



ORGANIZACION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

- Morfología de las estructuras
- Génesis del sistema resistente

Preparó:

Ing. Daniel A. García Gei

Revisó:

Ing. Daniel A. García Gei

Dirigió:

Ing. Daniel A. García Gei

MORFOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS

IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA

Entre los elementos que componen una forma material cualquiera (árbol, animal, vivienda, edificio, puente, máquina, etc.), la estructura es el más esencial. Sin la estructura la forma no se puede mantener o preservar, por lo que el organismo pierde la posibilidad de funcionar.

Imaginemos cualquier ser animado o inanimado sin estructura. Pronto veremos todos los cuerpos como bolsas de una materia más o menos viscosa o plástica con imposibilidad de mantener alguna forma posible para desarrollar sus funciones vitales. ¿Seríamos como un líquido sin contención?(¡)

De esto inferimos que es imposible la existencia de un organismo animado o inanimado sin estructura.

Existen otros muchos elementos que componen las construcciones cuya presencia no es vital para su existencia, aunque lo sea para su función (pe. en edificios: instalaciones, pisos, terminaciones, carpinterías; en carreteras: señales, capa de rodamiento, barandas; en obras hidráulicas: revestimiento de canales, protecciones, etc.). En cambio la estructura es vital para la existencia del edificio u obra, aunque puede no ser necesaria para la función (esto es así más a menudo de lo que imaginamos). La mera estructura no es arquitectura ni obra de ingeniería, sólo las hace posible.

Por esto, el conocimiento de la génesis estructural es básico a las profesiones de arquitecto e ingeniero. Hoy, no es posible que una sola persona domine todas las facetas de los problemas estructurales que se presentan al encarar la estructura de un edificio, un puente o una represa.

Los conocimientos de estática y resistencia de materiales son la base para comprender el comportamiento de estructuras simples y dar reglas para calcularlas. Sin embargo, no son suficientes para proponer sistemas que se relacionen adecuadamente con las funciones y la forma de la construcción.

Se dan "recetas" de cómo analizar, calcular y dimensionar determinadas piezas estructurales, pero no se ejercita ni estimula la facultad de concebir, organizar y desarrollar el sistema completo o composiciones que conduzcan a esqueletos novedosos que resuelven las exigencias estructurales y las relaciones entre la función y la forma. Resultado: un ingeniero inseguro de sí mismo respecto de su capacidad de proyectar estructuras y con actitud recelosa y distante, cuando no repulsiva, sobre el tema. Es el resultado de la ignorancia.

No se alcanzará desarrollo en el conocimiento del proyecto de estructuras ampliando y sumando temas a las materias de grado o haciendo sólo cursos de post grado. El avance es tan grande y global que nos debemos concentrar en los fundamentos y dejar volar la imaginación.

A diferencia de tiempos pretéritos, el profesional se encuentra hoy conque:

- 1) *No existen límites formales en el campo de las estructuras. Prácticamente cualquier forma puede construirse, resistir y mantenerse en el tiempo a pesar que presente contradicciones estáticas.*
- 2) *Las formas y expresión estructurales están prescritas y definidas por la ciencia de las construcciones y por la tecnología de aplicación. Poco puede desviarse el proyectista de esas reglas, generalmente a costa de la economía de la obra. Las formas estructurales son estándares.*

- 3) *La variedad posible de estructuras permite que cualquier espacio arquitectónico pueda ser sincronizado de modo preciso con la forma estructural que refuerza la idea arquitectónica. Forma estructural y espacio envolvente se identifican.*
- 4) *El hombre actual experimenta sensaciones estéticas a partir de la comprensión intelectual del ordenamiento lógico de la forma estructural.*
- 5) *La civilización masiva requiere construcciones de múltiples unidades y grandes proporciones, que se deben lograr con estructuras sólidas y fuertes, con un presupuesto ajustado y en tiempos perentorios.*

Estas ideas nos llevan a enfocar el significado de "proyecto estructural" y "estructura en arquitectura" de modo de establecer los principios básicos de la génesis (creación) de la organización de una estructura.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Entendemos como características de la estructura, las cualidades que el sistema estructural debe tener para cumplir su objeto. Naturalmente, esas cualidades se contemplan en relación con el edificio o la construcción a la que sirve.

Aceptamos como cualidades intrínsecas a la estructura:

- **FUNCIONALIDAD**
La FORMA y la RIGIDEZ de la estructura deben adaptarse a la función, uso y destino de la construcción y de sus partes.
Para lograr una solución adecuada, el criterio debe tener en cuenta una gradación de las condiciones funcionales. Cuáles son primarias (sine quo non), cuáles secundarias, y cuáles son prescindibles.
- **DURABILIDAD:**
La durabilidad y perdurabilidad de la construcción está relacionada con la resistencia a fenómenos físicos y químicos. Por lo que la estructura posee cualidades de:
 - ✓ Estabilidad: el conjunto debe ser estable, tiene capacidad para transmitir acciones gravitatorias y laterales.
 - ✓ Resistencia mecánica: el sistema y sus partes tienen capacidad para transmitir esfuerzos sin romper
 - ✓ Resistencia a agentes ambientales agresivos: el sistema y sus materiales soportan la agresión de agentes atmosféricos, sales, rayos UV, etc.
 - ✓ La forma estructural y del conjunto de la construcción es adecuada a la capacidad resistente y rigidez de los materiales y elementos componentes.

- *VIABILIDAD*

El sistema estructural debe ser realizable, posible, factible, **construible**. Para ello es necesario que al conjugar materiales y formas, se cuente o invente la tecnología adecuada con suficiente economía de recursos y energía. En resumen, la existencia de la estructura exige:

- ✓ Tecnología de ejecución o construcción, adecuada a los materiales y a la forma elegida de la construcción
- ✓ Economía: que se cuente con los recursos y las técnicas de ejecución apropiadas a las formas y materiales elegidos y que se proyecten formas resistentes conforme las mejores cualidades y comportamiento estático- resistente de los materiales utilizados.

- *ESTÉTICA*

Es decir, intentaremos explicar la emoción estética que nos impresiona al observar una construcción y el entorno paisajístico en la que se implanta. Los criterios de valoración de esas emociones son infinitos, entre otros mencionamos tres formas relacionadas con la arquitectura y la ingeniería:

- ✓ Estructura "estática": la forma del sistema estructural impresiona indicando expresamente el camino de las fuerzas y la acción resistente del conjunto. PE: Facultad arquitectura de la UM, puente colgante Cacheuta, puente FFCC, viaducto costanera Mendoza, palacete del deporte (Nervi – Roma), arena de Raleigh – EEUU, facultad de ciencia políticas UN-Cuyo, Torre Hancock Chicago, Torre Eiffel...
- ✓ Estructura "funcional": el sistema estructural (que transmite las cargas) se confunde y mimetiza con los elementos de la construcción dispuestos para otras funciones (cerramientos, paredes divisorias, entresijos, cubiertas, sostenimiento, etc.). Prácticamente conforma los espacios y pasa totalmente desapercibida. PE: Pabellón de Barcelona de Mies Van der Rohe,
- ✓ Estructura "plástica o escultural": la intención del arquitecto es lograr una forma escultural. PE: Palacio Alborada (residencia presidencial), Brasilia

Naturalmente que la generalidad de las construcciones provocarán emociones y sensaciones múltiples difícilmente encuadrables en sólo uno de esos criterios, posiblemente podamos referirnos a uno como principal objetivo del autor y algún otro como acompañante necesario. En un proceso crítico debemos primordialmente comprender los objetivos y la intención del proyectista, y valorar en consecuencia los logros.

NECESIDAD DE LA ESTRUCTURA

La estructura es una necesidad existencial a la Arquitectura. Pero esa necesidad de estructura para conformar espacios arquitectónicos no se debe a la misma Arquitectura sino a un conflicto de direcciones.

Cualquier actividad del hombre se desarrolla en el espacio. Se desplaza en algún plano y requiere la tercera dimensión para ubicarse. Por ello, el espacio arquitectónico también requiere de tres dimensiones. Para conformar el espacio utilizamos cerramientos y cubiertas, hechas con materiales (cuya esencia consiste en tener "masa" y, por lo tanto, "pesan"). Para que haya un plano donde desplazarse, es necesario que las fuerzas gravitatorias debidas al peso de los materiales se desvíen hacia el suelo sin interferir con él. Para que el espacio se desarrolle verticalmente (en la tercera dimensión) será necesario que las fuerzas laterales debidas al viento o las generadas por sismos sobre las masas de los materiales componentes también se desvíen hacia el terreno sin interferir con aquél.

Proyectar la estructura es "desviar" las fuerzas de modo que el espacio sea útil al hombre.

El proyecto es estrategia, es planificación, es organización de un sistema dinámico para dominar un conjunto de fuerzas. El tamaño de las piezas o la magnitud de los esfuerzos dependerá de la elección del sistema resistente o sea de la estrategia empleada.

La estrategia del proyecto es polifacética, conforme la forma de transmisión de cargas que cada sistema en particular ofrece, así: las superficies curvadas que distribuyen los esfuerzos en su interior hasta hacerlos despreciables (láminas y membranas), las vigas articuladas (trianguladas) que descomponen las fuerzas en diversas direcciones en que pueden ser resistidas, la forma que se acomoda a la posición de las cargas trasladándolas a los puntos donde no molesten (cables, funiculares y cubiertas colgantes), el peso de la masa que pone en acción el brazo de palanca interno de los sistemas flectados.

Finalmente, todas las fuerzas reducidas y dominadas son conducidas al suelo, donde se distribuyen sin conflicto pues allí no requerimos espacios donde movernos. Esto dicho sin menospreciar el suelo como material estructural, que exigirá algún sistema de fundaciones adecuado a las propiedades del terreno donde se implanta la construcción.

SISTEMAS ESTRUCTURALES

Proyectar (imaginar, idear) una estructura consiste en desarrollar un sistema de forma material que desvía las fuerzas según determinadas direcciones y las conduce al suelo con la máxima eficiencia estética y material con mínima obstrucción del espacio.

Entonces, el conocimiento del proyectista se debe centrar en:

- ✓ Los mecanismos que hacen cambiar la dirección de las fuerzas; ¿Cómo se manifiesta al acción resistente en cada tipo estructural?
- ✓ Los sistemas para cubrir y delimitar espacios, sus características resistentes y rigidez.

Atendiendo sólo a los mecanismos que hacen cambiar la dirección de las fuerzas es posible limitar el vasto campo de la estática y establecer una sencilla clasificación de los sistemas estructurales.

1. **Sistemas de forma activa – Sistema funicular**, actúan principalmente por su forma material. Las fuerzas se transmiten por esfuerzos simples de tracción o compresión.
2. **Sistemas de vector activo**, las fuerzas exteriores se transmiten descomponiéndolas según las direcciones de miembros concurrentes que actúan en tracción y compresión. Son las estructuras reticuladas triangulares.
3. **Sistemas de masa activa**, las fuerzas se transmiten debido a la inercia dada por la continuidad de la materia (masa) y funcionan básicamente en flexión.
4. **Sistemas de superficie activa – Sistemas laminares o membranales**, transmiten las fuerzas por la continuidad superficial, en régimen membranal o de lámina.
5. **Sistemas verticales**, transmiten las fuerzas gravitatorias y laterales generadas en construcciones elevadas.

Es prácticamente imposible encontrar un sistema estructural puro, o definido por su característica más acusada. En cualquier caso puede ser necesario incorporar alguna cualidad dada por otro sistema para cubrir las exigencias de la estructura. PE: un sistema de forma activa que trabaja en compresión debe tener capacidad a flexión para evitar los fenómenos de inestabilidad y pandeo y esta capacidad se consigue fácilmente con el sistema de masa activa. Un sistema de superficie activa (lámina) requiere de elementos de masa activa (en flexión) para resolver encuentros, discontinuidades o cambios de la forma superficial y recurre a características de forma activa para contener las fuerzas en la superficie media.

Si se considera sólo la principal acción resistente, o sea el mecanismo para modificar la dirección de las fuerzas, cada estructura puede encuadrarse fácilmente en alguno de los sistemas mencionados. Las cualidades secundarias necesarias pueden obviarse en esta instancia. Por otra parte, la cualidad principal condiciona y define la forma y el espacio, les da carácter y propiedad. Las cualidades secundarias en general ajustarán las dimensiones de las partes y poco o nada incorporarán a la definición del espacio.

PROCESO DE DISEÑO O PROYECTO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL

El proceso de concepción de la estructura es un arte, es resultado de una intuición experimentada, para el que no alcanzan simples deducciones de razonamientos lógicos.

La génesis del esquema estructural para un cuerpo específico comprende las siguientes fases:

- ✓ Imaginación y delineación de la forma estructural básica, adecuada a la forma del cuerpo y sus funciones
- ✓ Proporciones y dimensiones globales de los componentes principales
- ✓ Introducción de rigidez lateral
- ✓ Comprobación de posibles efectos de variaciones térmicas, asientos de apoyos, condicionamientos de las cargas, envejecimiento, ...
- ✓ Elección del material estructural y del proceso constructivo

En cada una, el proceso es:

PROPUESTA
[DELINEACIÓN / ESQUEMA]
CRÍTICA
SÍNTESIS
EVALUACIÓN

<i>Rechazo</i> <i>(vuelve)</i>	<i>Aceptación</i> <i>(sigue)</i>
-----------------------------------	-------------------------------------

Ninguna de estas fases requiere aplicar fórmulas matemáticas. En esta instancia, el proceso es CONCEPTUAL, se trata de establecer los PRINCIPIOS y las BASES del sistema a aplicar en el caso particular.

Entendiendo que el problema que nos ocupa es físico - mecánico, que estamos definiendo espacio y forma y que el lenguaje en arquitectura e ingeniería es eminentemente gráfico, tanto en el estudio e interpretación de los sistemas estructurales como en el proceso de diseño aplicaremos técnicas adecuadas, considerando los principios y dejando de lado asuntos secundarios.

Por ello para estudiar y comprender el esqueleto estructural despojaremos a la obra de sus características secundarias y accidentales dejando expuestas las principales, para concentrar en ellas nuestra atención.

Para comprender el mecanismo de un sistema estructural no es necesario establecer una escala absoluta ni un material de construcción. Cualesquiera sean las dimensiones y los materiales, el funcionamiento estático resistente básico es el mismo para una sistema estructural dado. Una viga de alma llena funciona de la misma manera tenga una luz de 100 cm o de 100 m, y el momento resistente (la cupla interna) se desarrolla de igual manera en cualquier material (sea acero, madera, hormigón, ladrillo, piedra, plástico, espuma, etc.)

El ámbito de las luces posibles y económicas a salvar con determinado sistema dependen de los materiales de construcción, de la magnitud de los esfuerzos y de las técnicas de ejecución. Estos son datos del proyecto específico.

Asimismo, los métodos de construcción, el detalle de uniones, la conexión a las cimentaciones, los fenómenos reológicos, los requerimientos de ductilidad, etc. son problemas que adquieren relevancia luego de concebir la forma estructural específica. Se deben resolver, pero no hacen a la elección primaria de la forma estructural, no hacen a la idea o concepción.

Los SISTEMAS ESTRUCTURALES son ordenaciones que sirven como PRINCIPIOS de diseño.

Las ESTRUCTURAS REALES son ejemplos, sirven de MODELO para el proyecto, ayudan a imaginar y eventualmente se podrán catalogar.

LA CONCEPCIÓN Y GENERACIÓN DEL ESQUEMA ESTRUCTURAL

Como hemos afirmado, el proceso de concepción y generación de la estructura es más arte que ciencia, resulta más de una intuición experimentada que de una serie de deducciones o razonamientos lógicos. Aún así, cabe expresar algunas reglas generales sólo a modo de guía, no serán todas ni siquiera las más importantes.

No existiendo ningún método que permita elegir automáticamente el sistema estructural más adecuado para un problema concreto, estas reglas servirán al menos de orientación en la búsqueda, crítica y valoración de la solución a ese problema.

“En gran parte, es una cuestión de costumbre, de intuición e imaginación, de buen criterio y de condiciones personales” (1)

La elección entre las diversas soluciones posibles es un trabajo arduo, conlleva decisiones comprometidas. No se debe dejar de lado una solución sin asegurarse que no lleva ventajas sobre las otras.

El tiempo empleado en la concepción, imaginación y tanteo de nuevas soluciones es el más útil, tanto para asegurar el resultado más eficiente como para el desarrollo personal y profesional del individuo.

Es inversión en “conocimientos y en sapiencia”.