



Maqueta de una estructura en madera balsa ensayada hasta la falla por una carga lateral.



Otra maqueta ensayada hasta el colapso también por una carga lateral. A la derecha, se puede notar el dispositivo de carga y las pesas utilizadas.

ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA: UNA RELACIÓN INSEPARABLE

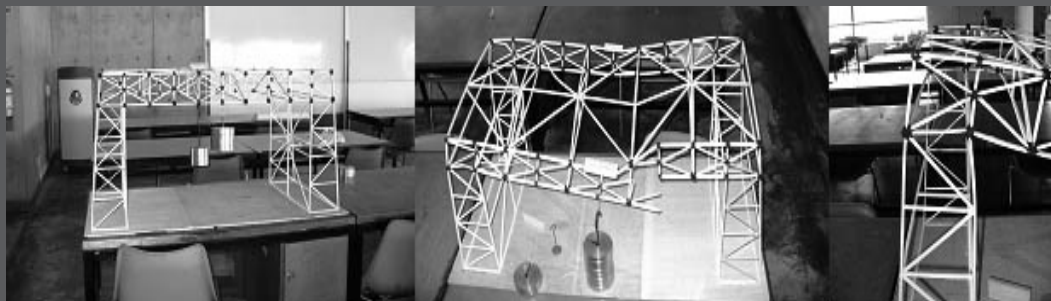
CÉSAR HUAPAYA

Quien escribe estas líneas no lo hace desde la perspectiva de un arquitecto, sino desde la de un ingeniero con una formación bastante técnica y con mucho interés en las estructuras de los edificios. He dedicado mucho tiempo de mi vida a entender los conceptos en virtud de los cuales una estructura puede mantenerse en pie y soportar cargas enormes; por lo que, cuando fui invitado a participar en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú como profesor de estructuras (agosto del año 2002), me pareció que la tarea no tenía por qué ser difícil. La realidad, sin embargo, se encargó de mostrarme la diferencia con todo aquello que tenía pensado hasta el momento.

Recuerdo, efectivamente, que las primeras dos clases no resultaron muy difíciles. Pero fue a partir de la tercera, cuando los conceptos exigían una mayor profundización, que una sensación de frustración comenzó a emerger: muchos de mis alumnos no entendían aquello que pretendía enseñarles. Yo me había preparado muy bien para hacerlo, había leído muchos libros que trataban sobre la enseñanza de las estructuras para arquitectos, había preparado abundante material e incluso la facultad había organizado un seminario bastante interesante con profesores españoles cuya experiencia fue muy valiosa. Sin embargo, existía aún mucho acerca de la enseñanza de estructuras en Arquitectura que restaba por comprender, y yo



Detalles de falla en los elementos de unión de la maqueta anterior.



Maqueta construida en madera balsa sometida a carga vertical. En la imagen de la izquierda se observa la maqueta trabajando bien con la carga de diseño aplicada. Pero, una carga mayor, la maqueta falla. En el centro, se muestra una vista general de la maqueta con el colapso parcial. En la foto de la derecha, se observa el detalle de la deformación de los elementos luego de la falla.

tenía un punto de vista bastante ingenieril al respecto. La visita de Steffen Duff (arquitecto de la Universidad de Oregón, Estados Unidos) a nuestra facultad, sólo unos meses después de iniciadas las clases, me ayudó a comprenderlas mejor, y hoy, después de más de cinco años, puedo compartir aquí algunas ideas fundamentales.

El alumno de Arquitectura es muy distinto de el de Ingeniería. El primero diseña espacios arquitectónicos desde casi el inicio de su carrera, mientras que el segundo necesita, en cambio, años de preparación en muchas materias antes de empezar a elaborar diseños estructurales o antes de plantearse la idea de construirlos. Es por esta razón, que las estructuras en Arquitectura deben enseñarse de una manera integral y desde el principio de la carrera. Es vital que el alumno entienda que toda arquitectura es inherente a una estructura que la sustenta, que, a su vez, está definida por la unión de elementos que involucran un material (o varios) y un tamaño o proporción.

Cuando se diseña un espacio arquitectónico, no solamente se elige formas, emplazamientos, relaciones con un entorno específico, se elige también sistemas estructurales, materiales y procesos constructivos. Si el que diseña es consciente de todos estos aspectos, así como de las proporciones de sus elementos, tendrá grandes posibilidades de hacer una buena arquitectura. Si no lo es, personas ajenas al proceso de diseño podrían tomar decisiones que cambiarían drásticamente el diseño original, produciendo descontrol y frustración.

Transcribo lo que alguna vez leí del ingeniero-arquitecto italiano Pier Luigi Nervi:

Un trabajo técnicamente perfecto puede ser estéticamente inexpresivo; pero no existe, ya sea en el pasado o en el presente, un trabajo de arquitectura que sea aceptado y reconocido como excelente desde el punto de vista estético que no sea también excelente desde el punto de vista técnico. La buena ingeniería parece ser una condición necesaria aunque no suficiente para una buena arquitectura.



Otro diseño para soportar las mismas cargas que la maqueta anterior.

De nada sirve que los alumnos aprendan a trabajar con fuerzas o que entiendan algo de la resistencia de los materiales si no se les ayuda a establecer una íntima relación entre el diseño arquitectónico que realizan y la estructura que ese espacio implica. Sin embargo, es a través de estos mismos conceptos que tenemos la oportunidad de desarrollar en el alumno la intuición estructural y podemos empezar a darle herramientas que le permitan, precisamente, definir a conciencia una estructura al mismo tiempo que diseña un espacio arquitectónico.

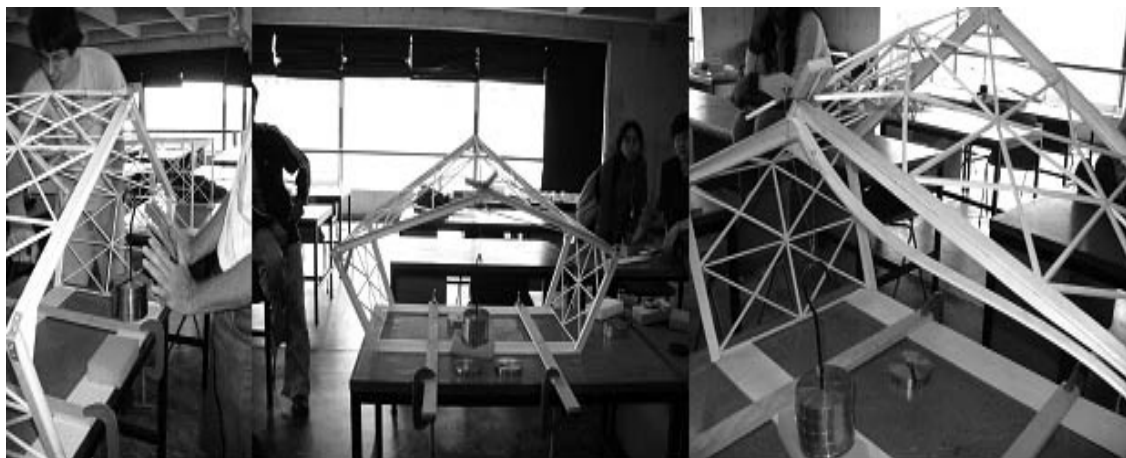
Ésta es la dirección que han tomado todos los cursos básicos de estructuras que se imparten en la facultad. Se enseña a trabajar con fuerzas (operaciones con fuerzas, diagramas de cuerpo libre, equilibrio, cargas) no sólo para calcular otras, sino más bien para entender cómo se empiezan a relacionar los diferentes elementos que componen una estructura que es parte, a su vez, de un espacio arquitectónico específico.

Se enseña conceptos de resistencia de materiales (esfuerzos y deformaciones) no solamente para calcular más fuerzas, sino más bien para determinar si aquello que se proyecta puede ser resistido por el material elegido cuando se asigna una proporción al elemento estructural. Si el material no es capaz de resistir las cargas será importante entender que se tiene muchas opciones para resolver el problema: aumentar la proporción, cambiar el material o disminuir las cargas. Las pri-

meras dos pueden afectar el diseño final del espacio arquitectónico, mientras que la tercera podría implicar el cambio de uso de un espacio (para tener menos carga) o, lo que es más grave, el cambio de las dimensiones generales del proyecto.

Todo esto no puede aprenderse de manera cualitativa. Es a través de los números que se ejercita todas estas habilidades, y aunque muchos de los alumnos en la vida profesional no los utilizarán más, los recordarán porque habrán entendido que forman parte del proceso de diseño que otra persona especializada (el ingeniero) hará por ellos. Conocer el proceso equivale a mantener el control. Esto, sin contar el hecho de que habrá también alumnos (quizás, pocos al comienzo) que se interesarán por profundizar los temas relacionados con las estructuras, ayudando así a mejorar la comunicación entre arquitectos e ingenieros.

Una de las dificultades que se tiene para trabajar numéricamente con estructuras es que a medida que éstas se van haciendo más complejas (compare una viga simplemente apoyada con un pórtico de varios pisos), los cálculos se complican mucho más. En lugar de enseñar métodos sofisticados y abstractos para resolver estos problemas, preferimos utilizar programas de cómputo que los resuelvan en forma didáctica. El programa Sap2000 es uno de ellos y permite resolver, en su versión estudiantil, estructuras compuestas por elementos con hasta cien nudos o conexiones, suficiente para empezar a



La maqueta anterior ensayada: a la derecha con la carga de trabajo, al centro y a la derecha llevada hasta la falla.

entender el comportamiento de estructuras complejas.

Una de las actividades más interesantes que realizamos durante el curso es la elaboración de un trabajo final por parte de los alumnos, el cual consiste en desarrollar un pequeño espacio arquitectónico proponiendo, a la vez, una posible estructura para el mismo. Con los conceptos de fuerzas y de resistencia de materiales, se analiza las estructuras de modo que se pueda determinar, con un material dado y las cargas respectivas, la proporción adecuada de sus elementos. Esta proporción se contrasta con la arquitectura y se hace los ajustes necesarios, sin perder el control sobre el diseño arquitectónico.

Si bien la escala de este último no es muy grande, se logra integrar los conceptos de Arquitectura y de estructuras cumpliendo el objetivo que perseguimos. Inclusive, hemos podido lograr que el alumno construya maquetas de su estructura utilizando madera balsa con el fin de probarlas al aplicarles cargas reales: primero para verificar que se comporten bien (que sean estables, que no se rompan ni se deformen mucho) y luego, para llevarlas a la rotura incrementando la carga. El acto de romperlas no es un puro acto masoquista o destructivo, sino que ayuda a comprender mejor el comportamiento de una estructura. Se descubre que un material tiene límites, que los mecanismos de falla pueden incluso significar el colapso de la

estructura (con todas las consecuencias que esto acarrea) y se relaciona una vez más espacio arquitectónico, estructura, material y proporción.

Elementos claves son también las uniones entre los elementos, puesto que existe una gran diferencia entre idearlos y lograr que trabajen en la realidad tal como se ha pensado. Aunque esto podría corresponder a un tema más bien constructivo, no deja de tener una importancia vital en el desarrollo de la intuición estructural. En las fotografías presentadas, se muestra algunos de estos ensayos.

Después de todos estos años en la facultad, no puedo afirmar que la tarea esté totalmente cumplida, pues aún nos falta mucho por trabajar y crecer. Sin embargo, sabemos que la dirección tomada es la correcta y que este esfuerzo no sería posible sin la motivación y ganas de aprender mostrados por los alumnos.

REFERENCIAS

Black, G. y Duff, S. (1994). *A Model for Teaching Structures: Finite Element Analysis in Architectural Education*. University of California, Berkeley.

Moisset de Españés, D. (1992). *Intuición y razonamiento en el diseño estructural* Fondo Editorial Escala.

Onouye, Ba. y Kane, K. (2007). *Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction*. Third Edition, Pearson-Prentice Hall.