

Arquitectura y estructuras

Roberto Chang

“Ingeniero, aquí le traigo mi proyecto arquitectónico, estructúremelo. Usted decide. La estructura es problema de calculistas”.

Uno de los grandes problemas, entre otros muchos que existen en la enseñanza de la arquitectura, es el tema de la estructura de los objetos arquitectónicos proyectados. Creemos que para nadie pasa desapercibido que esta área se convierte –salvo honrosas excepciones– en el “cuco” de nuestros estudiantes.

Creemos, asimismo, que gran parte de la culpa, sino toda, recae en la manera –salvo honrosas excepciones– en que se enseñan estos cursos y sobre todo –y esto es importante señalarlo– en la manera en que se enfocan dichas materias.

Es importante hacer entender al alumno –y a muchos profesores– que el problema de las estructuras no es un problema cuantitativo, sino fundamentalmente cualitativo e incluso conceptual.

Sobre el particular nos permitimos realizar algunas reflexiones:

- La tarea del arquitecto como gran proyectista no culmina hasta la “materialización” de su “gran idea”. No culmina en un florido discurso verbal, ni en los planos, ni en una hermosa perspectiva, ni en una “marketera” maqueta. Esto debe grabárselo el alumno si quiere llegar a ser un “real” arquitecto. Nuestra credibilidad y solvencia como autores –y defensores de una idea arquitectónica– pasa por la factibilidad de la misma.
- Vista así, a través de la necesidad de “materializar” nuestras ideas y diseños, entenderemos la importancia de la variable estructural en los proyectos y, como lo dijéramos en párrafos anteriores, antes que un problema cuantitativo de cálculo físico-matemático, el problema es cualitativo. Más que un CUÁNTO (como solicitud y como respuesta), el problema es CÓMO (como organización, como forma, como materiales) y si este “cómo” es esencial y trascendente podrá incluso formar parte del QUÉ.
- Es importante que la propuesta estructural –podríamos hablar de un “partido estructural”– debe salir del arquitecto, no del ingeniero. Así como el arquitecto en su toma de partido arquitectónico integral, considera una serie de variables: funcionales, espaciales, formales, perceptuales, significativas, etc., debe también considerar la variable estructural. Incluso en algunos casos debe considerar propuestas de grandes luces, determinada tecnología o proceso constructivo, casos de máximo aprovechamiento del material, etc. La estructura, se convierte en la variable determinante. Al respecto podemos citar diversos ejemplos, como las obras de Félix Candela con sus paraboloides hiperbólicos, Kenzo Tange con sus proyectos para las Olimpiadas de Tokio, Frei Otto con su Pabellón Alemán en la Expo '67 en Montreal y su complejo olímpico en Munich, Piano y Rogers con el Centro Pompidou en París.
- Si la propuesta estructural debe partir del arquitecto, se comprenderá que el dominio de este campo por nosotros debe ser de tales características que nos permita elegir y proponer las opciones más coherentes que logren conciliar los requerimientos estructurales y las intervenciones arquitectónicas.

Nuestra experiencia nos aconseja contemplar desde un extremo el entendimiento elemental pero conceptual del problema resistente, hasta cierto dominio de aspectos cuantitativos en el otro extremo. El extremo inicial estará dirigido a quienes tienen marcada preferencia por la actividad proyectual y el extremo final a quienes tienen inclinaciones hacia el campo estructural. Los investigadores que deseen seguir estudios en otros países, aunque éstos sean relacionados con la carrera de arquitectura, deben tener cierto dominio de ese tipo por exigencias curriculares.

Entre ambos extremos y reiterando fuertemente el contenido cualitativo que posibilite un manejo fluido de la relación arquitectura-estructura (en ese orden), debe lograrse aquello que lo “libere” metafóricamente del problema resistente, en lugar de “tenerlo cautivo” y más bien lo apoye en su creatividad.

- En coherencia con lo expuesto en el párrafo anterior, nos permitimos sugerir el siguiente esquema de contenido en la implantación del área de estructuras en la enseñanza de la carrera:

- Conceptualización clara, a nivel docente y estudiante, de la relación arquitectura, estructura, en términos positivos.

- Entendimiento que la materialización de nuestras ideas (proyectos) origina una relación (y no enfrentamiento) entre: por un lado, “las solicitaciones o el problema” = cargas, pesos, vientos, sismos, etc.

Y por otro: “las prestaciones” → “la respuesta” = esfuerzos: del material y de la estructura para soportar dichas cargas.

- Es importante entender este esquema simple pero fundamental.

- Y más importante aún es el papel que podemos desempeñar los profesionales (arquitecto e ingeniero estructural) en el manejo de esta relación.

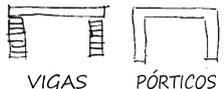
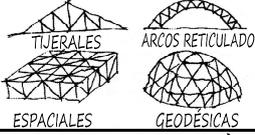
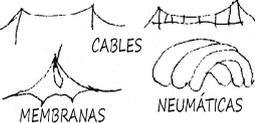
La gran diferencia está en que mientras el ingeniero sólo puede intervenir en la segunda parte de esta relación, es decir, en proponer una respuesta (casi siempre cuantitativa) de la estructura para soportar determinadas cargas originadas por la propuesta de un arquitecto, en la primera parte de la relación (las cargas); el arquitecto sí puede intervenir en ambos términos de la ecuación, pues él puede (y debe) elegir desde la organización estructu-

ral, el sistema estructural, el comportamiento integral y específico de la estructura y sus elementos, a través de su propuesta formal.

Al hacerlo así, estará pues proponiendo integralmente e interviniendo en ambos términos de esta ecuación fundamental. Por un lado determinando a través de su diseño las cargas y por otro respondiendo a las mismas con su propuesta formal.

- De aquí se deduce la importancia de la preparación y dominio del arquitecto en el campo estructural. Sino ¿cómo proponer con autoridad y sustentar la propuesta?

Por ello, el arquitecto debe tener tanto un conocimiento, sobre todo conceptual, del fenómeno resistente así como una visión panorámica e integral de las posibilidades estructurales, para poder así a partir de un amplio abanico de posibilidades, optar y proponer las alternativas más convenientes. Dadas las múltiples posibilidades que se presentan, una adecuada sistematización de las variantes posibles sería recomendable. Diversos autores como Siegel, Engels, Angerer, Catalano, Candela, han aportado con sus propuestas en este campo.

| SISTEMAS DE ESTRUCTURAS R. CHANG | | | |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SISTEMA | COMPORTAMIENTO DIMENSIONAL | ESFUERZO (PREDOMINANTE) | EJEMPLOS - TIPOS |
| MASA ACTIVA | BIDIMENSIONAL | FLEXIONES |  VIGAS PÓRTICOS |
| ARCOS | BIDIMENSIONAL | COMPRESIONES |  ARCOS |
| PLEGADURAS | BIDIMENSIONAL | FLEXIONES |  LOSAS PLEGADAS |
| CÁSCARAS | TRIDIMENSIONAL | COMPRESIONES Y TRACCIONES |  BÓVEDAS CÚPULAS PARABOLOIDES PARABÓLICOS TOROS |
| ENTRAMADOS | BIDIMENSIONAL Y TRIDIMENSIONAL | COMPRESIONES Y TRACCIONES |  TJERALES ESPACIALES ARCOS RETICULADOS GEODÉSICAS |
| TENSIONADAS | BIDIMENSIONAL Y TRIDIMENSIONAL | TRACCIONES |  CABLES MEMBRANAS NEUMÁTICAS |

- En un intento de contribuir a la discusión y propuesta de algunas alternativas de sistematización en el campo estructural, nos permitimos incluir una, fruto del resumen de los trabajos de los citados autores y de nuestra experiencia personal.
- Siendo el arquitecto –y el estudiante de arquitectura– un diseñador que trabaja con la forma y siendo diferentes las condiciones que tiene que evaluar para elegir y proponerla, no debe perder de vista que una de ellas –y en algunos casos como ya lo mencionamos, podría ser la determinante– es la estructura. Por lo tanto será necesario tomar conocimiento de la estrecha relación que existe entre forma y estructura.

Definitivamente la forma (tanto a nivel general de la estructura total e integral, como a nivel de sus diversos elementos), condiciona el comportamiento estructural. Mencionamos, por ejemplo, los sistemas de arcos (cuya forma está estrechamente ligada al tipo de cargas), los sistemas de cáscaras (las formas en sus versiones sinclásticas o anticlásticas) llámense bóvedas, cúpulas, paraboloides hiperbólicos, etc, plantean diferentes comportamientos estructurales y posibilidades de cobertura de grandes luces.

Por ello seguiremos insistiendo en la importancia que el conocimiento sea prioritariamente cualitativo, especialmente en la implicancia de la forma – geometría con respecto a las posibilidades estructurales

- Sin embargo, pese a que el conocimiento del arquitecto en el campo estructural debe ser eminentemente cualitativo, será de todos modos necesario que tenga cierto dominio cuantitativo, pues en su proyecto deberá plantear necesariamente algunos criterios de dimensionamiento. Por ejemplo, las posibilidades de luces máximas a cubrir con determi-

nados sistemas y/o materiales, así mismo deberá llegar a un procedimiento de los diversos elementos que componen la estructura, a fin de que en el cálculo final estos no sufran variaciones significativas que le obliguen a modificaciones e incluso a tener que cambiar de partido. Incluso si se viera precisado a manejar fórmulas y ecuaciones, no debemos perder de vista que dichas soluciones matemáticas no son un fin en sí mismos, sino que habría que interpretarlos no como un conjunto de números y signos fríos, sino que en el caso de los arquitectos siempre deberíamos interpretar lo que ellos significan a nivel de solicitudes de cargas, comportamiento-respuesta del material y sobre todo a nivel de geometría = formas arquitectónicas.

Veamos un ejemplo sencillo:

Una conocida fórmula para la flexión:

$$\sigma = \frac{M}{I/C} \quad (1)$$

Ya la deducción de esta fórmula debiera darnos criterios conceptuales para poder cuantificar los esfuerzos de flexión, sin embargo no deseando complicar esta reflexión y ya deducida ésta, veamos como una adecuada interpretación de lo que significan (o debieran significar) para un arquitecto, los diferentes componentes de esta fórmula, puede ayudarnos a comprender un problema estructural en este caso del fenómeno de la flexión:

Si en la fórmula citada nos dicen que:

σ = Esfuerzo máximo a la flexión.

M = Momento actuante

I = Momento de inercia

C = Distancia de fibra analizada, en este caso la extrema al centro de gravedad.

Si lo vemos con ojos de matemáticos o de calculistas, poco provecho sacaríamos en nuestras intenciones de diseñadores de formas.

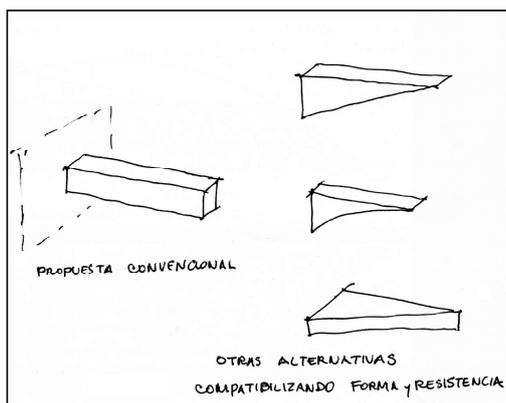
Pero si empezamos a interpretar los datos de acuerdo a nuestros ojos de arquitectos, es decir cualitativamente, podremos relacionar arquitectura y estructura.

Por ejemplo:

$$\text{De } \sigma = \frac{M}{I/C} \rightarrow \sigma = \frac{MC}{I} \quad (2)$$

Es decir que el esfuerzo máximo es directamente proporcional al momento actuante y a la distancia C, e inversamente proporcional al momento de inercia.

Propuestas alternativas.



Reemplazaremos en (2) algunos valores.

Si para una sección rectangular:

$$C = \frac{h}{2} \quad e \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

$$\text{tenemos:} \quad \bar{b} = \frac{6M}{bh^2}$$

y si $M = \frac{WL^2}{8}$ para una viga simplemente apoyada con carga uniforme

$$\bar{b} = \frac{6WL^2}{8bh^2} = \frac{3WL^2}{4bh^2} \quad (3)$$

¿qué deducimos de esta fórmula (3)?

Que el esfuerzo es directamente proporcional a la carga y a la luz (al cuadrado) e inversamente proporcional a las dimensiones b (base) y h (altura) de la sección. Por lo tanto si debo ser consciente que a mayor carga, mayor esfuerzo y a mayor luz, mayor esfuerzo pero al cuadrado.

Y si deseo disminuir el esfuerzo podré hacerlo no sólo bajando cargas y/o luz sino también aumentando las dimensiones de mi sección sea el ancho b o mejor la altura h que interviene; al cuadrado,

es decir a igualdad de área de una sección es más eficiente el tener mayor altura. Esto explica en forma simple por ejemplo la mayor eficiencia de una viga peraltada sobre una chata a igualdad de cantidad de material contenida en la sección.

Asimismo la interpretación de los gráficos auxiliares utilizados en el cálculo estructural, como los diagramas de momentos o diagramas de cortes, también deben ser interpretados en forma diferente por nosotros los arquitectos. Así, por ejemplo, en el caso de una viga en voladizo.

Para el ingeniero calculista estos diagramas le expresan el esfuerzo a que está sometida la viga a lo largo y en cada punto de su longitud para proponer las dimensiones máximas y/o refuerzos necesarios en los diferentes puntos de la misma.

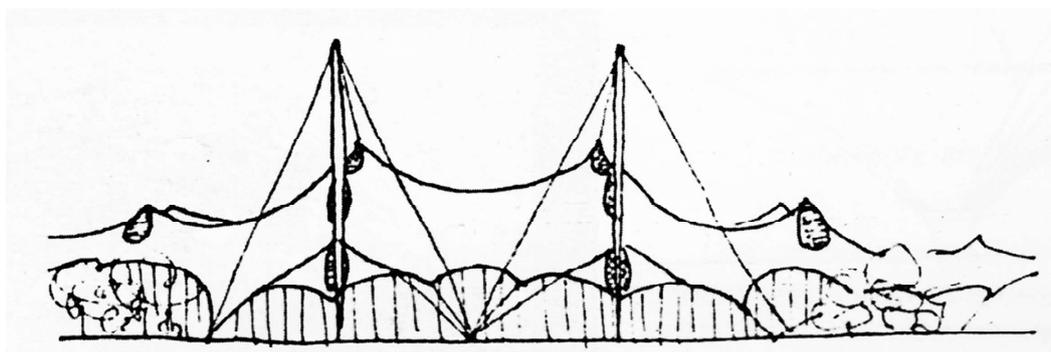
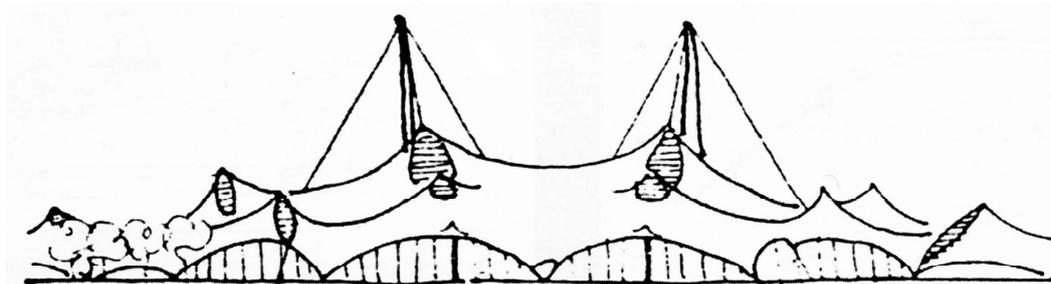
Sin embargo el arquitecto debiera ir más allá de este útil manejo, pues puede relacionar el problema resistente con una respuesta dimensional, pero llevada a la geometría y finalmente a la forma arquitectónica.

Por ejemplo, para el caso al que nos referimos, podría plantear nuevas formas arquitectónicas, pero coherentes desde el punto de vista estructural.

Con todo lo expuesto esperamos haber sustentado nuestra posición –y propuesta– con respecto al enfoque que podría darse al problema estructural. Tanto a nivel de la enseñanza en la carrera de arquitectura, como su aplicación en la vida profesional, permitiendo mejores respuestas y más creativas, pero coherentes y sustentables como propuestas arquitectónicas.

Después de todo, tal vez podamos cambiar la cita del inicio de este artículo por este otro:

“Ingeniero, le estoy presentando mi proyecto arquitectónico para que me apoye con la parte cuantitativa y determine los esfuerzos y detalles estructurales. Estoy proponiendo una cobertura de paraboloides hiperbólicos de cantos curvos sin vigas de borde. Le puedo sustentar la forma y la factibilidad”. ■



Estructuras tensionadas de Frei Otto para las Olimpiadas de Munich.