

Enseñando a diseñar y construir tenso-estructuras

Juan Gerardo OLIVA SALINAS*, Marcos Javier ONTIVEROS HERNÁNDEZ^a

* ^a Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de Estructuras, Edificio Anexo, Ciudad Universitaria, México, D.F., CP 04510, México
*,jgos@unam.mx
^a arq.m.ontiveros@gmail.com

Abstract

The aim of this work is to show the teaching procedures practiced along several years at the Faculty of Architecture at the Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM; addressed to the teaching of design and construction of tensile structures to the students of Architecture and Civil Engineering. The obtained results will be demonstrated with the projects realized by the students, most of them now Architects or Engineers, in international competitions as well as in the professional field. The authors of this paper are aware that these teaching methods constitute just one proposal that can be improved among many others.

Both authors have worked together along 12 years in the teaching of tensile architecture. Certainly, it is the innate ability of each student improved through exercises what makes possible to generate an original and innovative proposal, nevertheless if this ability is reinforced with knowledge and fundamental principles of the relationship between form – structural behavior, the realized proposals may be revitalized and turn closer to a more sustainable Architecture or Engineering. Form may be managed and determined through Geometry, structural behavior may be managed and applied through Mechanics. Due to this fact, the authors have combined for the teaching of tensile structures and other light weight structures systems to the students of Architecture and Engineering, the parallel teaching of both disciplines: Mechanics and Geometry, emphasizing on each step of the teaching process the relationship between form and structural behavior.

From the fusion of both disciplines a new term emerges called MECHAMETRY, which might be defined as the application of Mechanics and Geometry to the architectural and structural design of lightweight structures. Students of Architecture and Engineering have realized projects on tensile structures in international students competitions, which have been awarded with recognitions. Former students, today architects, have also obtained international recognitions with the realization of tensile structures in Mexico. We will present in this paper the before mentioned projects emphasizing the aim of making the students more conscious to realize sustainable architectural and structural projects, with a more efficient application of the natural resources and contributing to the care and conservation of the natural environment.

Palabras clave: Tenso-estructuras, geometría estructural, mecánica, mecimetría, sustentabilidad.

1. Introducción

En la Facultad de Arquitectura de la UNAM, MECAMETRÍA se imparte como una asignatura optativa, con duración de un semestre académico, en los niveles superiores de la licenciatura y también se imparte, con un contenido más amplio y profundo, durante el primer semestre académico, en la Especialización en Diseño de Cubiertas Ligeras que ofrece el posgrado de la Facultad de Arquitectura y la cual tiene una duración de dos semestres académicos. Durante el segundo semestre de la Especialización se imparte la materia "Arquitectura Textil", la cual toma como base los conocimientos obtenidos previamente en MECAMETRÍA, impartida durante el primer semestre.

Durante más de 10 años, los autores impartieron dos materias de manera independiente, por una lado geometría estructural y por otro lado estática y resistencia de materiales. Sin embargo, cada vez era más evidente la necesidad de combinar el contenido de ambas materias en un solo curso. De esta manera, el alumno podría conceptualizar de manera más eficiente y acertada un mejor anteproyecto de tenso-estructura.

2. Metodología

MECAMETRÍA se imparte transmitiendo de manera paralela conocimientos de geometría estructural y de mecánica tanto en la licenciatura como en el posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. De esta manera, el estudiante relaciona la forma con el comportamiento estructural durante todo el proceso de aprendizaje.

2.1. A continuación se enlistan los motivos que dieron origen a la MECAMETRÍA

2.1.1. Sobre el conocimiento previo adquirido

Aunque los alumnos ya cursaron previamente cursos de estática y de resistencia de materiales, no han adquirido la conciencia, ni la práctica necesaria para aplicar dichos conocimientos directamente al proceso de diseño arquitectónico, en este caso de una tenso-estructura.

2.1.2. Sobre las consideraciones de los alumnos

Muchos estudiantes consideran que las materias de cálculo estructural son propias de los ingenieros civiles y lejos de disfrutar y tratar de entender más el contenido de las mismas, las consideran como requisitos "non gratos" a cumplir en el programa de estudios para poder ser arquitectos.

2.1.3. Sobre la impartición de geometría y mecánica de manera independiente

Si los alumnos cursan en diferentes aulas y/o semestres, las materias de geometría estructural y de estática y resistencia de materiales, olvidan rápidamente el contenido de ellas y su aplicación, principalmente de los cursos de mecánica.

2.2. Pasos a seguir durante el desarrollo del curso de MECAMETRÍA

2.2.1. Sobre la impartición paralela de conocimientos sobre geometría y mecánica

Los alumnos reciben los conocimientos teóricos necesarios sobre geometría y sobre el comportamiento estructural de las estructuras a tracción. Ver Fig. 1.

Sobre la Geometría, los temas que se discuten durante el desarrollo de los cursos son: Los nueve cuerpos regulares, las secciones cónicas, el paraboloides elíptico, el paraboloides hiperbólico y la catenaria.

Sobre la Mecánica, los temas que se discuten son: El manejo vectorial de las fuerzas, los estados de trabajo que actúan en los diversos elementos que constituyen una estructura (compresión, tracción, flexión y cortante).

En todos y cada uno de los temas se relaciona la forma con el comportamiento estructural, como una constante frecuente, se realizan comprobaciones algebraicas y estáticas, se muestran ejemplos de estructuras donde se puede ejemplificar el conocimiento transmitido a los alumnos.



Figura 1: Transmisión del conocimiento cuantitativo de los sistemas tenso estructurados.

2.2.2. Sobre las propuestas de diseño de tenso estructuras por los alumnos

Los alumnos realizan una propuesta de cubierta velaria a través de un modelo físico, es decir de una maqueta, cuyo tamaño le permita transportarla sin dificultad y cuya escala permita manipular la tracción de la membrana de manera análoga a como lo haría en la realidad. Ver Fig. 2. Aunque es deseable que cada alumno desarrolle su propia propuesta, la demanda de los alumnos por esta materia selectiva de los semestres superiores de la licenciatura en arquitectura es muy alta y por ello cada maqueta se elabora con tres o cuatro alumnos.

Los materiales utilizados para la maqueta son: tela de lycra elástica para la membrana, postes de madera, aluminio o cobre; cables de hilos de cáñamo o usados para la elaboración de maquetas especializadas y una base consistente en una placa de madera, con la sección suficiente para que no se deforme durante la fijación de la membrana.



Figura 2: Ejercicios con pompas de jabón y modelos físicos de licra.

2.2.3. Sobre la evaluación de las propuestas de los alumnos

Se discuten y evalúan frente al grupo todas y cada una de las propuestas. Se identifican los aciertos y los errores y se discuten soluciones alternas derivadas del trabajo presentado por los alumnos.

2.2.4. Sobre el resultado final del proyecto de tenso estructuras

Cada grupo, interviene nuevamente en su propuesta original y la modifica y/o mejora de acuerdo con la evaluación frente a grupo efectuada con antelación. La mayoría de las propuestas son evaluadas y calificadas al terminar la segunda evaluación de las maquetas. Sin embargo, algunos alumnos requieren de una evaluación más para mejorar sus proyectos y es hasta la tercera presentación que se evalúan, dando fin al curso. Posteriormente como trabajo final, se solicita a cada grupo de alumnos elaborar una propuesta de tensoestructura a una escala mayor, donde se apliquen todos los conocimientos adquiridos y la forma final se obtenga por medio del trazo, corte y unión de las plantillas necesarias para lograrlo. Ver. Fig. 3.



Figura 3: Modelos finales y discusión final de la evaluación.

3. Proyectos de tenso-estructuras con reconocimientos internacionales

Los diseños de estudiantes y de arquitectos que han cursado la materia de Mecametría y recibido reconocimientos internacionales se muestran a continuación. Ver Figs. 5 y 7. También se indican los artículos premiados sobre Mecametría escritos por los alumnos en el Journal de la International Association for Shell and Spatial Structures – IASS. El arquitecto Marcos Ontiveros, uno de los autores de esta ponencia, fue uno de los primeros alumnos en cursar la materia de MECAMETRÍA con el doctor Oliva Salinas, segundo coautor de esta ponencia.

3.1. Diseños y artículos de estudiantes.

Como complemento integral en la enseñanza de las tensoestructuras, que provee un indicador de la calidad y profundidad del conocimiento adquirido por el alumno, esta los concursos estudiantiles que a la fecha han generado los resultados indicados en la Fig. 4.

| Año | Alumnos | Concurso | Tema | Premio |
|------|--|---|---|--------------------|
| 1999 | Víctor Hugo Roldán Rodríguez | International Fabrics Association, IFAI Concurso Estudiantil | Centro para estudiantes junto al domo del Milenio en Inglaterra | 1er Lugar |
| 1999 | Mauricio Cortés Sierra, Cinthya Echave y Miguel del Río | International Fabrics Association, IFAI Concurso Estudiantil | Centro para estudiantes junto al domo del Milenio en Inglaterra | Mención Honorífica |
| 2006 | Jesús Flores Hernández | TensiNet Concurso Estudiantil | Pabellón de exposiciones en el centro de Coyoacán | 2° Lugar |
| 2012 | Diego A. Calixto Chávez, Alejandro Montes González, Pedro Ortiz Fernando, Alberto Robles Rodríguez | V Simposio Latinoamericano de Tenso Estructuras, Santiago de Chile, Concurso Estudiantil | SEET: Sistema estructural de evacuación tensado | 1er Lugar |
| 2008 | Carolina Carmona Aparicio | IASS Hangai Prize | Computational methods in the teaching of the Complex forms, study case: hyperbolic paraboloid | Ponencia Ganadora |
| 2008 | Carlos Zetina Gargollo | IASS Hangai Prize | Design and development of a convertible dome for the patio of a historical building | Mención Honorífica |

Figura 4: Premios obtenidos por estudiantes mexicanos en concursos internacionales.

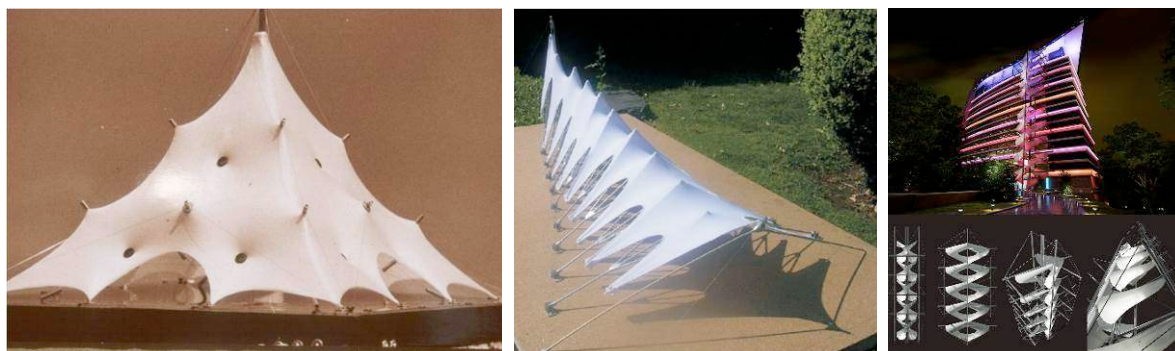


Figura 5: Propuestas de alumnos acreedoras a reconocimiento internacional:

a) Victor Hugo Roldan; b) Jesús Flores Hernández; c) Calixto C., Montes G., Ortiz F. y Robles R.

3.2. Proyectos de arquitectos

Uno de los objetivos de la Especialización en Cubiertas Ligeras es ser profesionalizante, buscando que los a egresados se integren al ámbito laboral en los distintos ámbitos que permite la industria, una vez ahí tienen oportunidad de desarrollar los conocimientos aprendidos y en algunas ocasiones con resultados que también han sido considerados acreedores a reconocimientos como los que se enlistan en la Fig. 6.

| Año | Alumno | Concurso | Tema | Reconocimiento |
|------|---|---|---|-----------------------------|
| 2007 | Marcos Javier Ontiveros Hernández | International Fabrics Association, IFAI | Trajineras, Riviera Maya, Cancún, México. | Oustanding Achivement Award |
| 2008 | Marcos Javier Ontiveros Hernández | International Fabrics Association, IFAI | Cubierta para restaurante "Los Danzantes" Oaxaca, México. | Oustanding Achivement Award |
| 2010 | Marcos Javier Ontiveros Hernández | International Fabrics Association, IFAI | Cubierta para las aéreas exteriores edificio de la Judicatura Cancún, México. | Oustanding Achivement Award |
| 2013 | Fernanda Gómez Loyo, Eric Valdez Olmedo Juan José Ramírez | International Fabrics Association, IFAI | Cubierta para cafetería en León Guanajuato, México. | Award of Excelence |

Figura 6: Reconocimientos internacionales obtenidos por arquitectos mexicanos.



Figura 7: Proyectos ganadores de reconocimiento a) IFAI 2007 b) IFAI 2013.

4. Conclusiones

En esta ponencia se demostró que la enseñanza de las tenso-estructuras a través de la transmisión de conocimientos simultáneos de geometría y mecánica, han producido resultados exitosos y alentadores en la práctica profesional de la arquitectura y de la ingeniería. El compromiso de generar tenso-estructuras en el marco de una arquitectura sustentable al servicio de la sociedad, es más fácil de cumplir cuando se poseen los conocimientos necesarios y se aplican adecuadamente, logrando estructuras eficientes y bellas. La MECAMETRÍA no es una invención, es simplemente el resultado de reunir los contenidos de dos áreas científicas en una sola. Los resultados obtenidos se demostraron a través de los proyectos sobre tenso-estructuras de estudiantes y profesionistas descritos en este trabajo y que han recibido reconocimientos internacionales. Los autores desean contribuir con una propuesta de enseñanza, que sin duda alguna no es la única ni la mejor, pero que sí ha demostrado su eficacia en el diseño y construcción de las tenso-estructuras.

Reconocimiento

Esta ponencia es auspiciada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA-UNAM, Proyecto PAPIIT IG401014.

Referencias

- [1] J.G. Oliva-Salinas, "The Structure During the Design Process: Teaching and Professional Performance." International Colloquium SEWC 2013: Architecture-Structure Interaction for Sustainable Built Environment, Nueva Delhi, India, 18-20 Noviembre 2013.
- [2] M.J. Ontiveros-Hernández, "Tensile Structures: a Tool for teaching a conceptual and sustainable architecture", International Colloquium IASS-SLTE 2008: New Materials and Technologies, New Designs and Innovations – A sustainable Approach to Architectural and Structural Design, Acapulco, México, 27-31 Octubre 2008.