta última condición fuese cumplida, Turati abunda en el tema al subrayar las características básicas de quien asume la responsabilidad del ejercicio docente: *saber, saber enseñar y querer enseñar*¹⁵. De nueva cuenta pone en evidencia que el conocimiento temático por parte del maestro es por sí solo insuficiente para garantizar el éxito de un curso, y apunta a la condición anteriormente señalada sobre la necesaria actualización y el ejercicio responsable de la docencia con vocación de servicio.

De este breve análisis se desprenden al menos dos consideraciones. La conducción del proceso docente requiere de una planta de profesores incorporados sistemáticamente en programas de formación didáctica y pedagógica promovidos institucionalmente. Por otra parte, es muy conveniente la integración de colectivos académicos que, funcionando como seminario permanente, propicien la nivelación de conocimientos sobre los temas específicos del currículum y sobre las técnicas y los medios de enseñanza particulares aplicables en el aula. Estrategias de este tipo permitirán sin duda mejores resultados en el desarrollo de los cursos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁴ Turati Villarán, Antonio, *La didáctica del diseño arquitectónico*, Facultad de Arquitectura UNAM, 1993, p.13.

¹⁵ *ibid.*, p.63.

Volviendo a los medios educativos, en la taxonomía propuesta por Arthur Berman¹⁶ destacan como idóneos para la enseñanza de las estructuras los tipos relacionados con la capacidad perceptiva visual, auditiva y táctil del ser humano. Las representaciones visuales y audiovisuales se consideran entre las más importantes y se dividen por su dinamismo en *cinéticas*, como los filmes cinematográficos, el videocasette, la televisión o la computadora; o *estáticas*, que son las diapositivas, los acetatos retroproyectables así como los diagramas y dibujos.



Ejemplo de medio cinético
Salón de cómputo. UAM-A
Fuente: www.arq.uam.mx



Ejemplo de medio estático
Salón de clase UAM-A

El margen de intervención del profesor en el primer grupo es ciertamente restringido o prácticamente nulo durante la exposición por medios cinéticos, si bien su utilidad radica en posibilitar una mejor planeación y una producción más acabada incidiendo en la transferencia de la información con mayor calidad, claridad, secuencia y orden en la presentación del tema, amén del relato sonoro que comparte esas características. Para esta línea didáctica es conveniente complementar el impacto visual de la información transferida mediante sencillos cuestionarios y reactivos que incidan en el análisis general y ciertos detalles en él contenidos, reforzando así la comprensión del material expuesto y haciendo patente la utilidad de su aplicación.

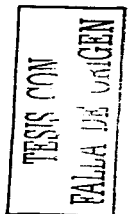
El uso del segundo grupo permite al maestro ofrecer su comentario durante la exposición visual e inclusive posibilita la intervención de los alumnos, capitalizando con ello los beneficios de la interacción, la participación creativa del docente y, ¿por qué no?, elevando su autoestima al ofrecer a sus alumnos un producto atractivo, eficiente y con aporte personal. Si la exposición verbal es acompañada con notas o diagramas paralelamente puestos en el pizarrón, se puede dar a la sesión un ritmo atractivo y dinámico. Por supuesto el docente debe dar importancia a la calidad del material así como a la pertinencia, oportunidad y unidad temática del mismo.

Retroproyección de acetatos.

En una breve revisión, podemos observar que, entre los recursos tradicionalmente más usados para apoyar una exposición en clase, están la retroproyección de acetatos y la proyección con diapositivas. La primera técnica, disponible desde los años setenta, resulta muy versátil, habida cuenta de la economía que representa la inversión en el equipo, su facilidad para transportarse y el uso de acetatos como materia prima. Los gráficos pueden elaborarse previamente en forma manual o por procesos electrónicos e imprimirse, pueden también fotocopiarse a partir de material impreso en pocos minutos. Adicionalmente quien dirige la presentación puede superponer acetatos, graficar o escribir directamente sobre ellos, a la vez que explica verbalmente el tema a tratar. Esta manera de relacionarse con el grupo puede ser por demás flexible y la oportunidad para interactuar es tal vez su mayor ventaja, siempre y cuando el expositor propicie un ambiente de constante participación donde se logre captar el interés del auditorio.

Diapositivas.

Similarmente funciona la proyección de diapositivas, con la salvedad que no es posible trabajar directamente sobre éstas al momento de la exposición; la fuente es generalmente un archivo institucional o bien pueden haber sido tomadas por quien expone. Una buena dosis de aportación personal caracteriza a este medio y el intercambio

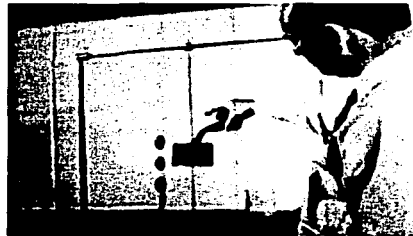


de comentarios con la audiencia puede darse en cualquier momento si así se establece previamente. Como en otros medios, resulta importante no sólo la periódica actualización del material, sino la previa planeación de la presentación, elaborando a su vez los textos explicativos de los gráficos. La proyección es un recurso didáctico empleado durante décadas, alcanzando su máxima expresión en la programación de la proyección con imágenes simultáneas y usando disolvencias coordinadas con grabación sonora, logrando presentaciones muy atractivas. Aún cuando las tecnologías más recientes como la videograbación y los medios digitales tienen cada vez mayor presencia en el ámbito educativo, la calidad en imágenes que brinda esta técnica aún no llega a ser superada. Este interesante y versátil medio tiene aún mucho que aportar como instrumento para la comunicación visual.

El cinematógrafo y el videocasette.

Las técnicas y aplicaciones cinematográficas para la difusión científica fueron, hasta el final de los años setenta, un recurso muy importante de apoyo para temas específicos. La planeación, calidad en la producción y edición del contenido han puesto a disposición de las instituciones de enseñanza un valioso material. Sin embargo, el advenimiento de la videograbación en cinta magnética a principios de esa década vino a revolucionar los medios por su enorme versatilidad, economía y formato muy compacto. En menos de una década el "videotape" transitó desde la televisión comercial a su difusión masiva incluso en el nivel doméstico. La cámara de video sustituyó con creces para ciertos propósitos, a la de cine, hecho que cambió radicalmente la percepción del apoyo de imágenes grabadas para efectos didácticos, donde el fácil acceso a una videocasetera y un monitor de televisión ha puesto al alcance de casi cualquier persona este recurso. Es más, desde entonces es habitual transferir las ahora antiguas películas de 8 y 16 mm hacia diversos formatos, siendo el VHS el más usado y que pronto será desplazado por el DVD.

*Archivo filmográfico COSEI/UAM
Serie: Mechanics of Structures & Materials
Film 4: Beams and Frames
Robert A. Heller, Mario G. Salvadori
Instituto Politécnico de Virginia, E.U.A.*



Medios computarizados.

Referirse a este tema merece un capítulo aparte. El avance tecnológico en el campo del procesamiento de datos es sorprendente por el vertiginoso ritmo en el desarrollo de los sistemas computacionales tanto en el diseño de programas como en la fabricación del equipo capaz de instrumentarlos. En poco tiempo, y cada vez con mayor velocidad, se incorporan al mercado productos más rápidos y eficientes, de igual manera un número cada vez mayor de usuarios está en la posibilidad de acceder a estos equipos.

La rapidez en la evolución de esta tecnología en los últimos años ha sido tal, que conlleva el fenómeno del abatimiento en los costos de sistemas y equipos como resultado de la producción masiva, especialmente si hablamos de las computadoras personales que hoy día se han vuelto indispensables para el manejo de información en cualquier ámbito o actividad.

Proveniente de Inglaterra en los años 60, aún antes de la invención en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) de las computadoras interactivas de gráficos, el CADD (Computer Aided Design/Drafting), inició una nueva era en las empresas de ingeniería y arquitectura en los Estados Unidos. Poco a poco estos sistemas fueron aceptados como herramienta útil en el diseño. En un principio la utilización de este recurso se dio básicamente a nivel institucional en los organismos de planeación gubernamentales y en las universidades e institutos de investigación.

Antes de 1984 los sistemas de diseño asistido por computadora no eran accesibles para el diseñador independiente; a partir de 1985 las cosas han cambiado en función de una gran divulgación y de desarrollo de los sistemas CADD a nivel mundial. Podemos asegurar sin

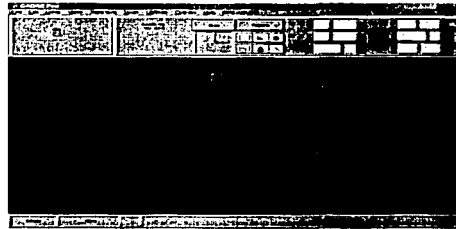
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

lugar a dudas que la década de los ochenta se caracterizó como una etapa de aprendizaje para uso de las computadoras y el CADD. En esa época pocos despachos de arquitectura e ingeniería utilizaban equipos y programas igualmente costosos para el desarrollo de sus proyectos. El mérito de esos pioneros es que se arriesgaron en incursionar en el promisorio campo de la computación con sistemas insuficientemente desarrollados, asumiendo los correspondientes riesgos. Poco tiempo después, durante los primeros años noventa una explosión tecnológica invadió los despachos de arquitectura e ingeniería de todo el planeta con equipos pequeños que pueden competir ventajosamente en la actualidad con equipos y sistemas que significaron inversiones millonarias hace un par de décadas, caracterizándose cada vez más por su impresionante capacidad de almacenamiento de datos y velocidad de proceso, venciendo con ello resistencias ante la evidencia de las múltiples ventajas de la nueva tecnología. Hoy día no se concibe un despacho de diseño, una empresa constructora o un bufete de cálculo estructural sin la imprescindible presencia de las computadoras. En el caso de la enseñanza, en todos sus niveles, es absolutamente necesario también el uso de las nuevas tecnologías.

El abanico de posibilidades para su aplicación en el campo del diseño en general y particularmente en el desarrollo de proyectos arquitectónicos y de ingeniería es muy variado, desde la elaboración de dibujos generales y detalles, hasta los complicados cálculos para el diseño estructural y de instalaciones, sin olvidar los programas de obra y ruta crítica, cuantificación de volúmenes de obra y el seguimiento administrativo del proyecto. Planeación estratégica, modelado superficial y de volumen, estudio de sombras y asealamiento, y análisis volumétrico en perspectiva, son otras aplicaciones de esa tecnología, incluyendo la posibilidad del estudio espacial y sus recorridos con animaciones y fotorealismo.

Evidentemente en el ámbito educativo esos recursos tecnológicos están obligadamente presentes, especialmente en el nivel universitario. La computación ha provocado una nueva revolución, no sólo en la concepción de nuevos medios de presentación con un enorme potencial, sino en la forma misma de hacer las cosas en cualquier campo de la producción humana. Las imágenes grabadas, ahora con scanner o cámara digital, pueden manipularse y mezclarse con textos, gráficos y con otras imágenes producidas a través de programas de cómputo, cada vez más eficientes y sofisticados.

Gran cantidad de efectos disolventes y animaciones enriquecen la calidad y el impacto audiovisual de la presentación. Su almacenamiento en disco compacto y la facilidad para su duplicación y manipulación por computadora le confiere a este medio una flexibilidad que supera todas las expectativas y le otorgan hoy día nuevo significado al concepto de multimedia. En contrapartida, se debe considerar el fenómeno que acompaña necesariamente a tan espectaculares logros: la obsolescencia.



Ésta es una especie de mal necesario que se presenta como consecuencia de la propia rapidez del desarrollo tecnológico. Es así como podemos observar - y sufrir - el constante desplazamiento de equipos que no son suficientes para soportar los requerimientos de los nuevos programas, cada vez más exigentes de memoria y velocidad; mismos que, por otra parte, es necesario actualizar constantemente para poder intercambiar información en el mismo nivel con otras entidades. Esto se acentúa en la medida que nos hacemos dependientes de las nuevas tecnologías, lo cual, materia de otro análisis, es en todo caso difícil de evitar.

Medios tridimensionales y simulaciones.

En un grupo distinto Berman clasifica las representaciones táctiles tridimensionales, dentro de las cuales los modelos y los aparatos de experimentación deben quedar considerados. Desde la óptica del alumno, el medio es inherente al estímulo y en cuanto a la percepción que puede tener del mensaje visual, importará poco si es videocasete, película o imagen por computadora a menos que el medio le permita interactuar, lo cual marca una diferencia importante. Esa interacción puede darse en vivo con modelos volumétricos, donde la manipulación de un aparato y la posibilidad de modificar las

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

condiciones y factores que inciden en el experimento tienen una repercusión directa en el aprendizaje. Los medios tridimensionales requieren la guía experta del profesor para que, una vez expuesta la teoría, el alumno entre en contacto con los aparatos que le permitirán una relación activa con alto impacto en la memoria, especialmente por el carácter lúdico de esa experiencia.

Por simulación debemos entender la representación, en una escala reducida, de ciertas condiciones de un proyecto en un ambiente determinado. En el tema que nos ocupa, se trata de reproducir el principio de trabajo de las estructuras, donde los modelos estarán representando elementos o sistemas estructurales sometidos a la acción de cargas que en la realidad se presentan en los edificios, para analizar su reacción y comportamiento. Este tipo de prácticas permite fácilmente al estudiante ahondar en los conceptos científicos y técnicos y relacionarlos entre sí dentro del esquema tecnológico materia de su análisis.

Distinto y complementario a la explicación en clase, donde se presentan soluciones a problemas basándose en planteamientos teóricos, el laboratorio es aquel sitio donde la teoría y las fórmulas encuentran su ratificación por medios experimentales. Por consecuencia, en él se consume más tiempo, es el sitio "más caro y presumiblemente el más compensador y más importante en la actividad de la investigación. Su grado de importancia se relaciona con los objetivos específicos que en materia de educación persiguen alumno y maestro, objetivos que es de esperar sean idénticos"¹⁷. Como se ha mencionado anteriormente, quizá la característica más importante que identifica a un laboratorio es que ofrece la posibilidad de concretar, es decir, **poder comprobar con nuestros sentidos en términos materiales, visibles, y tangibles**, el significado de una fórmula o un planteamiento teórico que, expuesto con anterioridad en el aula puede quizá parecer lógico y factible, pero que mediante la experimentación adquiere una dimensión real y distinta que no deja lugar a dudas sobre la realidad de la teoría. Es por ello que la utilidad del laboratorio trasciende sin duda a otros medios, inclusive a la computadora, por la contundencia y claridad con que refuerza el aprendizaje.

Se ha mencionado el carácter lúdico que caracteriza a un laboratorio, ya que puede sin duda ser considerado conceptualmente como un sitio de juego. En él los modelos son los vehículos de una experiencia sensorial altamente gratificante donde las reglas y metas a alcanzar corresponden a los objetivos académicos planteados. Relación directa con ello tiene el concepto de motivación al que Antonio Turati hace referencia como una condición del proceso educativo, la cual se presenta "a partir de hacer explícitas las expectativas, es decir, lo que se espera que suceda como consecuencia de un conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje"¹⁸. Podemos añadir que un elemento motivante de ese proceso es la estimulación de la capacidad de asombro al arribar a resultados previamente declarados. Por supuesto la planeación de la exposición y práctica académica es requisito *sine qua non* para garantizar la consecución de ese propósito.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Laboratorio de Modelos Estructurales: Uso de tecnología, como apoyo a las carreras de Arquitectura, Ingeniería Civil y Diseño Industrial

¹⁷

Berman, Arthur I., *opus cit.*, p. 209

¹⁸

Turati Villarán, Antonio, *opus cit.*, p. 64.

Realidad virtual.

En un nivel avanzado de los medios computarizados, podemos identificar la llamada Realidad Virtual. Se trata de modelos tridimensionales "construidos" virtualmente utilizando poderosos programas modeladores y visualizados en tiempo real.

Mediante tales programas estos modelos pueden ser modificados en su aspecto original para presentar nuevas condiciones de funcionamiento elegidas interactivamente por el usuario. Así podrán modelarse, atendiendo a nuestro tema, elementos o sistemas estructurales específicos, asignándoles dimensiones, sección, material y posición en el espacio. Las condiciones de apoyo pueden cambiarse, del mismo modo que las cargas aplicadas pueden ser modificadas en su posición o en su magnitud. Podrá observarse en el resultado de tales cambios, variaciones en los valores de las reacciones y también serán verificables las deformaciones de la pieza o la estructura estudiada.

Este tipo de material no pretende sustituir a los modelos tridimensionales reales, sino complementarlos, incrementando sus posibilidades de interactividad y por lo mismo potenciar su valor didáctico al abrir las opciones de trabajo y poder registrar cuantitativamente los resultados.

Evidentemente este recurso podría proponerse como una fase intermedia del desarrollo de un laboratorio didáctico, una vez que se hubiesen consolidado las etapas básicas iniciales.

Sin embargo, es necesario subrayar que la elección de los medios para aprender generalmente involucra a más de uno. Es decir, los temas a desarrollar en el laboratorio requieren de una **planeación y una estrategia global** que inicia con la exposición teórica, se refuerza con material audiovisual y se pone en práctica por medio de ejercicios de comprobación. En este punto el laboratorio resulta el medio idóneo, pero conviene que se complemente con otros, dependiendo de las características del experimento. En la utilización de aparatos con cierto grado de sofisticación, se emplea tecnología digital que involucra unidades de adquisición de datos, interfase para su envío a una computadora y su lectura final en el monitor. Por ejemplo, para la comprobación de los esfuerzos aplicados en ciertos elementos de una estructura, se utilizan sensores que arrojarán datos que serán codificados digitalmente y posteriormente leídos en una pantalla de computadora donde se representa el esquema de la estructura y los valores cuantificados del trabajo de la misma.

Por otra parte, el trabajo de un laboratorio, por el costo de su implementación y su mantenimiento, deberá ser cuidadosamente planeado para que su aplicación sea realmente efectiva en el apoyo de las asignaturas que lo requieran. Por lo mismo, cada sesión deberá apoyarse en material y prácticas elaborados y probados con anticipación, de manera que la realización de la práctica correspondiente garantice la obtención de los resultados esperados y de los objetivos planteados. Lo anterior alude a la incorporación de dos conceptos usualmente conocidos como **multimedios y educación programada** y presupone un trabajo intenso y constante no solo de la puesta a punto de los aparatos que deberán utilizarse, sino de la elaboración del material didáctico que complementa los ejercicios en términos de suficiencia. Debe insistirse en que ambos conceptos no deben ser considerados propiamente como medios sino como **estrategias** que involucran sistemas de medios cuya función y finalidad primordial es la **comunicación**. Ciertos aspectos del problema de la comunicación en la práctica educativa, se han visto aliviados precisamente gracias al uso de una variedad de medios, abarcando entre ellos textos, guías de estudio, prácticas y presentaciones visuales y audiovisuales mediante el uso de cintas o programas de computadora, complementando en nuestro caso los elementos tangibles usados en la labor descriptiva de laboratorio. Es claro que un medio no puede considerarse autosuficiente sino inscrito en esquemas integradores de distintos apoyos y recursos.

3.2 Proyecto interdivisional CyAD-CBI.**Interdisciplina**

Desde su creación, la Universidad Autónoma Metropolitana ha promovido institucionalmente el concepto de participación e interacción disciplinaria en la docencia, la investigación y la difusión de la cultura, actividades académicas que conforman el objeto de su Ley Orgánica. La División de Ciencias y Artes para el diseño ha ostentado esa misma vocación desde su consolidación como Cuarta Área del Conocimiento,

orientación que se ve reflejada en su tesis académica y en la conformación de los planes y programas de estudio de las distintas carreras que atiende.

Como parte de esa convicción, la interdisciplina ha sido una característica del Laboratorio de Modelos Estructurales desde su creación y una constante de trabajo desde sus primeras sesiones, situación que favorece el intercambio de experiencias y conocimientos de sus integrantes, dirigido a la consecución del objetivo común de construir modelos didácticos útiles para la enseñanza de las estructuras, compartiendo los distintos enfoques de la ingeniería civil y la arquitectura¹⁹.

Esta circunstancia no se dio en forma gratuita. Desde sus inicios, el proyecto del Laboratorio contempló la necesidad de contar con el respaldo y asesoría especializados en el análisis y el cálculo estructural para la fundamentación de los modelos y aparatos que deberían demostrar experimentalmente los conceptos teóricos y las fórmulas matemáticas. Qué mejor que la experiencia del Área de Estructuras de la Carrera de Ingeniería Civil para complementar el particular enfoque profesional y docente de los profesores de la Carrera de Arquitectura. Con ese propósito, desde la gestación del proyecto se hicieron los primeros contactos con el Departamento de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, encontrando en profesores y autoridades, no sólo una gran disposición al intercambio de capacidades y recursos, sino una entusiasta bienvenida a la idea de compartir un espacio académico que constituye una alternativa y un complemento al Laboratorio de Pruebas de Materiales que esa División ha instrumentado por más de dos décadas.

La participación de profesores y especialistas del diseño industrial ha sido también relevante por su conocimiento de los materiales y las técnicas para la fabricación de los prototipos experimentales. El equipo de diseñadores ha trabajado en forma intensiva y participado en numerosas sesiones con el grupo del Laboratorio en la concepción, desarrollo y evaluación de los modelos físicos, logrando una calidad sobresaliente tanto en el funcionamiento como en la presentación de los aparatos.

La difusión de los trabajos del Laboratorio y el registro gráfico de los productos, hace necesaria la colaboración de diseñadores gráficos quienes aportan también su capacidad creativa para la elaboración de material didáctico digitalizado. La incorporación de imágenes y textos por ese medio, permite integrar el apoyo teórico, la descripción de los aparatos y su funcionamiento, así como el manual de prácticas correspondiente, en un producto de muy fácil comprensión para los alumnos, que complementa la experiencia de la manipulación directa de los modelos. Además, siempre quedará abierta la posibilidad de "subir a la red" esa información para ser consultada en forma remota desde cualquier lugar donde se cuente con una línea telefónica y una computadora.

ESFUERZOS SIMPLES

SISTEMAS DE ARCO

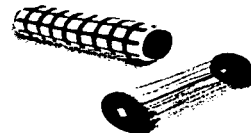
Nombre:
 Descripción de Sistema Experimental:
 Año de Inauguración:
 Autor:
 Fecha de Actualización:
 Ubicación:
 Referencias:
 Observaciones:



ESFUERZOS COMBINADOS

APARATOS DE TORSIÓN

Nombre:
 Descripción de Sistema Experimental:
 Año de Inauguración:
 Autor:
 Fecha de Actualización:
 Ubicación:
 Referencias:
 Observaciones:



Ejemplos de portadas de material didáctico digitalizado, que se elabora en el Laboratorio de Modelos Estructurales. UAM-A

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

¹⁹

González Cuevas Oscar Manuel. Inauguración del Laboratorio de Modelos Estructurales. UAM-A. 22 de noviembre de 2001.

ESFUERZOS COMBINADOS**APARATO DE FLEXIÓN**

Modelo de un aparato de flexión para la medición de esfuerzos combinados. El aparato está diseñado para medir los esfuerzos combinados que actúan en un elemento estructural sometido a flexión y torsión. El aparato consta de un brazo de ensayo que se puede mover libremente en un plano vertical. El brazo de ensayo está sujeto a un extremo a un eje de pivoteo y al otro extremo a un punto de aplicación de la carga. El aparato también incluye un sistema de medición de desplazamientos y un sistema de medición de momentos.



Este aparato permite estudiar el comportamiento de un elemento estructural sometido a flexión y torsión. Se puede medir el momento flector y el torque que actúan en el elemento, así como los desplazamientos que se producen. El aparato es muy versátil y puede utilizarse para estudiar el comportamiento de diferentes tipos de elementos estructurales.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICO-ESTRUCTURALES**MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL**

Modelo de una mesa de desplazamiento unidireccional. El aparato está diseñado para medir los desplazamientos que se producen en un elemento estructural sometido a una carga unidireccional. El aparato consta de una base rígida y un sistema de medición de desplazamientos. El sistema de medición está formado por un eje de medición que se puede mover libremente en un plano vertical. El aparato también incluye un sistema de medición de momentos.



Este aparato permite estudiar el comportamiento de un elemento estructural sometido a una carga unidireccional. Se puede medir el desplazamiento que se produce en el elemento, así como el momento que actúa en él. El aparato es muy versátil y puede utilizarse para estudiar el comportamiento de diferentes tipos de elementos estructurales.

Ejemplos de portadas de material didáctico digitalizado, que se elabora en el Laboratorio de Modelos Estructurales. UAM-A

La concurrencia del interés académico de profesores de ingeniería civil, arquitectura y diseño industrial, así como la colaboración de ingenieros de sistemas y diseñadores gráficos, todos ellos con la visión de un objetivo común, ha hecho posible esta nueva experiencia que pretende cubrir un hueco importante en la aplicación de medios didácticos innovadores que faciliten la comprensión del fenómeno estructural dentro del currículum universitario.

Es necesario mencionar la importancia de la asesoría y asistencia técnica siempre valiosa del personal de la empresa Harry Mazal, que suministró el sofisticado equipo de línea que complementa el inventario del Laboratorio.

4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

4.1 Análisis de proyectos de referencia.

Aparatos realizados por el arquitecto José Creixell.

El arquitecto mexicano José Creixell, catedrático de la UNAM por varias décadas, ha realizado en el área de cálculo estructural y mecánica de suelos, y con sus propios recursos, una importante labor de experimentación e investigación sobre la actividad sísmica en México y el estudio del comportamiento de los elementos estructurales bajo los efectos de los sismos y de diversos tipos de esfuerzo, dejando constancia de sus conclusiones en varios libros escritos por él y editados en México.

Paralelamente, el arquitecto Creixell desarrolló una serie de aparatos con el propósito de apoyar sus teorías. Con aparatos de sencilla manufactura, el investigador ha podido visualizar el comportamiento de columnas sujetas a carga, las características de trabajo de los muros de contención bajo el empuje del terreno, la respuesta de estructuras ante la acción de un sismo, etc. Los aparatos y mecanismos, realizados en colaboración con el ingeniero Augusto Bozzano, se agrupan en dos categorías. En el año de 1982 fue realizado un levantamiento de estos equipos. La memoria de trabajo, consigna el análisis, levantamiento fotográfico y dimensional, con el fin de conformar una referencia básica para la implementación del Laboratorio de Modelos estructurales.²⁰

Relación de aparatos.

El levantamiento gráfico y fotográfico, se realizó procediendo a dividir los aparatos del arquitecto Creixell en dos grupos:

- Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales.
- Aparatos con Mecanismos de Precisión. Cuya función es detectar, registrar y medir (cuantificar) los movimientos y efectos producidos por la actividad sísmica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

²⁰

Apéndice D. Moreno Tamayo Carlos H. / Salinas Rocha Javier E. Memoria de Trabajo. *Serie Laboratorio de Modelos Estructurales. Prototipos de Experimentación 2ª. Parte. aparatos realizados por el Arq. José Creixell.* CyAD. UAM-A. 1982.



Grupo a)

Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales

- a.1 Mesa vibratoria de estructuras
- a.2 Mecanismo para probar vigas a flexión
- a.3 Mecanismo para probar columnas a compresión
- a.4 Mecanismo para Demostrar el comportamiento de losas perimetrales
- a.5 Aparato para estudiar las propiedades de muros de contención
- a.6 Aparato para estudiar el comportamiento del terreno bajo el empuje de cimentaciones.

Foto: Mesa vibratoria de estructuras.
Arq. José Creixell

Grupo b)

Aparatos con Mecanismos de Precisión. Se incluyen dentro de este grupo:

- b.1 Osciloscopio
- b.2 Sismoscopio
- b.3 Sismógrafo unidireccional
- b.4 Trepidómetro
- b.5 Acelerómetro.

Foto: Sismógrafo unidireccional
Arq. José Creixell

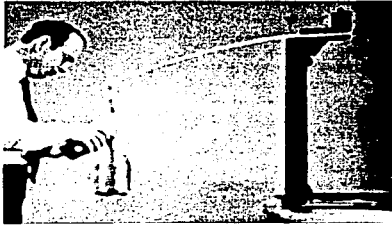
El levantamiento de los aparatos de referencia, fue realizado por el diseñador Industrial Javier Salinas Rocha durante el período de servicio social coordinado por quien suscribe y que prestó a la División de Ciencias y Artes para el Diseño como requerimiento previo a su titulación en el año de 1982, incorporándose al proyecto al siguiente año en calidad de docente. El trabajo de investigación realizado entonces incorpora la relación puntual de cada uno de los aparatos, indicando en cada caso: nomenclatura, objetivo, fundamentación teórica, descripción física y secuencia de operación.

La documentación realizada en el levantamiento se complementa con fotografías de cada aparato y los planos geométrales suficientes para su reproducción, si se juzgara necesaria. El Apéndice D contiene la información detallada arriba relacionada.

Material Fílmico del Acervo Audiovisual de la Coordinación de Servicios de Información (COSEI) de la UAM -A.

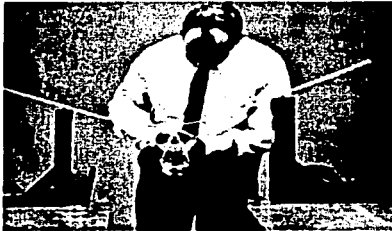
Se trata de una serie de filmes que abordan el tema del trabajo estructural y la resistencia de las estructuras a la aplicación de fuerzas externas e internas desde diversos puntos de vista. Ilustra los tipos de fuerzas estáticas, dinámicas, aerodinámicas y térmicas a las que pueden ser sometidas las estructuras y en qué momento el equilibrio entre la resistencia de éstas y las fuerzas aplicadas puede perderse produciendo deformaciones, fracturas o bien el colapso de la pieza o del sistema. Por otra parte pone de manifiesto que el comportamiento de los sistemas estructurales depende, en gran medida, de las características de los materiales de los elementos que los integran y por consecuencia, cuáles son idóneos para el tipo de estructura propuesto. Igualmente son analizadas las distintas formas de respuesta a las solicitaciones de carga de acuerdo a sus propiedades de trabajo y resistencia a la deformación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

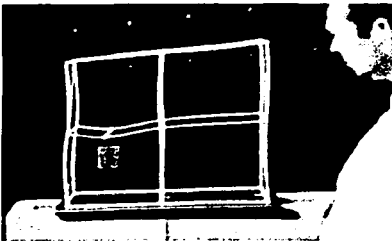


Fueron analizados seis filmes de la serie "Mechanics of Structures and Materials", producidos por el Departamento de Ingeniería Civil y de la División de Arquitectura del Virginia Polytechnic Institute, con el apoyo de la National Science Foundation, Estados Unidos de América ²¹.

1. Loads on structures.
2. Behavior of structural materials.
3. Tensile & compressive structures.
4. Beams & frames.
5. Grids & Plates.
6. Membranes & Shells.

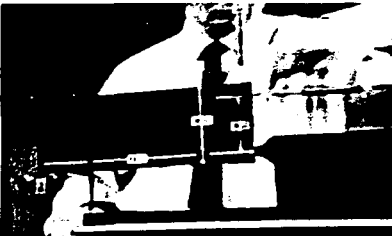


La presentación de este material implica una secuencia que inicia en el análisis de los principios básicos del trabajo estructural de los componentes elementales de los edificios (cimientos, columnas, vigas, barras) y los esfuerzos simples y compuestos desarrollados por ellos. Continúa con la descripción del trabajo de sistemas estructurales de mediana complejidad (marcos, armaduras, losas reticulares y planas, estructuras de membrana etc.), explicando los fundamentos teóricos correspondientes con numerosos modelos didácticos y haciendo referencia a ejemplos de construcciones reales donde se aplican los principios tratados.



De esa manera se muestra el comportamiento de los materiales de construcción sometidos a compresión y tracción, y a la influencia por cambios de temperatura y velocidad de carga. La distinción entre varios tipos de comportamiento mecánico están ilustrados con modelos simples por el doctor Robert A. Heller, profesor de ingeniería mecánica del Virginia Polytechnic Institute. Muestra las diferencias entre materiales elásticos, plásticos, quebradizos y escurridizos.

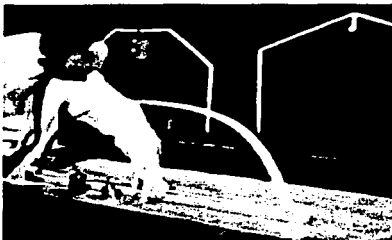
TESTES CON
BARRA DE ORIGEN



Se introduce el concepto del momento de inercia, examinando la sección transversal de elementos con áreas idénticas pero disposición geométrica distinta. La influencia del módulo de elasticidad sobre las deformaciones se demuestra en vigas de diferentes metales. Del mismo modo se hace patente cómo elementos unidimensionales pueden, combinados entre sí, dar sustento a láminas delgadas, creando un sistema de marcos y losas.

El valor formal de las estructuras es tratado de manera particular. Se ilustra abundantemente el comportamiento y los mecanismos de soporte de carga de estructuras curvas resistentes por su forma, tales como membranas, cascarones delgados y armaduras de tres dimensiones.

²¹



Presenta sugerencias para el uso del material en cuanto al nivel escolar y su aplicación en cursos de estática, resistencia de materiales y cálculo estructural. Finalmente se complementa con preguntas de estudio para la comprobación de la comprensión de los temas expuestos por parte del alumno.

El material de referencia ha sido una de las fuentes de mayor aportación al Laboratorio de Modelos Estructurales por su estructuración y contenido.

Archivo filmográfico COSEI/UAM-A

Organizado en una secuencia ascendente en cuanto al grado de dificultad de los temas abordados, da un sencillo tratamiento a los aspectos teóricos reforzando el aprendizaje mediante el uso de modelos y aparatos de fabricación muy simple pero hábilmente diseñados, lo cual confiere a esta serie una gran calidad y sentido didáctico.

El formato original de cinta de celuloide de 16 mm. ha sido transferido por el Laboratorio de Modelos como parte de su programa de trabajo, a videograbación VHS, traduciendo y doblando voz al español en algunas de las películas para ser reintegradas al Acervo Audiovisual de la COSEI como material de apoyo a la carrera de arquitectura. El guión de estos filmes puede consultarse en el **Apéndice E**.

Laboratorio de Estructuras. Facultad de Arquitectura. UNAM.

Originalmente concebido como Taller de Cubiertas Laminares, por el arquitecto José Mirafuentes a principios de los años mil novecientos setenta, significó desde su inicio un espacio académico de vanguardia para el estudio de las cubiertas ligeras. El día de hoy y desde hace varios años, es conducido por el doctor Juan Gerardo Oliva, destacado catedrático, como un espacio de análisis y experimentación aplicado al apoyo de las actividades de docencia e investigación de la propia Facultad.

El doctor Juan Gerardo Oliva Salinas es responsable del Laboratorio de Estructuras,²² que se encuentra ubicado en la planta baja del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura, en Ciudad Universitaria. Su misión es la generación de nuevo conocimiento aplicando la geometría estructural al diseño arquitectónico, fomentando el conocimiento y el uso de nuevos materiales y de sistemas estructurales contemporáneos en la concepción y diseño de cubiertas ligeras.²³

La actualización de los conceptos existentes en materia de análisis y diseño estructural y la formación de investigadores y especialistas en el área de tecnologías estructurales son parte de los objetivos planteados por el Laboratorio. Del mismo modo, entre las tareas que en él se realizan, forma parte importante el apoyo a la realización de tesis de Licenciatura, Especialidad, Maestría y Doctorado que se inserten en esta área de investigación.

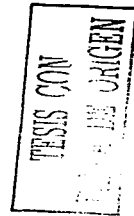
Se han desarrollado proyectos de investigación con la colaboración y el apoyo de algunas instituciones y dependencias como la DGAPA, el CONACYT, el Instituto de Astronomía, el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial y la Facultad de Ingeniería, todos referentes a nuevas tecnologías estructurales, cubiertas ligeras y módulos temporales utilizados en distintas actividades; éstos se han diseñado aplicando diversos sistemas estructurales contemporáneos, tales como: velarias, cascarones, vigacables, tensegrity, y estructuras de tijera, entre otros. El equipo de trabajo está conformado por investigadores, estudiantes de Licenciatura (becarios, servicio social y práctica profesional supervisada), alumnos de Especialización, de Maestría y de Doctorado.²⁴

El acervo está constituido no solamente por bibliografía especializada sino por un número importante de maquetas de estudio mediante las cuales se clasifican tipológicamente distintas de estructuras de membrana y tridimensionales con posibilidad de cubrir grandes

²² Laboratorio de Estructuras. Facultad de Arquitectura. UNAM. Sitio web: <http://ciepfa.posgrado.unam.mx/estructuras/laboratorio.htm>

²³ Fuente: Página web Publiciep. Año 3 No.1, Facultad de Arquitectura. UNAM, México, mayo 22 de 2002.

²⁴ Página web Publiciep. *Ibid*.



claros. Entre ellas destacan las mencionadas velarias y las neumáticas que son estructuras de membrana que trabajan básicamente a la tracción, a partir de sencillos elementos modulares que pueden agruparse para conformar sistemas de cierta complejidad. Los cascarones constituyen estructuras rígidas resistentes a la compresión, ejemplificados en piezas de simple o doble curvatura. En esta categoría se incorporan los paraboloides hiperbólicos que el arquitecto Félix Candela propuso a mediados del siglo pasado con gran éxito en virtud de sus ventajas resistentes, económicas y plásticas.

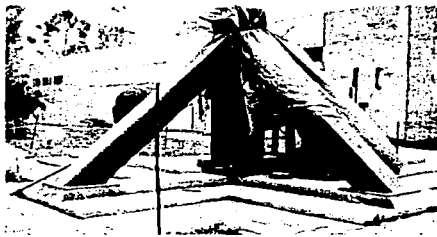
Otro capítulo importante es el de las armaduras tridimensionales, sean planas o curvas, haciendo énfasis en las cúpulas geodésicas que desarrolló Buckminster Fuller en los primeros años de la segunda mitad del pasado siglo. El desarrollo de las estereoestructuras a nivel mundial ha sido ampliamente difundida, especialmente en obras de grandes proporciones. Por su grado de interés y su potencial desarrollo, el sistema de cables y barras trabajando a tracción y compresión puras, conocido como "tensegrity", ha merecido especial atención del Laboratorio, a pesar de que su aceptación en la industria de la construcción es muy limitada.

El trabajo realizado en él se ha dirigido también a la asesoría y cálculo de proyectos profesionales externos y de la propia Universidad. Un ejemplo de ello es la cubierta del patio central del Palacio de Minería, resuelta exitosamente con una velaria que fue diseñada por el doctor Gerardo Oliva y el arquitecto Ernesto Natarén. Las implicaciones de resistencia a las tensiones en la estructura original para el apoyo de la nueva cubierta en este antiguo edificio catalogado, joya arquitectónica del Centro Histórico de la Ciudad de México, confieren al proyecto un alto grado de dificultad en la solución estructural y constructiva, que bien habla del nivel de calidad profesional de los académicos de esa Facultad.

La propuesta didáctica y la organización del trabajo docente y de investigación del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, constituye una referencia obligada en la planeación de las estrategias de trabajo y las expectativas de desarrollo del Laboratorio de Modelos Estructurales de nuestra Institución. Especialmente por lo que se refiere a la fase de apoyo a los proyectos terminales de alumnos de los últimos dos trimestres de la carrera, donde el Laboratorio pretende ofrecer, en una próxima etapa proyectada a mediano plazo, las facilidades de asesoría, equipo de simulación y espacio, para la experimentación de las propuestas estructurales de sistemas arquitectónicos integrales.

Laboratorio de en Estructuras de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM - Azcapotzalco.

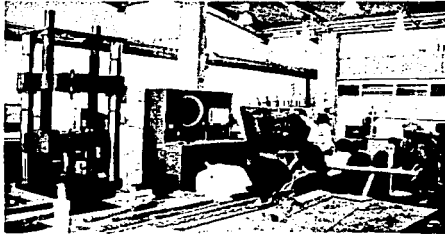
A pocos años de la fundación de la UAM Azcapotzalco en 1974, se estableció el Laboratorio de Estructuras para la carrera de ingeniería civil. Se trata de una nave tipo industrial donde se encuentran una serie de aparatos para la prueba de resistencia de materiales, tales como prensas, torsiómetros, tensómetros y otros, donde se someten a esfuerzo probetas de concreto, madera y acero para determinar sus límites de resistencia a la deformación o a la falla o ruptura.



*fotos Laboratorio de Materiales, CBI
División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
UAM-A.*

En este espacio se prueban diversos tipos de elementos o estructuras a tamaño natural con propósitos de investigación y docencia, sin embargo, como se ha apuntado en el capítulo 2 de antecedentes, su utilidad para fines didácticos es limitada ya que se trata de un laboratorio de pruebas de materiales de corte convencional que requiere de ciertos insumos y de tiempos amplios en la preparación de las probetas, generalmente a escala 1:1. Por esta razón se utiliza en proyectos muy específicos atendiendo a pequeños grupos de alumnos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Tales limitaciones pueden ser superadas con la creación de un laboratorio didáctico con un enfoque no distinto sino complementario, donde los aparatos y prototipos de experimentación tienen el propósito de simular situaciones reales de fuerzas aplicadas a elementos estructurales. Es ese el caso del Laboratorio de Modelos Estructurales, que se caracteriza por la flexibilidad en la manipulación directa de los modelos, la repetición ilimitada de los experimentos y la utilización de material didáctico audiovisual de apoyo.

Por supuesto, la instalación de un espacio de este tipo no pretende sustituir las posibilidades didácticas de un laboratorio de pruebas de materiales, sino complementarlo y enriquecerlo en el particular propósito de apoyo a la docencia.

Este proyecto está dirigido hacia todas las asignaturas relacionadas con el uso de materiales y estudio de las estructuras. Igualmente, pretende ser un auxiliar en la comprensión de la importancia del sistema estructural como parte integral de las propuestas de proyecto arquitectónico. Es evidente que la planeación y puesta en marcha de un proyecto como éste debe considerar las particularidades y alcances de cada una de las unidades de enseñanza aprendizaje del currículum. Por es razón se ha considerado importante la revisión de los programas de estudio correspondientes.

4.2 Análisis de documentación curricular.

Programas de estudio.

Carrera de Arquitectura.

El Plan de Estudios de la carrera de arquitectura se estructura en tres etapas y doce trimestres:

- | | | |
|----|---------------------------|----------------|
| 1. | Tronco General | |
| 2. | Tronco Básico Profesional | |
| 3. | Áreas de Concentración: | a) Planeación |
| | | b) Desarrollo |
| | | c) Realización |

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

El **Tronco General** está constituido por los dos primeros trimestres y en esa etapa los contenidos de las distintas unidades de enseñanza-aprendizaje pretenden fincar las bases de la formación elemental común a las tres carreras de diseño, para que a partir del tercer trimestre cada carrera aborde su temática específica en el **Tronco Básico Profesional**. Esta segunda etapa tiene una extensión del tercero al noveno trimestres (siete en total) y en ella se dosifican las distintas asignaturas teóricas, metodológicas y tecnológicas en las que el modelo general del proceso de diseño se apoya para la formulación de las propuestas de proyecto en el denominado Eslabón Operativo, espacio académico que funciona como un taller de proyectos donde deben concurrir los resultados de la investigación del caso y el problema a resolver, así como los conocimientos teóricos y tecnológicos necesarios para lograr ese objetivo.

La etapa final de la carrera la constituye el **Tronco Integral**, donde puede el alumno incorporarse a cualquiera de las **Áreas de Concentración** anteriormente señaladas dependiendo de su interés por especializarse en alguna de las etapas del proyecto y la obra edificada. En estos tres trimestres finales, se realizan ejercicios integrales de proyecto, desde la investigación de un problema determinado, la definición del concepto proyectual y la formulación del programa arquitectónico, hasta el desarrollo total de planos, maquetas y documentos que constituyen un proyecto arquitectónico profesional. En lo relativo al estudio de las estructuras, es en el Tronco Básico Profesional donde se ubica el estudio de la estática, la resistencia de los materiales y el cálculo estructural. El análisis de la tecnología de la construcción y de los sistemas estructurales complementan las asignaturas de esa temática.

Programas de estudio del Tronco Básico Profesional.**ESTÁTICA.**

Licenciatura en arquitectura

Trim. V

Taller Interdisciplinar

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Analizará el equilibrio estático de los elementos estructurales.

A partir del conocimiento técnico interdisciplinario y el logro del objetivo anterior, demostrará la aplicación de dicho conocimiento para el desarrollo de proyectos arquitectónicos.

Tomando en cuenta el análisis de los criterios básicos de diseño de armaduras de madera y acero. Planeará alternativas de solución a problemas de complejidad creciente.

Contenido sintético

1. Fuerzas, esfuerzos simples y sistemas de fuerzas: conceptos, representación y ejercicio.
2. Equilibrio, diagrama de cuerpo libre y apoyos: conceptos, representación y ejercicios.
3. Problemas de aplicación en armaduras de complejidad creciente.
4. Criterios básicos de diseño de armaduras en madera y acero.

Apoyo del LME.

Videograbación: Estructuras a tensión y compresión.

Comprobación del concepto de esfuerzos simples de tensión y compresión. Aparatos: SD08 Cable con carga fija y/o rodante; SD10 Curva catenaria (cable con pesas); SD11 Curva parabólica (cable con pesas); SD37 Arco dovelado.

Identificación del tipo de esfuerzo que desarrollan los elementos de una armadura: SD12 Armadura simple (3 elementos); SD13 Armadura simple (5 elementos); SD14 Armadura con elementos flexibles; STR8 Armaduras con nodos.

RESISTENCIA DE MATERIALES I.

Licenciatura en arquitectura

Trim. VI

Taller Interdisciplinar

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Analizará la estabilidad de los elementos estructurales.

El logro del objetivo anterior y el conocimiento técnico interdisciplinario, le permitirán demostrar el desarrollo y aplicación de dicho conocimiento en un proyecto arquitectónico. A partir de la evaluación de los criterios básicos de diseño para vigas y columnas, preparará alternativas de solución a problemas de complejidad creciente.

Contenido sintético

1. Propiedades de las secciones planas, esfuerzos y deformaciones: conceptos, representación y ejercicios.
2. Reacciones y equilibrio de barras de flexión: conceptos, representación y ejercicios.
3. Fuerza cortante y momento flexionante. conceptos, representación y ejercicios.
4. Criterios básicos de diseño para vigas y columnas.

Apoyo del LME.

Videograbación: Comportamiento de los materiales estructurales.

Análisis de deformación en materiales por temperatura. Aparatos: SD01 Banda plana con base; SD02 Banda curva con respaldo. Demostración del trabajo de vigas y columnas: SD06 Columna metálica flexible; SD05 Viga metálica flexible. Fuerzas internas, explicación del concepto de esfuerzo cortante: SD25 Marco con membrana; SD15 Viga en voladizo (t-c); SD17 Viga simple y estratificada con apoyos rodantes; SD24 Columnas con diferente tipo de apoyo; STR3 Momento cortante en viga. STR2 Momento flexionante en viga. STR12 Pandeo en columnas. SD28a y b Barras para demostración del esfuerzo de torsión.

RESISTENCIA DE MATERIALES II

Licenciatura en arquitectura

Trim. VII

(Cubiertas especiales)

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Conocerá los conceptos básicos de la resistencia de materiales.

A partir del conocimiento técnico interdisciplinario, demostrará su aplicación para el desarrollo del proyecto arquitectónico, apoyado en el análisis matemático de elementos estructurales.

Demostrará su habilidad psicomotora en el trazo e interpretación de diagramas.

Fundamentado en el análisis de los criterios básicos de diseño estructural para elementos continuos de concreto reforzado y acero, diseñará alternativas de solución a problemas de complejidad creciente.

Contenido sintético.

1. Análisis de estructuras hiperestáticas: conceptos, representaciones y ejercicios.
2. Aplicación de métodos numéricos.
3. Trazo e interpretación de diagramas.
4. Criterios básicos de diseño estructural para elementos continuos de concreto reforzado y acero.

Apoyo del LME.

Videograbación: Vigas y marcos.

Comprobación de los efectos de la continuidad de vigas y columnas en estructuras de marcos. Aparatos: SD18 Sistemas de vigas continuas; SD19 Marcos con diferentes tipos de apoyo; SD20 Tres tipos de marcos; SD21 Estructura de marcos múltiples; SD22 Arco flexible.

De las materias que forman parte del programa de estudios de la carrera, en el área de tecnología para las edificaciones, la estática y la resistencia de materiales están consideradas como materias básicas para la solución de problemas estructurales arquitectónicos.

Estas unidades de enseñanza aprendizaje deben proporcionar a los alumnos los conceptos de la física que expliquen el comportamiento mecánico de los materiales y de los elementos estructurales para lograr soluciones arquitectónicas que sean resistentes, estéticas, confiables, económicas y funcionales²⁵.

Entre los conceptos de la estática que debe comprender el alumno para analizar una estructura están los de la resultante de un sistema de fuerzas, equilibrio de fuerzas, momento de la fuerza y otros que son de gran utilidad en la solución de problemas estructurales, como tracción y compresión.

Para la resistencia de materiales es importante que el alumno comprenda cómo trabajan los materiales estructurales, cómo se determinan las propiedades mecánicas de las secciones y qué acciones mecánicas internas producen las fuerzas externas en esas secciones en traveses, losas, columnas, zapatas y muros, en función de su esfuerzo y deformación. Entre estos conceptos se pueden mencionar: elasticidad, plasticidad, ductilidad, límite elástico, módulo de elasticidad, límite de fluencia, centro de gravedad, ejes principales de la sección, momento de inercia, radio de giro, módulo de sección, fuerza cortante, momento flexionante y momento de torsión.

Para facilitar la comprensión de estos conceptos a los alumnos de la carrera de arquitectura, el Laboratorio de Modelos Estructurales tiene como objetivo mostrar experimentalmente por medio de los aparatos adquiridos o diseñados, algunos de los conceptos estructurales anteriormente apuntados que, por lo general son difíciles de explicar para el profesor y difíciles de comprender por los alumnos durante la exposición en el salón de clases.

25

García Malo Carlos. *Presentación del Laboratorio de Modelos Estructurales*. UAM-A. Noviembre 22 de 2001.

CÁLCULO ESTRUCTURAL.
Taller Interdisciplinar

Licenciatura en arquitectura Trim. VIII

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Analizará comparativamente el comportamiento de los elementos estructurales. Calculará los esfuerzos de los elementos mencionados y su trabajo conjunto con el fin de diseñar una obra arquitectónica. Considerando los detalles estructurales, preparará planos con base en plantas de cimentación y entrepisos.

Contenido sintético.

1. Diseño y análisis estructural: proyecto de casa habitación de 1 a 2 niveles.
2. Análisis y bajada de cargas: determinación de acciones (permanentes, accidentales y variables).
3. Cálculo estructural y memoria de cálculo: losas, trabes, columnas, zapatas y contratrabes.
4. Elaboración de planos estructurales: planta cimentación y entrepisos, detalles estructurales.

Apoyo del LME

Aplicación de los temas anteriormente vistos.

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN IV.

Eslabón Tecnológico

Licenciatura en arquitectura Trim. VII

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Explicará los conceptos básicos sobre cimentaciones superficiales y profundas. Analizará el porqué son requeridas dichas cimentaciones en edificaciones y en distintos tipos de suelo. A partir de parámetros referentes al comportamiento estructural, seleccionará las alternativas más idóneas de cimentación utilizables en diversos grados de complejidad de las edificaciones.

Contenido sintético.

1. Estudio de los diferentes tipos de condiciones del terreno.
2. Tipos de cimentaciones: superficiales, en concreto, mampostería, etc.
3. Cimentaciones de contención y mixtas.
4. Cimentaciones profundas: substitución, flotación, pilotes, cajas de cimentación, pilas, etc.

Apoyo del LME.

Análisis del comportamiento del terreno: hincado de pilotes, muros de contención. Aparatos: SD30 Caja de arena con tolvas. SD31 Caja de registro de bulbos de presión.

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN V.

Eslabón Tecnológico

Licenciatura en arquitectura Trim. VIII

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

Analizará diversos sistemas estructurales. A partir de la necesidad de cubrir medianos y grandes claros en condiciones de terreno y función diversas, evaluará alternativas estructurales de diverso grado de complejidad. A través de la comprensión del comportamiento de estructuras de géneros diversos (losas de concreto planas, reticulares, superficies regladas, lonarías, etc.), seleccionará aquellas alternativas que permitan dar solución a diferentes requerimientos arquitectónicos. Contrastará los criterios estructurales de diversos tipos de carga y esfuerzos en los distintos ámbitos del territorio nacional.

Contenido sintético.

1. Estructuras en concreto armado.
2. Estructuras en acero
3. Estructuras mixtas.
4. Estructuras en madera.

Apoyo del LME.

Videograbación: Reticulas y losas.

Revisión de las diversas posibilidades de trabajo de las losas planas y reticulares así como cubiertas de claros medianos y grandes.

Aparatos: SD33 Bastidor para losas perimetrales, reticulares, arcos y bóvedas; SD36 a, b y c; Superficies regladas, tensadas y neumáticas; SD34 a, b y c Trabelosas.

SISTEMAS ESTRUCTURALES.

Laboratorio de Diseño

Licenciatura en arquitectura

Trim. IX

Objetivos**Al finalizar el curso el alumno:**

A partir del concepto de estructura, diferenciará las relaciones de espacio-estructura-elementos constructivos.

Tomando como referencia las relaciones entre sistemas de fuerzas y portantes, distinguirá el tipo de esfuerzos que se producen en una estructura.

En base a la identificación de prototipos estructurales analizará comparativamente los puntos de vista referentes a formas, mecánico y constructivo.

Contenido sintético.

1. Concepto de estructura y sus relaciones con el resto de la obra arquitectónica.
2. Relaciones entre sistemas de fuerzas y sistemas portantes.
3. Identificación de prototipos estructurales desde el punto de vista formal, mecánico y constructivo.
4. Consideraciones generales de acciones accidentales en las estructuras.

Apoyo del LME.

Análisis de fuerzas incidentales. Aparatos: SD07 Estructura flexible de siete niveles; SD32 Mesa de desplazamiento unidireccional.

Asesoría en el diseño de cubiertas de claros medios y grandes mediante el trabajo de maquetas en taller.

Podemos mencionar algunos de los aparatos que pueden ser de gran utilidad según su tipo:

Los que se relacionan con la **forma activa**: el arco y el cable. La forma estructural queda determinada por el funicular de fuerzas y muestran los efectos de tracción y compresión.

Los que se relacionan con el **vector activo**: la armadura o sección de alma abierta. Muestran las fuerzas en sus barras a tracción o compresión.

Los que se relacionan con la **masa activa**: la trabe, la losa, la losa plegada. Muestran los efectos de deformación, flexión y cortante.

A manera de ayuda, el docente que imparte las asignaturas de estática, resistencia de materiales y estructuras, encontrará en este laboratorio una gran cantidad de material didáctico de apoyo, que permitirá reducir las deficiencias y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.²⁶

Carrera de Ingeniería Civil²⁷

El Área de Estructuras de la carrera de Ingeniería Civil, ha establecido con claridad en su plan de desarrollo la necesidad de proporcionar a sus estudiantes una enseñanza de excelencia, acorde con las exigencias del país y congruente con las metas que la propia Universidad se ha fijado. Para ello, ha establecido una serie de actividades que buscan finalmente generar profesionistas bien preparados, capaces de identificar claramente los problemas, resolverlos con los recursos tecnológicos disponibles y aptos para asimilar los nuevos conocimientos que el medio académico y profesional desarrolla.

A este respecto, el Departamento de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, ha considerado de vital importancia contar con herramientas capaces de complementar el proceso tradicional de transmisión del conocimiento vía pizarrón. Una de estas herramientas es el Laboratorio de Modelos Estructurales, que complementará los procesos docentes no solo para ingeniería civil, sino también para las ingenierías relacionadas.

Uno de los más preocupantes problemas es el alto índice de reprobación en algunas asignaturas (Estática, Mecánica de Sólidos I y II, Diseño Estructural I y II, análisis Estructural I y Estructuras de concreto). Además se espera que este Laboratorio apoye también al resto de las asignaturas impartidas por el Área. En ellas, el contenido de los planes de estudio involucra el estudio de fenómenos estructurales concretos, pero que usualmente son abordados solo teóricamente. Si bien ello no justifica el bajo desempeño de los alumnos, plantea la necesidad de buscar métodos complementarios para hacer más asimilables los conceptos. Poder explicar con modelos físicos los problemas planteados en estas asignaturas, despejará al alumno cualquier duda sobre la importancia de conocer los problemas reales por los cuales se ha generado un conocimiento teórico.

Objetivos particulares

- Mejorar el aprendizaje de los principios básicos de la ingeniería estructural y del comportamiento de los materiales al exponer al alumno a la teoría hecha práctica.
- Adiestrar al alumno en la capacidad de relacionar un problema concreto con su equivalente teórico aplicando los conceptos aprendidos en las asignaturas.
- Generar la posibilidad de que el alumno pueda corroborar por sí mismo los fundamentos del comportamiento de los materiales y los sistemas estructurales.
- Abatir el índice de reprobación de los alumnos que cursan asignaturas del Área de Estructuras.

4.3 Conclusiones particulares.

El análisis de la documentación disponible de los Planes y Programas de Estudio de las carreras de Arquitectura e Ingeniería Civil, así como la revisión de los antecedentes investigados, permite identificar con precisión la temática específica de la estática, la resistencia de materiales y el cálculo estructural, como unidades básicas de enseñanza aprendizaje de las estructuras y sus componentes elementales. Tal identificación ha permitido orientar la planeación del Laboratorio de Modelos estructurales, confirmar y precisar sus objetivos, metas, estrategias y plan de trabajo señalados en el apartado correspondiente.

A continuación se señalan los principios físicos que deberán ser atendidos para apoyar el currículo relacionado con la enseñanza de las estructuras y se desglosan los tipos de experimentos necesarios para lograr ese propósito:

Principios físicos.

Centroides y centros de gravedad
Esfuerzo
Momento de Inercia
Tracción
Compresión

Flexión
Torsión
Marcos
Arcos

Momento flexionante
Fuerza cortante

²⁷

Ramírez Centeno Mario. *Presentación del Laboratorio de Modelos Estructurales*. UAM-A., Noviembre 22 de 2001.

Temática de los experimentos.

TEMA: **CARGAS EN LAS ESTRUCTURAS**

Subtema: **Comportamiento de los materiales estructurales.**

Demostrar las características de ductilidad, maleabilidad, fragilidad y resistencia de los materiales ante la acción de agentes como la temperatura o por la acción de cargas dinámicas sobre ellos.

Subtema: **Modos de oscilación y resonancia.**

Demostrar los diferentes modos de oscilación de las estructuras y el efecto de cargas acumulativas al ser excitadas por empuje lateral o por vibración (sismo o motores de acción recíproca).

Subtema: **Sismo.**

Determinar experimentalmente la frecuencia natural de oscilación de estructuras de distinta longitud y rigidez y la deformación de su elástica al ser sometidas a empujes laterales en su base. Asimismo observar el efecto de resonancia por la relación período de oscilación - frecuencia.

TEMA: **ESFUERZOS SIMPLES.** Tracción - compresión.

Demostración del comportamiento de elementos estructurales bajo el efecto de esfuerzos simples: tracción y compresión.

Subtema: **Descomposición de fuerzas**

Demostrar experimentalmente la existencia de componentes en los ejes horizontal y vertical de una fuerza cualquiera. Equilibrio de sistema de fuerzas actuando en un plano.

Subtema: **Ley del paralelogramo.**

Representación matemática de fenómenos relativos a la estática, que tienen como base la acción de tracción y compresión.- Ley del paralelogramo.

Subtema: **Curva Funicular.** Estructuras que trabajan a tracción. Cables.

Propiedades geométricas de las curvas funiculares en función de la distancia de aplicación de las cargas a lo largo del cable. Catenaria y parábola.

Comportamiento de elementos estructurales sometidos a esfuerzos simples combinados: Flexión, cortante, torsión y pandeo.

Subtema: **Armaduras.**

Análisis de los esfuerzos desarrollados por elementos lineales en sistemas coplanares de fuerzas: Armaduras. Efecto rigidizante de la triangulación en una armadura simple de nodos articulados. Efecto rigidizante en los nodos de una armadura.

Subtema: **Marcos.**

Demostrar la distinta deformación que sufre un marco al recibir empuje horizontal según sea la condición de empotre o articulación de su cimentación.

Mostrar el efecto de la continuidad de los elementos de una estructura al recibir carga en uno de sus marcos. Observar la distinta resistencia de los marcos a la deformación, en función de su geometría y la rigidización de sus nodos.

Subtema: **Arcos.**

Elementos y estructuras trabajando exclusivamente a compresión. Acción de la compresión en columnas cortas. Características de trabajo del arco dovelado compuesto por bloques rígidos independientes al recibir carga vertical.

TEMA: **ESFUERZOS COMBINADOS.** Tracción - compresión.

Fuerzas internas en los elementos de una estructura, al combinarse en un mismo elemento tracción y compresión. En vigas, en columnas largas, en marcos y en marcos. Estructuras

de marcos múltiples. Flexión en vigas, en marcos, en arcos, en columnas. Flexión en elementos curvos, rígidos y continuos.

TEMA : **ESFUERZOS COMBINADOS. Cortante.**

Manifestación de cortante en un plano, como producto de la combinación de tracción y compresión Cortante longitudinal en vigas. Concepto de trabajo a tracción o compresión en las fibras superiores e inferiores del elemento. Eje neutro.

Cortante transversal en vigas. Acero de refuerzo en elementos de concreto armado. Falla por cortante. Falla por fluencia del acero.

TEMA: **MOMENTO INERCIA.**

Concepto de momento de inercia. Análisis de las características mecánico estructurales de diversos materiales de acuerdo a su sección transversal y a la capacidad que presentan para soportar esfuerzos elásticos: Momento de inercia y módulo de elasticidad. Resistencia relativa a la carga con la misma área y misma sección pero distinta posición en el espacio. Propiedades de secciones geométricas

TEMA: **CIMENTACIONES**

Resistencia del terreno. Efectos de la penetración de elementos puntuales en el subsuelo. Condiciones de trabajo de los muros de contención. Empujes verticales y laterales. Efectos de inestabilidad en una estructura al ser socavado el terreno.

TEMA: **RETICULAS Y LOSAS**

Principios del comportamiento de losas laminares y reticulares. Losas perimetralmente apoyadas. Deformaciones por carga.

TEMA: **MEMBRANAS Y CASCARONES**

Estructuras laminares de superficie activa sujetas a tracción y compresión. Superficies de curvatura simple. Superficies de doble curvatura. Características de trabajo. Bóvedas, cúpulas, regladas, tensadas o velarias, neumáticas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. DESARROLLO DEL PROYECTO.

En octubre de 1998 se inició el proyecto académico para la recuperación de archivo y material relativo al Laboratorio de Modelos Estructurales, por encargo de la Coordinación de la Carrera de Arquitectura, con el propósito de iniciar el acopio de aparatos y modelos didácticos aplicables a la demostración de efectos de los esfuerzos en las estructuras. En el mes de enero de 1999 se realizó un seminario para promover el proyecto entre los profesores interesados en la enseñanza de las estructuras. Se llevaron a cabo varias sesiones tendientes a organizar el listado de aparatos necesarios para apoyar las U.E.A. correspondientes e identificar cuáles serían susceptibles de fabricar en la propia Universidad y cuáles podrían adquirirse de proveedores, en tanto pudieran concretarse las fuentes de financiamiento.

Mientras tanto, se inició la realización de modelos sencillos que permitieran mostrar la factibilidad de fabricación de aparatos de experimentación con recursos mínimos. Tales aparatos fueron:



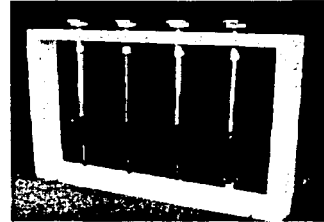
a) Arco Dovelado.



b) Armadura simple.



c) Aparato para la deformación de marcos rígidos.



d) Aparato para la demostración del principio de Euler, respecto de la deformación de columnas largas (pandeo).

Estos modelos fueron complementados con textos de apoyo en el aspecto teórico y descriptivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1 Selección y adquisición de aparatos de línea.

Como siguiente etapa del desarrollo de este proyecto y considerando la posibilidad de disposición de recursos aportados por FOMES (Fondo de Fomento a la Educación Superior, S.E.P.), en el periodo escolar del año 2000 se iniciaron las reuniones de trabajo a fin de implementar la planta física del Laboratorio, para lo cual se estableció la siguiente metodología:

- a) Identificación de las diversas UEAS factibles de ser apoyadas por el Laboratorio. Identificación de los rubros temáticos de cada UEA necesarios de explicar vía experimentos.
- b) Revisión de los catálogos de proveedores y entrevista con sus representantes para seleccionar el equipo considerado idóneo para cada apartado temático. Estudio de la propuesta del proveedor y selección definitiva en función de la capacidad presupuestal.
- c) Estudio de mercado para la selección del mobiliario y equipo complementarios. Selección de proveedores con un criterio de equilibrio en la relación costo-calidad-beneficio. Gestión para solicitar aparatos, equipo y mobiliario a través de un solo proveedor a fin de garantizar la puesta en marcha de las simplificando la entrega a la UAM.

Para lograr lo anterior se llevaron a cabo diversas sesiones de planeación y estudio con los profesores Juan Guillermo Gerdingh L., Fernando Marcial y Carlos García Malo, integrantes del equipo de investigación, así como con los profesores Oscar M. González Cuevas y Mario Ramírez del Departamento de Materiales de CBI, quienes participan en el proyecto como invitados con el propósito de realizar un convenio interdepartamental que permita al Laboratorio compartir experiencias y beneficios a ambas Divisiones. Igualmente, se efectuaron varias reuniones de trabajo con la empresa Harry Mazal, S.A de C.V., importadora de la marca británica Tequipment de aparatos para laboratorio, en las cuales se estudiaron las propuestas y se definieron los aparatos necesarios, las condiciones de compra-venta y las garantías correspondientes. Se estuvo en contacto en todo momento con la Jefatura de Departamento, la Secretaría Académica y la Coordinación de Arquitectura a fin de informar de los trabajos y solicitar el espacio físico que alojaría al Laboratorio.

A este respecto, se asignó el aula K-004 de forma provisional, toda vez que el área requerida para el proyecto en su fase inicial rebasa los cien metros cuadrados, en tanto que el aula de referencia cuenta con menos de 36m². Otro aspecto a considerar es el relativo a la contratación de un técnico académico o profesor ayudante que pueda apoyar el mantenimiento de los equipos, la aplicación de los experimentos y la atención a grupos en las subsiguientes etapas del proyecto.

Para el equipamiento del Laboratorio fueron hechas tres requisiciones de compra. Las dos primeras para la adquisición de aparatos de línea (series STR y HST) al referido proveedor,

mismo que fungió como intermediario para la adquisición de mobiliario de oficina y equipo complementario de cómputo y multimedia.

Las series de referencia cubren la necesidad de la demostración de casos estructurales que requieren una medición precisa de las fuerzas y las deformaciones de materiales y probetas, pero se ha considerado necesario atender también una fase intermedia de demostración de menos precisión pero de mayor contenido didáctico.

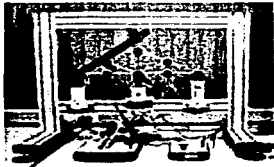
En los primeros días de marzo fue recibido en el Almacén General de la Unidad el mobiliario, equipo y aparatos suministrados. La entrega consistió en dos grupos de aparatos de las series STR (6 unidades con sus accesorios y tres marcos para su montaje) y HST (3 unidades con un marco universal y sus accesorios) que se complementan con posiciones de trabajo para cuatro computadoras, scanner, impresora, cañonera, videogradora y monitor de TV. Se surtieron también una mesa de juntas, anaqueles, pizarrón y sillería, con lo cual el Laboratorio queda en condiciones de operar, si bien el espacio disponible (36 m²) constituye tan solo una tercera parte del área requerida para una adecuada atención a los alumnos. Los aparatos adquiridos del proveedor Harry Mazal S.A. de C.V. son los siguientes:

RELACION DE APARATOS DE LINEA (HST Y STR)

APARATO	CLAVE
Línea HST HI-PLAN2, experimentos nivel 1 (manual)	
Marco Universal	HST1
Equilibrio de fuerzas	HST1/1
Equilibrio de fuerzas paralelas	HST1/2
Equilibrio de fuerzas en viga	HST1/4
Línea STR (electrónica)	
Marco universal	STR1
Despliegue digital de fuerzas	STR1a
Unidad automática de adquisición de datos	STR2000
Momentos flexionantes en viga	STR2
Momento cortante en viga *	STR3
Deflexión de vigas y voladizos	STR4
Armaduras con nodos *	STR y STR8a
Pandeo de columnas	STR12
Flexión plástica en marco *	STR16 y STR16a

Nota: Esta línea de aparatos se describe con detalle en el Apéndice A.

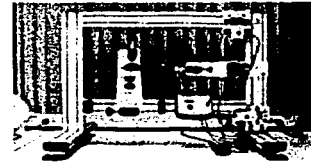
*Imágenes que ilustran algunos aparatos de la línea STR:



STR8. Armaduras con nodos.



STR3. Momento cortante en viga



STR16. Flexión plástica en marco

5.2 Selección y fabricación de aparatos sobre diseño.

El financiamiento otorgado por FOMES, con las dos partidas anteriores quedó ejercido en un 75 %, reservando el resto para la adquisición de los aparatos sobre diseño, siendo necesario presentar en el nivel administrativo de la Unidad, la justificación académica correspondiente para el uso del financiamiento restante.

En el mes de agosto se inició el diseño preliminar de los aparatos en cuestión contando con la asesoría y propuesta de suministro por parte del D.I. Antonio Abad Sánchez. Las fechas de entrega de las dos primeras requisiciones debieron aplazarse para el mes de enero de 2001 por causa de la extensión de los trámites administrativos, en tanto que la tercera debió reprogramarse para el mes de abril del mismo año.

Durante los dos primeros trimestres del año 2001 fueron analizadas las características y especificaciones de los aparatos sobre diseño y supervisado el avance de la fabricación de los tres paquetes de prototipos. En ese proceso pudieron discriminarse materiales y mecanismos, haciendo las correcciones pertinentes para la correcta operación de los aparatos.

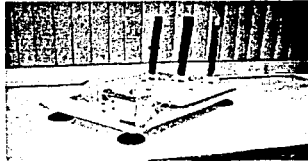
RELACION DE APARATOS SOBRE DISEÑO (SD)

APARATO	CLAVE
Banda plana con base	SD01
Banda curva con respaldo	SD02
Banda curva con topes	SD03
Péndulo, Péndulo invertido *	SD04
Viga metálica flexible	SD05
Columna metálica flexible	SD06
Estructura flexible 7 niveles	SD07
Cable con carga fija y/o rodante	SD08
Cable con doble polea y regla triple	SD09
Curva catenaria (cable con pesas)	SD10
Curva parabólica (cable con pesas)	SD11
Armadura simple (3 elementos)	SD12
Armadura simple (5 elementos)	SD13
Armadura con elementos flexibles	SD14
Fuerzas internas (T-C) voladizo *	SD15
Viga de espuma de poliuretano	SD16
Viga simple y estratificada con apoyo rodante	SD17
a) Viga con dos apoyos	SD18
b) Viga continua	
c) Viga continua articulada	
Marco con diferentes condiciones de apoyo	SD19
Tres tipos de marcos	SD20
Estructura de marcos múltiples	SD21
Arco flexible *	SD22
Anillos a tracción y compresión	SD23
Columnas con diferentes tipos de apoyo	SD24
Marco con membrana	SD25
Viga estratificada en voladizo	SD26
Viga en bloques con eje compresor	SD27
Barra de espuma de poliuretano	SD28
a) Viga rectangular	SD29
b) Vigas I, L, O, C, T, H	
c) Viga de acero, viga de aluminio	
Caja transparente c/ tolvas	SD30
Caja para registro de bulbos de presión	SD31
Mesa de desplazamiento unidireccional	SD32
Bastidor de acrílico, vigas y láminas flexibles	SD33
a) Segmento longitudinal.	SD34
b) Segmento transversal	
c) Lámina suajada (cubierta poliédrica)	
Barra con secciones circulares, elipse, parabólica	SD35
a) Reglada	SD36
b) Tensada (2)	
c) Neumática (2)	

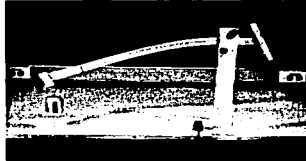
Nota: Esta línea de aparatos se describe con detalle en el **Apéndice B.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*Imágenes que ilustran algunos aparatos de la línea SD:



SD04. Péndulo invertido



SD15. Fuerzas internas (T-C)
voladizo



SD22. Arco flexible

Una experiencia sobresaliente fue que en el proceso de revisión de cada uno de los aparatos, pudieron descubrirse nuevas posibilidades de aplicación en algunos de ellos, adicionales a las inicialmente previstas. Con base en las conclusiones teóricas y de diseño obtenidas por el grupo de trabajo, se hicieron los ajustes del caso y finalmente se dieron por aceptados en lo general, el mes de noviembre, los prototipos realizados. Sin embargo a la fecha se sigue trabajando en el desarrollo de algunos prototipos (10%) que han merecido un estudio de mayor detalle, ya que el funcionamiento esperado aún no se ha logrado totalmente.

5.3 Apoyo teórico y manuales de prácticas.

Simultáneamente con la terminación de los ajustes a los prototipos señalados, los trabajos del seminario se han abocado a la revisión del material y fuentes disponibles realizando acopio de datos para el desarrollo del apoyo teórico de detalle, necesario para dar respaldo y complemento a la línea de aparatos SD. Esta tarea ha permitido que hasta el momento contemos por lo menos con diez aparatos de esa línea que tienen ya el capítulo de teoría en términos de suficiencia. El siguiente paso, una vez concluido el desarrollo teórico de cada uno de los grupos de aparatos, será dar forma a los manuales de prácticas correspondientes, complemento indispensable para estar en capacidad de ofrecer a las U.E.A. relacionadas un auxilio eficaz en las sesiones de laboratorio.

Con el equipo HST y STR no sucede lo mismo, ya que, al ser aparatos de línea, han sido obviamente suministrados con sus respectivos manuales de prácticas y el apoyo teórico necesario. En todo caso, la tarea precedente es la traducción del inglés al español del mencionado material, labor en la que se ha involucrado recientemente el Ing. José de la Cera, del Departamento de Materiales de C.B.I., nuevo integrante de nuestro Laboratorio. Se espera que los trabajos de traducción de doce manuales puedan concluirse en el primer trimestre del año 2003, en tanto que en ese mismo periodo y hasta el segundo trimestre se realizará la capacitación a profesores para la operación de esos mismos aparatos.

5.4 Desarrollo de material didáctico digital para apoyo audiovisual.

Quando se hizo mención de los medios para el aprendizaje (capítulo 3.2 Consideraciones didácticas), se hizo también énfasis en la necesidad de considerar la concurrencia de varios de ellos para integrar un sistema multimedia complementario y diverso. Uno de los medios disponibles de mayor utilidad para el refuerzo del aprendizaje es sin duda el audiovisual que, apoyado en la tecnología digital posibilita el desarrollo de material didáctico interesante y de gran impacto en el observador. Este material se ha empezado a desarrollar en el Laboratorio de Modelos Estructurales desde hace poco más de un año habiendo terminado (aún sin el manual de prácticas) unos diez prototipos, los mismos mencionados arriba respecto del apoyo teórico. Este material se ha estructurado de la siguiente manera:

- a) **Portada.** Identificación de la serie, del prototipo, de las UEA que apoya y los créditos de producción.
- b) **Introducción al tema.** Contextualización del experimento dentro de la temática.
- c) **Fundamentación teórica.** Texto explicativo, fórmulas, diagramas y gráficos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

- d) **Objetivos del experimento.**
- e) **Descripción del modelo.** Referencia a las características físicas de material, dimensiones, elementos constitutivos y accesorios.
- f) **Desarrollo del experimento.** Secuencia operativa señalando las condiciones de trabajo y los efectos esperados. No se trata, salvo excepciones, de la propuesta de ejercicios específicos, sino de líneas generales de desempeño del aparato.

Se han desarrollado bajo este esquema diversos prototipos, contando en este momento con el siguiente material digitalizado:

- SD 12 Armadura simple.
- SD 15 Viga en voladizo.
- SD 19 Deformación en marcos
- SD 22 Arco flexible.
- SD 24 Flexión en columnas
- SD 27 Viga de bloques con eje compresor.
- SD 28 Barra de torsión.
- SD 32 Mesa de desplazamiento unidireccional.
- SD 34 Losa plegada. Trabelosa.
- SD 37 Arco dovelado.

Del mismo modo se ha iniciado en fecha reciente, la digitalización de los manuales del equipo de importación británico marca *Tequipment*, de la serie STR, con los aparatos STR 3 y STR 8. Los manuales están compuestos de dos partes: La guía del asesor y la guía del alumno, atendiendo al orden siguiente:

- a) **Portada.** Identificación de la serie, del prototipo, de las UEA que apoya y los créditos de producción.
- b) **Introducción.**
- c) **Descripción.** Condiciones de operación. Preparación del equipo.
- d) **Experimentos y resultados de muestras.** Se desarrollan uno o más ejercicios. Adicionalmente se hacen sugerencias para trabajo adicional, para el cuidado y mantenimiento del equipo y para la obtención de partes de repuesto.

El detalle del material referido puede consultarse en el **Apéndice C** anexo a este documento.

5.5 Prospectiva.

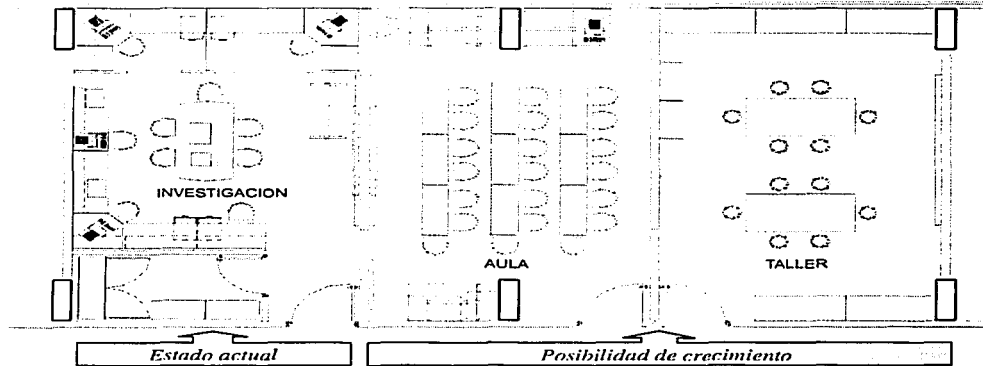
La expectativa inicial para integrar unos cincuenta aparatos, en una primera etapa de adquisición, diseño y fabricación, a desarrollarse en el plazo de dos años, ha sido cubierta casi en su totalidad en el tiempo previsto. Paralelamente se realizó la producción de al menos diez paquetes didácticos digitalizados correspondientes a otros tantos aparatos, donde se expone la fundamentación teórica, la descripción del prototipo y el desarrollo del experimento; todo ello en apoyo a los programas de estudio de las asignaturas relacionadas con el tema.

Los objetivos del Laboratorio han sido planteados basándose en que, en las ramas profesionales a las que dará servicio, el proceso de enseñanza-aprendizaje se ha efectuado tradicionalmente por la transmisión de conocimientos de una manera puramente teórica. Por ello, cada vez es más apremiante apoyar ese proceso mediante el uso de modelos, programas de cómputo, videogramas y elementos multimedia, entre otros recursos que expliquen, aporten y complementen los conocimientos teóricos impartidos por la vía tradicional.

Resulta claro que la elaboración de material didáctico no es en sí mismo un objetivo, sino la aplicación de ese material a la actividad cotidiana de la docencia. **El planteamiento del Laboratorio de Modelos Estructurales carecería de sentido si la salida de su producción no incide finalmente en la formación académica de los estudiantes.**

En este sentido es urgente la ampliación del Laboratorio para dar cabida a los grupos de alumnos que requieren de este apoyo. Se tiene previsto en este punto la adición de un local

contiguo al existente para su funcionamiento como aula, donde se realicen las sesiones normales del currículum tutoradas por el profesor asignado y auxiliadas por el personal del Laboratorio. En ellas se hará la exposición teórica del tema a tratar con el apoyo de material digitalizado complementario y se realizarán ejercicios de demostración y experimentación usando los aparatos referidos. Un tercer espacio anexo lo constituirá un taller destinado a la experimentación de sistemas constructivos y estructurales para los alumnos y profesores de los distintos trimestres, desarrollando integralmente sus proyectos. La suma de las tres áreas significará en total 105 m², espacio necesario para un funcionamiento adecuado de nuestras instalaciones.



Planta arquitectónica: Laboratorio de Modelos Estructurales. UAM-A

Refiriéndonos de nueva cuenta al capítulo 3.2 (Consideraciones didácticas), en él se ha mencionado como altamente recomendable la concurrencia de diversos medios que, en forma complementaria, conformen sistemas organizados de material didáctico para potenciar los resultados que el proceso de enseñanza aprendizaje requiere. En este sentido es largo el camino que nuestro grupo de trabajo debe recorrer para lograr ese propósito.

El común denominador de los prototipos sobre diseño (serie SD) presentados, es la sencillez con que se manifiesta y se percibe en lo general el fenómeno estructural. La causa y el efecto observados a través de la óptica del sentido común más que de la formulación matemática. Por otra parte la línea de aparatos de lectura digital (serie STR) es sin duda un complemento muy conveniente en el dimensionamiento de los esfuerzos en las estructuras. Sin embargo en ambas líneas el número de demostraciones resulta por fuerza muy acotado.

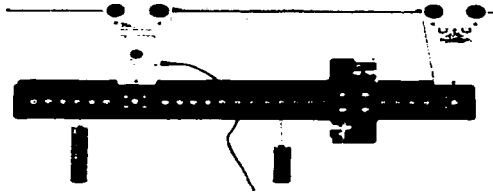
Es aquí donde la posibilidad de la aplicación de la tecnología de realidad virtual se vuelve muy atractiva, en tanto las variables de los experimentos de los elementos estructurales en términos dimensionales, los materiales utilizados, así como las condiciones de carga y apoyo, adquieren la condición de prácticamente infinitas. Con recursos de este tipo se pueden presentar a los profesores y alumnos herramientas sumamente versátiles donde se pueden elegir las características anteriormente señaladas, a la medida de las necesidades del curso en cuestión.

Tal posibilidad presupone desde luego inversión y capacitación importantes que por otra parte no deben ser consideradas inalcanzables. Sus posibilidades de realización dependen ahora de la interacción de las diferentes instancias académicas para hacer de esta expectativa un proyecto viable. La combinación de esfuerzos y especialidades de los distintos talleres y laboratorios dará sin duda los resultados apetecidos en el mediano plazo si se logran coordinar las capacidades individuales en un **proyecto conjunto**.

Proyección interinstitucional.

La importancia del tema, su carácter innovador y la factibilidad de su aplicación inmediata como instrumento didáctico que permitirá cubrir un vacío importante en la comprensión del comportamiento de las estructuras, conforman argumentos suficientes que lo justifican como objeto de estudio y propuesta que debe afinarse para su aplicación curricular sistemática, no solamente en el nivel doméstico sino con posibilidades de interacción con otras instituciones universitarias.

En este mismo sentido, el grupo de trabajo del Laboratorio ha iniciado un programa de difusión de los resultados de su actividad, contactando con instancias académicas y de investigación a nivel nacional, como es el Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (por sus siglas GIS), que agrupa a un número importante de facultades y escuelas de Ingeniería del país, así como con varias universidades e institutos de educación superior que han mostrado interés por el proyecto del Laboratorio. Así, se ha recibido la visita de representantes académicos de instituciones de los Estados de Puebla, San Luis Potosí, de México, de Chiapas y de la UNAM, en tanto que, por otra parte se ha presentado nuestro Laboratorio en diversos foros y eventos en varias plazas del país. Actualmente se acuerdan convenios de vinculación e intercambio académico con la Universidad Autónoma de Yucatán, tendientes a implementar en su Facultad de Arquitectura, instalaciones similares.



*Laboratorio de Modelos Estructurales:
Uso de tecnología, como apoyo a las
carreras de Arquitectura, Ingeniería Civil y
Diseño Industrial.
Detalle aparato STR3. UAM-A.*

6 CONCLUSIONES

El camino iniciado en la promoción y desarrollo de este laboratorio, materializa la vieja quimera de un espacio académico auxiliar para el conocimiento del fenómeno estructural mediante el uso de modelos capaces de hacer tangibles los principios teóricos que lo rigen. El objetivo ulterior es entender al subsistema estructural como una parte consustancial del proyecto arquitectónico o edificatorio, identificado con los subsistemas funcional y formal, en interacción simultánea y armoniosa de un todo llamado obra arquitectónica.

El tema que nos ocupa ha sido analizado no solamente en los más de tres años que se han empleado en el desarrollo del Laboratorio, sino a través de poco más de veinte que han transcurrido desde los primeros pasos del proyecto. Durante ese largo tiempo ha sido posible constatar una y otra vez, no solamente la necesidad de este particular apoyo al currículum relativo a la enseñanza de las estructuras; en una visión de conjunto, queda de manifiesto la gran carencia de todo tipo de ayudas a la enseñanza del diseño en general y de la arquitectura en lo particular. Estamos hablando de talleres de diseño donde los aspectos metodológicos puedan plantearse -más allá de la metodología de investigación- como apoyos didácticos que permitan un mejor tránsito de la idea primigenia del proyecto a su formalización espacial y constructiva, evitando así el muy festinado y angustiante "salto al vacío" que significa el primer trazo del lápiz sobre la virginal superficie de papel en blanco.

Resulta poco comprensible que en un momento histórico -el nuestro- donde la tecnología avanza a pasos agigantados en términos de procesos industriales, de nuevos materiales y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

sistemas constructivos de vanguardia, nuestras instituciones de enseñanza superior permanezcan en el estadio casi medieval donde en las aulas el proyecto se practica casi intuitivamente, sin ejes conductores que lo guíen más allá de su factibilidad funcional y constructiva. Donde el "concepto arquitectónico" resulta ser una expresión inexplicable y la habilidad para el proyecto se delega a la pericia en el uso de la computadora.

Aquí, la reflexión apunta hacia la toma de conciencia de que nuestro sistema educativo universitario de formación profesional debe actualizarse para estar en capacidad de dar respuesta a los retos de desarrollo de una sociedad altamente demandante.

Deben generarse los apoyos necesarios para que la preparación profesional de los futuros egresados pueda corresponder a estándares de calidad más elevados y competitivos internacionalmente. El Laboratorio de Modelos Estructurales, más allá de la temática que le ocupa, debe considerarse uno más de los diversos medios didácticos que es necesario implementar para lograr ese objetivo.

Finalmente, podemos reiterar que en éste, como en muchos otros tópicos académicos, es aplicable el aforismo de que una imagen dice más que mil palabras, sobre todo si, como en este tema, se trata de objetos y dispositivos reales y palpables, donde las fuerzas se pueden percibir y calibrar y sus efectos quedan claramente expuestos a la vista y a la comprobación dimensional directa. Este tipo de recurso didáctico desde siempre ha sido un instrumento altamente apreciado en la enseñanza, pero en la coyuntura actual de la educación resulta indispensable.

Nos anima en este proyecto la convicción de esas premisas identificables con el esfuerzo de grupo y con la determinación institucional de alcanzar una docencia de calidad para la formación integral de los futuros cuadros profesionales que el país y nuestra sociedad necesitan.



7. BIBLIOGRAFÍA.

- Comité de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, CIEES. La educación de la arquitectura en México. CONPES, México 1997.
- De Hoyos Carrasco, Gilberto, et al. ...y 25 años después CyAD Azcapotzalco. CyAD. UAM-A, México 1999.
- Lin, T. Y., Stotesbury S. D. Conceptos y Sistemas Estructurales para Arquitectos e Ingenieros. Editorial LIMUSA, México, 1991.
- Turati Villarán, Antonio. Una Propuesta de Integración de Conocimientos. Facultad de Arquitectura U.N.A.M. México 2000,
- Medina Valenzuela, Mario. Didáctica de las Ciencias Físico-Químicas. Ediciones Oasis, S.A. SEP 1967.
- Berman, Arthur I et al. Nueva Tecnología en la enseñanza de las ciencias. Medios de aprender. Editorial Teide, UNESCO, Barcelona 1975
- Turati Villarán, Antonio, La didáctica del diseño arquitectónico, Facultad de Arquitectura UNAM, México 1993.
- Engel, Heindrich. Sistemas de Estructuras. Editorial Blume, España 1970.
- Moreno, Carlos H. Laboratorio de Modelos Estructurales, Un Espacio para la Experimentación. Revista Construcción y Arquitectura Moderna, Memorias. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. CyAD, UAM-A, México, 1999.
- Moreno, Carlos H. Laboratorio de Modelos Estructurales, 2ª. Parte. Recurso Didáctico para la Enseñanza de la Arquitectura. Revista Construcción y Arquitectura Moderna II. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. CyAD, UAM-A, México, 2000.
- Roberts, N. P. Understanding Structural Mechanics. Hi-Tech Scientific, Londres 1989.
- Durka / Morgan / Williams. Structural Mechanics. Pearson Education Ltd. England 1996.

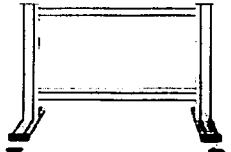




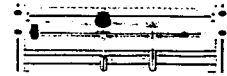
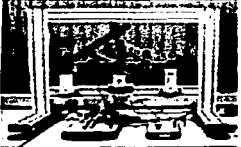
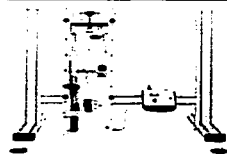
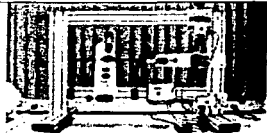
8. ANEXOS.

- 8.1 APÉNDICE A. Prototipos de experimentación de línea (SERIE STR).
- APÉNDICE A. Prototipos de experimentación de línea (SERIE HST).
- 8.2 APÉNDICE B. Prototipos de experimentación sobre diseño (SERIE SD).
- 8.3 APÉNDICE C. Material didáctico digitalizado complementario a las líneas de prototipos de experimentación del Laboratorio de Modelos Estructurales.
- 8.4 APÉNDICE D. Prototipos de experimentación (Catálogo). Serie: Laboratorio de Modelos Estructurales. 2ª. Parte. Cyad UAM-A 1982. Aparatos realizados por el arquitecto José Creixell.
- 8.5 APÉNDICE E. Film Guide Engineering Film Series: Mechanics Of Structures & Materials (6 Films).

APÉNDICE A

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN DE LÍNEA

(SERIE STR)

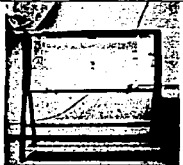
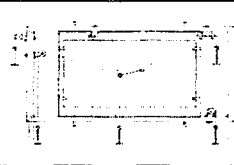

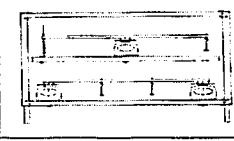
EQUIPO STR			
	Descripción: Marco de aluminio especialmente diseñado para el montaje y desmontaje de módulos de experimentación.		Descripción: Muestra digitalmente las fuerzas en su pantalla de cristal líquido y puede medir cuatro fuerzas a la vez.
STR1. Marco universal		STR1a. Despliegue digital de fuerzas	
	Descripción: Caja de interfase y software donde se conectan los experimentos desde las estructuras TQ a una computadora común		Objetivo del experimento: Da una clara visualización y prueba de la teoría de los momentos flexionantes en una viga.
STR2000. Unidad automática de adquisición de datos		STR2. Momentos flexionantes en viga	
	Objetivo del experimento: Da a los estudiantes la visualización y prueba de la teoría básica de la fuerza cortante en una viga.		Objetivo del experimento: Estudiar la deflexión de una viga bajo diferentes cargas y condiciones de apoyo.
STR3. Momento cortante en viga		STR4. Deflexión de vigas y voladizos	
	Objetivo del experimento: Aparato versátil y visualmente efectivo para estudiar , fuerzas y deflexiones en diferentes armaduras con nodos.		Objetivo del experimento: Demostrar los efectos de la aplicación de carga axial en la deformación de columnas largas (pandeo).
STR8. Armadura con nodos		STR12. Pandeo de columnas	
		Objetivo del experimento: Aplicación de cargas simples o combinadas a un marco de acero deformándolo hasta su límite plástico.	
STR16. Flexión plástica en marco.			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APÉNDICE A

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN DE LÍNEA

(SERIE HST)


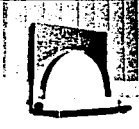


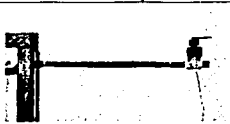

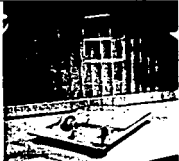

EQUIPO HST			
	<p>Descripción: Marco para el montaje de experimentos.</p>		<p>Objetivo del experimento: Estudiar el equilibrio de una serie de fuerzas actuando en un plano vertical.</p>
<p>HTS1. Marco Universal</p>		<p>HTS1/1. Equilibrio de fuerzas</p>	
	<p>Objetivo del experimento: Verificar las condiciones de equilibrio cuando una serie de fuerzas paralelas actúan en un plano sobre un cuerpo rígido.</p>		<p>Objetivo del experimento: Verificar el uso de condiciones de equilibrio calculando las reacciones de una viga con apoyo simple o en voladizo.</p>
<p>HTS1/2. Equilibrio de fuerzas paralelas</p>		<p>HTS1/4. Equilibrio de fuerzas en viga</p>	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

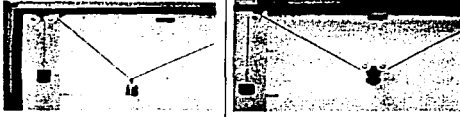

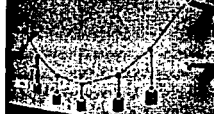



APÉNDICE B

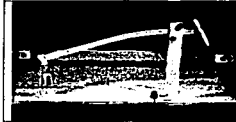
PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN SOBRE DISEÑO

(SERIE SD)

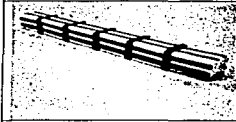
TEMA: COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES.			
SUBTEMA: Tensión residual			
			Objetivo del experimento: Demostrar las posibilidades de modificación dimensional de ciertos materiales por la acción de la temperatura.
SD01. Banda plana con base	SD02. Banda curva con respaldo	SD03. Banda curva con topes	
SUBTEMA: Modos de oscilación y resonancia.			
			Objetivo del experimento: Demostrar los diferentes modos de oscilación de las estructuras y el efecto de cargas acumulativas al ser excitadas por empuje lateral o por vibración.
SD04. Péndulo invertido	SD05. Viga metálica flexible Aplicación de motor excéntrico	SD06. Columna metálica flexible	
SUBTEMA: Sismo			
	Objetivo del experimento: Determinar experimentalmente la frecuencia natural de oscilación de estructuras de distinta longitud y rigidez y la deformación de su elástica al ser sometidas a empujes laterales en su base. Asimismo observar el efecto de resonancia por la relación período de oscilación - frecuencia.		
SD07. Estructura flexible 7 niveles			
			
SD32. Mesa de desplazamiento unidireccional			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

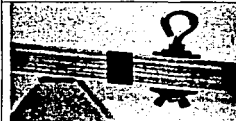
TEMA: ESFUERZOS SIMPLES. Tracción – compresión;	
SUBTEMA: Descomposición de fuerzas	
	Objetivo del experimento: Demostrar experimentalmente los componentes horizontal y vertical de las fuerzas aplicadas en sistemas de cables.
SD08. Cable con carga fija y/o rodante	
SUBTEMA: Ley del paralelogramo	
SIN FOTO	
Objetivo del experimento: Demostrar cuantitativamente que la resultante inclinada de una fuerza está compuesta de un sistema de fuerzas vertical y horizontal	
SD09. Cable con doble polea y regla triple	
	
SD10. Curva catenaria	SD11. Curva parabólica
Objetivo del experimento: Comprobar las propiedades geométricas de las curvas funiculares en función de la distancia de aplicación de las cargas a lo largo del cable.	
SUBTEMA: Armaduras.	
	Objetivo del experimento: Demostrar cómo una estructura triangular simétrica, –con dos elementos trabajando a compresión y el tercero a tracción- se encuentra en equilibrio al ser sometida a una carga axial.
SD12. Armadura simple (3 elementos)	
	Objetivo del experimento: Mostrar los esfuerzos de tracción y compresión que sufren las barras y los cambios en la forma de la estructura completa debido a la rigidez que adquiere la estructura al añadirle otra barra formando dos triángulos.
SD13. Armadura simple (5 elementos)	
SD14. Armadura con elementos flexibles	
SUBTEMA: Arcos.	
	Objetivo del experimento: Demostrar la resistencia de un arco compuesto por bloques independientes al recibir carga vertical. Del mismo modo el sistema se vuelve inestable al aplicar una carga excéntrica.
SD37. Arco dovelado	

TEMA: ESFUERZOS COMBINADOS. Tracción-compresión.**SUBTEMA: flexión en vigas****SD15.** Fuerzas internas (T-C) voladizo**Objetivo del experimento:**

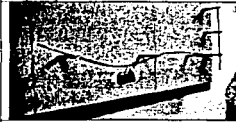
Mostrar las fuerzas internas de alargamiento longitudinal de las fibras superiores por tracción y acortamiento longitudinal por compresión de las fibras inferiores.

**SD16.** Viga de espuma de poliuretano**Objetivo del experimento:**

Mostrar las fuerzas internas de alargamiento longitudinal de las fibras por tracción, acortamiento longitudinal por compresión de las fibras y cortante horizontal en una viga sujeta a flexión. Disposición radial de los planos transversales.

**SD17.** Viga simple y estratificada con apoyos rodantes.**Objetivo del experimento:**

Evidenciar el efecto de cortante horizontal de las fibras longitudinales en una viga sujeta a flexión.

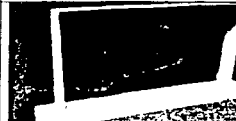
**SD18.**

- a) Viga con dos apoyos
- b) Viga continua
- c) Viga continua articulada

Objetivo del experimento:

Mostrar los efectos de continuidad en una viga con varios apoyos.

Mostrar la identidad de la elástica de una viga continua y una viga articulada en los puntos de inflexión.



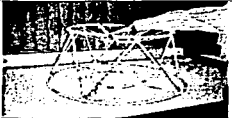
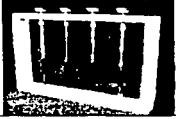
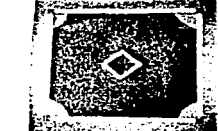

SUBTEMA: Flexión en marcos**SD19.** Marco con diferentes condiciones de apoyo**Objetivo del experimento:**


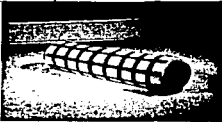
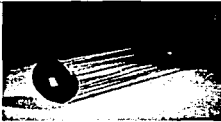
Demostrar la distinta deformación que sufre un marco al recibir empuje horizontal según sea la condición de empotre o articulación de su cimentación.



**SD20.** Tres tipos de marcos**Objetivo del experimento:**

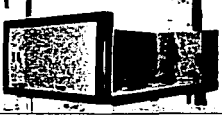

Observar la distinta resistencia de los marcos a la deformación, en función de su geometría y la rigidización de sus nodos.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN




SUBTEMA: Flexión en marcos:	
	Objetivo del experimento: Mostrar el efecto de la continuidad de los elementos de una estructura al recibir carga en uno de sus marcos.
SD21. Estructura de marcos múltiples	
SUBTEMA: Flexión en arcos	
	Objetivo del experimento: Demostrar el comportamiento de un arco flexible cuando se somete a la acción de una serie de cargas, aplicadas en distintos puntos.
SD22. Arco flexible	
	Objetivo del experimento: Mostrar cómo los anillos de una estructura pueden estar trabajando a tracción o compresión, según sea su posición relativa dentro del sistema.
SD23. Anillos a tracción y compresión	
SUBTEMA: Flexión en columnas	
	Objetivo del experimento: Comprobar el principio de Euler respecto de la relación de esbeltez. Observar el comportamiento de una columna esbelta con distintas condiciones de apoyo, al ser sometida a la acción de una fuerza axial.
SD24. Columnas con diferentes tipos de apoyo	
TESIS CON FUENTE DE ORIGEN	
TEMA: ESFUERZOS COMBINADOS. Cortante:	
SUBTEMA: cortante	
	Objetivo del experimento: Demostrar cómo operan en forma conjunta los esfuerzos de tracción y compresión en un plano, deformando el ángulo recto que formaban los elementos antes de ejercer la fuerza, en diagonales de 45°. El experimento demuestra en forma exagerada la similitud de la deformación producida por cortante en los lados de una viga.
SD25. Marco con membrana	
SUBTEMA: Cortante longitudinal en vigas	
	Objetivo del experimento: Determinar el efecto de cortante longitudinal cuando está sometida a una fuerza concentrada en el extremo libre, identificando su deformación elástica, la localización del eje neutro, además de las zonas de tracción y compresión respectivamente.
SD26. Viga estratificada en voladizo	

SUBTEMA: Cortante vertical en vigas	
	Objetivos del experimento: 1. Mostrar los efectos de la tracción y el cortante vertical en el lecho inferior de una viga apoyada en sus extremos y cargada en el centro. 2. Analizar los principios de trabajo de elementos pretensados.
SD27. Viga en bloques con eje compresor	
	
a) Barra de espuma de poliuretano	b) Barra en esqueleto
SD28. Barra de torsión	

TEMA: MOMENTO INERCIA	
SUBTEMA: Misma área, distinta posición. Secciones de dif. Geometría	
	
Objetivo del experimento: Aplicación del concepto de momento de inercia. Observar el cambio de la resistencia a la deformación en vigas de acuerdo a la geometría de su sección y su posición respecto de los ejes vertical y horizontal.	
SD29. a) Viga rectangular a) Vigas I, L, O, C, T, H b) Viga de acero, viga de aluminio	

TEMA: CIMENTACIONES	
SUBTEMA: Condiciones de carga del terreno. Muros de contención	
	Objetivo del experimento: Simular las condiciones de trabajo de un muro de contención con distintos grados de inclinación. Efectos de inestabilidad en una estructura al ser socavado el terreno.
SD30. Caja transparente con arena y tolvas	
	Objetivo del experimento: Mostrar el comportamiento de las capas del terreno al recibir carga puntual vertical.
SD31. Caja para registro de bulbos de presión	

TEMA: RETICULAS Y LOSAS		
SUBTEMA: Apoyo perimetral, distintos casos		
		
a) Comportamiento de las losas apoyadas perimetralmente	b) Comportamiento de las losas reticulares	c) Comportamiento de cubiertas formadas por arcos y bóvedas.
Objetivo del experimento: Mostrar la forma de trabajo y los efectos de deformación en losas y cubiertas de acuerdo a sus características laminares o reticulares.		
SD33. Bastidor de acrílico, vigas y láminas flexibles		
SUBTEMA: Trabelosas		
		Objetivo del experimento: Demostrar que una trabelosa tiene mucho más rigidez y por lo tanto mayor capacidad de carga que una losa plana, mostrando en ello la influencia de la forma del elemento estructural.
Segmento longitudinal.	cubierta poliédrica.	
SD34.		
a) Segmento longitudinal. b) Segmento transversal c) cubierta poliédrica.		

TEMA: MEMBRANAS Y CASCARONES		
SUBTEMA: Secciones cilíndricas		
	Objetivo del experimento: Mostrar la diferente conformación geométrica de secciones con distinta inclinación practicadas en un cilindro.	
SD35. Barra c/secciones circulares, elipse, parabólica		
SUBTEMA: Membranas		
SIN FOTO		
Reglada	Tensada	Neumática
SD36 a) Reglada b) Tensada c) Neumática		
Objetivo del experimento: Explicar las diferentes formas de trabajo de estructuras laminares de superficie activa		

APÉNDICE C

Material didáctico digitalizado complementario a las líneas de prototipos de experimentación del Laboratorio de Modelos Estructurales.

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN SOBRE DISEÑO

(SERIE SD)

SD 37	Arco dovelado.
SD 12	Armadura simple.
SD 19	Deformación en marcos
SD 24	Flexión en columnas.
SD 15	Viga en voladizo.
SD 22	Arco flexible.
SD 27	Viga de bloques con eje compresor.
SD 28	Barras de torsión.
SD 32	Mesa de desplazamiento unidireccional.
SD 34	Losa plegada. Trabelosa.

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN DIGITALES.

(SERIE STR)

STR 2	Vigas a Flexión.
STR 3	Viga de cortante.
STR 8	Armaduras.
STR 12	Columnas esbeltas.

Nota: Las claves marcadas en negritas indican que el material digitalizado se encuentra terminado o en proceso final de revisión. El resto de la lista está en proceso de elaboración.

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN 1

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABONES TECNOLÓGICOS Y TALLERES INTERDISCIPLINARIOS:

5º TRIM. ESTÁTICA.
6º TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES.

DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA. AZCAPOTZALCO, 2002.

1/32

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN 1

SD-37
ARCO DOVELADO

SD-12, SD-13
ARMADURA SIMPLE

SD-19
DEFORMACIÓN DE
MARCOS

SD-27
APARATO PARA
ANÁLISIS DEL PANDEO

DESIGN:
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Función, S. A.

COORDINACIÓN APOYO TÉCNICO:
Arq. Carlos M. Moreno Tamayo,
D.L. Javier E. Salazar Rocha.

PRODUCCIÓN GRÁFICA:
Programa de Serigrafía Social,
Maestría Osvaldo Grimaldo.

COORDINACIÓN Y DIRECCIÓN:
Arq. Carlos M. Moreno Tamayo.

PRESENTACIÓN:
Seminario Estructuras para Arquitectos e
Ingenieros
T. y L. (L) Structures
Ed. Simoes
Lima.

Film Guide:
Engineering Film Series
Mechanics of Structures & Materials (6 Films)
3. Smoke & Convection Structures Inc. FSCM
Presented by Project Director Robert A. Haber
with the endorsement of Mark G. Salway

Approaching to Engineering Structures
Hague &
Ed. SILL.

Proveniencia de Materiales,
Marta T.
Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería

Estructuras y Resistencia de Materiales
Verónica de León, M.
Fe 1 PM

Structures for Designers,
Emmaly, J.
Ed. Simon and Schuster

2/32

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN 1

- 1) ARCO DOVELADO.
- 2) ARMADURA SIMPLE.
- 3) DEFORMACIÓN DE MARCOS.
- 4) APARATO PARA ANÁLISIS DEL PANDEO.

En la secuencia de imágenes siguientes se describen aparatos realizados de manera muy sencilla que no pretenden registrar con detalle la capacidad de carga o la dimensión de las deformaciones de las probetas y sin embargo permiten observar el fenómeno estructural con absoluta claridad, definiendo las características de trabajo que corresponden a elementos constructivos específicos, así como sus límites y posibilidades de aplicación.

Los modelos de referencia abordan temas elementales como son los esfuerzos de compresión y tensión aplicados en forma separada o combinada sobre distintos componentes estructurales.

3/32

COMPRESIÓN Y TENSIÓN

Los esfuerzos a que se ven sometidos los materiales y las estructuras derivan de dos básicos, la compresión y la tensión, conocidos como esfuerzos simples. El primero de ellos se puede definir como la aplicación de dos fuerzas opuestas y colineales que tienden a juntarse.

Ciertos materiales tienen la capacidad de resistir tales esfuerzos, pero al ser rebasado su límite resistente, puede ocasionarse la deformación excesiva del material o del elemento estructural llegando incluso al colapso.

Tal deformación puede ser por aplastamiento o bien por flexión de la pieza, situación que puede ejemplificarse con facilidad con el uso de columnas

cortas y largas respectivamente. En el primer caso, el elemento sometido a compresión tenderá al aplastamiento, deformándose en dos sentidos, aumentando su sección transversal y reduciendo su longitud, en tanto que la columna larga sobre la que actúe una fuerza similar, se flexionará lateralmente.

4/32

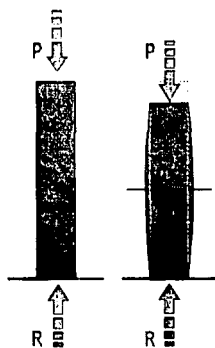


Fig. 1 Deformación de una columna corta sujeta a compresión.

532

1. ARCO DOVELADO

● INTRODUCCIÓN

Los materiales pétreos, a diferencia del acero, la madera y otros materiales, tienen la capacidad de trabajar sólo a la compresión, propiedad que se aprecia especialmente en el arco.

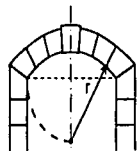
Este elemento estructural ha sido utilizado por el ser humano desde sus orígenes al encontrarse en el medio natural en forma de cavernas. Posteriormente es fabricado en piedra y barro o tabique, aprovechando su alta capacidad de carga, para la construcción de bóvedas, puentes y otras edificaciones.

El arco, según la región cultural es de diferentes tipos. Así encontramos arcos de medio punto, rebajado, escarzano, apuntado, lobulado y otros. Pero en todos los casos el principio de trabajo de sus componentes es el mismo.

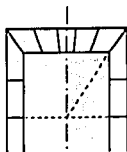
El arco dovelado está compuesto por elementos cuneiformes conocidos como dovelas que se disponen de manera radial y cuyo origen es, según el tipo de arco, uno o varios focos.

632

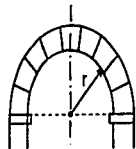
1. ARCO DOVELADO



Arco Escarzano.



Dintel Dovelado.



Arco de Medio punto.

Fig. 2 Arcos y dintel dovelados.

732

1. ARCO DOVELADO

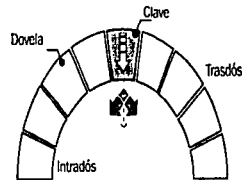


Fig. 3 La aplicación de una fuerza vertical se descompone y transmite lateralmente de la clave a las dovelas.

El elemento central y superior del arco es una dovela llamada clave por ser la pieza principal que recibe la carga vertical y la distribuye a las dovelas adyacentes en forma lateral y simétrica. La carga, como queda indicado, debe ser aplicada verticalmente sobre la clave o bien en una compresión uniforme a lo largo del arco haciéndolo trabajar en forma óptima.

832

1. ARCO DOVELADO

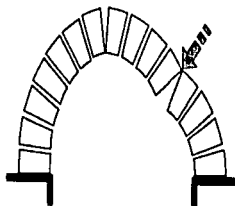


Fig. 4 Colapso de un arco por carga puntual excéntrica.

La gran resistencia del arco se pierde en el momento de recibir una carga puntual excéntrica, ya que solicitará flexión en las dovelas produciendo el consecuente efecto de bisagra que derivará necesariamente en el colapso del sistema.

9/32

1. ARCO DOVELADO

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

Mostrar por medio del modelo que el arco dovelado es una estructura estable cuando las cargas se aplican sobre él adecuadamente. De esta manera se demuestra cómo las dovelas, trabajando por medio de una cohesión compresiva, transmiten la carga desde la clave hasta los apoyos en forma equitativa y cómo una carga significativa aplicada excéntricamente, es decir, fuera de la clave, provoca el colapso del arco.

10/32

1. ARCO DOVELADO

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

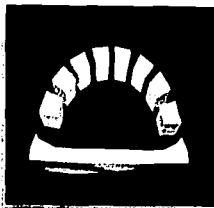


Foto 1. Aparato de Arco Dovelado.

Está integrado por una base de madera de 64 x 64 x 500 mm de longitud con dos apoyos fijos en los extremos llamados almohadones con 20 grados de inclinación respecto del plano horizontal para recibir una sección de arco dovelado circular con radio de 250 mm y de la misma sección de la base. Las dovelas, en número de nueve, están orientadas hacia su foco con una magnitud radial de 15 grados. La dovela clave mide 20 grados.

11/32

1. ARCO DOVELADO

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Se somete a prueba con carga axial de 60 kg misma que debe ser soportada por el arco sin deformarse. A la aplicación de una fuerza menor de entre 5 y 8 kg en uno de los tercios extremos del arco, éste se desestabilizará y colapsará.

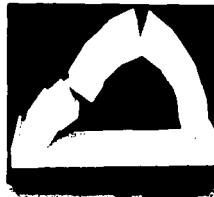


Foto 2. Secuencia de colapso al formarse bisagras por la acción de cargas excéntricas.

12/32

2. ARMADURA SIMPLE

● INTRODUCCIÓN

Las armaduras son estructuras ligeras formadas esencialmente por barras rígidas y que son utilizadas para cubrir grandes claros en muy diverso tipo de construcciones, especialmente de techumbres. Se basan en el principio físico de la indeformabilidad del triángulo, figura geométrica estable por excelencia.

Tres barras unidas en sus extremos constituyen un conjunto indeformable (Fig. 5a) en tanto que cuatro o más barras unidas y articuladas en sus extremos constituyen un conjunto deformable (Fig. 5b). Un conjunto de este tipo puede rigidizarse colocando una barra adicional que una dos vértices opuestos formando de esa manera triángulos (Fig. 5 c).

El término rígido se emplea para significar que la estructura no pierde su conformación geométrica y también en el sentido de que pueda tener una deformación despreciable en sus miembros debida a los esfuerzos internos producidos.

Las estructuras construidas a partir de un triángulo básico formado por barras rígidas articuladas en sus extremos, reciben el nombre de armaduras.

13/32

2. ARMADURA SIMPLE

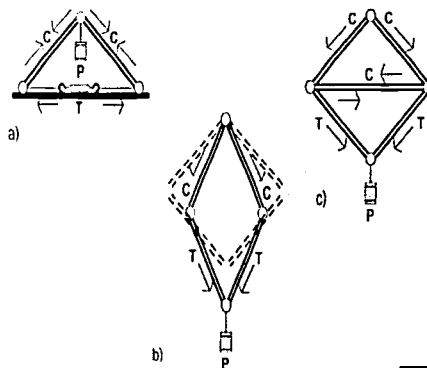


Fig. 5

14/32

2. ARMADURA SIMPLE

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Demostrar, a través del modelo, cómo una estructura triangular y simétrica, formada por tres elementos - dos de los cuales trabajan a compresión bajo la acción de una carga y el tercero a tensión - se encuentra en equilibrio al ser sometida a una carga axial, y cómo sus miembros transmiten dicha carga a lo largo de su línea de acción en forma equitativa.

15/32

2. ARMADURA SIMPLE

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Realizado en madera, es una estructura triangular que cuenta con dos barras dobles articuladas con pernos, separadores tubulares y rodamientos en los puntos de apoyo. Un cable de acero y un dinamómetro complementan el aparato.

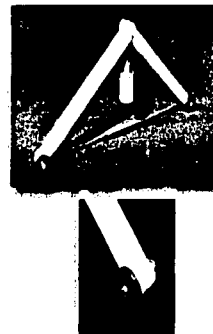


Foto 4. Armadura simple de geometría indeformable por el principio de triangulación, cuando sus tres elementos son barras rígidas.

16/32

2. ARMADURA SIMPLE

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

El elemento horizontal del sistema es un tensor en cuya parte media se situa un dinamómetro para medir la tensión generada.

Se aplica el peso en el vértice superior del aparato transmitiéndose la carga a través de las barras diagonales a los puntos de apoyo que, al desplazarse con los rodamientos del centro hacia afuera, demuestran que el elemento horizontal trabaja a tensión para equilibrar el sistema. El esfuerzo de tensión se mide en el dinamómetro y es igual a la suma de las componentes horizontales de la compresión generada en las barras diagonales.

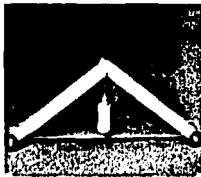
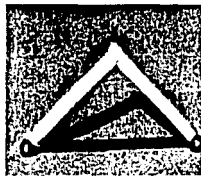


Foto 5. Se sustituye la barra inferior por un cable para hacer patente el trabajo a tensión al aplicarse una carga vertical.

1732

3. DEFORMACIÓN DE MARCOS

● INTRODUCCIÓN

En cualquier estructura cada uno de sus elementos mantiene una relación de interdependencia con los adyacentes y aún con los remotos. De tal suerte la acción de fuerzas sobre un elemento en particular difícilmente puede considerarse de efecto aislado, ya que en mayor o menor medida tendrá repercusiones sobre el conjunto, especialmente en aquellas que, por su geometría, no es posible diferenciar cada uno de sus componentes o bien cuando las uniones entre los elementos son rígidas y por lo mismo no se pueden tratar separadamente. En consecuencia, para el diseño de este tipo de estructuras deberá atenderse el principio de continuidad.

1832

3. DEFORMACIÓN DE MARCOS

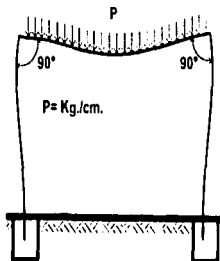


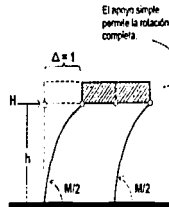
Fig. 6

Las columnas trabajan eficientemente en el sentido de su eje pero cuando reciben cargas horizontales tienen el mismo efecto de deflexión que las vigas en voladizo, considerando que el empolre está en su base, por lo que pueden producirse deformaciones importantes a menos que la sección de las columnas aumente de manera considerable, lo cual no forma parte de las premisas de un diseño eficiente. Tal condición no mejorará aún en el caso de que dos columnas sean unidas con un elemento horizontal si las uniones son articuladas, ya que ambos postes trabajarán juntos pero no aumentará su resistencia a la flexión.

1932

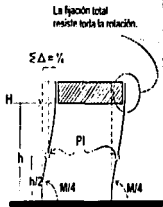
3. DEFORMACIÓN DE MARCOS

Acción en voladizo total.



a) Flexión de la longitud total de columna.

Acción de marco total.



b) Flexión de la mitad de la longitud de columna

Fig. 7

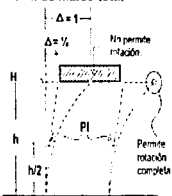
Si las columnas se unen sólidamente al dintel, entonces puede considerarse que se forma un sistema denominado marco, donde los nodos de conexión son rígidos, o sea que, aunque el nodo sufra rotación, el ángulo formado por los elementos que en él concurren no varía, aumentando de manera importante la capacidad de resistencia de los postes a la deformación (Fig. 7).

2032

3. DEFORMACIÓN DE MARCOS

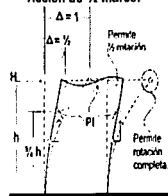
c) (Relación ≥ 4)

~Acción de marco total



d) (Relación = 1)

~Acción de 1/2 marco.



Acción de marco vs. Acción de voladizo.

Bajo una carga uniforme la viga de un marco se flexiona y sus extremos giran libremente con respecto al poste el cual, al mantener el ángulo de 90° en el nodo rígido, tiende a desplazarse lateralmente en el apoyo. La estabilidad del sistema requiere entonces de una fuerza horizontal convergente en que evite tal desplazamiento, para lo cual se recurre a la fijación de los postes en su base, ya sea por empotramiento en el terreno, por el refuerzo de cimentación diseñada ex profeso o bien con la acción de un cable tensor entre ambos apoyos, evitando con ello que la estructura se abra bajo la acción de una carga vertical.

21/32

3. DEFORMACIÓN DE MARCOS

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Demostrar la distinta deformación que sufre un marco rígido respecto de un marco articulado, tanto por carga vertical como por la incidencia de fuerzas horizontales.

De igual forma queda de manifiesto la diferente resistencia que presenta el marco según sea la condición de empotre o articulación de su cimentación.

22/32

3 DEFORMACIÓN DE MARCOS

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Una banda de lámina de acero de 52 mm. de ancho, doblada formando un marco. Una pieza de madera de la misma dimensión en sección cuadrada de 400 mm. de longitud, formando el refuerzo del dintel y rigidizando los nodos a 90° . Una base también de madera de 64 por 64 mm. por 500 mm. de largo con ranuras para la fijación del marco.

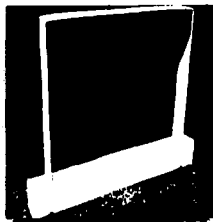


Foto 6. Aparato para demostrar las deformaciones de un marco rígido en diferentes condiciones de unión de sus

23/32

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Se coloca el marco penetrando las columnas en las ranuras de la pieza de base, para lograr el empotre.

a) La aplicación de carga vertical produce flexión en viga y columnas. Esa deformación será menor si las columnas están firmemente empotradas a la base.

b) La carga lateral en columnas sin conexión con el dintel se produce una acción de voladizo total y una deformación importante.

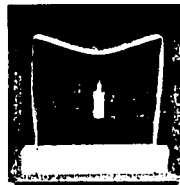


Foto 7. Deformación por carga vertical



Foto 8. Abatimiento libre de una columna sin conexión con el dintel por carga lateral

24/32

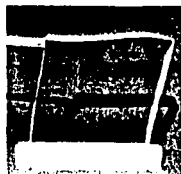


Foto 8. Deformación por influjo del empuje lateral con nodos semirrígidos y columnas empotradas en la base.

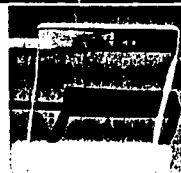


Foto 10. Elástica en el caso de nodos rígidos y columnas empotradas. El sistema presenta mayor resistencia a la flexión.

c) Si el dintel es flexible y aún cuando los nodos presenten rigidez, al aplicar una fuerza horizontal se produce rotación en ellos flexionando todos los elementos de la estructura. La relación de rigidez entre dintel y columnas es de 1:1 y la acción es de $\frac{1}{2}$ marco.

d) Al rigidizar el dintel se logra una fijación total de los nodos eliminando la rotación y reduciendo la flexión de las columnas. La relación de rigidez entre dintel y columnas es de 4:1 y la acción es de marco total resistiendo mejor la incidencia de fuerzas horizontales.

25/32

4. APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

● INTRODUCCIÓN

El diseño de una estructura tradicional de marcos, donde se considera que los elementos verticales están sometidos a carga predominantemente axial, puede orientarse hacia el uso de columnas cortas o columnas largas, dependiendo de las características específicas formales y funcionales del edificio de que se trate.

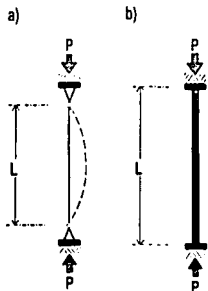
Las columnas cortas son de proporciones tales que tienen poca o ninguna tendencia a pandearse y su diseño es más sencillo. Columnas largas son aquellas cuya sección transversal es, respecto de su longitud y dependiendo del material, aproximadamente ocho, diez o

veinte veces menor, según se trate de madera, concreto o acero respectivamente. A esta razón entre la sección y el largo de la pieza se le llama relación de esbeltez.

26/32

4 APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

Fig. 8



De acuerdo a lo establecido anteriormente, las columnas cortas pueden tener deformación por acortamiento de su eje al influjo de carga vertical. Un efecto similar se produce en una pieza larga cuando el peso que gravita sobre ella es relativamente pequeño, permaneciendo su configuración vertical y rectilínea. Al incrementarse la compresión por el aumento de la magnitud de la carga, puede excederse la resistencia del elemento ocasionando la deformación violenta del material o bien su fractura.

27/32

4 APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

A la deformación por flexión en columnas sujetas a fuerzas compresivas se le denomina pandeo y toma características de curvatura simple o sinusoidal según sea el tipo de sujeción de los extremos. Aquí resulta aplicable el principio de Euler que establece lo que se conoce como carga crítica de pandeo, o sea, la carga última que puede ser soportada por una columna larga en el instante anterior al que se produce el pandeo, considerándose como requisito que el elemento esté soportado por articulaciones, sea de material elástico y de sección constante y la carga sobre él sea axial, manteniendo los esfuerzos bajo el límite de proporcionalidad del material. Para el primer caso enunciado la fórmula es como sigue:

$$P_{cr} = \frac{\pi E I^2}{(k L)^2}$$

En donde:

P_{cr} = Carga crítica de pandeo en Kg.

E = Módulo de elasticidad del material en Kg/cm^2

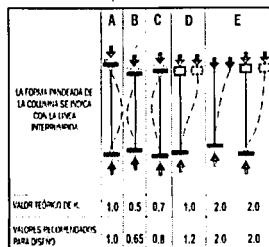
I = Momento de inercia de la sección transversal de la columna con respecto a su eje longitudinal en cm^4

L = Longitud de la pieza en cm.

28/32

4. APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

Pueden considerarse distintas variables de sujeción de la que la fórmula establece; un extremo articulado y otro empotrado o bien ambos extremos empotrados. Otro caso que merece observación es el de una columna de extremos articulados amostrada a la mitad de su altura. Resulta evidente que el valor límite de carga se incrementará proporcionalmente entre la primera condición de sujeción y la última, toda vez que ese efecto tiene estrecha relación con la longitud efectiva de columna entendida como la distancia entre los puntos de articulación, en el primer caso, o los de inflexión en



aquellos que la deformación sea sinusoidal. Para cada una de las variables anotadas se aplicará un coeficiente a la longitud efectiva según se expresa en la siguiente tabla:

Fig. 10 Comparación de los valores K teóricos y prácticos para diseño en columnas con diferentes condiciones de apoyo.

29/32

59

4. APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Lo integran un marco de madera de 500 mm, de ancho por 350 mm de altura donde se colocarán verticalmente probetas de acero flexible recibidas en sus extremos con accesorios metálicos que permitirán las condiciones de apoyo libre o de empotramiento para simular los diversos casos anteriormente relacionados. La parte superior del marco aloja pernos con portapasas deslizantes axialmente y de altura graduable, para hacer patente el efecto del acortamiento del eje vertical de las probetas al recibir peso mayor a su capacidad resistente.

Foto ** Aparato para demostrar la deformación de columnas esbeltas de acuerdo a su carga y forma de fijación de sus extremos

31/32

4. APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Observar el comportamiento de una columna esbelta al ser sometida a la acción de una fuerza axial, demostrando que, de acuerdo a sus diferentes longitudes y tipos de apoyo:

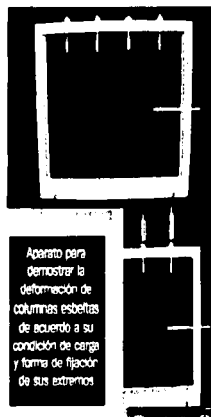
- La deformación por pandeo tendrá configuración distinta.
- La capacidad de carga será variable.

30/32

4. APARATO PARA EL ANÁLISIS DEL PANDEO

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Se aplicará una unidad de peso sobre la columna articulada en ambos extremos de manera que la columna podrá soportar un valor de 1 antes de deformarse con una curvatura simple. La segunda probeta de apoyos mixtos podrá cargar 2 en tanto que su elástica será sinusoidal solo en una de sus mitades. La columnadoblemente empotrada tendrá dos curvaturas sinusoidales al flexionarse y la amostrada con doble articulación dividirá su elástica en dos curvas mixtas



Aparato para demostrar la deformación de columnas esbeltas de acuerdo a su condición de carga y forma de fijación de sus extremos

32/32

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABONES TECNOLÓGICOS Y TALLER INTERDISCIPLINAR:
6º TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES I

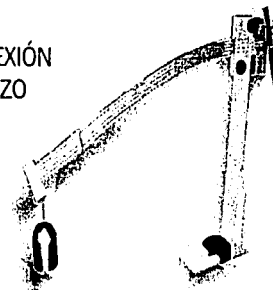
DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones, Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO, 2002.

1/11

ESFUERZOS COMBINADOS

SD-15 APARATO DE FLEXIÓN VIGA EN VOLADIZO



DISEÑO:
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Función, S. A.

APOYO TEÓRICO:
Ara. Carlos García Malo Flores.

PRODUCCIÓN GRÁFICA:
Programa de Servicio Social
Sergio Pineda Muñoz.

COORDINACIÓN Y DIRECCIÓN:
Ara. Carlos H. Moreno Ramírez.

DISEÑO Y FABRICACIÓN:
Compartimento de Estructuras en Ingeniería
Fidel Alvarado
E.E. Mc Coy del Laboratorio Físico S. A de C. V.
México 2002.

Reducción de Modelos para Análisis
Carlos García Malo Flores
E.E. Pineda Muñoz
México 2003.

Revisión de Diagramas, ed. 1.
Eduardo Pacheco
UNAM, México 1992.

Revisión de Diagramas,
Primer Impreso, Daniel Saura
Eduardo Pacheco, México 1975.

La Estructura,
General Resúmenes
E.E. Pineda, Barcelona 1975.

2/11

3 VIGA EN VOLADIZO

INTRODUCCIÓN

En la práctica del diseño arquitectónico es común encontrarse con ciertos requerimientos formales y funcionales que inciden en el planteamiento de sistemas estructurales que incorporan elementos en voladizo.

Tales propuestas consideran el uso de losas y vigas que trabajan en esa condición, y deben ser analizadas según los conceptos y las fórmulas que nos proporcionan la estática y la resistencia de materiales.

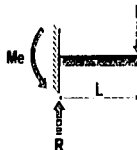
Con el propósito de apoyar a los estudiantes de arquitectura e ingeniería civil, en la comprensión de la mecánica de los sistemas y elementos estructurales, se presenta este experimento que ilustrará el comportamiento de las vigas en voladizo al influjo de las cargas, su deformación y su trabajo interno, definiendo qué partes del elemento desarrollan esfuerzos a tracción y cuáles a compresión.

3. VIGA EN VOLADIZO

APOYO TEÓRICO

Esta viga en voladizo es un elemento estructural que se encuentra empotrado sólo en uno de sus extremos y tiene como finalidad soportar una carga concentrada en el extremo libre y librar un claro.

Se le denomina estáticamente determinada porque el número de incógnitas de equilibrio en el extremo empotrado, se determina fácilmente por medio de las ecuaciones de la Estática.



Grado de solución:

Viga coplanar estáticamente determinada o isostática.

Condiciones de los extremos:

Empotrada en un extremo y libre en el otro.

Condiciones de carga:

Fuerza concentrada en el extremo libre.

Condiciones de la sección:

Su sección recta es de forma rectangular y está físicamente proporcionada de tal forma que su altura (h) o peralte es igual a dos veces su base (b):

$$h = 2b$$

3/11

4/11

3. VIGA EN VOLADIZO

APOYO TEÓRICO

Las incógnitas del problema son:
 a. Un momento de empotramiento M_e
 b. Una reacción R

Las ecuaciones de equilibrio que proporciona la estática son:
 a. La suma algebraica de los momentos es igual a cero: $\sum M = 0$
 b. La suma algebraica de las fuerzas es igual a cero: $\sum F = 0$

Una de las propiedades de la sección recta que es importante considerar y observar durante el experimento es la que se refiere al **momento de inercia respecto a sus ejes centroidales**.

Para una sección rectangular los momentos de inercia centroidales se determinan con las siguientes formulas:

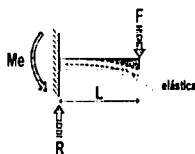
Con respecto a su eje centroidal X (X_c)

$$I_{X_c} = \frac{bh^3}{12}$$

Con respecto a su eje centroidal Y (Y_c)

$$I_{Y_c} = \frac{b^3h}{12}$$

Otro concepto que debe conocerse para entender el experimento se relaciona con la deformación de su eje longitudinal, y está referido a la **curva elástica**. Curva que queda definida mediante una ecuación particular.



5/11

3. VIGA EN VOLADIZO

APOYO TEÓRICO

La deformación elástica nos determina cual sería la respuesta de la viga, una vez aplicada la fuerza en el extremo y nos proporciona dos valores importantes:

a) La deformación vertical o flecha en el extremo donde se aplica la carga concentrada.

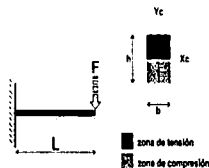
$$v_{max} = \frac{FL^3}{3EI}$$

b) La deformación angular o pendiente en el mismo extremo.

$$\theta_{max} = \frac{FL^2}{2EI}$$

Otro concepto que deberá tomarse en cuenta es el que se refiere a las acciones internas de la viga y es el que se muestra durante el experimento al ser cargada en el extremo libre. El comportamiento interno se relaciona con dos acciones y secciones diferentes.

a) La de Tensión.
 b) La de Compresión.



6/11

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

- Determinar el comportamiento mecánico de la sección, cuando está sometida a una fuerza concentrada en el extremo libre, identificando su deformación elástica, la localización del eje neutro, además de las zonas de tensión y compresión respectivamente.
- Determinar a partir del extremo empotrado de la viga y con respecto al eje neutro de la sección cuál de las zonas se acorta y cuál se alarga.
- Determinar dónde se ubican las deformaciones que produce la elástica: la flecha máxima y la pendiente máxima o giro angular máximo.

7/11

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Está formado por una base fija, fabricada con placa de acero laqueada en color amarillo cromo, de $0.6 \times 18.5 \times 44$ cm, una pieza móvil fabricada con acrílico transparente de $0.15 \times 10 \times 12.5$ cm y una balsa de espuma de polietileno (SINTRA) de $0.6 \times 1.3 \times 16$ cm. Que sirve para observar los distintos efectos producidos en la viga al ser aplicada una carga concentrada, la base se complementa con los elementos de sujeción que consisten de una pieza de nylon color blanco de $1.3 \times 5 \times 10$ cm y dos tornillos de 6×38 mm con maneral para garantizar el apriete necesario para sujetar la viga al modelo.

La viga está formada por dos elementos:

a. El exterior está formado por un tubo de acrílico con un diámetro interior de 3.2 mm y diámetro exterior de 6.3 mm y 60.5 cm de longitud.

Se complementa con una barra de nylon color blanco de $1.3 \times 2 \times 5.5$ cm que sirve además para colgar de ella las cargas necesarias.

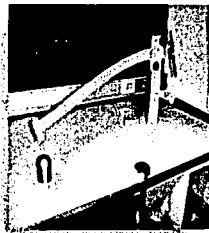


Foto 1

b. En el interior de los tubos se alojan "flechas" de fibra de vidrio con resina poliéster con diámetro de 3.2 mm y 65 cm de longitud.

Esta barra de nylon sujeta en el extremo libre de la viga tanto a las 5 flechas de fibra de vidrio, como a los tubos de acrílico, para evitar que se desplacen. En el otro extremo de la viga se sujetan exclusivamente los tubos de acrílico dejando libres las flechas de fibra de vidrio y resina poliéster, lo que permitirá que se logren los efectos ya descritos, (ver foto 1).

8/11

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

- 1.- Al iniciar el experimento la viga deberá estar libre de carga, con el propósito de observar su posición sin deformación. Se explica que la deformación inicial es igual a cero. Sin embargo si su peso propio se considera como una carga uniformemente repartida, debemos considerar que existe una deformación inicial.
- 2.- A continuación deberá colocarse en el extremo libre de la viga una carga y se procederá a verificar la deformación producida en la pieza, identificando los esfuerzos en cada una de las fibras que forman la viga.
- 3.- El alumno deberá elaborar un reporte para describir lo observado durante el experimento.

9/11

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Después de aplicar la carga en el extremo libre de la viga se presentan:

- Una deformación elástica de la viga.
- Una flecha vertical y un giro angular en el extremo libre de la viga.
- Un alargamiento de las fibras en la parte superior de la viga, debido a la tensión producida.
- Un acortamiento de las fibras en la parte inferior de la viga, debido a la fuerza de compresión producida.
- En la mitad del peralte de la sección (eje neutro), las fibras no experimentan alargamiento o acortamiento alguno (ver foto 2).
- Si se retira la carga aplicada en el extremo libre, la viga tratará de recuperar su forma y posición inicial, comportándose elásticamente.

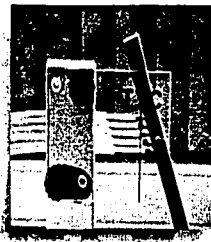


Foto 2

CONCLUSIONES

Una viga empotrada en un extremo y libre en el otro, en la cual se aplica una carga concentrada, presenta fuerzas internas de tensión que producen alargamiento y fuerzas de compresión que producen acortamiento. **La misma viga se deforma produciendo una flecha y una pendiente máximas en el extremo libre.**

10/11

REACTIVO DEL EXPERIMENTO

Para ejemplificar las deformaciones de la viga en voladizo, se propone el siguiente ejercicio:

Un perfil estructural de acero con sección recta IR soporta una fuerza concentrada $F=1$ ton., en el extremo no empotrado.

Si la longitud de la viga en voladizo es de 3.0 m, determine las deformaciones máximas.

Datos:	Perfil propuesto:
$F=1$ ton	IR de $8" \times 2\frac{1}{4}"$
$L=3.0$ m	$I_x=2,576$ cm ⁴
	$E_a=2'000,000$ kg/cm ²

Aplicando las formulas tenemos:

$$Y = \frac{(1,000 \text{ kg})(300 \text{ cm}^3)}{3(2'000,000 \text{ kg/cm}^2)(2,576 \text{ cm}^4)} = 1.75 \text{ cm} \quad \text{flecha máxima en el extremo}$$

$$\theta = \frac{(1,000 \text{ kg})(300 \text{ cm}^3)}{2(2'000,000 \text{ kg/cm}^2)(2,576 \text{ cm}^4)} = 0.0087 \text{ rad} \quad \text{pendiente máxima en el extremo}$$

11/11

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

TALLERES INTERDISCIPLINARIOS:
7º TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES II,
8º TRIM. CALCULO ESTRUCTURAL,

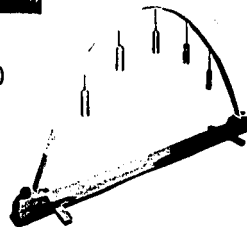
DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones, Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, AZCAPOTZALCO, 2002.

1/16

ESFUERZOS SIMPLES

SD-22 SISTEMAS DE ARCO



DISEÑO
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN
Forma y Función, S.A.

COORDINACIÓN TÉCNICA
Aos. Carlos H. Moreno Tamayo,
D.L. Javier E. Salazar Rocha.

PRODUCCIÓN GRÁFICA
Programa de Servicio Social
Mauroto Chacón Grijalva.

COORDINACIÓN Y DIRECCIÓN
Aos. Carlos H. Moreno Tamayo.

PROYECTAR &
Consultas Estructurales para Arquitectos e
Ingenieros
T. y E. en Acero y
E. en Laminas
México

Fin Guate
Engineering & Services
Mechanics of Structures & Materials (Financ)
2. Simposio de Compresión Estructural No. 15206
Resumen de Reportes Científicos de la Sesión
Aos. The collaboration of Mario G. Salazar.

Approaching to Engineering Structures
Hogrefe S.
Ed. S.H.

Avances a de Materiales,
Mater. E.
Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería

Estructuras y Resistencia de Materiales.
Vinculados de León, M.
Ed. I.P.H.

Structures for Designers
Crawford, J.
Ed. Simon and Schuster.

2/16

1. SISTEMAS DE ARCO

INTRODUCCIÓN

Las estructuras con grandes claros se pueden construir mediante elementos constructivos planos, como vigas pesadas, armaduras y marcos espaciales. Sin embargo, para claros mayores de 30 m., a menudo es más económico construir un sistema integrado por miembros curvos, en forma de arcos, cables de suspensión y conchas o cascarones delgados.

Teóricamente, todos los diseños estructurales con claros grandes o pequeños, se basan en los mismos conceptos generales; pero en la práctica, con frecuencia las proporciones determinantes de las estructuras de claros cortos están limitadas por las dimensiones mínimas disponibles y otros requerimientos no estructurales. Por lo tanto, estas estructuras se pueden diseñar en general mediante revisión o por comparación con las de edificios existentes, sin hacer un análisis muy exacto e incorporando sólo miembros rectos. Por otra parte, cuando se trata de estructuras con grandes claros, la relación entre peso muerto, resistencia y proporciones se toma crítica, y el diseño necesita ser más racional a fin de encontrar las soluciones más seguras, económicas y estéticas.

3/16

1. SISTEMAS DE ARCO

Para obtener una eficiencia óptima de carga muerta, las formas de las estructuras de claros grandes deben aproximarse alas de una línea natural de presión, como la de un arco parabólico (para carga uniformemente distribuida (fig.1)), o una catenaria (la curva del peso propio de una cadena). Cuando se hace esto, la fuerza resistente al momento y al esfuerzo cortante siempre actúa en el centro de gravedad. Por ello, con frecuencia el uso de formas curvas es tan eficiente como atractivo. Puesto que (teóricamente) sólo hay fuerza axial directa dentro del sistema y los requerimientos de material se reducen al mínimo, estos sistemas curvos son eficaces porque dan un peralte estructural de conjunto para claros grandes sin aumentar el peralte de la sección.

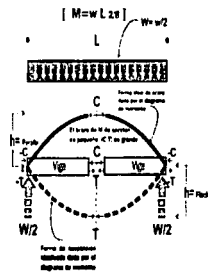


Fig. 1. Las fuerzas resistentes al momento en un sistema de arco de suspensión son más bajas si se comparan con un sistema de viga, porque el peralte total T_h es más alto.

4/16

En cambio, el diseño de una viga de gran claro requeriría mucho mayor peralte seccional en toda su longitud, o cuando menos en gran parte de ésta, porque el momento de conjunto aumenta con L^2 y la deflexión con L^4 . En consecuencia, las vigas comunes de gran claro necesitan una gran cantidad de material adicional para mantener una superficie plana.

Con estructuras curvas, las fuerzas resistentes del momento requeridas (C-C o I-I en la figura 1) se pueden controlar aumentando el peralte o la flecha del sistema como un todo, en vez de aumentar el peralte de la sección transversal. A medida que se maximiza el peralte estructural de conjunto, se minimizará el empuje de un arco o la tensión en un cable, así como los requerimientos de flección locales.

La principal objeción a los sistemas curvos consiste en que el hombre no puede desenvolverse tan fácilmente en superficies curvas como en superficies planas. Así, cuando se desean superficies habitables, es necesario apoyar o suspender un sistema plano auxiliar de un sistema estructural curvo principal.

Se pueden considerar tres tipos de sistema curvos: 1) sistemas de arco, 2) sistemas de suspensión y 3) sistemas de concha o cascarrón. De ellos, se analizará en seguida el primero.

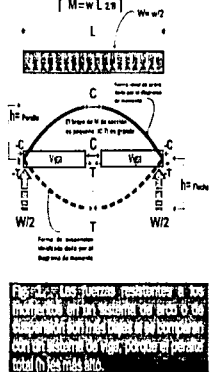


Fig. 2.1. Los sistemas de arco. Se muestran un arco con carga uniforme w y sus reacciones H y V . Se indica el momento M en la corona. Se incluye una sección transversal $C-C$ y una sección $I-I$.

1.1 SISTEMAS DE ARCO

Desde los inicios de la historia, la humanidad ha tratado de cubrir claros mediante la construcción de arco. Esto se debió a que un arco requería esencialmente materiales resistentes sólo a la compresión, y se disponía de grandes cantidades de materiales como la piedra o el barro para hacer ladrillos. Después, se produjeron y utilizaron el tabique cocido, el concreto y el acero.

En la figura 2 se ilustran los aspectos básicos de la estática para el diseño de arcos. Se suministra una carga uniforme (w), unidades por metro lineal, a lo largo de la extensión horizontal proyectada del arco. Debido a su simetría, la componente vertical de las reacciones de extremos es $V = wL/2$ (Fig. 2a). Nótese que esta reacción a la carga es la misma que para una viga común, y, similarmente, no hay fuerza cortante a través de la mitad del claro del arco, como se ilustra en el medio arco concebido como cuerpo libre (Fig. 2b).

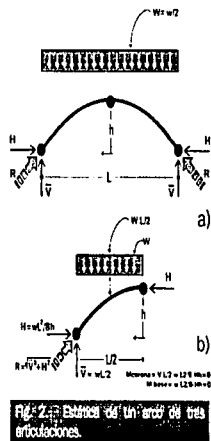


Fig. 2.2. Estática del arco. Se muestran un arco con carga uniforme w y sus reacciones H y V . Se indica el momento M en la corona. Se incluye una sección transversal $C-C$ y una sección $I-I$.

Tomando el momento cerca de la corona, se obtiene

$$M_{resistencia} = Hh = \frac{wL}{2} \left[\frac{L-L}{2} \right] \quad \text{y} \quad H = \frac{wL^2}{8h}$$

Donde (H) es análoga a las fuerzas C-T en una viga, y (h) es la altura total del arco. Obviamente, (h) es mucho mayor que (d) para el diseño de una viga y $H < C-T$.

Como para equilibrar se requiere que H sea constante a través del arco; una curva parabólica no produciría momento teóricamente sobre la sección del arco, la resultante sigue la línea natural de presión, y la reacción en los apoyos está dada por

$$R = \sqrt{H^2 + V^2}$$

En la figura 2 se ilustra un arco simétrico de tres articulaciones con una articulación en el centro y dos en los extremos. En estas condiciones, no puede haber momento en las articulaciones y el análisis que se presenta antes es figuradamente correcto. Si el arco tiene sólo dos articulaciones, o si no las tiene, como se ilustra en las figuras 3 y 4, respectivamente, los momentos flexionantes se pueden producir en la corona o en los extremos del arco, o en ambos lugares. En estos claros, las reacciones horizontales serán un poco diferentes de las de un arco de tres articulaciones, aunque la forma es parabólica debido a la deflexión que produce flexionamiento. Sin embargo, debido a que usualmente el peralte de la sección es pequeña en relación con el peralte del conjunto, la diferencia de deflexión será suficientemente pequeña para que, para un diseño preliminar, se

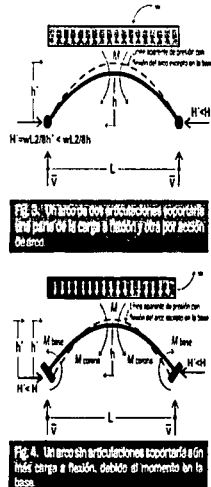


Fig. 3.4. Un arco con tres articulaciones. Se muestran un arco con carga uniforme w y sus reacciones H y V . Se indica el momento M en la corona. Se incluye una sección transversal $C-C$ y una sección $I-I$.

Fig. 4. Un arco sin tres articulaciones. Se muestran un arco con carga uniforme w y sus reacciones H y V . Se indica el momento M en la corona. Se incluye una sección transversal $C-C$ y una sección $I-I$.

puedan aun aplicar los cálculos para las reacciones de la figura 2. Para secciones rectangulares, una comparación bruta de flexionamiento en relación con la acción del arco, esta expresada por $2h^2/d^2$, donde h = peralte del arco y d = grosor.

Como la fuerza H varía Inversamente al peralte h , obviamente es conveniente usar un peralte tan alto como sea posible. Para la combinación de consideraciones estéticas y prácticas, con frecuencia se adopta una relación claro /peralte que va de 5 a 8, o tal vez hasta 12. A medida que la relación se eleva, surge un problema de ondulamiento debido a que las secciones requeridas para resistencia axial de las fuerzas H serán normalmente más esbeltas en relación con la longitud del arco (es decir, $\sim 1/50$). En consecuencia, las relaciones más altas requerirán un peralte de sección mayor, y con ello disminuyen las ventajas del arco.

9/16

Se ha mencionado que la forma ideal de un arco debe ser tal que siga una línea natural de presión, determinada por la distribución de carga vertical. Si es así, teóricamente el arco no sostendría momento flexionante y a lo largo de todo el arco habría compresión directa. Para comenzar, con frecuencia se puede suponer que la carga estática sobre el arco es uniforme y por tanto adopta la forma de una parábola. Esto se debe a que, en teoría, se podría suponer que un arco parabólico de tres articulaciones bajo carga uniforme no tendría momento en toda su longitud. Como se dijo antes, se producirán pequeños momentos flexionantes locales sólo si el arco tiene menos de tres articulaciones.

Sin embargo, en la práctica, se debe ver que un arco no está necesariamente sujeto a una carga uniforme. Primero, por lo general, existe una diferencia en el peralte (y, por tanto, de peso) del arco por unidad de claro. Entonces, el peso por m varía de nuevo debido a que la inclinación de la costilla misma del arco varía. Además, la carga viva puede actuar sobre partes del arco, de tal modo que la línea de presión no se conformará a ninguna forma predeterminada en que se considere solamente la carga muerta. Por lo tanto, en el diseño final, siempre es necesario diseñar el arco para soportar cierta cantidad de momento flexionante a fin de admitir una carga viva cambiante, si no hay otra.

10/16

El diseño de un arco para resistir momentos flexionantes es un problema muy complicado, pero se puede hacer una estimación aproximada, sobre todo si la carga muerta es alta y la viva relativamente ligera. Por ejemplo, en la figura 5 se muestra una línea de presión producida por la combinación de cargas viva y muerta. La línea se desvía del eje propio del arco y, en comparación con h , la cantidad de desviación es una medida del momento relativo que se tiene que absorber por flexionamiento. Nótese que, debido a su forma curva, los momentos en un arco de cualquier forma siempre serán mucho menores que los que se pueden desarrollar en una viga común que cubra la misma distancia.

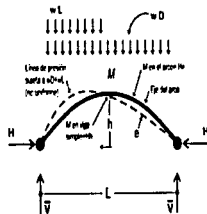


Fig. 5. Línea de presión y momento de un arco.

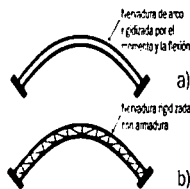


Fig. 6. Una membradura de arco reforzada por costillas de viga o armadura.

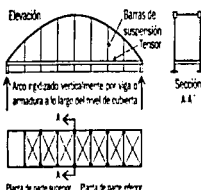


Fig. 7. Membradura de arco reforzada horizontalmente mediante refuerzo.

En la moderna construcción con arcos, se usan materiales como el concreto reforzado o el acero. Debido a que estos materiales pueden resistir tensión, así como compresión, pueden soportar momentos locales cuantificables y los miembros del arco pueden ser más esbeltos si se comparan con el claro. No obstante, a menudo es necesario rigidizar estos miembros o costillas contra el ondulamiento general en los planos vertical y horizontal.

Un arco de acero se puede rigidizar verticalmente con una viga maestra o un diseño de arco amiestrado (Fig. 6). En la figura 7 (elevación) se muestra que la rigidización o atiesamiento vertical también se puede lograr mediante el uso de una viga maestra o armadura a lo largo del nivel de cubierta. El peralte estructural de una armadura rigidizante fluctúa entre $1/40$ y $1/80$ del claro del arco L , mientras que la

11/16

12/16

una maestra de rigidización puede ser un poco menor. Nótese que las costillas de arco de la figura 7 se deben rigidizar lateralmente mediante algún tipo de armadura curva que sirva como diafragma, a lo largo del plano de costillas, o mediante marco rígido a través de secciones perpendiculares a la costilla (Fig. 7). Para resistir el empuje horizontal de los extremos de un arco, se deben construir apoyos pesados sobre suelo sólido o cimientos de pilotes. Como solución alternativa, los dos extremos se pueden atar con un miembro horizontal, como se indica en la figura 7.

13/16

1. SISTEMAS DE ARCO

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Demostrar a través del modelo, el comportamiento de un arco flexible cuando se somete a la acción de una serie de cargas, aplicadas en distintos puntos, mostrando que el colapso se presenta en el arco cuando aparecen alabeos en su configuración.

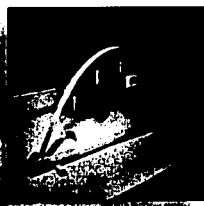
14/16

DESCRIPCIÓN DEL MÓDELO

Consta de una base de madera laqueada en color amarillo cromo, de $19 \times 45 \times 100$ mm. En cuyos extremos tiene aplicados aumentos para formar mordazas donde se fijarán los extremos del arco. Cada mordaza está formada por una base, una pieza ajustable y un tornillo de 6×48 mm, con maneral para lograr un apriete suficiente. Se complementa la base con un travesaño giratorio de solera para estabilizar el aparato y regatones de hule.

El arco es una tira de espuma de poliuretano flexible (SINTRA), de $0.3 \times 3 \times 120$ mm. a lo largo del cual están dispuestas armellas a cada 150 mm, para recibir pesas de diversas magnitudes.

Las pesas necesarias para el experimento, en número de siete, tienen una magnitud de 150 gr y son cilindros de bronce torneado de 25 mm. de diámetro x 50 mm. de alto, con un gancho superior para su sujeción en el arco.



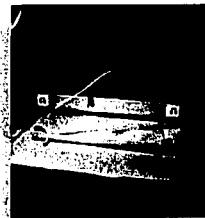
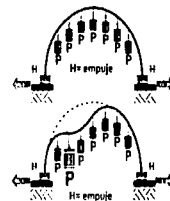
Aparato de Arco flexible

15/16

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Para ejemplificar las posibilidades de deformación de los arcos sin articulaciones al aplicarse cargas localizadas, se ha recurrido a un arco de sección mínima horizontal y muy esbelto.

Al ser cargado, el arco continuo permanece indeformable mientras la carga sea uniforme tanto en magnitud como en el espaciamiento de las pesas. Al momento en que se elimina carga asimétricamente, o bien se aplica una carga mayor en un punto determinado, la elástica del arco tiende a deformarse. Se demuestra con ello una de las principales características de los arcos continuos esbeltos, en los cuales existe la posibilidad de ondulamiento puntual por carga viva.



Aparato de Arco flexible

16/16

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABON TECNOLÓGICO:
8° TRIM. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Y TALLER INTERDISCIPLINARIO:
6° TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES I

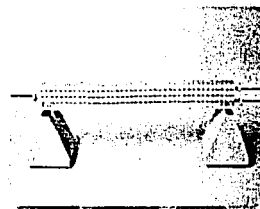
DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO. 2002.

1/11

ESFUERZOS COMBINADOS

SD-27 VIGA EN BLOQUES CON EJE COMPRESOR



DISEÑO:
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Función, S. A.

APOYO TÉCNICO:
Ing. Carlos García Maldonado.

PRODUCCIÓN GRÁFICA:
Ing. Gabriela Solís Méndez de Oca
Sergio Prieta Muñoz.

COORDINACIÓN Y DIRECCIÓN:
Ing. Carlos H. Moreno Tamayo.

IDEA Y DISEÑO:

Curriculum de los Estructurales por Estructuras
E. M. Gómez
Ingeniería de Estructuras S. A. de C. V.
México 2001

Programa de Estudios para la Ingeniería
Cursos Especiales de Estructuras
Ing. Roberto Sánchez
México 2001

Resistencia de Materiales vol. 1.
Eugenio Pimentel
(1974). México (1982).

Resistencia de Materiales.
Rosenblyum, Daniel Samoylovich
(1974). México (1975).

La Estructura.
Werner Auerbach.
(1974). México (1975).

2/11

VIGA EN BLOQUES

INTRODUCCIÓN

En las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto arquitectónico o de obra civil, es muy importante definir con cierta precisión los sistemas estructural y constructivo más apropiados para el proyecto en cuestión.

Entre los factores que se deben tomar en consideración para determinar tales sistemas, están los siguientes: el destino del edificio, las cargas que deberá resistir, las condiciones del terreno, su localización, la disponibilidad de los materiales y equipos, los costos, las instalaciones y otros factores que son determinantes en el proceso de diseño.

Uno de los sistemas estructurales más usuales es el denominado "sistema de masa activa" (Engel H.). Que considera a la trabe o viga como uno de los elementos característicos del sistema. Cuando se presentan en conjunto y unidas en forma ordenada a una serie de columnas, forman una estructura reticular.

Desde el punto de vista de la Estática y de la Resistencia de Materiales, la trabe o viga es un elemento estructural que se considera básico para el estudio de las acciones mecánicas tanto externas como internas que en ellas se presentan.

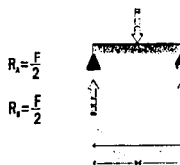
El modelo experimental viga en bloques con eje compresor, se propone para que los estudiantes de la carrera de Arquitectura refuerzen de una manera práctica sus conocimientos de Estática y Resistencia de Materiales, además de entender como se comportan mecánicamente las trabes en los edificios.

3/11

APOYO TEORICO

La trabe se puede definir como un elemento estructural con cargas aplicadas sobre su eje longitudinal y tiene como función librar un claro (García Maldonado, C. 2001).

Se le considera estáticamente determinada porque el número de incógnitas en sus apoyos se determina fácilmente por las ecuaciones de la Estática (fig. 1).



$$R_A = \frac{F}{2}$$

$$R_B = \frac{F}{2}$$

Fig. 1 Trabe apoyada en sus extremos

Grado de solución:

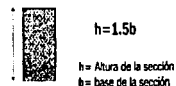
Viga coplanar estáticamente determinada, también llamada isostática.

Condiciones en los extremos:

Apoyada en ambos extremos.

Condiciones de la sección:

Su sección recta es de forma rectangular y está fuertemente proporcionada de tal forma que su altura (h) o peralte total es igual a dos veces su base (b) (fig. 2):



$$h = 1.5b$$

h = Altura de la sección
b = base de la sección

Fig. 2 Proporción de la sección

4/11

APOYO TEORICO

Las incógnitas del problema son:

- la magnitud de la reacción en el apoyo A
- la magnitud de la reacción en el apoyo B

Las ecuaciones de equilibrio que proporciona la estática son:

a) La suma algebraica de los momentos es iguala cero: $\Sigma M = 0$

b) La suma algebraica de las fuerzas es iguala cero: $\Sigma F = 0$

Para el estudio de las vigas es necesario considerar el concepto de su sección recta, quedando definida por un corte perpendicular con respecto al eje longitudinal (fig. 3).



Fig. 3 Esquema de la sección recta

Una de las propiedades de la sección recta que es importante considerar y observar durante el experimento, es la que se refiere a su momento de inercia respecto a sus ejes centroidales.

Los momentos de inercia centroidales se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

APOYO TEORICO

Con respecto al eje Xc

$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

Con respecto a su eje Yc

$$I_y = \frac{b^3h}{12}$$

Otro concepto que debe conocerse para entender el experimento se refiere a la deformación del eje longitudinal de la viga, y está referido a la curva elástica. Curva que queda definida mediante una ecuación particular.

Una vez aplicada la fuerza al centro de la longitud sobre la trabe en bloques, ésta se flexionará provocando una deformación angular máxima en cada extremo, y una deformación vertical máxima al centro de su longitud llamada flecha (fig. 4).

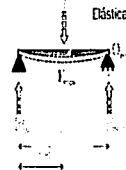


Fig. 4

Las ecuaciones que representan a las deformaciones respectivamente son:

Para calcular la deformación angular máxima:

$$\theta = \frac{Fl^2}{16EI}$$

Para calcular la flecha máxima:

$$y = \frac{FL^3}{48EI}$$

APOYO TEORICO

La trabe en bloques al ser deformada presentará dos zonas quedando divididas por la curva elástica, provocando fuerzas de compresión en la zona superior, y fuerzas de tensión en la zona inferior (fig. 5).

- zona de compresión
- zona de tensión



Fig. 5 Fuerzas de tensión y compresión producidas por la deformación en la sección recta

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

- Determinar el comportamiento mecánico de la sección, cuando la trabe está sometida a una fuerza concentrada al centro de su longitud, identificando su deformación elástica, la localización del eje neutro, además de las zonas de tensión y compresión.
- Determinar las zonas de acortamiento y de alargamiento en las secciones rectas de la trabe.
- Determinar los puntos de la longitud de máxima deformación angular, y deformación vertical.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

La trabe en bloques está formada por 40 bloques de acrílico. La sección recta de la trabe en bloques mide 50 mm de base y 75 mm de altura, el espesor de cada bloque es de 19 mm.

Cada bloque consta de tres barrenos de 6.3 mm de diámetro para colocar en cada barreno un resorte calibre 22 de acero inoxidable de 6.3 mm de diámetro. La longitud de cada resorte es de 1.0 m de longitud, el cual lleva en sus extremos un separador de aluminio del mismo diámetro interior con el fin de facilitar el ajuste o apriete de la mordaza y que los resortes recuperen su forma original, una vez retirada la fuerza.

Las mordazas están fabricadas en aluminio y llevan un tornillo tipo allen de 3.2 mm de diámetro para su cierre.

Para realizar el experimento, la trabe en bloques es soportada en sus extremos mediante dos apoyos fabricados en forma de trapecio, con madera laqueada en color amarillo. Uno de ellos tiene rodamientos y el otro tiene regatones de hule para mantenerse fijo.

La trabe en bloques se apoya sobre esos soportes en un espumado de PVC con un forro superior de tela.



DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

1. Para iniciar el experimento, la trabe en bloques deberá estar libre de carga para estudiar la posición de ésta sin deformación y con el objeto de explicar que inicialmente la deformación es igual a cero. Sin embargo, con su propio peso, se deformará la trabe.

2. A continuación deberá aplicarse en el centro de la longitud de la trabe, una carga para demostrar la deformación producida, identificando las zonas de tensión, compresión y deformación angular y vertical.

3. El alumno deberá elaborar un reporte para describir lo observado durante la prueba.

9/11

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Después de aplicar la carga a la trabe en bloques al centro de su longitud, se demuestra:

- Si se retira la carga, la trabe tardará en recuperar su estado inicial antes de que se aplicara la carga.

- Que los bloques de acrílico se separan en la zona inferior y se juntan en la zona superior.

- Una deformación elástica de la trabe.

- Una flecha vertical al centro de la longitud.

- Una deformación angular en los extremos de la trabe.

- Un alargamiento del resorte en la zona inferior de la trabe y un acortamiento en su zona superior.

10/11

69

REACTIVO DEL EXPERIMENTO

Para ejemplificar las deformaciones de la trabe en bloques, apoyada en sus extremos, se propone el siguiente ejercicio:

$$I_x = 8,491 \text{ cm}^4$$

$$E_s = 2,000,000 \text{ kg cm}^2$$

Una trabe de acero de sección recta IR, apoyada en sus extremos, soporta una carga concentrada en el centro de su longitud de $F = 5 \text{ ton}$.

$$\theta_{\text{max}} = \frac{(5,000 \text{ ton})(600 \text{ cm})^2}{(16)(2,000,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(8,491 \text{ cm}^4)}$$

$$\theta_{\text{max}} = 0.006624 \text{ rad.}$$

Si la longitud de la trabe es de 6 m. Determine las deformaciones máximas:

$$y_{\text{max}} = \frac{(5,000 \text{ ton})(600 \text{ cm})^3}{(48)(2,000,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(8,491 \text{ cm}^4)}$$

Datos Perfil propuesto

$$I_x = 1.32 \text{ cm}^4$$

$F = 5 \text{ Ton}$. IR 305 mm x 38.7 kg/m

$L = 6 \text{ m}$.

11/11

TESTES CON
FALLA DE ORIGEN

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABONES TECNOLÓGICOS Y TALLERES INTERDISCIPLINARIOS:
6º TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES I.

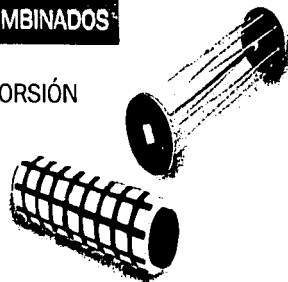
DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones, Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO, 2002.

111

ESFUERZOS COMBINADOS

SD-28 APARATOS DE TORSIÓN



DESIGN
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Función, S. A.
COMUNICACIÓN TÉCNICO (DISEÑO):
Alicia Cortés H., Norma Ramírez,
D.L. Javier E. Salinas Rocha.

PROYECCIÓN GRÁFICA:
Programa de Servicios Gráficos
Maurochil División Gráfica.

COMERCIALIZACIÓN Y COLECCIÓN:
Alicia Cortés H., Norma Ramírez.

FINANCIAMIENTO:
Sistema de Estructuras para Análisis y Experimentación.
T. y L. S. Structures
E. L. Limón
Munoz

FILM QUÍMICO:
E. L. Limón y E. L. Limón
Manufacturas de Copias S. A. y Minerva S. A. (México)
E. L. Limón y E. L. Limón, No. 12067
Prepared by Project Director Robert A. Jensen
with the collaboration of Maria G. Salazar

Asistencia de Ingeniería Structures
Munoz S.
E. L. Limón

Procesos de Modelos
Munoz S.
E. L. Limón y Servicios de Ingeniería

Escritorio y Asistencia de Modelos,
Servicios de L. S. S. A.
E. L. Limón

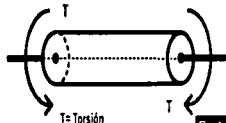
Structures by Design,
Ensenada, B. C.
E. L. Limón and Salazar

211

2. TORSIÓN

La torsión puede definirse como el efecto producido por un par de fuerzas de sentido opuesto, separadas entre sí y cuyos ejes se localizan sobre las tangentes a dos planos circulares perpendiculares al eje longitudinal de la pieza.

(Fig. 1) (Fig. 2)



Para comprender mejor este tipo de esfuerzo supongamos una barra de poliuretano de sección circular sobre la cual se ha trazado una red compuesta de rectángulos. Al ser torsionada la barra podemos ver que las líneas verticales correspondientes a su sección transversal mantienen su posición, mientras que las horizontales, que representan las fibras longitudinales, forman un helicoides. El eje neutro de la barra no sufre deformación. (Fig. 3)

BARRA TORSIONADA



D = Diámetro
d = Diámetro reducido

La presencia de cortante es evidenciada por la transición de los rectángulos de la red en rombos, es decir, se presentan en el elemento esfuerzos de tensión y compresión combinados.

DEFORMACIONES SECUNDARIAS:

Se producen asimismo, dentro de la barra torsionada otro tipo de deformaciones:

- El diámetro de la sección transversal se reduce.
- La longitud total de la barra se reduce.

ESFUERZO CORTANTE PRESENTE EN LA TORSIÓN

Es un hecho que en un miembro de sección circular tal como una flecha se producen fuerzas cortantes internas cuando se somete a esfuerzos de torsión. El producto de estas fuerzas cortantes por sus respectivas distancias al eje de la flecha produce momentos cuya suma (o resultante) se expresa como $\sum M = 0$, y constituye el par resistente interno del elemento.

Las fuerzas y esfuerzos de tipo cortante actúan en dirección perpendicular a la sección transversal de la pieza. Para analizar la torsión en miembros de sección circular se debe conocer la relación entre el par aplicado y los esfuerzos internos producidos por ese par. Para establecer esa relación se plantean las siguientes hipótesis:

a) Una sección plana dentro de la barra permanece plana después de la torsión. Esto significa que una sección transversal de la barra no se alabea después del esfuerzo inducido.

b) Los esfuerzos se mantienen dentro del rango elástico. Es decir, se encuentran debajo del límite de proporcionalidad al cortante y responden a la ley de Hooke.

c) Las deformaciones por cortante varían linealmente desde cero en el eje de la barra hasta un máximo en las fibras externas. (Fig. 4) (Fig. 5)

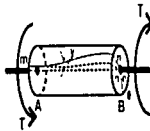


Fig. 5

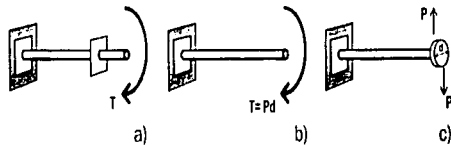


Fig. 4

5/11

Un ejemplo de la acción compresiva de un material torsionado lo tenemos en el agua expulsada de un trapo mojado al exprimirse, lo que demuestra la reducción dimensional del diámetro de su sección transversal (Fig. 6).

Cuando un material pétreo falla debido a esfuerzos de torsión la zona de fractura adquiere la forma de una helicoides. Dado que este tipo de materiales sólo admiten esfuerzos de compresión dentro de su función estructural, la fractura se debe a la tensión en la pieza (Fig. 7).



Fig. 6



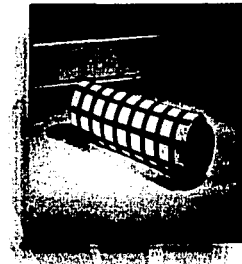
Fig. 7

6/11

2. TORSIÓN

● OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

Demostrar a través del modelo las condiciones que se presentan en una flecha torsionada, visualizando los efectos de esfuerzos de tensión y compresión, así como la presencia del cortante a nivel interno.



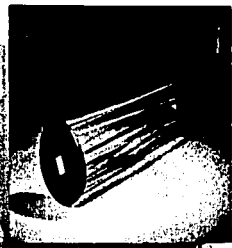
Barra cilíndrica de espuma de poliuretano de alta densidad

DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

El experimento se apoya en dos modelos para explicar las características del esfuerzo de torsión.

a) Barra cilíndrica de espuma de poliuretano de alta densidad, de 35 cm. de longitud por 10 cm. de diámetro. Está confinada en sus extremos por tapas de plástico ABS del mismo diámetro y materiales estrñados que permiten manipular con seguridad el aparato. Tiene impresa superficialmente una retícula negra de pintura flexible formando cuadrados de 4 cm. por lado.

8/11



Barra cilíndrica en esqueleto

DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

b) Barra cilíndrica en esqueleto formada por filamentos de fibra de vidrio de 3 mm. de diámetro en su perímetro, asegurados en sus extremos por medio de casquillos metálicos a tapas de plástico ABS de 10.5 cm. de diámetro por 9 mm. de espesor.

Complementa el aparato un eje de aluminio de 5 mm. de diámetro con un extremo fijo a tope y el otro atravesando una de las tapas y sujeto con un resorte y una penola cabecera, esto para permitir el acortamiento del aparato al ser aplicada la torsión.

9/11

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

a) Se somete a torsión la barra de espuma plástica haciendo girar los materiales de sus extremos en sentidos opuestos. Podrá observarse que la retícula de cuadrados se deforma en rombos, donde las líneas longitudinales tienden a configurarse como helicoides, en tanto que los anillos transversales no cambian de posición, pero reducen su diámetro. Los planos perpendiculares al eje principal de la barra permanecen paralelos entre sí acusando la presencia de esfuerzo cortante al deformarse la retícula.



Aparato No. 1 para la demostración del efecto de torsión

10/11

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

b) Cuando una barra es torsionada alrededor de su eje, además de que sus fibras longitudinales se tuercen ligeramente en forma helicoidal, también tienden a elongarse, o bien la pieza tiende a acortarse. Esto es particularmente notorio en el modelo en esqueleto, mismo que, al sufrir torsión sus tapas se acercan entre sí gracias al dispositivo de resorte en el extremo del eje. El otro efecto interesante y muy evidente cuando se aplica torsión, es la reducción del diámetro en el centro de la pieza. Cuando la torsión excede el límite plástico del material en una barra cualquiera, ésta se segmenta al reducirse en demasía su sección transversal.



Aparato No. 2 para la demostración del efecto de torsión

11/11

PROTOS TIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABÓN TECNOLÓGICO:
9º TRIM. SISTEMAS ESTRUCTURALES,
LABORATORIO DE DISEÑO

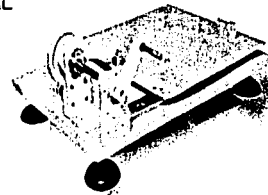
Y TALLERES INTERDISCIPLINARIOS DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones, Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO, 2002.

1/11

CARACTERÍSTICAS MECÁNICO-ESTRUCTURALES

SD-32 MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL



DISEÑO:
Laboratorio de Modelos Estructurales.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Fundón, S. A.

APOYO TÉCNICO:
M. en L. Mario Ramírez Centeno.

PROYECCIÓN GRÁFICA:
Programa de Servido Social
Sergio Pineda Muñoz.

COORDINACIÓN Y CORRECCIÓN:
Arc. Carlos H. Moreno Ramírez.

INGENIERÍA:
D. en Ing. de Estructuras, Ingeniería de Estructuras,
Escuela de Ingeniería y Física, Universidad de los Andes,
Caracas, Venezuela.

English and Research Design for Engineers and Architects,
David S. Elmer,
FA, Wiley, second edition.

2/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

INTRODUCCIÓN

Los sismos, terremotos o temblores de tierra, son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones. Sin embargo, los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería y la arquitectura, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que está subdividida dicha corteza. Las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene en contacto los bordes de las placas y producen caldas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. La energía se libera principalmente en forma de ondas vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

Es esta vibración de la corteza terrestre la que pone en peligro las edificaciones que sobre ella se desplantan, al ser éstas solicitadas por el movimiento de su base. Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura y que pueden conducirla a la falla.

3/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

APOYO TEÓRICO

El movimiento sísmico del suelo se transmite a los edificios que se apoyan sobre éste. La base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, mientras que, por inercia, la masa del edificio se opone a ser desplazada dinámicamente y a seguir el movimiento de su base. Se generan entonces las fuerzas de inercia que ponen en peligro la seguridad de la estructura. Se trata de un problema dinámico y que, por la irregularidad del movimiento del suelo y por la complejidad de los sistemas constituidos por las edificaciones, requiere de grandes simplificaciones para ser objeto de análisis como parte del diseño estructural de las construcciones.

El movimiento del suelo consta de vibraciones horizontales y verticales. Como ya hemos mencionado, las primeras resultan en general más críticas. La flexibilidad de la estructura ante el efecto de las fuerzas de inercia hace que ésta vibre de forma distinta a la del suelo mismo. Las fuerzas que se inducen en la estructura no son función solamente de la intensidad del movimiento del suelo, sino que dependen en forma preponderante de las propiedades de la estructura misma. Por una parte, las fuerzas son proporcionales a la masa del edificio y, por otra, son función de algunas propiedades dinámicas que definen su forma de vibrar.

4/11

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

73

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

APOYO TEÓRICO

Una apreciación aproximada de la respuesta sísmica de una estructura se tiene al estudiar un modelo simple, que es un sistema de un grado de libertad, constituido por una masa concentrada y un elemento resistente con cierta rigidez lateral y cierto amortiguamiento. Este sistema se caracteriza por su periodo natural de vibración que es proporcional a la raíz cuadrada de la relación entre la masa y la rigidez.

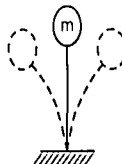
Los movimientos del suelo son amplificadas en forma importante por la vibración de la estructura, de manera que las aceleraciones que se presentan en la misma llegan a ser varias veces superiores a las del terreno.

El grado de amplificación depende del amortiguamiento propio de la edificación y de la relación entre el periodo de la estructura y el periodo dominante del suelo. De esta manera, cuando los movimientos del suelo son bruscos con predominio de ondas de periodo corto, resultan más afectadas las construcciones rígidas y pesadas. Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos, es en las estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones y se generan aceleraciones más elevadas y por ende fuerzas de inercia mayores.

5/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

APOYO TEÓRICO



$$T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Frecuencia (F) = Número de oscilaciones completas que ocurren en un segundo.

Periodo (T) = Tiempo que dura una oscilación completa.

$$T = \frac{1}{F}$$

Las fuerzas de inercia que se generan por vibración en los lugares donde se encuentran las masas del edificio se transmiten a través de la estructura por trayectorias que dependen de la configuración estructural. Estas fuerzas generan esfuerzos y deformaciones que pueden poner en peligro la estabilidad de la construcción.

6/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

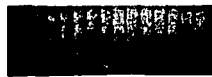
● OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

1. Determinar experimentalmente la frecuencia natural de vibración de varias estructuras ubicadas sobre la mesa.
2. Identificar cuales son las variables que más influyen en el comportamiento dinámico de las estructuras ensayadas.
3. Identificar el efecto que se tiene sobre una estructura particular cuando la base se mueve con un periodo semejante al de la propia estructura.
4. Identificar los tipos de movimiento que sufre una estructura tridimensional con diferentes configuraciones ante movimientos de distinta frecuencia.

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo consiste en una masa oscilatoria unidireccional que se acciona manualmente. Las dos variables que pueden establecerse en el modelo son:

- La frecuencia del movimiento.
- La amplitud del movimiento.



7/11

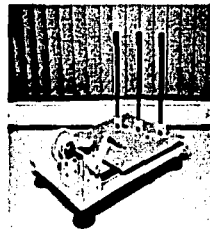
MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

● DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En la placa móvil, o de soporte, pueden sujetarse dos tipos de estructuras disponibles en el laboratorio:

- Péndulos invertidos de distinta masa y rigidez de la barra.
- Estructuras formadas por columnas y vigas de metal que forman estructuras de varios niveles, y a las cuales se les pueden añadir entrepisos de madera.

Para ajustar la amplitud del movimiento es necesario cambiar la posición de la palanca a una nueva ubicación (con mayor o menor radio) en la polea perforada. Para ajustar la frecuencia del movimiento, deberá hacerse variar la velocidad de giro de la manivela del modelo.



8/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

1. Equipo y material necesario.
- Mesa oscilatoria.
- 3 péndulos invertidos de diferentes longitudes y masa ajustable.
- Estructura metálica tridimensional de 5 niveles.
- 5 entrepisos cuadrados de madera.
- Reloj de pulso de preferencia con cronometro.

2. Antes de colocar las estructuras sobre la mesa, los alumnos deberán hacer funcionar la mesa para familiarizarse con la fuerza y velocidad necesaria para moverla usando la manivela. Deberán ser capaces de medir la frecuencia de oscilación de la mesa. Para ello se medirá el tiempo que tardan en completarse diez o más ciclos completos de oscilación. La frecuencia de oscilación será el cociente del tiempo entre el número de ciclos considerados.

9/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

3. Péndulos Invertidos.

- Se fijaran tres péndulos invertidos de distinta altura y misma masa en la mesa.
- Se hará funcionar la mesa oscilatoria con una velocidad creciente, observando en todo momento el comportamiento de los péndulos.
- Al ir aumentando la velocidad se notará que uno por uno, los péndulos responden más a una determinada frecuencia. Una vez que se logre excitar a un péndulo en particular, deberá calcularse la frecuencia con que se está moviendo la mesa. Luego, incrementalmente la frecuencia y repita el procedimiento para los demás péndulos.
- Sin accionar la mesa, se dará a cada péndulo un ligero desplazamiento lateral de 2 ó 3 centímetros y posteriormente se soltará para dejarlo vibrar libremente.
- Mientras el péndulo vibra, deberán contarse diez o más oscilaciones completas del péndulo y medir el tiempo que tardan en completarse dichos ciclos.
- El periodo fundamental de vibración del péndulo podrá calcularse dividiendo el tiempo total medido entre el número de oscilaciones medidas.
- Repetir el procedimiento anterior para los otros dos péndulos.
- Compare la frecuencia medida de esta última forma con los resultados obtenidos al hacer funcionar la mesa.

10/11

MESA DE DESPLAZAMIENTO UNIDIRECCIONAL

● DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

4. Estructura Tridimensional.

- Se fijará la estructura sin entrepisos a la mesa de modo que las caras de la misma sean paralelas a los bordes de la mesa.
- Se medirá el período fundamental de vibración de la estructura haciendo funcionar la mesa del mismo modo que se hizo para los péndulos.

● Ahora, sin activar la mesa, determine la frecuencia fundamental de vibración de la estructura. Compare la frecuencia obtenida con la estimada en el paso anterior.

● Se repetirá el proceso anterior de dos pasos, pero se colocaran los entrepisos de madera a la estructura, compare este resultado con el obtenido en la etapa anterior.

● Nuevamente se repetirá todo el proceso, pero la estructura sin entrepisos se colocara sobre la mesa girada 45°, en los orificios preparados para tal fin.

11/11

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABÓN TECNOLÓGICO:
8° TRIM. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Y TALLERES INTERDISCIPLINARIOS DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA. AZCAPOTZALCO. 2002.

1/10

ESFUERZOS SIMPLES

SD-34a TRABELOSA Segmento Longitudinal

DISEÑO
Laboratorio de Modelos Estructurales.

AYUDA TÉCNICA:
M. en A. Juan Guillermo Cardingh Lundin.
Mtro. Mario Ramirez Cantares.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
Forma y Función, S. A.

PRODUCCIÓN GRÁFICA:
Ars. Gabriela Sofía Morales de Oca.
Sergio Pineda Muñoz.

COORDINACIÓN Y DISEÑO:
Ars. Carlos M. Moreno Domínguez.



DISEÑO GRÁFICO:
Sergio Pineda Muñoz
Artes y Gráficas
12 de Mayo
Toluca 1477

Distribución de Materiales en I
Laboratorio de Modelos Estructurales
UNAM
México 1992

2/10

TRABELOSA

INTRODUCCIÓN

El hombre siempre ha cubierto sus espacios habitables, en el transcurso de la historia ha utilizado diferentes materiales y formas para lograrlo. Actualmente, estas formas se han diversificado con la aparición del acero y del concreto reforzado.

Para cubrir claros pequeños normalmente se utilizan losas planas macizas o aligeradas, para claros mayores se utilizan otros sistemas estructurales aprovechando las características geométricas de la forma. Éste es el caso de la **trablosa**, que fue muy usada para cubrir grandes claros a mediados del siglo pasado.

TRABELOSA

AYUDA TEÓRICA

Las trablosas de este experimento están libremente apoyadas en sus dos extremos y trabajan en una sola dirección paralela a sus pliegues.

La rigidez de un elemento estructural depende de varios factores:

- Módulo de Elasticidad del material. (e)
- Momento de Inercia de la sección transversal. (I)
- Condiciones de Apoyo. (f)
- Longitud. (L)

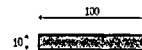
Y puede ser determinada con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{eI}{L} \times f$$

Suponiendo como constantes al material, a la condición de apoyo y a la longitud, nos queda como variable el momento de inercia I.

Ejemplos:

Si comparamos una losa plana cuyo espesor es de 10 cm y su longitud es de 100 cm, tenemos:



$$I = \frac{bh^3}{12}$$

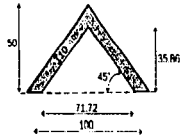
$$= \frac{(100 \text{ cm}) (10 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I = 8,333.30 \text{ cm}^4$$

4/10

TRABELOSA

Con una losa plegada con los mismos 10 cm de espesor, pero con una inclinación de 45°, tenemos:



Inercia centroidal del triángulo externo:

$$I_x = \frac{bh^3}{36} = \frac{(100)(50)^3}{36}$$

$$I_x = 347,222.22 \text{ cm}^4$$

Del triángulo interno:

$$I_x = \frac{bh^3}{36} = \frac{(71.72)(35.86)^3}{36}$$

$$I_x = 91,868.92 \text{ cm}^4$$

Cálculo del centroide global:

Fig.	A	\bar{y}	$A\bar{y}$
1	2,500	16.67	41,675
2	-1,285.94	11.95	-15,366.98
	1,214.06	21.67	26,308.02

$$\bar{y} = \frac{26,308.02}{1,214.06} = 21.67 \text{ cm}$$

Inercia global:

$$I = [347,222.22 + (100 \cdot 50 \cdot 0.5)(21.67 - 16.67)^2] - [91,868.92 + (71.72 \cdot 35.86 \cdot 0.5)(21.67 - 11.95)^2]$$

$$I = 409,722.22 \text{ cm}^4 - 213,362.43 \text{ cm}^4$$

$$I = 196,359.78 \text{ cm}^4$$

Aumento en la inercia:

$$\frac{\text{Losa plegada}}{\text{Losa plana}} = \frac{196,359.78 \text{ cm}^4}{8,333.33 \text{ cm}^4} = 23.56 \text{ veces mayor}$$

Aumento en el área:

$$\frac{\text{A losa plegada}}{\text{A losa plana}} = \frac{1,214.06 \text{ cm}^2}{1,000.00 \text{ cm}^2} = 1.21 \text{ veces mayor}$$

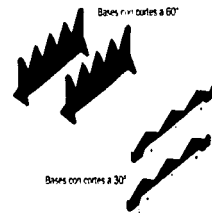
5/10

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

- Demostrar que una trabelosa tiene mucho más rigidez que una losa plana.
- Demostrar que una trabelosa tiene mayor capacidad de carga que una losa plana.
- Demostrar la influencia de la forma del elemento estructural, en su rigidez y capacidad de carga.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Consta de cuatro bases dentadas de madera, de $35 \times 14 \times 1.5$ cm, laqueadas en color rojo, dos de ellas tienen cortes con una inclinación de 60° su parte superior, las otras dos tienen cortes a 30° , ambos tipos de base tienen una longitud de 8 cm, donde deberá colocarse la trabelosa, fabricada con cartulina doblada.



6/10

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

- 1.- Se disponen las bases con cortes a 60° , separadas 30 cms entre sí 30.
- 2.- Se coloca sobre ellas una cartulina plana y se observa la deformación producida por su propio peso.
- 3.- Se sustituye la cartulina plana, por una doblada en forma de trabelosa.

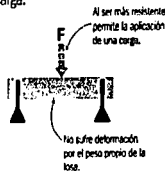


Forma leal de la losa plana, sin aplicación de carga alguna.

Deformación producida por el peso propio de la losa.



- 4.- Se observa que no se deforma por su propio peso y que incluso resiste una sobrecarga.



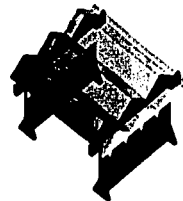
Al ser más resistente permite la aplicación de una carga.

No sufre deformación por el peso propio de la losa.

7/10

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

- 5.- Se colocan las bases con cortes a 30° sobre las anteriores y la misma trabelosa sobre éstas últimas.



- 6.- El alumno deberá elaborar un reporte de lo que observe en el experimento.

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Después de realizar el experimento podemos determinar varios conceptos:

- Una losa plana experimenta una deformación producida por su propio peso.
- Una Trabelosa con una inclinación de 60° , es mucho más resistente que la losa plana, pero requerirá de más material para cubrir un mismo espacio.
- Una Trabelosa con una inclinación de 30° es menos resistente que la anterior, pero tampoco experimenta deformación producida por su propio peso, aunque su capacidad de carga es menor que cuando los cortes son a 60° .

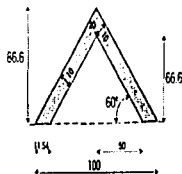
8/10

CONCLUSIONES

- La cartulina en forma de trabelosa a diferencia de la losa plana, no sufre deformación debido a su propio peso.
- La trabelosa es mucho más resistente que la losa plana, por lo tanto podemos decir que la forma influye de forma importante en la rigidez de los elementos estructurales.

EJERCICIO

Obtener el momento de inercia de una trabelosa de 10 cm de espesor, con una inclinación de 60° y 100 cm de ancho.



Inercia centroidal del triángulo externo:

$$I_1 = \frac{bh^3}{36} = \frac{(100)(86.6)^3}{36} = 1'804,060.8 \text{ cm}^4$$

Del triángulo interno:

$$I_2 = \frac{bh^3}{36} = \frac{(76.92)(66.6)^3}{36} = 631,189.0 \text{ cm}^4$$

9/10

EJERCICIO

Cálculo del Centroide Global

Fig.	A	y	Ay
1	4,330	28.86	124,963.8
2	-2,561	22.2	-56,854.2
	1,769		68,109.6

$$y = \frac{68,109.6}{1,769} = 37.92 \text{ cm}$$

Inercia global mediante el Teorema del Eje Paralelo:

$$I = 1'804,060.8 + \frac{(100)(86.6)(37.92-28.86)^2}{2}$$

$$= 631,189 + \frac{(76.92)(66.6)(37.92-22.2)^2}{2}$$

$$= 2'159,482.7 - 1'264,166.9 = 895,315.7 \text{ cm}^4$$

Aumento en la inercia

$$I_{\text{losa pérgola}} = 895,315.7 \text{ cm}^4 = 107 \frac{\text{TONOS}}{\text{MDS}}$$

$$I_{\text{losa plana}} = 8,333.3 \text{ cm}^4$$

10/10

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABONES TECNOLÓGICOS Y TALLERES INTERDISCIPLINARIOS:
6º TRIM. RESISTENCIA DE MATERIALES I.

DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO. 2002.

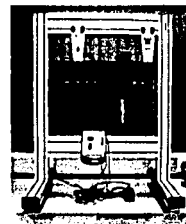
1/15

ESFUERZOS COMBINADOS

STR3

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA:

Guía para el Profesor.



MATERIAL ORIGINAL, DESARROLLO Y FINANCIACIÓN:
RQ Education and Training Ltd.
Product Division, England, 2001.

TRADUCCIÓN:
Ing. José de la Cruz Armas

PRODUCCIÓN GRÁFICA:
Ing. Gabriela Solís Martínez de Oca
Sergio Prieto Muñoz

COORDINACIÓN:
Ing. Carlos R. Álvarez Ramírez

2/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

CONTENIDO

Sección		Página
1	INTRODUCCIÓN	4
2	DESCRIPCIÓN	5
	Condiciones de operación	7
	Cómo preparar el equipo	7
3	EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DE MUESTRAS	
	Experimento 1: Variación de la fuerza cortante con una carga puntual creciente.	11
	Experimento 2: Variación de la fuerza cortante para varias condiciones de carga	13
	Sugerencia para trabajo adicional	15
	Cuidados y Mantenimiento	15
	Piezas de repuesto	15

3/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

INTRODUCCIÓN

El experimento de Fuerza Cortante en una Viga, da a los estudiantes una visualización y prueba de la teoría básica de la fuerza cortante. Esto proporciona una base sólida para trabajos adicionales. Los experimentos son rápidos, claros y precisos, e ideales para estudiantes que trabajan por su cuenta o en grupos.

El experimento de Fuerza Cortante en una Viga es parte de un rango modular de equipo que enseña los fundamentos de las estructuras. Este rango en una manera moderna, productiva, eficiente en tiempo y costo con que los estudiantes pueden aprender sobre las estructuras. Es una herramienta invaluable para la enseñanza de los principios estructurales en diversas ramas de la Arquitectura y de la Ingeniería Civil.

Esta guía para el profesor proporciona detalles sobre el equipo y describe cómo prepararlo y usarlo; también da indicaciones sobre cuidados y mantenimiento, e incluye resultados típicos para los experimentos descritos en la Guía para el Estudiante.

Por conveniencia, los procedimientos del experimento proporcionados en la Guía para el Estudiante pueden ser copiados y entregados a cada estudiante como una hoja de trabajo de laboratorio.

4/15

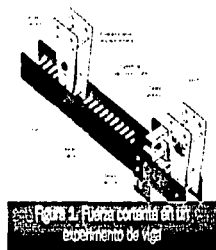
FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

DESCRIPCIÓN

Igual que otros experimentos en el rango de las estructuras IQ, el experimento de Fuerza Cortante en una Viga cabe en el marco para pruebas de estructuras (STR1). El marco para pruebas de estructuras es un marco robusto de aluminio que se coloca sobre una mesa de trabajo.

Las cargas son aplicadas en los experimentos usando colgantes que soportan varias masas. La Disposición Digital de Fuerza (STR1a) mide y presenta electrónicamente las fuerzas durante los experimentos. Ella se fija convenientemente al marco de pruebas. Todo el equipo puede ser conectado a una computadora por medio de una Unidad de Adquisición de Datos Automática y el Software especial (STR2000).

La figura 1 muestra el experimento Fuerza Cortante en una Viga. Éste consiste en una Viga que es "cortada". Para evitar que la viga se colapse, un mecanismo (que permite movimiento sólo en la dirección del corte) presenta el corte sobre una celda de carga reaccionando (y midiendo) así la fuerza cortante. Una exhibición digital muestra la fuerza de la celda de carga.



5/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

Un diagrama sobre el soporte izquierdo de la viga muestra la geometría de la viga y las posiciones del colgante. Los soportes del colgante están separados a rinda 20 mm, y tienen una ranura central que posiciona a los colgantes. La viga cuelga del miembro superior del marco de pruebas, en lugar de asentarse sobre la base, de manera que los soportes no interfieren con las posiciones de carga.

Como la celda de carga tiene una deflexión casi igual a cero, ninguna compensación en el nivel de la viga es necesaria para un incremento de la fuerza. Así entonces, la viga permanece perfectamente horizontal independientemente de la carga aplicada.

Todos los pivotes se mueven sobre guías soldadas; el soporte izquierdo permite movimiento rotatorio y horizontal mientras que el soporte derecho permite sólo rotación.

Las masas suministradas con el equipo proporcionan máxima flexibilidad y facilidad de uso. La figura 2 muestra un colgante cargado con masas. Se deben emplear los clips suministrados para sostener las masas sobre los colgantes. Hay 150 masas de 10 gramos y 5 colgantes de 10 gramos de peso. Esto permite que cualquier carga, en incrementos de 10 gramos sea configurada hasta un máximo de 500 gramos.



Figura 2

6/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Rango de Temperatura de almacenamiento	-25°C a +55°C (al empaquetar para transporte)
Rango de Temperatura de operación	+5°C a +40°C
Rango de humedad relativa de operación	80% a temperatura < 31°C decreciendo linealmente hasta 50% a 40°C
Ambiente de operación	Ambiente de Laboratorio

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

La figura 3 muestra el experimento de la Fuerza Cortante en una Viga ensamblado en el Marco de Pruebas de Estructuras.

Antes de preparar y usar el equipo, siempre:

- Revise visualmente todas las partes (incluso los cables eléctricos) por daño o desgaste. Reemplácelas si es necesario.

- Revise que las conexiones sean correctas y seguras. El mantenimiento eléctrico solo debe ser llevado a cabo por una persona competente.

- Revise que todos los componentes están asegurados correctamente y las conexiones están ajustadas con un apriete suficiente.

7/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

- Coloque el Marco de Pruebas en forma segura. Asegúrese que esté montado sobre una superficie sólida a nivel y estable, de fácil acceso.

Cuando el equipo esté en uso, siempre:

- Asegúrese que los estudiantes estén adecuadamente supervisados.
- Cumpla con todo requisito legal del país en que se esté usando este aparato, respecto a su instalación, operación y mantenimiento.
- Asegúrese que nunca se apliquen cargas excesivas a cualquier componente del equipo.

El equipo es fácil de armar y por conveniencia ó como valor educativo adicional puede ser ensamblado por sus estudiantes. Por ello, la guía para el estudiante contiene también las siguientes instrucciones. Sin embargo, se ahorrará tiempo a los estudiantes si los pasos 1 al 4 de las siguientes instrucciones son efectuadas por usted o por un técnico.

1. Coloque el Marco de Pruebas ensamblado (en caso necesario, refiérase a las instrucciones adicionales, suministradas con el Marco de Pruebas) sobre una mesa de trabajo. Asegúrese que la "ventana" del Marco de Pruebas es fácilmente accesible.

8/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

- Hay cuatro tuercas de seguridad en el miembro superior del marco. Deslicelas a las posiciones mostradas en la Figura 3.
- Con el extremo derecho del experimento descansando sobre el miembro inferior del Marco de Pruebas, ajuste el soporte izquierdo al miembro superior del marco. Empuje el soporte sobre el marco para garantizar que las barras internas están apoyadas sobre el marco cuadrado. Apriete el soporte en posición por medio de las dos tuercas de maniobra proporcionadas en las tuercas de seguridad (sólo sobre el frente del soporte).
- Levante el soporte derecho a su posición y localice los dos restantes tornillos de

maniobra en las tuercas de seguridad. Empuje el soporte sobre el marco para garantizar que las barras internas están apoyadas sobre el marco a cuadrada. Posicione el soporte horizontalmente de manera que el pivote rodante esté a la mitad de su recorrido. Apriete los tornillos de maniobra.

- Asegúrese que la Exhibición de Fuerza Digital (Digital Force Display) está encendido "ON". Conecte el mini cable DIN de la "Entrada de Fuerza 1" (Force Input 1), sobre la Exhibición de Fuerza Digital al enchufe marcado "Salida de Fuerza" (Force Output) sobre el soporte izquierdo del experimento. Asegúrese que el cable no toque a la viga.

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

- Coloque en cero el dinamómetro usando el cuadrante graduado en la viga izquierda del experimento. Aplique suavemente una carga pequeña con un dedo al centro de la viga y súltese. En caso necesario coloque de nuevo en cero el dinamómetro. Repítalo para garantizar que el dinamómetro regrese a cero.

Nota: Si el dinamómetro indica sólo ± 0.1 Newtons, golpee ligeramente el marco (podría tenerse algo de adherencia estática y con esto podría cancelarse).

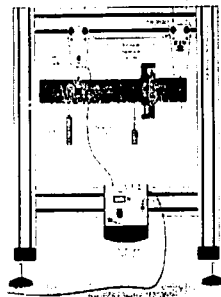


Figura 3. Ensamblaje de fuerza cortante en una viga en el marco de estructuras.

9/15

10/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DE LAS MUESTRAS.

Esta sección da resultados típicos de los experimentos descritos en la Guía del Estudiante (en ella se detallan los métodos). Note que los resultados reales pueden variar ligeramente respecto a los números dados, por lo que esos resultados deben interpretarse sólo como una guía general.

Experimento 1: Variación de la Fuerza Cortante con una carga puntual creciente.

En este experimento, los estudiantes cargan la viga a la izquierda de la posición de "corte"; por razones prácticas, el punto de carga no puede estar en el "corte",

pero de esta manera ellos pueden confirmar la relación fuerza cortante/carga, para un caso simple. La figura 4 muestra el diagrama de fuerza para el experimento.

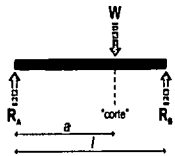


Figura 4. Diagrama de Fuerzas.

Este experimento ayuda también al estudiante a visualizar la fuerza cortante.

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

La Tabla 1 muestra resultados típicos del Experimento 1. La figura 5 muestra esos resultados en una gráfica.

Masa (g)	Carga (N)	Fuerza cortante experimental (N)	Fuerza cortante teórica (N)
0	0	0	0
100	0.98	0.6	0.58
200	1.96	1.1	1.16
300	2.94	1.8	1.74
400	3.92	2.3	2.32
500	4.90	2.7	2.90

Tabla 1. Resultados típicos del experimento 1.

Los estudiantes deben observar que la gráfica es aproximadamente lineal y que la ecuación usada predice exactamente el comportamiento de la viga.

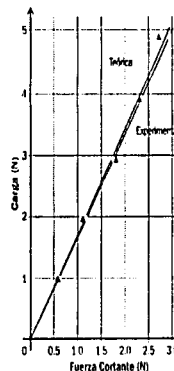


Figura 5. Gráfica de Carga contra Fuerza Cortante.

11/15

12/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

Experimento 2: Variación de la Fuerza Cortante para varias condiciones de carga.

En este experimento los estudiantes cargan la viga con cargas en varias posiciones. El primer caso ilustra una fuerza cortante negativa, mientras que los otros dos muestran cargas combinadas.

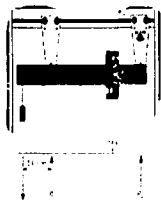


Figura 6 Diagrama de Fuerzas.

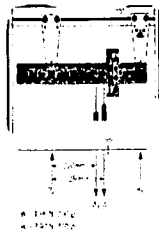


Figura 7 Diagrama de Fuerzas.

Por supuesto, los tres casos de carga dados en la guía del estudiante no son el intervalo completo de condiciones de carga. Las figuras 6, 7 y 8 muestran los diagramas de fuerza para las vigas (éstos son idénticos a los diagramas en la guía del estudiante).

13/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA



Figura 8 Diagrama de Fuerzas.

Figura	W_1 (N)	W_2 (N)	Fuerza Cortante Experimental (N)	R_x (N)	R_0 (N)	Fuerza Cortante Teórica (N)
6	3.92		-1.3	5.16	-1.24	-1.24
7	1.96	3.92	3.2	2.58	3.30	3.30
8	4.91	3.92	2.3	2.59	6.24	2.32

Tabla 2 Resultados típicos del experimento 2.

14/15

FUERZA CORTANTE EN UNA VIGA

Sugerencias para trabajos adicionales

Al usar el software STR2000 se incrementa considerablemente el alcance de los experimentos. Éste permite la simulación de casos de carga mucho más complejos, de cargas uniformemente distribuidas, y se pueden construir los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

Cuidado y mantenimiento

Si la unidad requiere limpieza, use un trapo seco libre de pelusa. No permita que el agua u otro líquido entre en contacto con el sensor de fuerza, chumaceras ó circuito electrónico en el soporte.

El sensor de fuerza es calibrado en fábrica y no debe requerir recalibrarse durante la vida de la unidad. No esponga el sensor de fuerza a impactos (por ejemplo, dejando caer la unidad). Esto puede dañar el elemento

piezoeléctrico en la celda de carga y afectar su exactitud.

Al estar montado en el marco de pruebas, el peso combinado del marco de pruebas y el experimento es de aproximadamente 15.5 kg. Use procedimientos correctos al manejar este peso al mover el aparato. Cuando no esté en uso, el mejor lugar para almacenar la Fuerza Cortante en un experimento de viga es sobre un Marco de Prueba. Desconéctela del Medidor de Carga Digital y retire los colgantes. Si esto no es posible, almacénela de lado en un ambiente seco y libre de polvo.

Partes de repuesto

Reférase a la lista del contenido empaçado para las partes de repuesto que son suministradas con el aparato. Póngase en contacto con TQ ó con el importador si necesita otras partes de repuesto.

15/15

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN I

- MATERIAL DIDÁCTICO APLICABLE A LAS UNIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE:

ESLABONES TECNOLÓGICOS Y TALLER INTERDISCIPLINARIO:
5º TRIM. ESTÁTICA.

DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA.

Grupo de Tecnología y Diseño en las Edificaciones. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de Ciencias y Artes para el Diseño. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO. 2002.

1/32

ESFUERZOS COMBINADOS

STR8
ARMADURAS:
Guía para el Profesor.



MATERIAL ORIGINAL, DESARROLLO Y FABRICACIÓN:
TQ Educativa and Training Ltd.
Product Design, England, 2001.

TRADUCCIÓN:
Ing. José de la Cruz Arroyo

REVISIÓN GRÁFICA:
Arg. Gabriel Sola Méndez de Oca
Sergio Pineda Muñoz

COORDINACIÓN:
Arg. Carlos H. Novarro Larrea

2/32

83

ARMADURAS

CONTENIDO

Sección		Página
1	INTRODUCCIÓN	4
2	DESCRIPCIÓN	5
	Condiciones de operación	8
	Cómo preparar el equipo	8
3	EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DE MUESTRAS	11
	Experimento 1: Fuerzas en una armadura simple en voladizo	14
	Experimento 2: Fuerzas en una armadura tipo Warren	18
	Experimento 3: Fuerzas en una armadura de techo con cargas centrales e inclinadas	22
	Sugerencia para trabajos adicionales	27
	Cuidados y Mantenimiento	27
	Piezas de repuesto	28
APÉNDICE	Celda de carga para estructuras	28

3/32

ARMADURAS

INTRODUCCIÓN

Este equipo es parte de un rango modular que enseña los fundamentos de las estructuras. El rango es una manera moderna, productiva, efectiva en tiempo y de costo efectivo en que sus estudiantes pueden aprender sobre estructuras.

El equipo de estructuras de nudos articulados introduce a los estudiantes al análisis de armaduras y traveses simples, así como a las pruebas de la teoría básica de los nudos articulados. También muestra el uso de los deformímetros. Los experimentos son rápidos, claros y precisos e ideales para estudiantes que trabajan solos ó en grupos. Esta guía para el profesor proporciona detalles sobre el equipo y describe cómo prepararlo y usarlo. Da también consejos sobre el cuidado y mantenimiento e incluye resultados típicos para los experimentos descritos en la guía para el estudiante.

Para su conveniencia, TQ le da permiso a usted para copiar los procedimientos experimentales dados en la Guía para el estudiante anexa y darla a los estudiantes como hojas de trabajo para el laboratorio.

Para la teoría detallada de las estructuras de nudos articulados, los estudiantes deben consultar el texto proporcionado con el marco de Pruebas de Estructuras (STR1)

4/32

TESIS CONT
 BARRA DE ORIGEN

ARMADURAS

DESCRIPCIÓN

Igual que otros experimentos en el rango de las estructuras TQ, el experimento de Fuerza Cortante en una Viga cabe en el marco para pruebas de estructuras (STR1). El marco para pruebas de estructuras es un marco robusto de aluminio que se coloca sobre una mesa de trabajo.

Los estudiantes aplican cargas al marco usando una celda electrónica de carga. Esto permite cargar cualquier ángulo de hasta 45° a cada lado de su posición vertical. El Arreglo Digital de Fuerza (STR1a) mide y exhibe electrónicamente esta fuerza durante el experimento. Él se fija convenientemente al Marco de Prueba.

El Arreglo Digital de deformación mide las deformaciones en los miembros y un Indicador Digital de Carátula mide las deflexiones en los nudos.

Todo el equipo puede ser conectado a una computadora usando una Unidad automática de Adquisición de Datos y software (STR2000, proporcionado por separado).

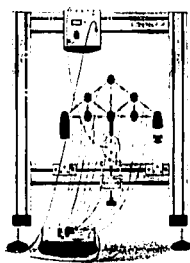


Figura 1. Arreglo experimental típico.

5/32

ARMADURAS

La figura 1 muestra una estructura típica unida por pasadores, lista para usarse en el marco de las estructuras. La estructura consiste en varios miembros de acero inoxidable (cada uno de 6 mm de diámetro nominal) unidos por medio de nudos especiales. Cada miembro tiene un puente completo de deformímetros (cuatro) para monitorear la deformación en el miembro (así como la fuerza). Dos de los deformímetros corren en la dirección transversal a cada lado de la barra.

Los deformímetros longitudinales colocados a cada lado de la barra proveen de relieve el efecto de la flexión mientras que los deformímetros transversales equilibran el puente y estabilizan la lectura para compensar los cambios de temperatura.

Note que estos deformímetros producen una respuesta de 2.6 veces la deformación verdadera. Esto se debe a que los deformímetros transversales registran la contracción de la barra. Normalmente el efecto de un puente completo (por ejemplo, sobre una viga a flexión) daría un efecto de 4 veces la deformación verdadera.

Para convertir deformaciones a fuerzas, el estudiante debe medir el diámetro de la barra con un micrómetro y calcular la deformación causada por 1 Newton. Este es un buen ejercicio para los estudiantes en el caso simple, pero podría ser algo elaborado en estructuras mayores. Debido a esto el software STR2000 convertirá automáticamente las deformaciones a fuerzas cuando se da el diámetro exacto de la barra.

6/32

ARMADURAS

Las partes suministradas permiten a los estudiantes construir varias estructuras con ángulos de 30°, 45° y 60°. La figura 2 muestra cómo se unen los miembros. Ellos forman los nudos usando las piezas de nudo, tuercas y pernos especiales. Los pasadores en los extremos de los miembros se insertan en agujeros de las mitades de los nudos. La tuerca y perno entranpan el miembro y lo sostienen firmemente.

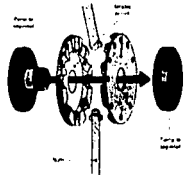


Figura 2. Miembros y ensamble del nudo

Aunque esos nudos no son realmente articulaciones, el efecto de conjunto de los medidores de deformación y la construcción de los nudos articulados. También permite a los estudiantes reconocer que esos métodos simplificados pueden funcionar en una estructura real.

Las estructuras se montan en dos soportes, como se ilustra en la figura 3. Un soporte permite sólo un efecto de pivoteo (articulación) y el otro permite el pivoteo y traslación lineal (rodillo deslizante) representando así los soportes idealizados.

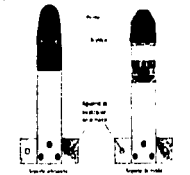


Figura 3. Soportes articulados y de rodillos

7/32

ARMADURAS

CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Rango de Temperatura de almacenamiento	-25°C a +55°C (al empacarse para transporte)
Rango de Temperatura de operación	+5°C a +40°C
Rango de humedad relativa de operación	80% a temperatura < 31°C decreciendo linealmente hasta 50% a 40°C
Ambiente de operación	Ambiente de Laboratorio

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

La "Lista de Contenidos Empacados" es una lista de artículos proporcionados con el aparato para permitir el uso normal de él durante el período de garantía. Si cualquier artículo falta o está dañado, póngase en contacto con TQ o con el importador.

Una cubierta protectora puede haber sido aplicada a partes de este aparato para prevenir la corrosión durante el transporte. Retire la cubierta con parafina ó bencina y un trapo ó cepillo.

8/32

ARMADURAS

CUIDADO

Toda precaución se ha tomado para proteger los medidores de deformación de daños ambientales y accidentales. Sin embargo, como ellos son transductores delicados, tráelos siempre con mucho cuidado. Nunca jale la conexión que sale de los medidores. Almacene los miembros en las camisas protectoras suministradas, colocadas en el espacio proporcionado en el bastidor de almacenaje. TQ puede reemplazar los medidores dañados, pero puede que no sea posible hacer concordar el factor de medición con los números existentes.

Note que las barras nunca deben experimentar una fuerza de más de 1000 Newton en un marco (equivalente aproximadamente a 200 *lit*). Cargas mayores que ésta pueden causar daños irreversibles ó fallas en los pasadores y nudos.

No permita que la fuerza máxima ejercida por la caída de carga exceda de 600 Newton. Las cargas mayores que ésta pueden deformar permanentemente el anillo de carga, deteriorando severamente su función y exactitud.

El arreglo de deformación usa alambres conductores con un convertidor integrado de corriente directa. Refiérase a las instrucciones y datos dados sobre los conductores y convertidor sobre una instalación segura y uso de la misma.

932

ARMADURAS

Antes de instalar el equipo, siempre:

- Revise visualmente todas las partes (inclusive los conductores eléctricos) por daño o desgaste. Reemplácelos en caso necesario.
- Revise que las conexiones eléctricas sean correctas y seguras. El mantenimiento eléctrico debe ser efectuado sólo por personal competente.
- Revise que todas las componentes estén correctamente instaladas y que las conexiones estén suficientemente apretadas.
- Coloque con seguridad el Marco de Pruebas. Asegúrese de que él esté montado sobre una superficie sólida, a nivel, estable y de fácil acceso.

Cuando el equipo esté en uso, siempre:

- Asegúrese que los estudiantes estén adecuadamente supervisados.
- Cumpla con todos los requisitos vigentes en el país en que va a usarse este aparato acerca de su instalación, operación y mantenimiento del mismo.
- Asegúrese de que cargas excesivas nunca sean aplicadas a ninguna parte del equipo.

El equipo es fácil de armar y por conveniencia educativa es deseable que los estudiantes lo ensamblen. Por tanto, la Guía para el Estudiante contiene también las siguientes instrucciones. Sin embargo, se ahorrará tiempo a los estudiantes si los pasos 1 a 5 de las siguientes instrucciones son hechos por usted ó por un técnico. Esos pasos se refieren a las dimensiones y arreglo de las cuatro estructuras de ejemplo dadas en esta guía.

1032

ARMADURAS

Nota: Cada unidad está calibrada para su propio conjunto de miembros. Si usted tiene más de un equipo, no mezcle los miembros y arreglos de deformación.

Para el ajuste fino de un miembro individual en cero, use la herramienta recortando sobre el potenciómetro cercano al enchufe relevante.

CÓMO PREPARAR EL EQUIPO.

1. Coloque un Marco de Pruebas ensamblado (consulte las Instrucciones proporcionadas por separado con el Marco de Pruebas en caso necesario) sobre una mesa de trabajo. Asegúrese de que la "ventana" del marco de Pruebas sea fácilmente accesible.

2. Fije en posición los soportes y celda de carga como se muestra en el arreglo experimental correspondiente (figuras 4, 7 ó 10), dejando los tornillos sueltos para su posterior ajuste fino.

3. Arme el marco con cuidado usando los miembros y conectores de los nudos. Haga concordar correctamente las mitades de los nudos. Con sus manos, apriete la tuerca y pernos de cada lado (nunca use herramientas para apretar las tuercas y los pernos especiales).

4. Ajuste el marco en los soportes usando los pasadores, verificando que ellos pasan por ambos lados. Asegurándose que el soporte "libre" (rodillo) está a la mitad de su recorrido, ajuste con precisión las posiciones del soporte.

1132

ARMADURAS

Apriete los soportes usando una llave A/F Allen de 6 mm. Asegure la horcadura usando un pasador.

5. Ajuste la posición de la celda de carga hasta que el agujero en la horquilla alcance el agujero de la posición relevante de carga. Asegúrese también de que está en la posición angular correcta. Apriete la celda de carga usando la llave A/F Allen de 6 mm. Asegure la horcadura usando un pasador.

6. Asegúrese de que el Exhibidor Digital de Fuerza está encendido. Conecte el conductor mini DIN de la "Entrada 1 de Fuerza" sobre el Exhibidor Digital de Fuerza al enchufe marcado "Salida de Fuerza" sobre el lado izquierdo de la celda de carga.

7. Sin carga en la celda de carga (el pasador debe poder girar), aproxime a cero la lectura usando el control sobre el frente de la celda de carga.

8. Asegúrese de que el Exhibidor Digital de deformación está encendido. Conecte los deformímetros en Exhibidor de Deformación haciendo concordar el número del conductor al número sobre el enchufe. Deje calentarse por 5 minutos los deformímetros para que alcancen un estado permanente.

9. Aplique una precarga de 100 Newton y de nuevo ponga a cero la celda de carga. Aplique cuidadosamente una carga de 500 Newton y verifique que el marco esté estable y seguro. Regrese la carga a cero.

1232

ARMADURAS

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DE MUESTRAS.

Esta sección da resultados típicos de los experimentos descritos en la Guía del Estudiante (en ella se detallan los métodos).

Hay tres experimentos separados. Cada uno es progresivamente más difícil en términos de la complejidad de la estructura bajo consideración. El énfasis de la experimentación es probar la teoría simplificada de los nudos articulados. Aparte del primer caso, los estudiantes no grafican todas las deformaciones de los miembros para establecer un gradiente medio.

Las lecturas de la deformación bajo una carga de 500 Newton son suficientemente exactas para probar las teorías básicas, gracias a una buena calibración de la linealidad.

El indicador de carátula puede usarse para probar la relación lineal entre la fuerza aplicada y la deflexión del nudo en cualquiera de los marcos. Los estudiantes ajustan el indicador de carátula al brazo que oscila desde el soporte de pivote. Ellos deslizan entonces el indicador y giran el brazo hasta que la aguja del indicador descansa sobre el nudo.

Note que los resultados pueden variar ligeramente de los números dados; interprete entonces esos resultados sólo como una guía general.

13/32

ARMADURAS

Experimento 1: Fuerzas en una armadura simple en voladizo.



Figura 4. Arreglo experimental de una armadura en voladizo.

Este experimento introduce la idea de estructuras con nudos articulados, la notación de Bow y el análisis de una estructura simple.

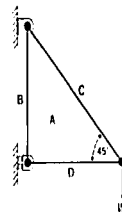


Figura 5. Armadura simple en voladizo idealizada.

14/32

ARMADURAS

La Tabla 1 muestra resultados típicos del experimento 1 y la Tabla 2 da las deformaciones verdaderas de los miembros como se muestra en la gráfica de la Figura 6.

Carga (N)	Lectura de la deformación para el miembro		Lectura de la deformación para el miembro		Lectura de la deformación para el miembro	
	AB (mm)	AC (mm)	AC (mm)	AD (mm)	AD (mm)	AD (mm)
0	0	8	7			
100	-1	32	-11			
200	-2	56	-27			
300	-3	80	-44			
400	-5	105	-60			
500	-8	128	-77			

Tabla 1. Deformaciones en miembros de un voladizo simple

Carga (N)	Deformación verdadera para miembro		Deformación verdadera para miembro		Deformación verdadera para miembro	
	AB (mm)	AC (mm)	AC (mm)	AD (mm)	AD (mm)	AD (mm)
0	0	0	0			
100	-1	24	-16			
200	-2	48	-34			
300	-3	72	-51			
400	-5	97	-67			
500	-8	120	-84			

Tabla 2. Deformaciones verdaderas en miembros de un voladizo simple

ARMADURAS

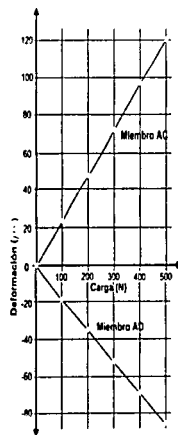


Figura 6. Gráfica de carga contra deformación para la armadura simple en voladizo

Fuerzas en miembros equivalentes a 500 newton. Diámetro de la barra = 5.98 mm y $E_{acero} = 210 \text{ GNm}^2$.

Miembro	Fuerza Experimental (N)	Fuerza Teórica (N)
AB	-47	0
AC	705.8	707
AD	-494	-500

Tabla 3. Comparación de fuerzas experimentales y teóricas

15/32

16/32

ARMADURAS

Los estudiantes deben notar que las gráficas de deformación versus carga son aproximadamente lineales y que la teoría simplificada de los nudos articulados predice el comportamiento de la armadura. Ellos deben también comentar de las deformaciones positivas ó negativas que el miembro AD experimenta, es un miembro a compresión (un puntual) y que el miembro AC es un miembro a tensión (un tirante). El miembro AB debe tener teóricamente una fuerza cero. Los estudiantes deben entender el efecto de la fricción en los nudos y de soporte "libre" en el caso real comparado con la estructura idealizada.

17/32

ARMADURAS

Experimento 2: Fuerzas en una armadura Warren

Este experimento amplía la teoría de las estructuras articuladas, introduciendo una estructura más compleja. La armadura Warren con una carga central es una introducción ideal al análisis de una armadura articulada por el método de los nudos si previamente se ha usado un método gráfico. El indicador de cartulina se usa también para medir la deflexión relativa de uno de las nudos.

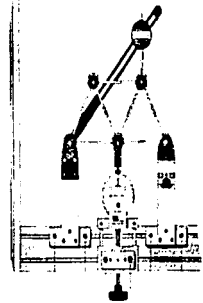


Figura 7. Arreglo experimental para una Armadura Warren.

18/32

87

ARMADURAS

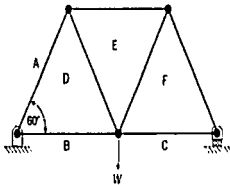


Figura 8. Armadura Warren idealizada

Carga (N)	AD	AE	AF	BD	CF	DE	EF
0	1	-1	-1	0	-2	3	0
100	-9	-9	-8	3	4	10	12
200	-19	-19	-18	8	8	20	22
300	-30	-29	-29	13	13	30	32
400	-40	-39	-39	17	19	40	42
500	-49	-48	-47	22	23	49	50

Tabla 4. Deformaciones (μm) en las barras de una armadura Warren

Carga (N)	AD	AE	AF	BD	CF	DE	EF
0	0	0	0	0	0	0	0
100	-10	-8	-7	3	6	7	12
200	-20	-18	-17	8	10	17	22
300	-31	-28	-28	13	15	27	32
400	-41	-38	-38	17	21	37	42
500	-50	-47	-46	22	25	46	50

Tabla 5. Deformaciones verdaderas (μm) en una armadura Warren

19/32

ARMADURAS

Fuerzas en barras equivalentes a 500 newton.

Diámetro de la barra = 5.98 mm y $E_{\text{al}} = 210 \text{ GN/m}^2$

Barra	Fuerza Experimental (N)	Fuerza Teórica (N)
AD	-294	-289
AE	-276	-289
AF	-270	-289
BD	129	144
CF	147	144
DE	270	289
EF	294	289

Tabla 6. Comparación de fuerzas experimentales y teóricas

Carga (N)	Deflexión del nudo (mm)
0	0
100	0.027
200	0.048
300	0.072
400	0.093
500	0.113

Tabla 7. Deflexión de nudos

20/32

ARMADURAS

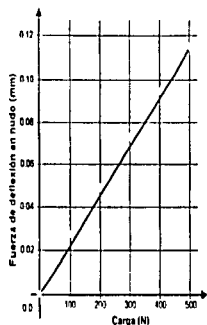


Figura 9. Gráfica de carga contra deflexión para la armadura Warren

Los estudiantes grafican la carga versus la deformación para por lo menos un puntual y un triángulo. Ellos deben notar que las gráficas son aproximadamente lineales y que la teoría simplificada de los nudos articulados predice el comportamiento de la estructura. Los estudiantes deben también notar la relación lineal entre la carga y la deflexión del nudo.

21/32

ARMADURAS

Experimento 3: Fuerzas en una armadura de techo con cargas centrales y cargas inclinadas

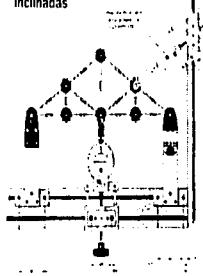


Figura 10. Armadura experimental para una armadura de techo

La armadura de techo es ideal para ilustrar la idea de identificar todos los casos de carga

que una estructura tiene que llevar para garantizar un diseño apropiado y económico. Los estudiantes compararan dos casos de carga. En el primer caso se aplica una carga central a la armadura (un ejemplo es un tanque de agua). Luego se aplica una carga inclinada (por ejemplo, una carga de viento). Los estudiantes pueden identificar el miembro que no trabaja en el primer caso pero que sí lleva carga en el segundo. Ellos deben entonces apreciar la importancia de considerar todos los casos de carga en el diseño. Ellos deben también considerar el concepto de superposición.

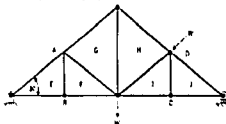


Figura 11. Armadura idealizada

22/32

ARMADURAS

Resultados con carga central

Carga (N)	AE	AG	AH	BE	BF	CI	CJ	DJ	EF	FG	GH	HI	U
0	0	3	-4	0	2	3	4	-2	-2	1	-2	-1	0
100	-16	-14	-19	15	17	19	-18	-1	2	15	0	-1	
200	-33	-32	-36	31	31	32	-35	-35	0	4	34	1	-2
300	-49	-50	-51	45	45	47	-50	-51	0	4	51	2	-2
400	-67	-69	-68	61	61	62	-66	-69	1	5	70	2	-3
500	-83	-86	-85	76	75	77	-80	-86	1	6	87	2	-4

Tabla 8. Deformaciones en las barras (μ)

Carga (N)	AE	AG	AH	BE	BF	CI	CJ	DJ	EF	FG	GH	HI	U
0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-16	-17	-23	15	15	14	-15	-20	1	1	17	1	-1
200	-33	-35	-40	31	29	29	-31	-37	2	3	36	2	-2
300	-49	-53	-55	45	43	44	-46	-53	2	3	53	3	-2
400	-67	-72	-72	61	59	59	-62	-71	3	4	72	3	-3
500	-83	-89	-89	76	73	74	-76	-86	3	5	89	3	-4

Tabla 9. Deformaciones verdaderas (μ) en las barras

23/32

ARMADURAS

Fuerza en barras equivalente a 500 N.

Diámetro de barra = 5.98 mm y $E_{\text{barra}} = 210 \text{ GNm}^2$

Barra	Fuerza Experimental (N)	Fuerza teórica (N)
AE	-488	-500
AG	-523	-500
AH	-523	-500
DE	447	433
BF	429	433
CI	435	433
CJ	447	433
DJ	-518	-500
EF	18	0
FG	29	0
GH	523	500
HI	18	0
U	-24	0

Tabla 10. Comparación de fuerzas experimentales y teóricas.

24/32

ARMADURAS

Resultados para una carga Inclinada

Carga (N)	AE	AG	AH	BE	BF	CI	CJ	DJ	EF	FG	GH	HI	U
0	3	-1	5	-2	0	2	2	-1	4	4	1	2	2
100	-5	-11	-3	-9	-7	9	9	-8	4	3	9	-14	2
200	-14	-17	-9	-16	-15	16	16	-16	4	4	17	-30	2
300	-22	-26	-17	-24	-22	24	22	-24	3	4	25	-45	2
400	-27	-34	-27	-31	-30	31	29	-31	3	4	32	-63	2
500	-35	-42	-35	-38	-36	39	35	-39	2	3	39	-77	2

Tabla 11. Deformaciones en las barras (I11)

Carga (N)	AE	AG	AH	BE	BF	CI	CJ	DJ	EF	FG	GH	HI	U
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-8	-7	-8	-7	-7	7	7	-7	0	0	8	-16	0
200	-17	-14	-14	-14	-15	14	14	-15	0	-1	16	-32	0
300	-25	-23	-22	-22	-22	22	22	-24	1	0	24	-47	0
400	-30	-31	-32	-29	-30	29	29	-30	1	0	31	-65	0
500	-38	-39	-40	-36	-36	37	35	-38	2	-1	38	-79	0

Tabla 12. Deformaciones (veredales) (I12) en las barras.

25/32

ARMADURAS

Sugerencias para trabajos adicionales

Al usar el software STR2000 se incrementa considerablemente el alcance de los experimentos. Este permite la simulación de muchos más casos complejos de carga y una más amplia variedad de estructuras basadas en los ángulos de 30°, 45° y 60°. TQ puede también proporcionar celdas de carga extra (STRBA) que permiten cargas combinadas.

Cuidado y mantenimiento

Si la unidad requiere limpieza, use un trapo seco libre de pelusa. No trate de limpiar con él los miembros de los deformímetros. No permita que el agua u otro líquido entre en contacto con los deformímetros, apoyos o circuitos electrónicos de la celda de carga, arreglo digital de deformación o indicador digital de carátula.

La celda de carga es calibrada en la fábrica y no debe ser recalibrada durante la vida de la unidad. No exponga el sensor de fuerzas a impactos (por ejemplo, dejar caer la unidad). Esto puede dañar el potenciómetro en la celda de carga y afectar su exactitud.

Para revisar la deformación en los miembros individualmente, cárguelos directamente usando la celda de carga, las piezas unidas en cada extremo y el soporte fijo.

Montado en el Marco de Prueba, el peso combinado del marco de prueba y el experimento es de aprox. 20 kg. Use los procedimientos correctos para manipular este peso al mover este aparato.

27/32

ARMADURAS

Fuerza en barras equivalente a 500 N.

Diámetro de barra = 5.98 mm y $E_{\text{barra}} = 210 \text{ GN/m}^2$

Barra	Fuerza Experimental (N)	Fuerza Teórica (N)
AE	-233	-250
AG	-229	-250
AH	-235	-250
DE	-211	-217
BF	-211	-217
CI	217	217
CJ	194	217
DJ	-233	-250
EF	12	0
FG	6	0
GH	233	250
HI	-464	-500
U	0	0

Tabla 13. Comparación de fuerzas experimentales y teóricas.

Los estudiantes deben notar que la teoría simplificada de los nudos articulados predice el comportamiento de la armadura en ambos casos de carga. Los estudiantes deben también notar que la razón para considerar todos los casos de carga es que el miembro HI no lleva carga en el primer caso, pero lleva las cargas más importantes en el segundo. En realidad, la armadura de techo puede tener que llevar ambas cargas. Ellos deben mencionar que por la adición de fuerzas en los miembros de cada caso puede estimarse el efecto de las cargas combinadas.

26/32

ARMADURAS

Cuidado y Mantenimiento

Cuando no esté en uso, el mejor lugar para almacenar el equipo es sobre un Marco de Prueba con la instrumentación y miembros restantes colocados en el estuche proporcionado. Desconecte el Medidor de Carga Digital y libere cualquier carga. Si el Marco de Prueba se requiere en alguna otra parte pero no se quiere dismantlar la estructura, colóquela de lado en un ambiente seco y libre de polvo. Tenga cuidado de no dañar los deformímetros.

Partes de repuesto

Reférase a la lista del contenido empacado para las partes de repuesto que son suministradas con el aparato. Póngase en contacto con TQ ó con el importador si necesita otras partes de repuesto.

APÉNDICE: CELDA DE CARGA DE ESTRUCTURAS

Descripción: La Celda de Carga de Estructuras (STRBA) aplica cargas controladas a una variedad de experimentos del rango TQ de Estructuras. La figura A1 muestra la Celda de Carga de Estructuras.

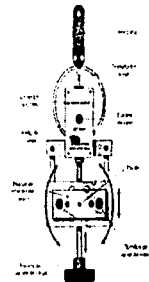


Figura A1. Celda de Carga de Estructuras

28/32

ARMADURAS

La Celda de Carga aplica cargas en el rango de 0 a 500 N. La fuerza ejercida es controlada usando el tornillo de ajuste de carga. El bloque de seguridad para fijar la Celda de Carga al Marco de Pruebas pivotea, y esto permite aplicar cargas inclinadas. Una salida mini DIN permite la conexión a un Arreglo Digital de Fuerza (STR1A), que muestra las cargas reales.

CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Rango de Temperatura de almacenamiento	-25°C a +55°C (al empacarse para transporte)
Rango de Temperatura de operación	+5°C a +40°C
Rango de humedad relativa de operación	80% a temperatura < 31°C decreciendo linealmente hasta 50% a 40°C
Ambiente de operación	Ambiente de Laboratorio

Tabla A1. Límites de Operación

29/32

ARMADURAS

Antes de preparar y usar el equipo, siempre:

- Revise visualmente todas las partes (inclusive los conductores eléctricos) por daño o desgaste. Reemplácelos en caso necesario.
- Revise que las conexiones eléctricas sean correctas y seguras. El mantenimiento eléctrico debe ser efectuado sólo por personal competente.
- Revise que todas las componentes estén correctamente instaladas y que las conexiones estén suficientemente apretadas.
- Coloque con seguridad el Marco de Pruebas. Asegúrese de que él está montado sobre una superficie sólida, a nivel, estable y de fácil acceso.

Cuando el equipo este en uso, siempre:

- Asegúrese de que los estudiantes estén adecuadamente supervisados.
- Cumpla con todos los requisitos vigentes en el país en que va a usarse este aparato, acerca de su instalación, operación y mantenimiento del mismo.

Preparación del equipo

La "Lista de Contenidos Empacados" suministrada, es una lista de artículos proporcionados con el aparato para permitir el uso normal de ellos durante el período de garantía. Si algún artículo falla o esta dañado, póngase en contacto con TQ ó con el importador. Una cubierta protectora puede haber sido aplicada a las partes de este aparato para prevenir corrosión durante el transporte. Si es así, retire la cubierta con parafina ó bencina blanca y un trapo ó cepillo

30/32

ARMADURAS

Cómo ajustar la celda de carga

La figura A2 y la figura A3 muestran el montaje de la celda de carga. Un extremo se ajusta al Marco de Prueba por medio de dos tornillos AF Allen de 6 mm. El otro extremo se ajusta en un montaje adecuado por medio de un pasador conector.

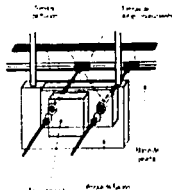


Figura A2. Fijación de la Celda de Carga al Marco de Prueba

Para ajustar la Celda de Carga:

- Asegúrese que el bloque de montaje en el marco está en posición horizontal. Para permitir el acceso a los tornillos de fijación, localice los tornillos en las tuercas de autoposicionamiento (figura A2).
- Dejando suelto el tornillo para su posterior ajuste fino, fije la celda de carga en su posición tal como se requiera.
- Coloque la horquilla como se desee y luego conéctela usando un pasador (figura A3).

31/32

ARMADURAS

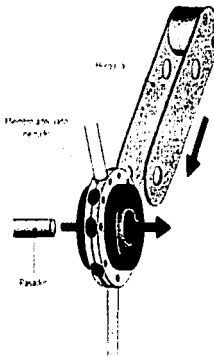


Figura A3. Ajuste típico de la horquilla en un experimento

Conexión de la Exhibición Digital de la Fuerza (STR1A)

La celda de carga es conectada a la Exhibición Digital de la Fuerza para obtener una lectura de ella. La Exhibición se conecta a la celda de carga usando el conductor con un enchufe cuadruple mini DIM en cada extremo. Conecte un extremo del conductor a cualquiera de los cuatro contactos marcados "Entrada de Fuerza" sobre el exhibidor digital de fuerza y conecte el otro extremo del conductor al contacto sobre la celda de carga marcado "Salida de Fuerza".

Cuidado y mantenimiento

Si la Celda de Carga necesita limpieza, use un trapo limpio de pelusa. No permita que agua u otro líquido entre en contacto con los apoyos ó con la circuitería electrónica de la celda de carga.

32/32

APÉNDICE D

PROTOTIPOS DE EXPERIMENTACIÓN (Catálogo)

**SERIE: LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES. 2ª. PARTE.
CYAD UAM-A 1982**

APARATOS REALIZADOS POR EL ARQUITECTO JOSÉ CREIXELL.

Compilación y registro:

Carlos H. Moreno Tamayo y Javier Eduardo Salinas Rocha.

INTRODUCCIÓN

Es evidente el vacío que existe en nuestras universidades con respecto a programas encaminados a la investigación y experimentación. La aridez de este panorama es consecuencia directa de múltiples factores, las más de las veces, de carácter económico y de infraestructura. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que, para establecer un programa general de investigación, o un laboratorio de experimentación para la docencia, no se necesita más que voluntad e ingenio, amén de los recursos que la casa de estudios disponga.

Cabe destacar, como prueba de lo anterior que, a lo largo de la historia y en todas las disciplinas, investigadores aislados han hecho descubrimientos trascendentales con recursos insignificantes. Tal es el caso de Rutherford, quién efectuó trabajos capitales sobre la estructura de la materia, valiéndose de latas de conservas y de cabos de cordel, voluntad e ingenio.

Dentro de nuestro contexto, el proceso de diseño requiere también de bases teóricas y experimentales, específicamente en el campo del quehacer arquitectónico donde las estructuras juegan un papel decisivo en la concepción y desarrollo de los proyectos. El análisis de los elementos estructurales su experimentación y prueba respecto de los materiales, sección, forma y armado, así como su combinación con otros elementos, permite una mayor comprensión del trabajo estructural y en consecuencia posibilita la mejor conjunción del trinomio FORMA - FUNCIÓN - ESTRUCTURA.

El Arquitecto José Creixell, catedrático de la UNAM por tres décadas en el área de cálculo estructural, mecánica de suelos, etc. ha realizado, con sus propios recursos, una loable labor de experimentación e investigación sobre la actividad sísmica en México, así como el comportamiento de los elementos estructurales bajo los efectos del sismo. Y de diversos tipos de esfuerzo, dejando constancia de sus conclusiones en varios volúmenes escritos por él, y editados en México. Paralelamente, el Arquitecto Creixell ha elaborado una serie de aparatos, mediante los cuales apoya sus teorías.

Estos aparatos de sencilla manufactura, le han servido a este investigador para visualizar el comportamiento de una columna sujeta a carga, las características de los muros de contención bajo el empuje del terreno, la cuantificación de la magnitud de un sismo, etc.

Los aparatos y mecanismos, realizados en colaboración con el ingeniero Augusto Bozzano, se encuentran comprendidos en dos grupos. La presente memoria de trabajo, engloba el análisis, levantamiento fotográfico y gráfico del equipo antes mencionado, con el fin de ser reproducido para la implementación del Laboratorio de Modelos estructurales, perteneciente a la División de CYAD de la Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco.

A efecto de realizar del levantamiento dimensional y fotográfico, se procedió a dividir los aparatos del Arquitecto Creixell en dos grupos que son:

- a) Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales.
- b) Aparatos con Mecanismos de Precisión cuya función es detectar, registrar y medir los movimientos y efectos producidos por la actividad sísmica.

Grupo a) Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales.

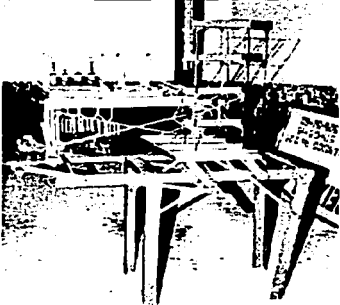
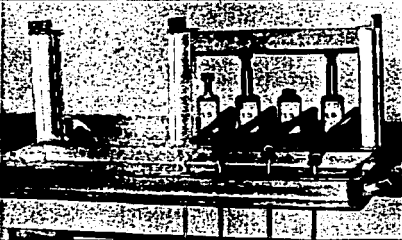
Dentro de este grupo se encuentran:

1. Mesa vibradora de estructuras
2. Mecanismo para probar vigas a flexión
3. Mecanismo para probar columnas a compresión
4. Mecanismo para demostrar el comportamiento de losas perimetrales
5. Aparato para estudiar las propiedades de muros de contención
6. Aparato para estudiar el comportamiento del terreno bajo al empuje de Cimentaciones.

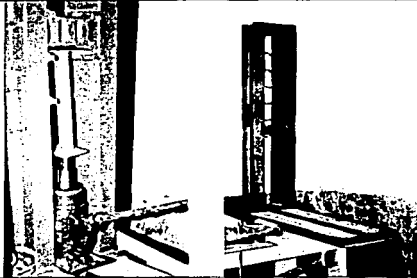
Grupo b) Aparatos con Mecanismos de Precisión.

Se incluyen dentro de este grupo:

7. Osciloscopio
8. Sismoscopio
9. Sismógrafo Unidireccional
10. Trepidómetro
11. Acelerómetro

Grupo a) Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales.	
	<p>Objetivo del experimento:</p> <p>El objetivo de este aparato es mostrar el comportamiento de ciertas estructuras (semejantes a los edificios) al sufrir desplazamiento el lugar al que están fijas.</p>
<p>Mesa vibradora de estructuras.</p> 	<p>Objetivo del experimento:</p> <p>Este mecanismo tiene como objetivo, probar vigas de diversos materiales, tales como: concreto armado, madera, metal, etc., bajo el efecto de cargas aplicadas, tanto aisladas, como distribuidas.</p>
<p>Mecanismo para probar vigas a flexión.</p>	

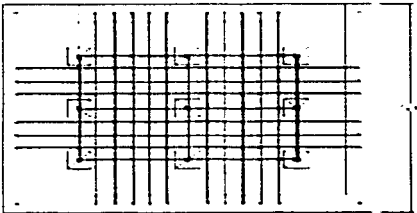
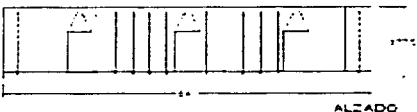
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Grupo a) Mecanismos para Pruebas Físicas de Elementos Estructurales.

Mecanismo para probar columnas a compresión.

Objetivo del experimento:

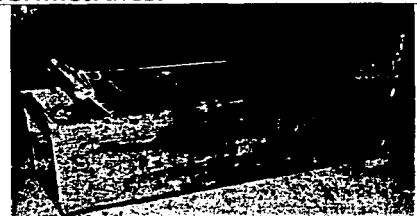
El aparato que nos ocupa, muestra el límite de peso o carga que puede soportar una columna determinada antes de sufrir deterioro o colapso.



Mecanismo para demostrar el comportamiento de losas perimetrales.

Objetivo del experimento:

Mostrar como se comporta una losa perimetral reticular y observar como se distribuye en su superficie una carga concentrada en "x" punto, es el objetivo de este aparato.

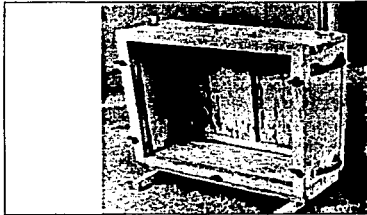


Aparato para estudiar las propiedades de muros de contención.

Objetivo del experimento:

La función de este aparato es determinar, cómo aumenta o disminuye el empuje del terreno sobre el muro de contención, de acuerdo al ángulo de inclinación de éste, y a la carga adicional que se aplique sobre el terreno.

TESIS CON
FALLA DE CRIGEN

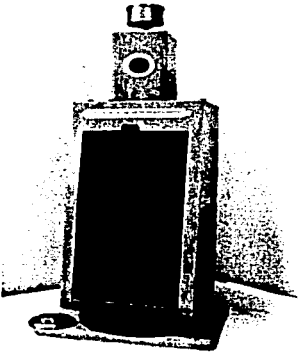


Aparato para estudiar el comportamiento del terreno bajo el empuje de cimentaciones.

Objetivo del experimento:

La función de este aparato es observar de qué manera se deforman los estratos del terreno, bajo la carga producida por las cimentaciones de los edificios.

Grupo b) Aparatos con Mecanismos de Precisión.



Osciloscopio.

Objetivo del experimento:

Este aparato registra la dirección y amplitud del desplazamiento del terreno durante el sismo, por medio de una masa metálica pendiente de una barra articulada en su extremo superior, que grafica sobre una lámina de cristal ahumado.

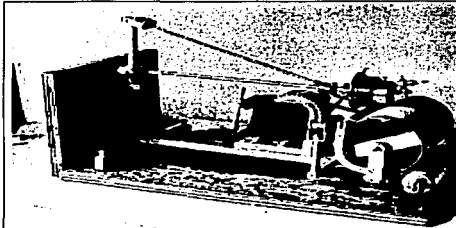


Sismoscopio.

Objetivo del experimento:

El movimiento terrestre en el evento sísmico no necesariamente se realiza en forma unidireccional. Como su nombre lo indica, la función que desempeña este aparato, es advertir la dirección del movimiento que sufre la tierra al ocurrir un temblor.

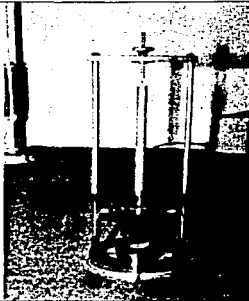
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Sismógrafo Unidireccional

Objetivo del experimento:

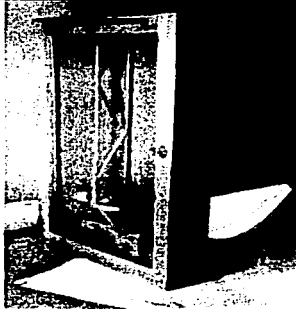
El objetivo de este aparato, es, detectar y graficar el movimiento horizontal producido por un sismo, registrando el periodo de vibración, la duración del sismo, y la amplitud o magnitud de las ondas primarias y secundarias.



Trepidómetro

Objetivo del experimento:

El trepidómetro tiene por objeto detectar el movimiento vertical de la corteza terrestre ocasionado por un sismo.



Acelerómetro

Objetivo del experimento:

La función de este aparato es registrar la aceleración inicial producida por los movimientos sísmicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APÉNDICE E

FILM GUIDE ENGINEERING FILM SERIES: MECHANICS OF STRUCTURES & MATERIALS (6 films).

Prepared by Project Director ROBERT A. HELLER
with the collaboration of MARIO G. SALVADORI.

Produced by The Department of Civil Engineering and The Division of Architectural Technology of Columbia University with the Support from the National Science Foundation. Code Nos. 75083 (set)

1. LOADS ON STRUCTURES Code No. 75084
2. BEHAVIOR OF STRUCTURAL MATERIALS No. 75085
3. TENSILE & COMPRESSIVE STRUCTURES No. 75086
4. BEAMS AND FRAMES No. 75087
5. GRIDS & PLATES No. 75088
6. MEMBRANES & SHELLS No. 75089

Este material forma parte de la Sección de Acervo Audiovisual de la Coordinación de Servicios de Información (COSEI) de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana. En el año de 1985, como parte del proyecto de investigación del Laboratorio de Modelos Estructurales, algunos de los filmes fueron transferidos a video grabación, traducidos y doblados al español. En el año de 2001 se transfirieron los filmes restantes.

Película no. 1 (16 mm, sonora, color, 18:45 minutos).

CARGAS SOBRE LAS ESTRUCTURAS.

Para usarse en:

Ciencias generales en el nivel de escuela secundaria; estructuras introductorias, mecánica rígida y deformable a nivel universitario.

Propósito de la película:

Consiste en dar una ilustración del comportamiento de las estructuras y los materiales sometidos a una diversidad de cargas estáticas, dinámicas, térmicas y aerodinámicas.

Contenido de la película:

La película comienza con la presentación de algunos edificios modernos, buques, naves aéreas y puentes, y explica que en todos ellos la "estructura" es la parte que da al edificio, buque o aeroplano, la estabilidad y la fuerza para soportar las fuerzas de la naturaleza y las que han sido creadas por el hombre.

Entonces la película procede a mostrar la devastación causada por huracanes, deslizamientos de tierra y tormentas, así como los efectos destructores de la caída de aeronaves, choques de automóviles y estallidos de bombas. Después e muestran las diferencias entre cargas muertas y vivas, incluyendo las ocultas. La acción se prosigue en el laboratorio en que el Dr. Robert, Heller, profesor de Ingeniería Mecánica en el Instituto Politécnico de Virginia, demuestra cargas ocultas en modelos. Muestra la existencia de tensiones residuales en un anillo; el pandeo de una carretera bajo una temperatura que sube; la deformación de un arco calentado por una lámpara, y la fractura de sus soportes cuando se impide el alargamiento térmico. La deformación producida por los asentamientos de apoyos se muestra vívidamente cuando la arena que sostiene un marco puede escaparse.

Las diferencias entre cargas estáticas y dinámicas se explican cuando se suelta un muelle o resorte, primero lenta y después rápidamente. El alargamiento del resorte bajo una

aplicación rápida de carga es dos veces mayor que bajo carga estática. El experimento indica que las cargas dinámicas son más efectivas que las estáticas. Debido a que la lenta aplicación de carga para una estructura, resulta rápida para otra, se introduce un patrón de medida, el período de oscilación de la estructura. Un resorte voladizo oscilante se emplea para demostrar que el período depende del tamaño, la masa y el material de la estructura. La velocidad de la aplicación de la carga se relaciona entonces con el período.

Los peligrosos efectos acumulativos de la resonancia se muestran sobre un peso oscilante y sobre una viga cargada, mediante un motor giratorio de velocidad variable, con una masa excéntrica, en el extremo de una viga voladiza. La viga vibra violentamente cuando la velocidad del motor está en resonancia con la frecuencia de su movimiento, y deja de moverse en cuanto la velocidad del motor aumenta más allá de la resonancia. Diversos modos de vibración se muestran en vigas y marcos de muchos pisos. Se explica que los terrenos inducen vibraciones según una combinación de modos.

Un experimento de túnel de humo muestra que el viento puede producir una presión estática sobre el lado de barlovento y succión estática en el lado de sotavento de una estructura. Aunque, considerado como carga estática, el viento crea a veces oscilaciones aerodinámicas en las estructuras flexibles, como se ve en una tienda agitada por él y una sección de "puente" oscilando por la acción de un ventilador. La sección de "puente" que consiste en una tabla colgada de alambres, se mueve con oscilaciones de amplitud creciente y la escena pasa el puente Tacoma Narrows, oscilando violentamente, que se colapsó como resultado de tales movimientos aerodinámicos. La película termina recordando al auditorio la importancia de reconocer las cargas y la respuesta que las estructuras les dan.

Sugerencias para el empleo de la película

La película puede emplearse para demostrar principios estudiados en cursos adecuados o como introducción a las cargas, estructura, estática, dinámica y vibraciones. La película también es útil como repaso breve de información estudiada anteriormente. En las escuelas secundarias, puede mostrarse para fines motivacionales.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Qué es una carga oculta?
- 2.) ¿Cuál es la diferencia entre carga muerta y carga viva?
- 3.) ¿Cómo se demostró el efecto de una carga dinámica?
- 4.) ¿Cuál es el período fundamental de una estructura?
- 5.) ¿Cómo establece usted la diferencia entre cargas aplicadas rápida y lentamente?
- 6.) ¿De qué depende el período de una estructura?
- 7.) ¿En qué forma afecta la longitud al período?
- 8.) ¿Qué es un modo de vibración?
- 9.) ¿Qué es un nodo (o punto de unión)?
- 10.) Un terremoto ¿produce cargas estáticas o dinámicas?
- 11.) ¿Qué es una carga resonante?
- 12.) ¿Por qué son peligrosas las cargas resonantes?
- 13.) El viento ¿es carga estática o dinámica?
- 14.) ¿Cómo produce, el mismo viento, presión y succión sobre lados opuestos de un edificio?
- 15.) Las oscilaciones y la trepidación aerodinámicas ¿son causadas por un viento regular o por rachas de viento?

Preguntas para estudio:

- 1.) ¿Por qué se pandean los materiales metálicos al subir la temperatura?
- 2.) ¿Qué clase de cargas se encuentran presentes en la Torre de Pisa?
- 3.) ¿Cuáles son algunos ejemplos de cargas vivas?
- 4.) ¿Por qué oscila menos una estructura cuando el período de aplicación de la carga es más rápido que el período de la estructura?
- 5.) ¿Cuántos modos de vibración tiene una viga?
- 6.) Sugerir medidas que pudieran haber impedido el terrible fracaso del puente Tacoma Narrows.

Película No. 2 (16 mm, film sonoro, color, 21:52 minutos).

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES

Para usarse en:

Ciencias generales en el nivel de escuela secundaria; estructuras introductorias, resistencia de materiales y ciencia de materiales a nivel universitario.

Propósito de la película:

El propósito de la película consiste en ilustrar el comportamiento de los materiales de edificación sometidos a presiones y tensiones, y sometidos a la influencia por cambios de temperatura y velocidad de carga.

Contenido de la película:

La distinción entre varios tipos de comportamiento mecánico está ilustrada con modelos simples. Muestra las diferencias entre materiales elásticos, plásticos, quebradizos (frágiles) y escurridizos (dúctiles). Una viga de metal se deforma elásticamente bajo pequeñas cargas, y se endereza cuando se retira la carga, pero la viga muestra una deformación plástica permanente si se sobrecarga. Una viga de yeso sobrecargada se quiebra con una fractura quebradiza, mientras que una viga de lacre sigue deformándose (se escurre) mientras se aplique a carga.

Para recordar al espectador la terminología introducida, se muestran las diversas propiedades enumeradas en cuadros. Después se muestra la influencia de la temperatura. Una barra de metal que muestra comportamiento elástico-plástico se dobla cuando se calienta con una lámpara, mientras que una pieza metálica idéntica se quiebra al ser golpeada por un martillo después de haber sido enfriada en nitrógeno líquido. El experimento indica que la elasticidad, la ductilidad y el carácter frágil o quebradizo pueden ser inducidos, cada uno de ellos en el mismo material, por una variación de temperatura.

La velocidad de la aplicación de la carga también puede afectar al comportamiento del material. Una pieza de masilla que se deja caer, rebota, es elástica; bajo un martillazo, se desintegra y es quebradiza; bajo una carga aplicada lentamente se deforma continuamente, se escurre. Se muestra la fatiga como el fracaso de un material bajo cargas repetidas; un trozo de alambre doblado para un lado y otro, se quiebra; una viga de yeso se quiebra bajo una carga oscilante.

En las escenas siguientes se ilustran la tracción y la compresión, y se definen con ayuda de modelos de caucho. Se muestra el esfuerzo cortante sobre un marco rectangular deformable, y se ilustra la equivalencia del cortante puro con la tracción y la compresión a 45° sobre los planos de corte, sobre una membrana fija sobre el marco. Un cuadrado diseñado en la membrana se deforma en un rectángulo, mientras el marco sufre un corte puro. Una prueba de tracción se lleva a cabo, y se emplea un diagrama tracción - compresión automáticamente establecido, para explicar los módulos de elasticidad. El efecto de Poisson, la flexión y la torsión, se muestran en modelos de caucho.

El corte junto con la flexión se vuelve visible en una viga que consiste en tabletas horizontales, y la equivalencia de la tracción y la compresión con el corte a 45° se muestra una vez más cuando se retuerce un trapo mojado y la compresión expulsa el agua, mientras la tensión es la causa principal de una línea de fractura helicoidal en una barra de gis sometida a esfuerzo de torsión. Se introducen materiales compuestos, y se demuestran sus cualidades superiores en una viga de caucho cuya importante deformación se reduce considerablemente cuando se refuerza la viga con un trozo de cinta adhesiva pegada en el lado de la tracción.

Como ilustración adicional de los materiales compuestos, una viga de concreto armado se cuela y finalmente se somete a prueba en una máquina. La debilidad de tracción y la fuerza compresiva del concreto y la fuerza general de la viga se muestran aquí.

Para terminar, se recuerda al espectador que las cargas, su velocidad y el ámbito, influyen, cada uno de ellos, en el comportamiento de los materiales, y que por lo tanto es importante escoger el material correcto.

Sugerencias para el empleo de la película:

La película puede emplearse en cursos sobre fuerza de materiales, mecánica, materiales, ciencia de materiales y estructuras introductorias.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Cuáles son las diferencias entre comportamiento elástico-plástico, quebradizo y escurridizo?
- 2.) ¿Cómo afecta un aumento de la temperatura, en el comportamiento de un material normalmente elástico?
- 3.) ¿Cómo afecta un descenso de temperatura, a un material normalmente elástico?
- 4.) ¿De qué modo influye la velocidad de la carga en el comportamiento del material?
- 5.) ¿Qué es tracción, esfuerzo?
- 6.) ¿Qué es tirantez, deformación?
- 7.) ¿Cómo alteran la tracción, la compresión y el corte, respectivamente, la forma del material?
- 8.) ¿Cómo la tracción del corte y la tracción del estiramiento acompañan a la flexión?
- 9.) ¿Qué clase de tracción es producida por la torsión?
- 10.) ¿Cómo puede mejorarse el comportamiento de los materiales?

Preguntas para estudio:

- 1.) ¿Por qué los reglamentos de edificios exigen aislamiento del fuego en las estructuras de acero, si el acero no arde?
- 2.) ¿Por qué un trozo de yeso se quiebra siguiendo una hélice, al torcerse?
- 3.) ¿Por qué son peligrosas las cargas oscilantes?
- 4.) Un material escurridizo o dúctil ¿sería útil en una aplicación estructural?
- 5.) ¿Cuáles son los nombres de varios materiales compuestos?

Película No. 3 (16 mm, sonora; color, 25 minutos).

ESTRUCTURAS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.

Para usarse en:

Cursos de estática, resistencia de materiales, estructuras introductorias en primer año de universidad, instituto técnico, facultad, escuela de ingeniería y escuela de arquitectura.

Propósito de la película:

Ilustrar el comportamiento de las estructuras sometidas primordialmente a esfuerzos de tracción o de compresión.

Contenido de la película:

Los conceptos de equilibrio y estabilidad de las estructuras son introducidos con ayuda de sencillas demostraciones de laboratorio por el Dr. Robert A. Heller. Sus ilustraciones para el requisito de equilibrio traslacional en las estructuras comprende una prueba de fuerza entre grupos opuestos de niños que jalan una cuerda por los extremos y una viga que reposa sobre dos balanzas de laboratorio que miden las reacciones ante una fuerza vertical. El concepto de componentes de fuerza se introduce mostrando que la tracción en un alambre inclinado, induce reacciones en dos escalas de resorte: una horizontal y otra vertical.

El equilibrio de la rotación se ve que implica los productos de fuerzas, cronometra sus distancias y se demuestra con un "sube y baja". Primeramente se muestra el aparato en equilibrio, estando sentados dos niños de peso igual a distancias iguales y lugares opuestos del pivote, y después con dos muchachos sentados cerca del pivote, en el otro extremo. Como ilustración adicional del equilibrio traslacional y rotacional, un edificio, representado por una caja sobre una superficie lisa, se ve deslizarse bajo la acción de un viento horizontal, pero volcarse si la base rugosa no permite el deslizamiento.

El concepto de la inestabilidad de ciertas estructuras se introduce como tendencia hacia deformaciones repentinas, en gran escala, bajo cargas móviles o diversas. Un cable sobre dos apoyos no sirve: cambia de forma en cuanto se cambia la posición de la carga en el cable. En cambio, una viga no se deforma apreciablemente bajo una carga móvil: es estable.

Otros ejemplos de inestabilidad se presentan: un puente suspendido pequeño y flexible oscila cuando un hombre brinca encima, y una tienda se sacude cuando hay mucho viento. Una columna rígida y corta es estable; se acorta pero no se deforma en forma apreciable hasta que se le aplica una carga compresiva muy fuerte en una máquina de pruebas. Una columna alta y delgada, en vez de acortarse, se pandea y se deforma de repente; es inestable.

La dependencia de la carga que causa pandeo en el largo de la columna, las condiciones de soporte y las propiedades materiales, se muestran sometiendo a prueba puntales largos y cortos, simplemente apoyados, y columnas de extremidad fija o empotrada, y columnas metálicas, de yeso y de cera en un solo dispositivo cargado de perdigones. Varios modos de pandeo se ilustran así.

La dependencia de la tracción del cable sobre la comba del cable se demuestra cuando el acomodo de un alambre con una carga situada a medio camino se reduce hasta que se rompe el alambre.

Un cable cargado con varias pesas asume la forma de un polígono. A medida que aumenta el número de pesas, el polígono adquiere la forma de lo que se llama curva de funicular, la cual, para cargas repartidas uniformemente a lo largo de la proyección horizontal del cable, es una parábola. Los cables de puente de suspensión tienen formas aproximadamente parabólicas. Un alambre que lleve su propio peso muestra una forma de curva catenaria, por ejemplo como las de líneas de transmisión de alto voltaje.

La relación entre los cables de funicular y los arcos de funicular, se ve cuando las funciones de pilares y tirantes y la relación entre el alza de un arco y su empuje horizontal quedan demostradas. La necesidad de pilares que aguanten el empuje o de tirantes se ilustra al cortarse el tirante de un arco, causando la caída de éste.

El anillo de una rueda de bicicleta se muestra como un arco circular compresivo con radios de tracción. El principio de la rueda de bicicleta, empleado para la construcción de grandes techos circulares, se ve ilustrado por una estructura real.

Un arco de mampostería debe tener cierta forma y cierta carga de modo que sólo pueda formarse compresión entre sus elementos. Un arco de bloques de madera presenta una explicación visual de la fuerza de tales estructuras cuando están cargadas en compresión pura y su debilidad cuando se encuentra presente aunque sólo sea una pequeña cantidad de tracción. Un arco pequeño de bloques individuales de madera lleva el peso del experimentador cuando está en pie sobre su corona, pero se cae bajo la presión del dedo aplicada en un punto distinto, puesto que esta pequeña presión produce tracción entre algunos de los bloques. El pandeo de un arco flexible también se presenta.

Se introducen armaduras cuyos miembros están ya sea en tracción, ya en compresión. El comportamiento de las armaduras se demuestran en un modelo cargado hecho de resortes con juntas que giran libremente, lo cual muestra claramente que algunas barras se alargan y otras se acortan – todas sin flexionarse – indicando la presencia de fuerzas exclusivamente de tracción y de compresión. Otra armadura demuestra que sus miembros se flexionan si aumenta la carga más allá de un valor dado y si las uniones son rígidas.

La diferencia en el comportamiento estructural entre armaduras y marcos rígidos se ilustra mostrando que las barras empleadas como miembros del marco se flexionan abajo la carga. Ejemplos de estructuras reales tales como arcos, puentes suspendidos, techos de cable, coches de funicular y un puente de piedra natural se presentan en la película para ilustrar la aplicación de los principios demostrados. La película termina recordando las ventajas y los inconvenientes de estructuras puramente de tracción o de compresión.

Sugerencias para el uso de la película:

La película puede emplearse para completar un curso teórico sobre estática, resistencia de materiales y mecánica estructural mediante 68 demostraciones e ilustraciones sencillas. Puede también servir ya sea como introducción del tema o como un breve repaso de éste.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Cuándo decimos que un cuerpo está en equilibrio?
- 2.) ¿Cuándo se dice que una estructura es inestable?
- 3.) ¿Puede estar en equilibrio una estructura inestable?
- 4.) ¿Qué factores influyen en la carga de pandeo de una columna?
- 5.) ¿Qué es un modo de pandeo?
- 6.) ¿Cómo se relacionan con el empuje, el alza de un arco y la comba de un cable?
- 7.) ¿Cuáles son las similitudes y las diferencias de comportamiento estructural entre cables y arcos?
- 8.) ¿Cómo se deforman bajo la carga los miembros de las armaduras?
- 9.) ¿Qué distingue una armadura de un marco rígido?

Preguntas para estudio:

- 1.) ¿Cuáles son las ventajas y los inconvenientes de las estructuras de tracción y de compresión?
- 2.) ¿Qué factores están involucrados en la inestabilidad de un cable y la inestabilidad de una columna?
- 3.) ¿Por qué los cables y los arcos exigen tirantes o pilares?
- 4.) ¿Dónde deberían aplicarse las cargas sobre una armadura, y por qué?
- 5.) Indíquense varios usos de una estructura de tracción o una de compresión.

Película 4 (16 mm. sonora, color, 31 minutos)**VIGAS Y MARCOS****Para usarse en:**

Cursos sobre resistencia de materiales, estructuras introductorias en la escuela de ingeniería, escuela de arquitectura, primer año universitario y nivel de instituto técnico.

Propósito de la película:

El propósito de la película es ilustrar el comportamiento de estructuras que consisten primordialmente en elementos sujetos a flexión.

Contenido de la película:

La curvatura producida en un elemento flexionado se opone al alargamiento causado por esfuerzos de tracción en una demostración hecha por el Dr. Robert Heller. Explica que la ubicación de grandes esfuerzos de flexión a través del peralte de la viga y la existencia del "eje neutro" libre de esfuerzo, se demuestran con un modelo de caucho equipado con balanzas de resorte.

El equilibrio entre cargas aplicadas exteriormente y esfuerzos internos se muestran en un segmento de viga sobre el cual el momento de resistencia, producido por esfuerzos de tracción y de compresión, y la fuerza vertical de corte, producida por los esfuerzos de corte, se miden. Una comparación entre segmentos de viga de diferente peralte revela la influencia del peralte sobre la magnitud de los esfuerzos de flexión.

Después se introduce el concepto del momento de inercia, examinando la deflexión de dos vigas con áreas transversales idénticas pero peralte distinto. La influencia del módulo de elasticidad sobre las deformaciones se demuestra en dos vigas, una de acero y la otra de aluminio.

El hecho de que los esfuerzos verticales de corte siempre vayan acompañados de esfuerzos horizontales de corte se explica con ayuda de una pila libros y una viga de tablillas. Los libros pueden levantarse cuando se aplica presión a los volúmenes extremos, creando así fricción, o sea esfuerzos de corte entre las cubiertas de los libros. La viga está hecha de varias tablillas horizontales engrapadas; cuando se sueltan las grapas, la carencia de esfuerzos de corte permite que las tablillas se deslicen unas sobre las otras. La flexibilidad relativa de una sección transversal rectangular se ilustra moviendo parte del material que está cerca de su eje neutro hacia arriba y hacia debajo de la sección, transformándola así en un viga I; la viga I con su mayor momento de inercia deflexiona mucho menos que la viga rectangular original.

Se muestra que el pandeo lateral puede ser causado por el momento de inercia lateral relativamente pequeño de las vigas I. Bajo la misma carga, el fenómeno se produce en una viga de caja, tubular, de superficie igual. Las cargas que se aplican lejos del eje de simetría de una viga producen torsión del corte transversal y las vigas de sección asimétrica se tuercen, a menos que la carga se aplique a través de sus centros de gravedad.

La influencia de condiciones de apoyo en el comportamiento de la viga queda demostrada. Una viga simplemente apoyada es análoga a un par de voladizos boca abajo. La influencia de cargas concentradas y distribuidas, y de la libertad de movimiento horizontal en los apoyos, y la carencia de esto, también se demuestran. La analogía entre una estructura que consiste en un par de voladizos sosteniendo una viga apoyada simplemente en sus extremos libres, y una viga con extremos fijos, se emplea para explicar su comportamiento. La inversión de la curvatura en los puntos de inflexión, los momentos de flexión positivo y negativo en los apoyos y en medio de la viga, quedan indicados.

La capacidad de repartir la carga de los tramos en una viga continua, queda ilustrada mediante la continuidad de la rotación en los apoyos. Debido a la continuidad, los tramos

sin carga también están sometidos a esfuerzos de flexión. Los esfuerzos producidos por el asentamiento del apoyo y no por cargas aplicadas, también quedan demostrados. Se muestra que tales esfuerzos están presentes en vigas de extremos fijos, pero no en las que están simplemente apoyadas.

Estructuras de poste y umbral y diferentes marcos simples son presentados. En el sistema de poste y umbral, los momentos de flexión en la viga o las columnas no se transmiten a las columnas o vigas, mientras que en marcos rígidos simples tal transmisión sí se verifica. Se explican la flexión lateral y los efectos de nodos articulados con respecto a los rígidos.

Los asentamientos de apoyos en marcos simples y la división de la carga en marcos múltiples producen efectos similares a los que se producen en vigas continuas. Las vigas de un marco de gablete no son horizontales; se muestra que este tipo de marco soporta cargas mediante una combinación de la acción del arco y de la viga.

Como los esfuerzos de flexión varían linealmente a través del peralte de una viga, las capas exteriores más altamente esforzadas ceden cuando se alcanza la "carga elástica máxima". Sin embargo, la estructura puede soportar cargas crecientes hasta que en cierto punto a lo largo de la viga, el corte transversal se vuelve plástico en toda la sección. El margen de seguridad entre la carga elástica máxima y la carga de colapso se mide en una máquina de pruebas para una viga rectangular y una viga en I. Aún cuando la viga en I es más eficiente para las cargas elásticas, tiene un margen de seguridad más bajo porque después de que las alas ceden bajo la carga elástica máxima, la pequeña área del alma sólo puede llevar una pequeña carga adicional, antes de que se derrumbe la viga. La formación de articulaciones plásticas en los marcos, también se demuestra. Al terminar, se muestran estructuras reales hechas de vigas.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Qué fuerzas internas y qué momentos equilibran las cargas externas en una viga?
- 2.) ¿Cómo influye el peralte de una viga en los esfuerzos de flexión?
- 3.) ¿Qué cantidades influyen en la deflexión de una viga?
- 4.) ¿Dónde son mayores los esfuerzos de flexión en una viga: (a) en voladizo, (b) de apoyos simples, (c) de extremos empotrados?
- 5.) ¿Cómo se distribuyen los esfuerzos de flexión a través de el peralte de una viga?
- 6.) ¿Por qué es más eficiente una viga I que una rectangular?
- 7.) ¿Por qué es una viga de caja menos propensa al pandeo lateral que una viga en I?
- 8.) ¿Cuál es el centro de corte?
- 9.) ¿Cómo se comparte la carga sobre un tramo de una viga continua, entre los demás tramos?
- 10.) ¿Por qué una viga en I tiene un margen de seguridad más bajo que una viga rectangular?

Preguntas para estudio:

- 1.) ¿Por qué el alma de una viga en I no puede ser retirada del todo?
- 2.) ¿Cuál es el papel de los esfuerzos horizontales de corte sobre una viga?
- 3.) Si se espera que se produzcan asentamientos de los apoyos ¿qué tipo de viga emplearía usted, y por qué?
 - a) una viga simplemente apoyada.
 - b) una viga de extremos empotrados.
- 4.) Estúdiese el margen de seguridad de las vigas.
- 5.) ¿Por qué un marco rígido simple exige ya sea pilares o tirante?

Película No. 5 (16 mm, sonora, color, 16 minutos)

RETÍCULAS Y LOSAS

Para usarse en:

Cursos sobre resistencia de materiales, estructuras, membranas y cascarones a nivel de primer grado universitario, instituto técnico, universidad, escuela de ingeniería y escuela de arquitectura.

Propósito de la película:

El propósito de la película es ilustrar, con ayuda de más de 30 demostraciones, el comportamiento de estructuras que consisten primordialmente en retículas, vigas y losas planas o plegadas.

Contenido de la película:

Estructuras unidimensionales, tales como vigas, cables o arcos, colocados paralelamente entre sí pueden sostener un techo o un sistema de piso. La película muestra cómo una carga aplicada a uno de esos componentes paralelos deforma sólo el componente cargado, mientras que los demás no comparten la acción del sostenimiento de la carga.

Retículas y losas conectadas entre ellas, en cambio, distribuyen la acción del sostenimiento de la carga en forma igual, inclusive en las partes no cargadas de la estructura. Dos vigas idénticas sostenidas simplemente dispuestas en ángulo recto una con otra, se emplean para mostrar que la carga aplicada en la intersección se transmite a los cuatro apoyos. Balanzas de resorte muestran que cada soporte sostiene la cuarta parte de la carga total.

Después, dos vigas de largo distinto, también en ángulo recto una con otra, ilustran el hecho de que, puesto que una viga larga es más flexible que una corta, la viga corta, más rígida, transmite una parte mayor de la carga total a sus apoyos. Así como una viga simple lleva cargas mediante una combinación de esfuerzos de flexión y de corte, las vigas interconectadas rigidamente de un sistema de retícula se ve torciéndose, y de ese modo soportar parte de la carga mediante la acción de torsión.

Un sistema de vigas paralelas a los lados de un rectángulo largo y estrecho no crea una acción de dos vías que tenga alguna importancia. Las vigas de una retícula, en cambio, pueden sesgarse con el fin de igualar el largo de todas las vigas cruzadas. Sólo las vigas situadas cerca de los ángulos de una retícula sesgada son más cortas y rígidas que las demás. La rigidez de esas vigas produce un levantamiento en los ángulos de la retícula.

RETÍCULA RECTANGULAR Y SESGADA

Una lámina o losa puede considerarse como una serie infinita de vigas estrechas, cruzadas, que inducen flexión y torsión mutuamente. Se observa que los ángulos de la lámina se levantan lo mismo que los de una retícula sesgada.

La mayoría de las láminas crean esfuerzos de tracción o de compresión, en su plano medio, porque la forma de flexionada de una lámina, por lo general, es una superficie "no-desarrollable". La película muestra que un hemisferio no puede ser aplastado sin cortar o estirar su material, mientras que medio cilindro sí puede aplastarse sin hacerlo. De ahí que no se formen esfuerzos de membranas en las láminas dobladas cilíndricamente pero sí en las láminas dobladas en otras formas.

Una rueda con radios de caucho ilustra los esfuerzos radiales de tracción y de circunferencia que se forman en una lámina circular bajo carga. Chapas nervadas y losas sándwich también son presentadas. El aumento en su momento de inercia y en su capacidad de sostenimiento de carga quedan demostrados. Una hoja de papel doblada en V se muestra como mucho más rígida que una hoja plana. Esto se debe al hecho de que la lámina doblada tiene un momento de inercia mucho mayor debido a que parte de su material ha sido alejado del eje neutro.

Una franja transversal estrecha de lámina doblada se emplea para mostrar que una lámina con varios pliegues se comporta como una viga continua. La carga aplicada a uno de los pliegues se transfiere a las crestas y valles adyacentes al doblarse la franja transversal. Un segmento longitudinal de la estructura demuestra que la carga está definitivamente transmitida a los apoyos por los pliegues mediante flexión longitudinal de la viga.

Se forma un cilindro de papel doblado y se carga. La fuerza notable de semejante estructura se ilustra cuando el cilindro se carga con varios pesados anuarios telefónicos. Se observa que el colapso final de la estructura se debe al pandeo. La película termina con ejemplos de estructuras reales de losa plana, nervada y doblada.

Sugerencias para el uso de la película:

La película puede emplearse para introducir los conceptos de retículas y losas y para contribuir al entendimiento intuitivo de sus mecanismos de sostenimiento de cargas. Puede servir también como ayuda para la enseñanza y en cursos teóricos sobre membranas y cascarones.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Cuál es la diferencia geométrica entre una estructura unidimensional y una bi-dimensional?
- 2.) ¿Por qué las vigas de una retícula rectangular paralela al lado largo de un rectángulo soportan menos carga que las vigas transversales paralelas al lado corto del rectángulo?
- 3.) ¿Qué ventajas presenta una retícula sesgada?
- 4.) ¿Cuáles son los mecanismos de sostenimiento de carga en : a) vigas, b) retículas y c) losas?
- 5.) ¿Qué es una superficie no desarrollable?
- 6.) ¿Qué da a una losa sándwich su fuerza superior?
- 7.) ¿Cómo debe ser sostenida una losa con varios pliegues paralelos?
- 8.) ¿Por qué es una losa doblada más rígida que una plana?

Preguntas para estudio:

- 1.) ¿Cuáles son las ventajas de las estructuras bi-dimensionales sobre las estructuras que consisten en dos elementos paralelos unidimensionales?
- 2.) ¿Cuáles son las diferencias en los mecanismos de sostenimiento de carga de una losa circular sostenida en su borde circular y de una losa rectangular sostenida a lo largo de dos bordes longitudinales paralelos?
- 3.) ¿Cuáles son los mecanismos de sostenimiento de carga de una estructura que consista en losas dobladas paralelas?
- 4.) ¿Cómo reforzaría usted una estructura de tipo losa?
- 5.) Cables y arcos son llamados estructuras inestables. Las losas y las retículas, ¿son estables? ¿por qué?

Película No. 6 (16 mm, sonora, color, 27 minutos)

MEMBRANAS Y CASCARONES

Para usarse en:

Cursos sobre resistencia de materiales, estructuras, losas y cascarones a nivel de primer grado universitario, instituto técnico, ingeniería universitaria y post-universitaria y escuela de arquitectura.

Propósito de la película:

El propósito de la película es ilustrar el comportamiento y los mecanismos de sostenimiento de carga de estructuras curvas resistentes por su forma, tales como membranas, cascarones y armaduras de tres dimensiones.

Contenido de la película:

Un barco de vela se desliza sobre un lago y un paracaídas en descenso son las imágenes iniciales de la película. La vela y el paracaídas son membranas flexibles y delgadas que sólo pueden soportar cargas de tracción y que se colapsan cuando se aplica flexión o compresión.

La acción de la membrana se compara con la del cable en dos direcciones perpendiculares. Una tela fijada en un marco muestra que, como un cable, una membrana ajusta su forma a cargas variables con el fin de soportarlas con esfuerzo de tensión. De ahí que las membranas sean estructuras inestables. Se presentan membranas preesforzadas en forma de un paraguas y un globo. Adquieren estabilidad y capacidad adicional de resistencia a la carga como resultado del preesfuerzo. Un globo alargado, por ejemplo, actúa como una viga hasta que el pandeo local de su piel le haga caer.

La película muestra que, como el corte es equivalente a una combinación de tensión y compresión en ángulos rectos mutuamente, las membranas sólo pueden soportar una cantidad reducida de esfuerzos de corte. Se pandean debido al componente compresivo del corte. Sin embargo, la capacidad transportadora de la fuerza de corte ayuda a soportar cargas fuera de plano en membranas curvas.

El hecho de que estructuras curvas delgadas puedan soportar cargas se ilustra además con ayuda de una hoja de papel. Cuando se mantiene plano, el papel se dobla bajo su propio peso, pero si se le da forma en canal, puede soportar pesos además del suyo propio.

La forma curva de estructuras tales como membranas y cascarones, les proporciona fuerza. Tres huevos en una huevera se ven, soportando el peso del demostrador, Dr. R. Heller, sin quebrarse, aunque los huevos se quiebran fácilmente cuando él los golpea en el borde de un recipiente.

Los cascarones, a diferencia de las membranas, también pueden soportar esfuerzos de compresión y de corte. La película muestra varias estructuras de tipo casco que son reales, y explica cómo se relaciona su fuerza con sus curvaturas. El demostrador muestra lo que significa la curvatura, cortando un cilindro en diversas direcciones. La curvatura del cilindro paralela a su eje, es cero, mientras que perpendicularmente al eje es donde la superficie tiene su curvatura mayor. Estas dos, la más pequeña y la más grande, son llamadas las curvaturas principales de la superficie. Cortes en ángulos oblicuos en relación con el eje del cilindro muestran curvaturas entre estos dos valores limitativos.

La torsión superficial es ilustrada mediante una secuencia animada en la cual barras delgadas (reglas) colocadas transversalmente sobre la pendiente de la superficie se mueven a lo largo de la misma pendiente. Se muestra que no existe torsión en las direcciones principales. Los cilindros que sólo tiene una curvatura principal pueden desplegarse y se llaman superficies desarrollables. Un cilindro de papel muestra esa propiedad. Las formas de doble curvatura, sin embargo, como por ejemplo las cúpulas, no pueden aplastarse sin estirar o cortar su material. Esas superficies se llaman no

desarrollables. Una pelota cortada en tramos meridianos se emplea para ilustrar este principio.

Formas sinclásticas y anticlásticas que tienen sus curvaturas principales ambas en la misma dirección (cúpulas) o en direcciones opuestas (sillas) respectivamente, se introducen y clasifican de acuerdo con los métodos empleados para crearlas. Superficies rotacionales son creadas visualmente cuando varias curvas planas tales como círculos se hacen girar rápidamente sobre su diámetro tomado como eje. Un hiperboloide de una hoja también se crea en la misma forma. Las superficies translacionales se forman cuando se desliza una curva vertical sobre una segunda curva vertical, a ángulo recto con la primera. La formación de paraboloides elípticos e hiperbólicos queda demostrada. Para explicar esos términos, se cortan modelos sólidos para mostrar cortes elípticos e hiperbólicos.

Finalmente, se muestra cómo se crean superficie regladas conectando las partes de dos límites curvos con líneas rectas. Modelos de cuerdas en cilindros, paraboloides hiperbólicos y conoides son presentados. La película examina varias estructuras reales a la luz de las técnicas estudiadas sobre creación de estas superficies.

Después se muestra que cilindros de casco delgado sostenidos longitudinalmente se comportan como una serie de arcos paralelos y deben estar sostenidos por pilares a lo largo de sus bordes longitudinales para evitar que se abran bajo carga. Por otra parte, los cilindros con sus extremos sostenidos actúan como vigas largas y no necesitan pilares debido a que los esfuerzos longitudinales de tracción en la parte inferior impiden que los cilindros se abran. Las cúpulas pueden considerarse como consistentes en arcos meridianos sostenidos por paralelas de anillos elásticos.

Cuando un esqueleto de bóveda construido en alambre y bandas de caucho se carga, los arcos de alambre tienden a expandirse, pero las paralelas elásticas restringen esa tendencia, y por lo tanto las cúpulas no necesitan pilares.

Puesto que las pequeñas deformaciones en las cúpulas sólidas son algo diferentes de las de la cúpula de alambre, un domo de plexiglás es equipado con medidores de esfuerzo electrónicos que pueden registrar esas deformaciones y revelarlas, ampliadas, en instrumentos electrónicos. Primeramente se explica la operación de los medidores, y entonces se cubre la cúpula con una capa de arena. El instrumento muestra que, como se esperaba, los medidores colocados en cualquier parte a lo largo de una línea meridiana, muestran compresión, y un medidor en un aro cerca de la base de la cúpula indica tensión.

Al contrario del comportamiento del esqueleto de alambre, sin embargo, un aro cerca de la parte superior de la cúpula muestra compresión. Se concluye que en cúpulas muy altas sólo las paralelas próximas a la base están en tensión, mientras que todas las meridianas y los arcos cerca de la parte superior están en compresión. Como consecuencia, las cúpulas bajas sólo tienen esfuerzos de compresión en todos los arcos y las paralelas. También se demuestra esto mediante el uso de medidores de esfuerzo. A continuación se examina el efecto de cargas concentradas sobre cascos. Se observa que la curvatura ayuda a localizar las deformaciones de flexión. Un cilindro que sólo posee una curvatura muestra deformaciones en una zona mayor que un domo de doble curvatura o un paraboide hiperbólico.

Algunos aspectos de estructuras tridimensionales se ilustran con el esqueleto de alambre previamente introducido. Cuando todos los miembros de la estructura están en las direcciones meridianas y de aro, la estructura muestra cierta inestabilidad. La adición de reforzamiento diagonal puede transformar la estructura en un pilar tridimensional. Un pilar tridimensional triangulado se muestra como estable. La película termina con vistas de estructuras existentes. Una cúpula geodésica y casco ondulado y una cúpula que consiste en un marco con recubrimiento transparente pueden verse, y se recuerda al espectador las ventajas de las estructuras de membrana y de cascarones.

Sugerencias para el uso de la película:

La película puede emplearse para introducir los conceptos de estructuras curvas resistentes por su forma (tales como membranas, cascarones y estructuras tridimensionales) y para ayudar el entendimiento intuitivo de sus mecanismos de resistencia a la carga. Puede servir también como ayuda a la enseñanza de cursos teóricos sobre membranas y cascarones.

Preguntas para repaso:

- 1.) ¿Por qué se dice que las membranas y los cascarones son estructuras resistentes por su forma?
- 2.) ¿Por qué son las membranas inherentemente inestables?
- 3.) ¿Qué tipo de esfuerzos pueden ser generados en a) membranas y b) cascarones?
- 4.) ¿Por qué una membrana sólo puede soportar una cantidad pequeña de corte?
- 5.) ¿Cómo pueden estabilizarse las membranas?
- 6.) ¿Qué es curvatura, curvatura principal y torsión?
- 7.) ¿Qué quiere decir superficies desarrollables, no desarrollables, sinclásticas y anticlásticas?