

La Enseñanza de las Estructuras en la Arquitectura.

The Teaching of Structures in Architecture

Norma González López¹

¹ Mtra en Arq, Facultad de Arquitectura. Docente Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.

Email: normagonzalez@comunidad.unam.mx

RESUMEN

Desde diferentes escuelas de arquitectura en el mundo, se plantean diversos escenarios para lograr asociar la estructura con el diseño arquitectónico preliminar.

En este trabajo, se plantea que el estudiante de arquitectura, tenga un acercamiento a las estructuras desde la comprensión de las mismas y no desde el cálculo o análisis estructural, se propone que con la intención de una *idea estructural* desde el inicio del proyecto, se mantiene el carácter, concepto y diseño original. Partiendo desde la concepción de cómo funcionan las estructuras.

ABSTRACT

From different architecture schools in the world, various scenarios are proposed to associate the structure with the preliminary architectural design.

In this work, it is proposed that the architecture student, have an approach to the structures from the understanding of them and not from the calculation or structural analysis, it is proposed that with the intention of a *structural idea* from the beginning of the student's project, the original character, concept and design is maintained. Starting from the conception of how structures work.

PALABRAS CLAVE: Diseño, estructuras, docencia, aprendizaje, metodología, forma, función, arquitectos.

KEYWORDS: Design, structures, teaching, learning, methodology, form, function, architects.

1. Antecedentes.

Cómo y hasta dónde enseñar la materia de Estructuras a los alumnos que estudian la carrera de Arquitectura, es una pregunta que diversas Universidades en el mundo han tratado de responder desde diferentes perspectivas.

Por un lado, se reconoce la importancia de conocer y dominar los diferentes métodos de cálculo que involucran al diseño arquitectónico, y por el otro se reconoce que el arquitecto no es ingeniero y no debería calcular.

Sabemos que el origen del dilema lo encontramos en el cisma ocurrido entre Tecnología y Arquitectura. El arquitecto era el único personaje que resolvía el problema integral: proyecto,

cálculo, construcción. A partir de la revolución industrial, hubo la necesidad de contar con especialistas en diversas áreas, uno de ellas: El ingeniero. “El advenimiento de la tecnología en la arquitectura tomó por sorpresa a las nuevas generaciones de arquitectos en los siglos XVII y XVIII, sus implicaciones radican más fundamentalmente en las teorías racionalistas y en la revolución industrial”. [1]

El cisma entre arquitectura y tecnología –en este período- auspició el nacimiento de la Ingeniería, en donde los progresos técnicos argumentaron la ciencia de la construcción.

Para esclarecer un poco lo ocurrido entre la arquitectura y la tecnología –y la participación de la ingeniería, en su caso- partimos de la premisa

de que toda arquitectura se basa en principios teóricos que no han de estar necesariamente verbalizados. En lo tecnológico, estos principios son casi del todo comprobables, pero difícilmente lo es la intencionalidad expresiva del objeto y su composición.

La orientación de la corriente racionalista en el diseño del siglo XVIII se hace evidente en el quehacer de la producción de obras con estructura de hierro: la serie de grandes puentes, la Torre Eiffel, las nuevas estaciones terminales, las nuevas bibliotecas nacionales, etc., que en general representaron las nuevas necesidades o demandas del diseño del racionalismo ilustrado centro europeo de los siglos XVII, XVIII y XIX. Los procedimientos y métodos de cálculo para realizar estas construcciones, gozaban de simplicidad y lógica que aún estaban dentro del alcance de Arquitectos y Constructores.

2. Los métodos de cálculo.

2.1 En el siglo XIX y primera mitad del XX

Galileo, en 1638 había probado la existencia de un tamaño máximo para toda estructura. Al variar de tamaño una estructura de forma semejante, la resistencia crece con el cuadrado de la longitud mientras su peso crece con el cubo. Las tensiones debidas al peso propio crecen con ello linealmente. Las reglas proporcionales no son correctas desde un punto de vista estricto. La cuestión pasó inicialmente desapercibida en la práctica, y con razón. Mientras el rango de luces de cada tipología no variaba de forma significativa, los procesos analógicos funcionaban perfectamente. En el siglo XVIII las cosas comienzan a cambiar, pues las luces comienzan a crecer.

En torno a mediados del siglo XIX, ya se disponía de un notable aparato científico de cálculo. Una clara manifestación son los tratados de Rankine de 1863 y 1864 [2]. También se tenían datos representativos del comportamiento mecánico de los materiales usados en construcción. Es decir, a mediados del XIX se pueden calcular gran número de estructuras. El gran número de realizaciones de gran claro así lo demuestran. En esa época, la técnica y la experiencia anteceden al aparato

teórico. Muchas estructuras se construyen sin tener un conocimiento cierto de su verdadero funcionamiento, y ello dando saltos de tamaño respecto a claros anteriores que no tienen precedente histórico.

Esta simplificación en el cálculo permite que el Arquitecto y el constructor tengan control sobre el proyecto en su totalidad.

Santiago Huerta [3] dice: “Sin embargo, para nosotros arquitectos e ingenieros del siglo XXI, todo esto nos parece demasiado ingenuo: la demostración de la ignorancia de los antiguos maestros. De hecho, hasta el siglo XVIII, no se desarrolló una teoría científica de las estructuras, basada en la resistencia de los materiales y las leyes de la mecánica”.

2.2 La base pedagógica.

De acuerdo al Arq. Ernesto Alva [4], en su conferencia “La enseñanza de la arquitectura”, describe el proceso por el que la enseñanza de la arquitectura ha pasado desde el romano, medieval, gótico, racionalismo, hasta nuestros días. Se aprecia que el alumno en su etapa formativa, gozaba de una lógica constructiva al plantear el proyecto. El estudiante en todas las etapas formativas (independientemente del período cronológico) tiene un conocimiento implícito de los materiales y su comportamiento. Es hasta después de la Bauhaus que se incluyen en los planes de estudios las materias duras de ciencias. Hasta mediados del siglo XX el estudiante aunque en su formación se incluían las materias duras de estática y comportamiento de materiales, las formas arquitectónicas y su comportamiento estructural contaban con una lógica y un *significado* estructural. El arquitecto podía *entender* la relación entre ambas, la forma y su planteamiento estructural. Esto es de suma importancia y es el parte aguas en la enseñanza de las estructuras, hasta este momento, el aprendizaje se basaba en el significado que cada alumno otorgaba a sus proyectos.

Para mediados del siglo XX, cambia mucho el sistema de cálculo: un aparato de cálculo muy desarrollado pero con carencias significativas para quien lo aprende.

En este período, algunas propuestas se dirigen a obtener métodos que permitan abordar a mano el problema hiperestático complejo. Estos enfoques mueren con el nacimiento de la computadora.

Durante este período los enfoques empíricos para la determinación del peso propio continúan y tienen gran profusión en la literatura.

2.3 Los métodos de cálculo a finales del siglo XX y principios del XXI.

A mediados del XX, las computadoras han permitido que los trabajos teóricos del XIX fuesen aplicados con facilidad a complejas estructuras, lo cual abrió una potencia de cálculo insospechada hasta entonces. Paralelamente al desarrollo de las computadoras, el método de los elementos finitos ha sido la gran aportación en métodos numérico de cálculo en el siglo XX, y permite en este momento abordar el cálculo de cualquier estructura y material con una precisión suficiente. También es en la mitad del XX cuando se aborda de forma generalizada el problema dinámico.

Es en este momento del proceso de cálculo, que surge el cisma entre *arquitectura y estructuras*.

El arquitecto ya no tiene en su formación los elementos para hacer frente a los métodos de cálculo de métodos finitos y dinámicos.

Durante los siglos XIX y XX, las herramientas de cálculo han sido mucho más desarrolladas que las de diseño, siendo estas aún insuficientes en nuestros días. Las herramientas lógicas de diseño no son en general conocidas ni utilizadas por el proyectista de estructuras. Cuando se vislumbra este problema, diversos autores lo hacen evidente; Mariano Vázquez [5] incorpora la distinción entre análisis de estructuras y diseño de estructuras. *De este modo no parece exagerado distinguir entre dos disciplinas o formas de conocimiento diferentes: el análisis de estructuras (el conocimiento de cómo se comporta una estructura bajo carga) y el diseño de estructuras (el conocimiento de qué estructura se requiere para sostener un conjunto de cargas).*

3. La concepción de la estructura desde la Arquitectura.

Siguiendo las consideraciones de Vázquez y de Schlaib. [6] nos encontramos ante dos casos, primero identificar qué tan necesario es que un arquitecto incluya en su formación las dos vertientes, el análisis y el diseño, y en segundo lugar en qué cantidad y hasta qué punto se deben incluir los conceptos que acrediten el conocimiento del análisis y diseño. Considerando que en un inicio (siglo XVIII Y XIX) la simplificación del cálculo dió lugar a la lógica estructural podemos inclinarnos a la idea de que el “*diseño estructural*” es el que nos va a proporcionar un acercamiento a las estructuras vistas desde la arquitectura y por consiguiente a un detallado y minucioso estudio de los sistemas estructurales para lograr comprender “qué estructura es la que se requiere para sostener un conjunto de cargas”.

Cuando en el proceso del diseño arquitectónico se identifican estas diferencias, se logra un acercamiento a *la comprensión de las estructuras desde la arquitectura*. La intención de incorporar el diseño estructural en lugar del cálculo estructural, es con el fin de lograr diseños arquitectónicos que incorporen el sistema estructural desde el inicio de su proyecto, y al mismo tiempo mantengan una coherencia funcional e integral, atendiendo a los elementos de composición: funcionalidad, habitabilidad, ritmo, volumetría, escala, etc, sin la necesidad de tener que *saber* calcular cada una de las propuestas estructurales, retomando el concepto de lógica estructural, con significado para el alumno.

3.1 Qué se enseña actualmente en las escuelas de Arquitectura.

Las escuelas de arquitectura actualmente siguen impartiendo el cálculo estructural en su plan de estudios. De tal manera que algunas escuelas logran introducir las bases de cálculo para ciertos tipos de sistemas estructurales, los más comunes o los de más tradición.

- Análisis estático e hiperestático. Para vigas y marcos.
- Diseño de Marcos en estructuras de acero, concreto y en algunos casos Madera y muros de mampostería.
- Diseño sísmico estático, para estructuras regulares.

La mayoría de estos cálculos carecen de significado para el alumno.

Debido a que el objetivo no es que los alumnos sean calculistas, el diseño por sismo y viento no es tema de interés en los planes de estudio. Los análisis por el método dinámico y de elementos finitos no se imparten en licenciatura.

Lo que deja al estudiante de arquitectura con herramientas de cálculo mínimos necesarios para poder plantear proyectos que no tengan mayor complicación en su forma y geometría. Esto es frustrante para el estudiante que mira las obras que se están edificando en pleno siglo XXI y no se sabe capaz de enfrentar este reto desde la perspectiva estructural.

Caso contrario a un arquitecto profesionalista que ha incursionado en el mundo laboral y que ha logrado aprender a través de la experiencia o de la especialización o inclusive al asociarse con ingenieros, el planteamiento de su proyecto desde una perspectiva estructural lógica y coherente e inclusive logra interpretar el funcionamiento del sistema estructural e incorporarlo a su composición arquitectónica.

El análisis estructural tiende cada vez más a una especialización. Se requiere de un especialista en estructuras que a su vez sea especialista en estructuras de concreto, estructuras de pretensados, especialista de edificios de gran altura, de estructuras de acero, de madera, de sistemas innovadores, etc. Esta tendencia de especialización no es posible incorporarla a los planes de estudio de la carrera de arquitectura.

3.2 El diseño arquitectónico desde las estructuras.

Se plantea entonces, que el estudio de los sistemas estructurales y su funcionamiento y comprensión, son un elemento clave para darle

al estudiante de arquitectura, elementos para un planteamiento lógico estructural a su proyecto arquitectónico.

Partiendo de la propuesta de A. Charleson [7]; “Dentro de una misma envolvente constructiva, surgen cualidades espaciales muy diferentes al variar los esquemas estructurales interiores, siendo todos viables desde la perspectiva estructural”.

Y sumando el estudio de los sistemas estructurales que se plantea desde el estudio de Heino engel [8].

Por ejemplo, En la figura 1, se destacan 2 sistemas estructurales diferentes:

- Fig 1a, cercha biapoyada en los extremos, estructura isostática.
- Fig 1b, cercha con doble pilar central, estructura hiperestática empotrada.

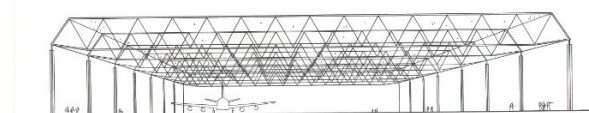


Fig 1a

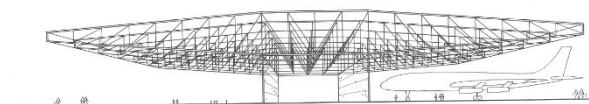


Fig 1b

Figura 1. Sistema estructural de vector activo. Heino Engel

La *composición arquitectónica* de cada uno de estos espacios (1a, 1b) se lee de manera diferente al variar los *sistemas estructurales*, siendo todos los sistemas estructurales viables.

Esta variación de diferentes sistemas estructurales alternativos y su influencia en el espacio interior y exterior es la base de la metodología planteada para incorporar la lógica estructural como parte de la enseñanza de las estructuras y para que el alumno regrese al planteamiento original de entender el significado de cada uno de estos sistemas estructurales.

Así, el estudiante, logrará comprender el funcionamiento de la estructura y su influencia en el espacio. Denominando a este proceso, “*diseño estructural*”.

3.3 Metodología.

Una de muchas metodologías que se pueden implementar, se probó en alumnos de 5º semestre de la carrera de arquitectura, lo que ha comprobado que para el estudiante de arquitectura, comprender más que calcular el sistema estructural, es la base para el planteamiento de sus proyectos arquitectónicos.

Básicamente se compone de 3 etapas:

- 1.- Estudio de un sistema estructural de un edificio análogo.
- 2.-Comprensión de este sistema a través de la clasificación de Heino Engel.
- 3.- Deconstrucción del sistema estructural analizado y comprendido para el planteamiento de un proyecto nuevo.

Llamando al producto de esta metodología “Estructuras Arquitectónicas”.

4. Conclusión

La complejidad en los sistemas de cálculo del siglo XX y XXI ha dejado fuera del alcance del estudiante de arquitectura las herramientas necesarias para lograr plantear sus proyectos arquitectónicos con una coherencia estructural viable.

Se plantea en este estudio que se aborde la enseñanza de las estructuras a través de enseñar el “*diseño estructural y el conocimiento del funcionamiento de los sistemas estructurales*”, con el objetivo primordial de que para el estudiante de arquitectura las estructuras tengan un “significado lógico” al incorporarlo a sus proyectos Arquitectónicos.

La materia de cálculo de estructuras tiende cada vez más a especializarse, volviéndose cada vez más compleja y cada vez menos accesible al estudiante de arquitectura. El análisis estático dentro de poco no será suficiente. La tendencia en el cálculo es emplear cada vez más el análisis dinámico.

Incorporar el “*diseño estructural*” y volver a la simplicidad de la lógica estructural es uno de muchos planteamientos al alcance del estudiante de arquitectura.

Agradecimientos

Este artículo es resultado de la tesis elaborada que para obtener el grado de Doctora en el posgrado de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, presenta la M en Arq. Norma González L.

Agradecimiento especial a la colaboración del Arq. **Sinuhé González Lorainca.**

Referencias

- [1] N. González, Tesis de Maestría; Intersticios entre la Ingeniería Civil y la Arquitectura, Posgrado de Arquitectura UNAM, México (2008).
- [2] J. Fernández, Los criterios de diseño de estructuras entre los siglos XIX y XX. Herramientas lógicas y analógicas. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla, (2000), 285-290.
- [3] S. Huerta, Mecánica de las bóvedas de fábrica: El enfoque del equilibrio. Informes de la Construcción, Vol. 56, nº 496, España (2005).
- [4] E. Alva, Conferencia: La Enseñanza de la Arquitectura. La Conferencia fue dictada en el marco del “*Encuentro en La Plata: enseñar arquitectura-construir la ciudad*”, Septiembre (1997)
- [5] E. Vázquez. Sobre la enseñanza y práctica de la teoría de estructuras. Dpto. de Estructuras de Edificación. Univ. Politécnica de Madrid. Revista: Informes de la Construcción, Vol. 49, nº 449, mayo/junio (1997).
- [6] P. Cassinello, A. Bögle, P. Cachola Schmal. Estructuras ligeras: schlaich bergermann und partner. Mairera libros (2011)
- [7] A. Charleson, La estructura como arquitectura. Ed Reverté, Barcelona (2007). 137-138.
- [8] H. Engel. Sistemas Estructurales. Ed Gustavo Gilli SA, Barcelona (2001).