

ETAPAS EN EL DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA

Ing. ROBERTO F. MORALES

Prof. Titular de Estructuras 5

Introducción:

El objeto del presente trabajo es analizar las etapas que habitualmente se siguen durante el proyecto de un edificio, y en consecuencia, de la estructura resistente del mismo.

A lo largo del diseño de un edificio van surgiendo exigencias, sugerencias, posibilidades y libertades que el arquitecto vuelca en el especialista en estructuras. Con esos elementos más los límites generalmente financieros, debe moverse el ingeniero en estructuras; tratando de alcanzar una estructura que satisfaga tanto al arquitecto proyectista como al cliente.

Las reflexiones que veremos no estarán orientadas al cálculo en sí de la estructura; sino a su definición y a la búsqueda de la estructura más conveniente.

Etapas para el Diseño de una Estructura:

En el universo de las estructuras, el proyectista encontrará una gama de materiales y de formas. El uso de un material depende de la forma buscada, pero la forma también depende en gran medida del material.

En las primeras etapas del proyecto tenemos tres conceptos definidos, que son:

Diseño

Forma

Material

Sobre ellos influyen en no poca medida la ubicación física de la obra y los recursos económicos y tecnológicos disponibles.

Para materializar la obra es necesario contar con recursos económicos y recursos tecnológicos. Los medios económicos y tec-

nológicos se encuentran relacionados entre sí; como también están relacionados e interactúan la forma de la estructura y el material.

Coordinando las etapas de concepción de la forma, elección del material, elección de la técnica a usar y provisión de los recursos económicos se debe llegar al diseño de la estructura.

Con el diseño definido de la estructura podemos conocer el costo de ella. Relacionando el costo con los medios económicos puede surgir la necesidad de estudiar nuevas formas o elegir otros materiales. Otro replanteo posible surgido de la relación costo-recursos económicos es variar la ubicación de la obra.

Destino:

En este trabajo llamamos **destino** al uso que se le dará al edificio a construir. Su importancia para la estructura está originada en la influencia que tiene para la forma que adoptará el arquitecto en su proyecto. La forma va a condicionar el tipo de estructura del edificio. Como ejemplo, es evidente que la forma de una cubierta para un estadio limita los tipos estructurales a usar. En otro caso, por ejemplo, sería absurdo usar entrepisos de cubiertas colgantes en un edificio de propiedad horizontal, donde la tipología estructural debe obedecer a formas que definen volúmenes rectangulares.

El destino del edificio obliga a prever la implementación de determinados servicios e instalaciones. Algunas pueden ser incompatibles con el tipo estructural deseado, entonces es necesario optar por otro más adecuado.

La nueva generación edilicia, los llamados edificios inteligentes, requieren espacios y conducciones adecuados a las comunicaciones y redes informáticas de los usuarios, y para los servicios propios del edificio, estas nuevas exigencias en el diseño deben ser consideradas al elegir la tipología estructural.

Forma de la Estructura:

Los tipos estructurales, como se ha dicho, dependen de la **forma**. Se puede, y se ha hecho en muchos casos, forzar un tipo estructural a

soportar una forma. Pero expresar la forma del tipo estructural elegido tiene ventajas de orden estético y económico, sin duda.

Las formas de las tipologías estructurales están condicionadas por el modo de transmitir los esfuerzos a que se ven sometidas.

Los esfuerzos normales, de tracción o compresión, originan estructuras formadas por barras rectas, de sección reducida, que dispuestas en figuras indeformables dan nacimiento a las estructuras reticuladas en el plano o en el espacio.

Si deseamos cubrir grandes vanos con estructuras en las que prevalezcan los esfuerzos de tracción o de compresión; debemos buscar una forma que genere en el material esfuerzos axiales. Así, encontramos que los cables y la familia de estructuras derivadas, son una tipología estructural que trabajan exclusivamente a la tracción.

La forma del arco, que podemos imaginar como un cable congelado invertido, nos proporciona un tipo estructural sometido a esfuerzos de compresión dominantes.

Cuando es necesario crear espacios cúbicos o prismáticos, como es el caso de los edificios de propiedad horizontal, oficinas, etc. el tipo estructural debe facilitar la construcción de entresijos planos horizontales. La estructura que satisface esta condición es la combinación de vigas y columnas, generando pórticos planos o espaciales. Es una tipología estructural con flexión predominante.

En otras ocasiones, el proyectista desea una cubierta continua, que abarque áreas de gran dimensión y no lo satisfacen las estructuras descritas arriba. Tenemos la posibilidad de generar cubiertas que salven grandes luces utilizando formas geométricas espaciales, tales como paraboloides, elipsoides, conoides, etc. Llegamos así al tipo estructural de las láminas o cascaras. Son estructuras que se encuentran solicitadas por esfuerzos de tracción, compresión y corte. Con la particularidad que estos esfuerzos se desarrollan en el espesor, generalmente muy pequeño, de la lámina. Las láminas son estructuras sin capacidad para soportar flexiones.

Materiales Estructurales:

Los **materiales** usados en estructuras son bien conocidos, incluso por personas ajenas al medio de la construcción. Su enumeración en un

orden cronológico de uso es: piedra, madera, fundición, acero, hormigón armado y hormigón pretensado.

La piedra, el ladrillo y la madera son materiales conocidos y usados desde la antigüedad. La fundición se usó a mediados del siglo XIX, durante un corto período hasta la fabricación a escala industrial del acero.

Con el acero y el hormigón iniciamos el siglo XX y también los más geniales logros estructurales desde el gótico.

Cada material tiene un comportamiento intrínseco ante los esfuerzos que lo solicitan. La mampostería de piedra o ladrillo soporta esfuerzos de compresión y corte, pero su resistencia a la tracción es prácticamente nula. La madera es capaz de soportar tracciones, pero su carga de rotura es baja. La combinación de hormigón y acero en el hormigón armado y en el hormigón pretensado brindan materiales capaces de resistir tracción, compresión, flexión y corte. Y, finalmente, el acero que puede soportar los esfuerzos con los valores de cargas de rotura más altos.

Por último, no podemos olvidar un material estructural indispensable, el terreno. Volveremos sobre él más adelante.

Al elegir un material el proyectista debe pensar que, además de su capacidad resistente para la tipología estructural proyectada; van a influir en el diseño final: el peso propio, la durabilidad, la variación volumétrica ante cambios de temperatura, comportamiento ante cargas alternativas, etc.

Ubicación:

La ubicación del edificio puede dar origen a un gran número de cargas que influyen en la estructura.

Según la región donde se ubique el edificio, tenemos cargas debidas a:

- Viento
- Nieve
- Sismo

Los fenómenos naturales enumerados, producen diferentes efectos sobre las estructuras.

El viento y sismo generan cargas transitorias. En el caso de la nieve, la carga puede actuar durante un período prolongado.

Un factor importante, que depende de la ubicación, es la calidad del terreno de fundación. Conceptualmente podemos considerarlo como un

material de construcción, y estudiamos su comportamiento con la teoría de la Resistencia de Materiales.

La capacidad de carga y la deformabilidad del terreno van a influir en el tipo de cimentación a diseñar. Siempre es aconsejable evitar terrenos con bajo valor portante y con riesgo de sufrir asentamientos por sobreconsolidación.

La ubicación también puede influir durante la etapa de construcción. Por ejemplo, si no existen medios para transportar elementos prefabricados hasta el lugar de la obra.

Relaciones entre las Etapas:

Sabemos que la estructura resistente designa un sistema que tiene por trabajo dirigir las fuerzas estáticas y dinámicas que actúan sobre un edificio. Así, la estructura resistente es un subsistema, contenido en una estructura lógica mayor, que es la totalidad del edificio.

La construcción de la estructura es la materialización del subsistema con el auxilio de los materiales y la tecnología de la construcción.

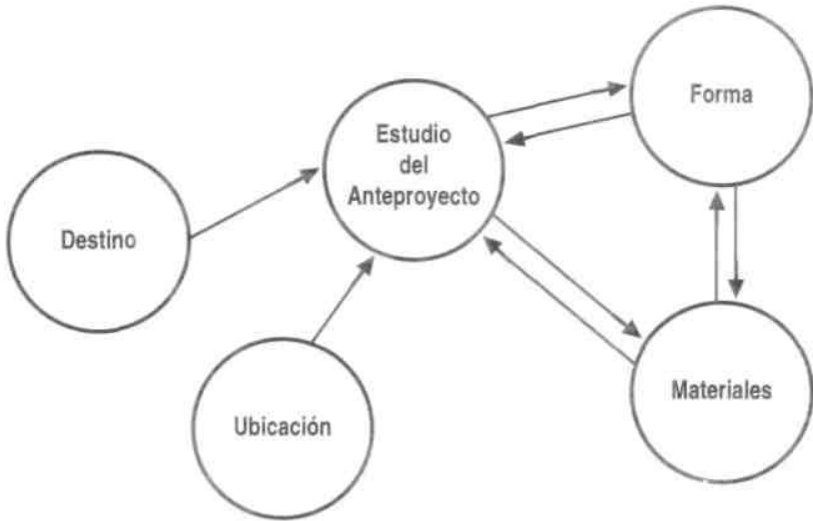
Las relaciones lógicas del subsistema **estructura resistente** con el resto de las variables del proyecto es uno de los aspectos más difíciles en el estudio de la ciencia de la construcción. No es suficiente que una estructura sea *segura*, debe *parecer segura* a sus ocupantes. Salvadori y Heller escribieron sobre este problema: "es fácil demostrar que algunas estructuras (resistentes) *incorrectas* son encantadoras, mientras que algunas estructuras *correctas* no nos satisfacen estéticamente. Quizá fuera más prudente decir que la *corrección* de una estructura (resistente) es, la más de las veces, una condición necesaria de la belleza, sin ser suficiente para garantizarla".

El proceso para diseñar una estructura sigue, en reglas generales, las etapas que se describen a continuación:

Para la definición del proyecto, que tiene un destino definido (vivienda, escuela, hospital, etc.) y una ubicación geográfica concreta, el arquitecto desarrolla su propuesta.

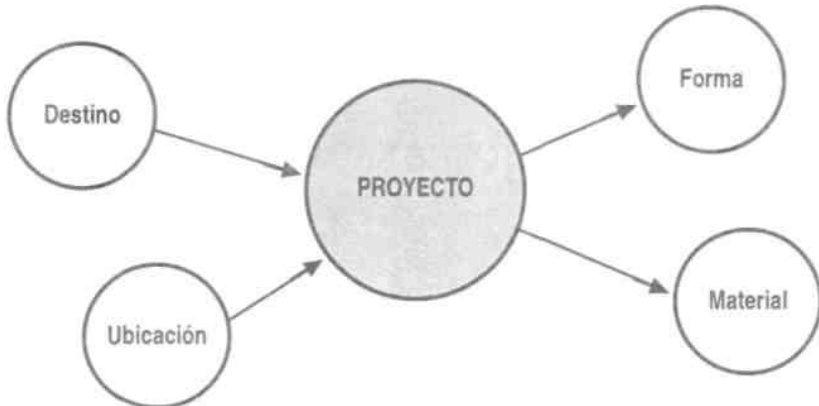
Mientras avanza en ella, irá definiendo la forma de la futura construcción, estudiando los materiales a usar (entre los que se incluyen los materiales de la estructura),

Llegando a las siguientes relaciones:



El proyecto está en la etapa donde el proyectista debe ajustar un gran número de variables a las necesidades exigidas por el destino del edificio. Y armonizar las mismas con una propuesta de estructura.

Finalizada esta etapa tenemos las siguientes relaciones:

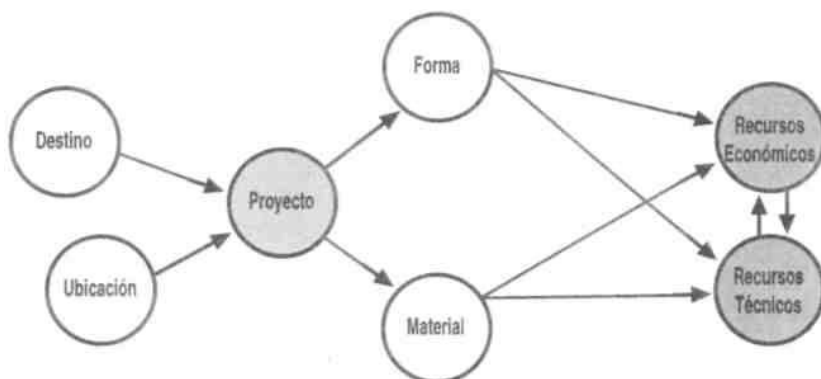


Con el proyecto definido, y conociendo la forma estructural y los

materiales propuestos, se puede elegir el tipo de estructura más conveniente, para diseñarla.

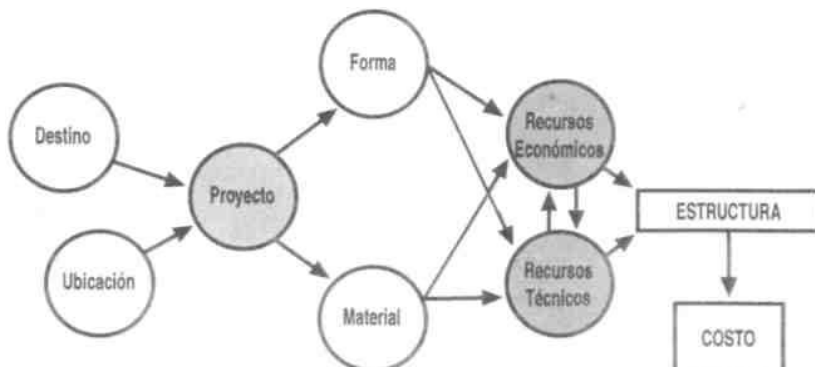
Aquí entran en juego otros factores, que son los recursos económicos y los recursos tecnológicos disponibles. El especialista en estructuras puede considerar la conveniencia de una tipología estructural, pero no tener acceso a los equipos necesarios o la mano de obra especializada.

Las relaciones del proceso en esta etapa son:



Las flechas indican el sentido de las relaciones entre Forma, Material, Recursos Económicos y Recursos Tecnológicos. Se ha alcanzado la etapa en la que es necesario definir la tipología estructural más adecuada, en función de la forma y el material.

Una vez realizada la opción, se dimensiona la estructura. Y podemos completar el esquema anterior como se muestra a continuación:



Con la estructura definida, conociendo su organización y sus dimensiones, se puede calcular el costo.

Aquí, termina el proceso, y se pasa a la realización. Etapa donde los aciertos y los errores del diseño van saliendo a luz a medida que avanza la obra.

Otras veces, surgen alternativas previas a la iniciación de la obra. Una de ellas es que el costo a pagar por la estructura sea excesivo frente a los beneficios que se esperan.

A veces, una vez terminado el dimensionamiento de la estructura, darse cuenta de la necesidad de que la misma tenga la flexibilidad necesaria para futuras reformas.

O la necesidad que en la estructura se prevean futuras ampliaciones.

Conclusiones:

Se han expuesto sucintamente una sucesión de pasos que es necesario realizar durante el diseño de la estructura de un edificio.

Si bien manejamos el dimensionamiento de los diferentes elementos de una estructura, apoyados en sólidos conocimientos físico-matemáticos que permiten calcular los estados de tensiones y deformaciones de una pieza estructural, cuando necesitamos definir el comportamiento de una agrupación de elementos naturales (tales como: vigas, losas, columnas, etc.), salvo para estructuras prácticamente ideales, el diseño demanda el uso de conocimientos sobre las **relaciones** entre cargas, tensiones y deformaciones de la estructura total.

El proyectista debe tener presente durante el diseño, las relaciones descritas tratando de optimizar el proyecto. Sin olvidar que la realización de una obra de arquitectura es el producto final del esfuerzo de muchos.

Siendo la mayor responsabilidad del creador del proyecto, este debe dedicar parte de su esfuerzo al logro de una estructura óptima.