



Carlos Moreno Tamayo
Antonio Abad Sánchez
Eduardo Arellano Méndez

ORCID: [0000-0001-7790-1104](https://orcid.org/0000-0001-7790-1104)

Los modelos estructurales, diseño para la enseñanza del diseño

Páginas 243-263

En:

Transformaciones y retos de la educación en las artes y los diseños (tomo 1) / Alma Elisa Delgado Coellar, Juana Cecilia Angeles Cañedo & Daniela Velázquez Ruíz, coordinadoras. Panamá: Universidad Euroamericana, Coordinación de Investigación y Posgrado, 2023.

ISBN 978-9962-8555-4-5

Relación: <http://hdl.handle.net/11191/9715>

Universidad
Autónoma
Metropolitana
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

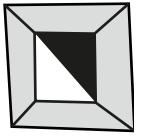
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco



División de
Ciencias y Artes para el Diseño



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como [Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

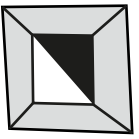


CAPÍTULO 9. LOS MODELOS ESTRUCTURALES, DISEÑO PARA LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO

Carlos Moreno Tamayo
Antonio Abad Sánchez
Eduardo Arellano Méndez

RESUMEN

La formación universitaria en Arquitectura incorpora distintas áreas disciplinarias para dar respuesta a las diferentes líneas de conocimiento que caracterizan la carrera. Entre ellas destaca la necesidad de la comprensión del comportamiento de las estructuras, no sólo desde el punto de vista de la estabilidad de las edificaciones, sino como un factor indispensable del proyecto arquitectónico, componente sustancial que, a la par de las consideraciones espaciales y funcionales, debe ser considerado a lo largo del proceso desde el momento mismo de la gestación conceptual hasta la etapa del desarrollo constructivo.



En la División de Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD) de la UAM Azcapotzalco se ha planteado, desde hace tiempo, la necesidad de abordar interdisciplinariamente este tema a partir de la creación del Laboratorio de Modelos Estructurales, espacio didáctico que permite conjuntar los conocimientos y experiencia de otras instancias universitarias para lograr un mismo propósito: el uso de modelos físicos para la enseñanza del diseño y de las estructuras.

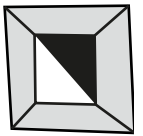
Es comúnmente sabido que la enseñanza del comportamiento mecánico de las estructuras enfrenta problemas tanto en la explicación de fórmulas y conceptos teóricos por parte del docente como en la comprensión por parte de los alumnos, por lo que el estudio de la estática, la resistencia de los materiales, el análisis y el diseño estructurales pueden resultar en una temática en ocasiones árida y difícil de asimilar.

En ese sentido, en este documento se discute la utilidad de vincular el trabajo del Laboratorio de Estructuras y Pruebas de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería (CBI) con el de Modelos Estructurales a fin de atender necesidades académicas de interés compartido que impactan en los planes y programas de estudio de las licenciaturas de Arquitectura e Ingeniería Civil.

PALABRAS CLAVE: estrategia, didáctica, laboratorio, estructuras, interdisciplina.

ABSTRACT

University education in Architecture incorporates different disciplinary areas to respond to the different lines of knowledge that characterize the



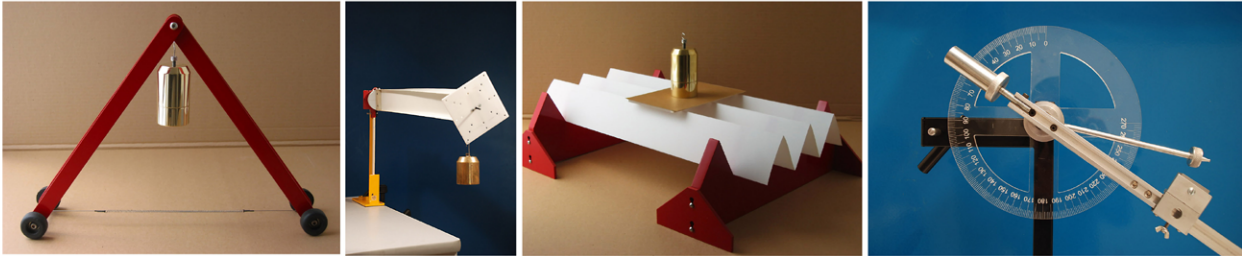
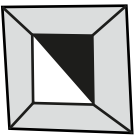
career. Among them, the need to understand the behavior of structures stands out, not only from the point of view of the stability of the buildings, but also as an indispensable factor of the architectural project, a substantial component that, together with spatial and functional considerations, must be considered throughout the process from the very moment of conceptual gestation to the stage of constructive development.

In the Division of Sciences and Arts for Design (CyAD) of the UAM Azcapotzalco, the need to address this issue in an interdisciplinary way has been raised for some time, starting from the creation of the Laboratory of Structural Models, a didactic space that allows to combine knowledge and experience from other university instances to achieve the same purpose: the use of physical models for teaching design and structures.

It is commonly known that the teaching of the mechanical behavior of structures faces problems both in the explanation of formulas and theoretical concepts by the teacher and in the understanding by the students, so the study of statics, the resistance of materials, structural analysis and design can result in a theme that is sometimes arid and difficult to assimilate.

In this sense, this document discusses the usefulness of linking the work of the Laboratory of Structures and Materials Testing of the Division of Basic Sciences and Engineering (CBI) with that of Structural Models in order to meet academic needs of shared interest that impact in the plans and programs of study of the degrees of Architecture and Civil Engineering.

KEYWORDS: *strategy, didactics, laboratory, structures, interdisciplinary.*

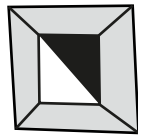


INTRODUCCIÓN

Entre las diversas estrategias didácticas aplicables a la educación en el diseño y la comprensión del comportamiento de las estructuras, el uso de modelos físicos reporta habitualmente mejores resultados comparativamente con otros métodos. Con este argumento queda de manifiesto la conveniencia de complementar la exposición teórica del diseño y de los procedimientos y sistemas de construcción con elementos y mecanismos materiales y tangibles que favorecen el proceso de enseñanza-aprendizaje y que, además, incorporan una experiencia lúdica. Por ello, el uso de modelos físicos experimentales figura como un recurso de particular importancia.

Existen, además, buenas razones para considerar la conveniencia del trabajo de laboratorio para comprender la mecánica estructural. Quizá la más elemental y convincente sea el aforismo que afirma que es necesario “ver para creer”. Otra razón importante es la posibilidad de la verificación práctica de la teoría y los cálculos matemáticos aplicados a un objeto de estudio.

Para lograr este propósito, fue creado el Laboratorio de Modelos Estructurales de la Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, proyecto que explora una alternativa didáctica que promueve la mejor comprensión del desempeño estructural de las edi-

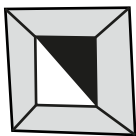


ficaciones en las licenciaturas de Arquitectura e Ingeniería Civil. Profesores y alumnos pueden encontrar en él elementos para abordar el proyecto arquitectónico desde una óptica unitaria, donde los aspectos estructurales formen parte de las consideraciones conceptuales del diseño.

Caracterizado como un proyecto interdisciplinario, se orienta a desarrollar ayudas didácticas para reforzar el aprendizaje de los problemas estructurales que impactan en la práctica de la construcción, complementa mediante el uso de modelos físicos, el sistema tradicional de enseñanza-aprendizaje y se constituye actualmente como parte del esfuerzo académico de las divisiones de CyAD y CBI para la integración de una metodología de diseño que permita a los estudiantes comprender el tema de los problemas estructurales de la arquitectura y la ingeniería en su conjunto.

Desde luego que el natural enfoque eminentemente técnico de la ingeniería civil discrepa del tipo de formación de los arquitectos, normalmente menos involucrados con los aspectos del cálculo y el diseño estructural y más con los relativos al programa arquitectónico y a la concepción funcional, espacial y volumétrica del proyecto. Es por ello que en el particular caso de los estudiantes de arquitectura se agudiza el problema presentando importantes deficiencias formativas e informativas en aquellos temas.

A pesar de esas diferencias manifiestas, resulta evidente la necesidad de brindar atención, en los planes y programas de estudio de ambas disciplinas, al diseño de estrategias de enseñanza para que permitan asimilar los conceptos a los que nos referimos, de un modo más comprensible y unitario para ambas especialidades profesionales, con el propósito de entender que la estructura no es un

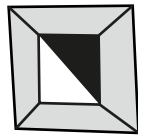


apartado del diseño arquitectónico que garantiza la estabilidad de los edificios sino que, muy importantemente, es parte integral del proyecto desde su concepción inicial hasta su conclusión, que se entiende como un ingrediente argumental de primordial importancia para la solución de la forma edificada.

En otros términos, es necesario entender el edificio como un sistema integral que agrupa aspectos funcionales, formales y estructurales en equilibrio, factores de interacción constante e interdependientes. De ese modo, creemos necesario destacar la conveniencia de revisar los enfoques educativos de ambas licenciaturas para establecer visiones coincidentes entre ingeniería y arquitectura respecto de lo que significa la fundamentación de la solución constructiva en favor de un producto final con calidad arquitectónica y estructural.

ANTECEDENTES

Facilitar la comprensión de conceptos y fórmulas de un modelo matemático estructural apoyado por prácticas experimentales de laboratorio con modelos físicos de escala reducida ha sido un propósito que en el inicio del presente siglo ha sido posible materializar. La inclusión de este tipo de ayudas didácticas está contemplada formalmente en el Plan de Estudios de Arquitectura desde el año 2005 si bien se ha venido aplicando de forma experimental a partir del año 2000. La intención de extender este beneficio a estudiantes de Ingeniería Civil y Diseño Industrial se ha considerado desde el primer momento, aunque no ha sido posible concretar ese propósito sino hasta tiempos recientes a partir del diseño y producción de prototipos con la colaboración y por iniciativa de los profesores de



estructuras del Departamento de Materiales de CBI, con el objetivo de hacer partícipes a sus alumnos en prácticas complementarias a las sesiones de clase de esa especialidad, tanto en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras de CBI como en el Laboratorio de Modelos Estructurales de CyAD.

Con más de dos décadas de haberse iniciado, el Laboratorio de Modelos Estructurales conforma un espacio de producción didáctica orientado a la demostración y comprobación de los postulados teóricos y matemáticos del trabajo estructural en materiales, elementos y sistemas con aparatos diseñados con el fin de ser manipulados y simular la aplicación de cargas verticales y horizontales y, en consecuencia, apreciar las deformaciones provocadas en el modelo sujeto a prueba. El Laboratorio está integrado por diversas líneas de aparatos, tanto adquiridos comercialmente como diseñados y desarrollados por el grupo de trabajo de acuerdo a las necesidades específicas del currículo. A esta fecha se han producido cerca de 67 prototipos didácticos sobre diseño y se encuentran en desarrollo otros tres, agrupados todos por temas identificables en los programas de estudio y en las unidades de enseñanza-aprendizaje tradicionalmente consideradas de difícil comprensión o bien que requieren de ser demostradas físicamente.

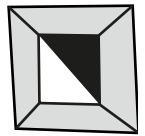
Igualmente, se plantea, en una prospección de corto plazo, la formulación de programas académicos a nivel universitario “donde se involucre a ingenieros y arquitectos en prácticas compartidas donde se ponga de relieve la importancia de la complementariedad de cada especialidad en un trabajo conjunto desde el inicio conceptual de la propuesta arquitectónica” (Moreno, Abad, 2009, p.240). El resultado buscado es la sensibilización de los estudiantes de ambas



disciplinas, para que tengan como común objetivo el diseño de edificaciones con mejores características constructivas y arquitectónicas, lo cual derivará en una práctica profesional integral y más rica, con diseños espaciales y constructivos eficientes, y con una concepción lógica de su estructura. La suma de lo anterior dará, necesariamente, un resultado plástico gratificante.

OBJETIVOS

- El Laboratorio de Modelos Estructurales se constituye como parte del esfuerzo académico para la integración de una metodología de diseño que permita a los alumnos entender los problemas temáticos de la arquitectura y la ingeniería civil como una totalidad.
- Identificar los modelos experimentales por bloques temáticos atendiendo a su relación curricular con el Plan y los programas de estudio de las licenciaturas en Arquitectura e Ingeniería Civil para brindar apoyo a las UEA de estructuras y construcción.
- Promover la experimentación de alternativas estructurales aplicadas a proyectos arquitectónicos en los Talleres de Arquitectura.
- Demostrar con modelos físicos el desempeño de los elementos y sistemas estructurales.
- Promover el tránsito de la experimentación de carácter cualitativo a cuantitativo registrando estadísticamente los esfuerzos y deformaciones de los elementos estructurales.



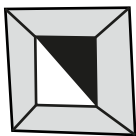
PLAN DE ESTUDIOS

En el Plan de Estudios de Arquitectura implementado en 2005, como se ha dicho, queda registrado el Laboratorio como un espacio didáctico de apoyo a las UEA relacionadas con el tema estructural y constructivo. El Plan fue modificado posteriormente y las adecuaciones puestas en operación en 2017. En los últimos años, se han realizado nuevas adecuaciones y se ha establecido un bloque de materias selectivas que eventualmente permitiría la integración de una específicamente vinculada con las prácticas del Laboratorio.

En el cuerpo de asignaturas relacionadas con el tema de las estructuras están incluidos en los primeros cursos de la carrera, además de las materias tradicionales de Estática, Resistencia de Materiales, Análisis y Diseño Estructural, cuatro trimestres de “Sistemas Constructivos y Estructurales” con la finalidad de relacionar los conocimientos básicos de construcción y las nociones de trabajo estructural involucradas que permiten identificar al edificio como un sistema.

	Trim	U.E.A.		Temática	Apoyo Modelos
A	3		I	Edificio como sistema Esfuerzos simples y combinados	SD-21,28 SD-37, 12, 13, 10, SD-55,56
B	4	Sistemas constructivos y estructurales	II	Muros de carga Losas de concreto	SD-33
C	5		III	Cimentaciones. Elementos portantes Cargas gravitacionales Sismo	SD-31 SD-21 SD-07 SD-32
D	6		IV	Marcos rígidos. Cargas laterales	SD-19 SD-50
E	5		I	Estática: Fuerzas coplanares Equilibrio Armaduras	HST SD-12, 13 SD-38
F	6	Matemáticas y física aplicadas	II	Resistencia de materiales: Secciones Momento de inercia Cortante Flexionante	SD-29 SD-13, 15, 26, 27, 38
G	7	Análisis estructural		Vigas Marcos	SD-18, 19, 50, 07/32,
H	8	Diseño estructural		Cargas verticales y laterales Concreto: Trabes, losas, cimentación.	SD-19, 50, 07/32 SD-13, 15, 26, 27, SD-31 SD-55,56

TABLA I.
Aplicación
de los aparatos SD a
la temática
de la Línea
de Tecnología.

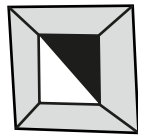


En ese primer Tronco se plantean los criterios esenciales de Sistemas Constructivos y Estructurales, involucrando siempre a la estructura como parte esencial del proceso constructivo.

En la siguiente etapa se atienden los temas específicos de Matemáticas y Física Aplicada, donde la estática y la resistencia de materiales son los tópicos de estudio. En los trimestres VII y VIII el análisis y el diseño estructural son las unidades temáticas que cierran el ciclo formativo del estudio de las estructuras.

Dentro de la dinámica de atención a la comunidad estudiantil y docente, cada trimestre se programa el apoyo a sesiones de materias específicas solicitadas por los profesores quienes dan su clase en el propio Laboratorio, en el cual se habilita el material y equipo necesarios y se pone a su disposición las instalaciones. Por supuesto, en todo momento el Laboratorio está abierto a la consulta y asesoría a alumnos y cuerpo docente de todos los niveles del currículo para la revisión de proyectos y casos específicos.

Cada vez más se promueve la idea de que los programas de estudio deben orientarse hacia la dotación de apoyos didácticos para la comprensión de este tema que resulta indispensable para una formación integral de los estudiantes de ambas licenciaturas. Es por eso que podemos mostrarnos optimistas respecto de la posibilidad de una franca colaboración de docentes e investigadores que caminamos en rutas paralelas y por momentos convergentes en la búsqueda de mejores apoyos para el aprendizaje y comprensión del fenómeno estructural. La suma de estos esfuerzos permitirá, en el mediano plazo, cambiar la visión de los estudiantes en tanto que podrán considerar un objetivo común sin perder de vista sus respectivas especificidades y, con ello, tomar conciencia de la necesaria complementariedad de la labor multidisciplinaria.

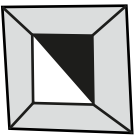


Más allá de los bloques específicos del plan de estudio, el Laboratorio transita por líneas de investigación de mayor especialidad, como, por ejemplo, el análisis de dispositivos de respuesta o amortiguamiento del empuje lateral producido por los sismos con el diseño de aparatos donde se revisa la flexión y desplazamiento de estructuras esbeltas y de probetas sujetas a movimiento por medio de mesas oscilatorias en una y dos direcciones.

El trabajo del Laboratorio se ha basado siempre en un equipo multidisciplinario que cubre las distintas facetas del proyecto en los aspectos teóricos, proyectuales, constructivos, gráficos, y de manera muy señalada, de diseño industrial para la manufactura de los prototipos didácticos.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Un primer paso es la revisión de contenidos en cada nivel del currículo relativo a la enseñanza de las estructuras, detectando los casos que revisten mayor dificultad de comprensión. En este punto es conveniente mencionar que el Plan de Estudios de la carrera de Arquitectura considera, en el Eje de Tecnología, diversas etapas formativas: Tronco Básico, Profesional y de Integración. En cada etapa se detectan distintas necesidades de apoyo didáctico para clarificar y reforzar el aprendizaje. De este modo se han elaborado diferentes aparatos con diversos grados de complejidad identificándolos por bloques temáticos y atendiendo al objetivo de demostración de los principios de la estática, la resistencia de materiales y el cálculo estructural.



Una vez organizado el listado de aparatos apropiados para los apoyos curriculares y susceptibles de ser fabricados, se decide cuáles de ellos pueden ser elaborados en la propia Universidad y cuales deberán adquirirse de proveedores especializados. Algunos son modelos sencillos cuya elaboración ha requerido de recursos mínimos, casi domésticos, cuya manufactura puede iniciarse prácticamente a partir de los bocetos iniciales y de un análisis dimensional de material con el que se fabricarán (Fig. 1).



Casa en Bosque de las Lomas
Ciudad de México
Agustin Hernandez
Fotografía: LME Carlos Moreno

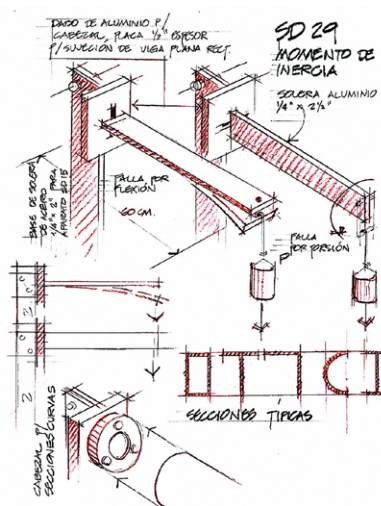
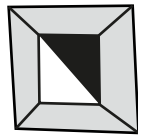


FIGURA 1. Proceso de diseño y conceptualización del modelo SD 29 Vigas en voladizo de diferentes secciones.

Otros más revisten un nivel más alto de complejidad y por lo mismo se hace necesaria la intervención de especialistas con experiencia en el manejo de materiales y equipos. En este caso se expone el procedimiento más elaborado que, en general, es el que se utiliza en los desarrollos más complejos, pero que a cambio produce los modelos más interesantes (Fig. 2).



Se discuten grupalmente las características físicas y operativas de cada aparato, requiriendo en muchos casos de varias sesiones de propuesta y prueba sobre prototipos preliminares discriminando materiales y mecanismos hasta que queden satisfechos los requerimientos de funcionalidad planteados.

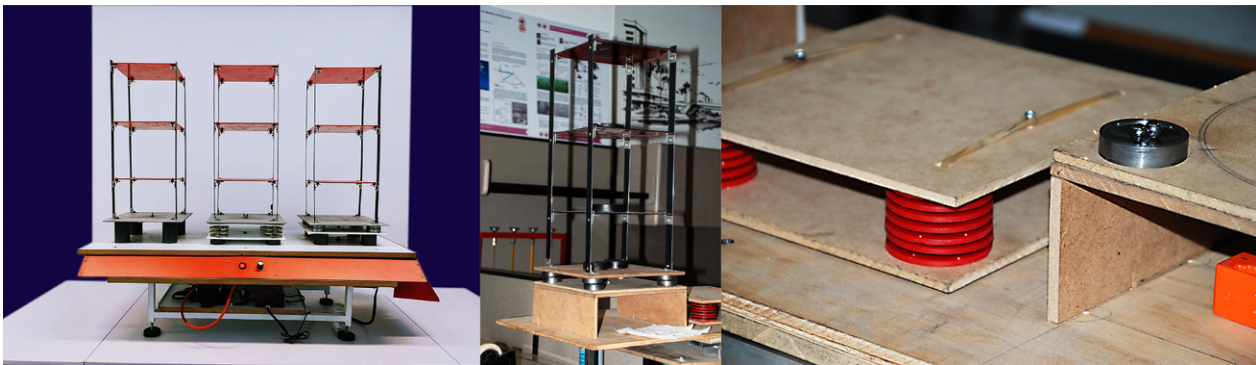
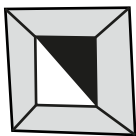


FIGURA 2. Proceso de diseño. Aparato SD 66 para demostración del principio de aislamiento de base en cimentaciones.

La estrategia de trabajo originalmente utilizada tiene dos partes fundamentales: el prototipo del elemento activo o del modelo inicial y el del prototipo definitivo. Este proceso sufre algunas modificaciones en función del objetivo de cada modelo.

MATERIALIZACIÓN DEL ELEMENTO ACTIVO O DEL MODELO FUNCIONAL PARCIAL

Materializar implica, en primer lugar, lograr que el efecto estructural se manifieste visualmente de manera explícita. La fase conceptual de diseño inicia con bocetos sencillos realizados por los miembros del grupo de trabajo, para propósitos explicativos.



Con base en esos bocetos los diseñadores los transforman por analogía en elementos físicos, para luego proceder a diferenciar y construir el elemento activo, que es el que físicamente realiza la labor crítica del modelo. Es frecuente usar en primera instancia materiales y piezas o partes de piezas manufacturadas industrialmente para otros propósitos pero que por su configuración física facilitan la comprensión de las dificultades naturales del funcionamiento del efecto visual pretendido adaptándolos a las necesidades específicas del prototipo.

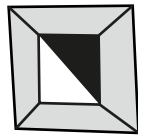
En esta fase sólo algunas piezas se fabrican ex profeso. Esta modalidad operativa tiene la enorme ventaja de ofrecer resultados de manera expedita para que el modelo pueda ser evaluado por el grupo.

Con este modelo, total o parcial, se establecen algunas variables operativas básicas y sus parámetros. Esas variables pueden referirse a materiales, procesos de manufactura, dimensiones, secciones transversales, resistencias y otras, o a todas ellas y a sus costos.

Con estos datos se procede a realizar, en planos preliminares de manufactura, la primera configuración formal del modelo final. Esta propuesta es sometida al consenso del grupo a través de una explicación detallada, para incorporar todas sus aportaciones desde los diferentes puntos de vista: el pedagógico, el funcional físico, el funcional visual, el constructivo, el ergonómico, el estético y algunos otros que dependen del tipo de modelo en cada caso.

MANUFACTURA DEL MODELO FINAL

Esta parte del proceso tiene como objetivo la materialización definitiva del prototipo y en su desarrollo se diferencian dos tipos de labor.



La primera se refiere a la determinación de aquellos componentes que pueden ser elementos estándar de mercado, con o sin modificaciones; y la segunda es el diseño detallado de aquellos componentes (del modelo) que deben fabricarse bajo especificaciones especiales según requerimientos del modelo en desarrollo.

Esa primera labor pretende aprovechar la calidad de los componentes manufacturados en serie al mismo tiempo que reduce los costos y permite la reposición comercial de partes. En algunos casos las piezas tienen que ser modificadas ya que no se ajustan exactamente a los requerimientos funcionales del modelo. Esas modificaciones tienen diferentes grados de cambio sobre las características originales de las piezas, aunque siempre se prefiere la utilización de aquellas piezas no modificadas.

Una vez comprobada su eficacia y haciendo los ajustes del caso, el modelo transita a una fase de mayor sofisticación, generalmente con la fabricación de partes elaboradas ex profeso o que requieren procesos especiales: Aleaciones, soldaduras, cortes de precisión, dobleces, extrusiones, rectificado, tornillería, pegamentos, etc., que serán probados reiteradamente hasta obtener el resultado esperado.

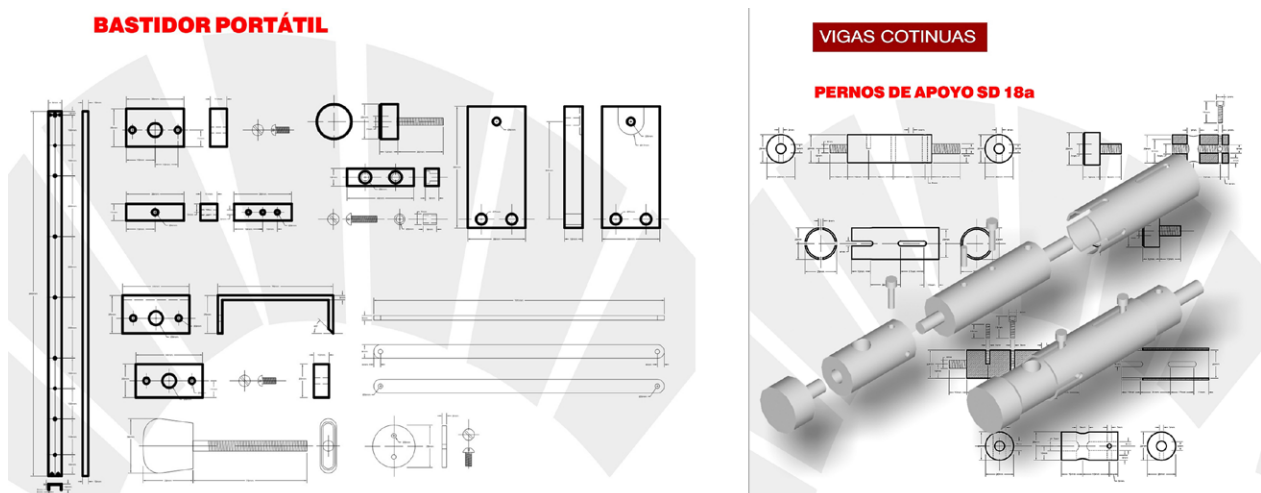


FIGURA 3. Plano de fabricación de pernos y accesorios para el aparato SD 18. Vigas continuas.



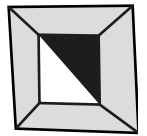
La tarea de diseñar las piezas específicas del modelo obedece a un criterio similar al de las piezas comerciales, pero referido a la materia prima con la que se manufacturan. Es decir, que en la mayoría de los casos se parte de materia prima de dimensiones comerciales y sólo en casos excepcionales se especifica material que no cumple con esta característica.

En esta fase de la manufactura del modelo, a excepción de la pintura, se propone siempre que los métodos utilizados se realicen con máquinas herramientas para garantizar la precisión. Esta situación es especialmente crítica cuando se trata de piezas con movimiento o cuando el funcionamiento del efecto visual esperado en el modelo depende de las tolerancias entre este tipo de partes.

En ocasiones el diseño incluye la realización de una herramienta o dispositivo que permita lograr las especificaciones de manufactura o, en su caso, de ensamble. Este ensamble de los distintos componentes de ciertos aparatos puede presentar especial dificultad o requerir de accesorios, también, específicamente diseñados. Cuando el modelo está finalmente terminado, se somete a diversas pruebas y ajustes hasta alcanzar el nivel de eficacia demandado. En ese momento se aplican los acabados y el detalle definitivos que darán al aparato cierta imagen e impacto visual que se consideran un complemento siempre necesario de acuerdo a los estándares de calidad visual que se tienen establecidos en el Laboratorio.

Finalmente, para este nivel del trabajo, se procede a manufacturar un empaque apropiado para el almacenaje del modelo ya terminado.

Durante las consideraciones preliminares realizadas para la materialización del modelo a su construcción, se planearon las posibi-



lidades de desensamble en vistas a la manufactura de ese empaque. En otras, simplemente se guarda en las condiciones de uso.

ETAPAS ADICIONALES AL PROCESO ORIGINAL

Precisar los datos dimensionales y las especificaciones de detalle de los modelos implica necesariamente la elaboración de planos constructivos que contienen todos los elementos de diseño que servirán no sólo para su fabricación sino también para su reproducción y/o modificación en posteriores ocasiones. Para ese efecto este tipo de documentos se integran al expediente de cada prototipo del LME, con ello se procura establecer una memoria del trabajo del Laboratorio y un catálogo integrado con suficiencia.

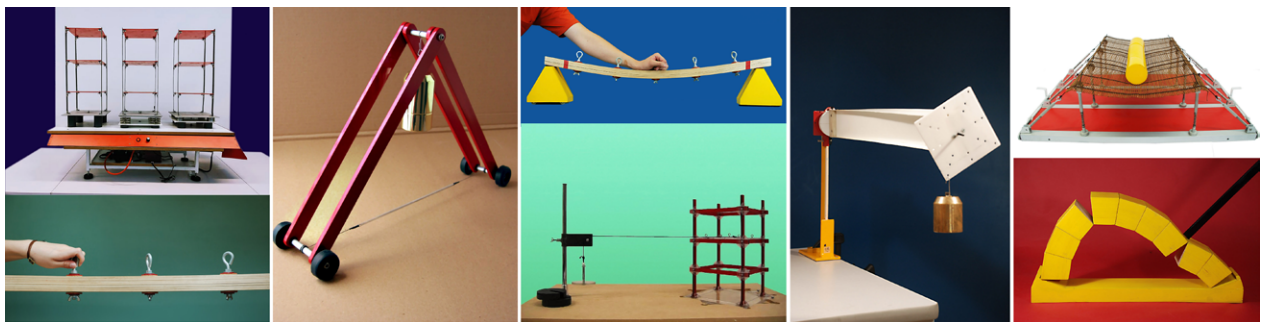
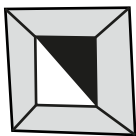


FIGURA 4. Modelos no destructibles con enfoque de demostración cualitativa.

EL ENFOQUE CUALITATIVO

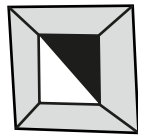
Desde su inicio, el proyecto del Laboratorio ha tenido una orientación eminentemente didáctica tratando de acompañar el interés



del estudiante por entender el trabajo estructural a través de aparatos en los que, de una manera elemental y lúdica pueden aplicarse fuerzas y producirse deflexiones o alteraciones geométricas con el propósito de explicar, por ejemplo, conceptos tales como equilibrio, empotramiento, momento de inercia, geometría de las secciones, esfuerzos simples y combinados, entre otros. De esa manera se ilustran y demuestran físicamente los modelos matemáticos inicialmente propuestos en diagramas y fórmulas en las sesiones regulares de un curso. Característica de este enfoque es que los modelos no son destructibles y por lo mismo pueden ser utilizados en sesiones sucesivas indefinidamente. El alcance de esta línea de aparatos didácticos es esencialmente conceptual y no se pretende en esta línea de dispositivos de simulación la cuantificación de fuerzas y reacciones ni el dimensionamiento de las deformaciones. Sobra decir que el efecto en la observación y manipulación de los modelos físicos pone en claro el trabajo mecánico de los diferentes elementos y tipos de estructuras produciendo una experiencia gratificante en el alumno y provocando un aprendizaje significativo al comprobar la teoría hecha práctica. En los casos de estudio propuestos más adelante, la observación de los efectos sísmicos en los edificios resulta impactante y altamente esclarecedora.

EL ENFOQUE CUANTITATIVO

Recientemente y en proyectos conjuntos con el Laboratorio de Estructuras de CBI, el Laboratorio de Modelos Estructurales se ha dado a la tarea de desarrollar en escala reducida y con un enfoque



cuantitativo experimentos similares a los usados en un laboratorio a escala real. Bien sabemos que en un laboratorio de pruebas de materiales y estructuras como es el caso del de CBI, se realizan trabajos sobre temas muy específicos en proyectos de investigación generalmente patrocinados por entidades externas a la UAM. La programación de esos estudios no se rige por los programas académicos ni es posible, por su nivel de inversión de recursos y tiempo, repetirse periódicamente para que grupos amplios de alumnos participen

en ellos. Por esa razón y con la intención de acercar a los estudiantes de los cursos regulares a prácticas de ese tipo, se ha propuesto la creación de aparatos de pequeño formato que permitan replicar esas interesantes prácticas acoplándolas a las necesidades curriculares de los programas académicos. La ventaja de las prácticas con modelos reducidos y a escala es que pueden realizarse con menor tiempo de preparación y costo, teniendo la oportunidad de ejecución en cada ciclo escolar. El costo generalmente es bajo y puede depender de los presupuestos departamentales de los laboratorios o bien de patrocinio eventualmente externo.

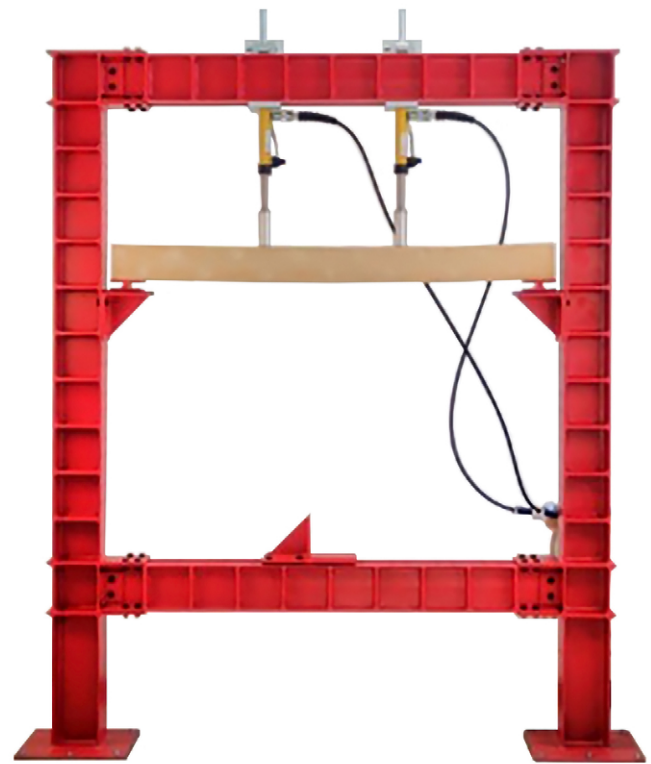
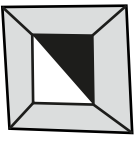


FIGURA 5. Marco de reacción SD 65.



Debe decirse que no es el propósito del proyecto del Laboratorio migrar de un enfoque a otro, sino complementarlos, de modo que siempre será de gran utilidad la experiencia de una demostración meramente conceptual, especialmente para los cursos iniciales, en tanto que el registro numérico y estadístico será aplicable a problemas de mayor y distinto alcance, donde la verificación de fórmulas y cálculos tiene que ver con la especificación particular de probetas (vigas, columnas, marcos, etc.) en cuanto a las características dimensionales y geométricas de mayor detalle, al material utilizado y al refuerzo aplicado, en su caso. Para ello los aparatos y probetas deberán instrumentarse con dispositivos de precisión en la aplicación de fuerzas y en el registro de resultados. A efecto de argumentar las ventajas de ambos enfoques, se muestran tres aparatos que cubren ambas tendencias. El aparato SD 65 es un marco de pruebas de carga para probetas en pequeña escala que ha sido instrumentado para el registro dimensional de acciones y respuestas.

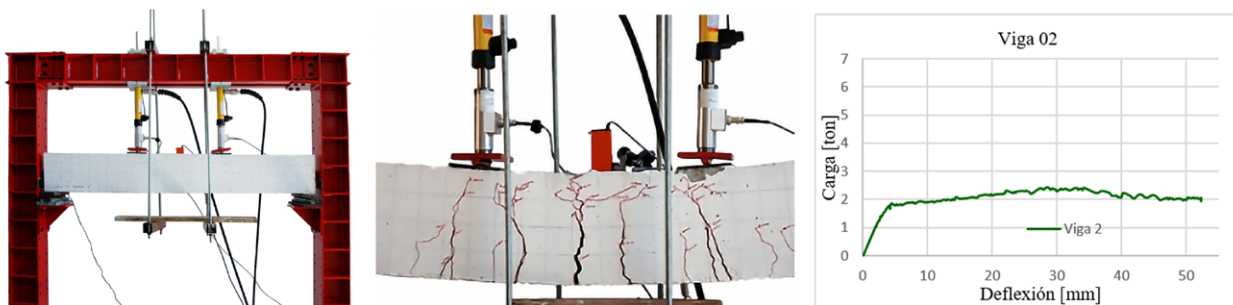
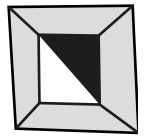


FIGURA 6. Registro estadístico de pruebas de carga y deformación en vigas de concreto a escala reducida.



CONCLUSIONES

- Los modelos físicos como alternativa educativa constituyen una poderosa herramienta para potenciar el proceso de enseñanza aprendizaje en el tema estructural para estudiantes de Arquitectura e Ingeniería Civil.
- La estrategia de aplicación y uso de modelos diseñados por el LME, esencialmente experimental y de demostración, puede complementarse con una segunda vía didáctica que se compromete con resultados cuantificables y con valor estadístico que verifican el cálculo previo sobre especímenes a escala reducida.
- La integración de enfoques cualitativo y cuantitativo provee de una visión ampliada en la formación académica haciendo uso de modelos didácticos experimentales.
- La concurrencia multidisciplinaria y la suma de recursos académicos y materiales posibilita la aplicación exitosa de este proyecto didáctico con modelos físicos a escala reducida sobre temas constructivos y estructurales en licenciaturas afines.

REFERENCIAS

- Arellano, E., Moreno, C., Abad, A., et al. (2016). *Modelos estructurales como apoyo didáctico para la enseñanza de las estructuras en las licenciaturas de ingeniería civil y arquitectura en la UAM Azcapotzalco*. XX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Mérida, Yucatán.
- Moreno, C., Abad, A., Gerdingh, J. G., et al. (2009). *Didactic strategies for Learning and Comprehension of Structural Concepts*. IASS International Symposium. Valencia, España.
- Roberts, N. P. (1989). *Understanding Structural Materials*, p. v. Hi-Tech Scientific Ltd.