



LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

JAIME DE LA COLINA MARTÍNEZ* Y HORACIO RAMÍREZ DE ALBA*

Recepción: 22 de septiembre de 1999

Aceptación: 22 de octubre de 1999

Introducción

Una de las áreas más importantes de la ingeniería civil es la de estructuras. La estructura es la parte resistente de una construcción, desempeña el mismo papel que los sistemas óseo y muscular de los vertebrados: provee resistencia y rigidez para que, junto con otros sistemas, se alcance un fin común; por ello, la estructura es vital para que una construcción sea útil. En este breve artículo se ofrece un panorama del área de la ingeniería relacionada con el estudio de las estructuras en el contexto de la construcción; primero se explica por qué es importante para una sociedad. Con el fin de conocer y apreciar la interesante labor de un ingeniero que trabaja en este ámbito, se presenta de manera sucinta el proceso de diseño de una construcción y el medio profesional donde se desarrolla.

Asimismo, se describen algunas facetas de su actividad y se relatan casos de algunos proyectos que destacan la importancia de esta área y la gran responsabilidad a que se enfrentan los ingenieros estructuristas. Este trabajo

va dirigido al público en general y pretende dar, de una manera clara y sencilla, una visión panorámica de la *ingeniería estructural*.

I. El espacio de la ingeniería estructural

El desarrollo de un país generalmente va acompañado de la construcción, de la operación y del mantenimiento de su infraestructura; en ésta se incluyen: viviendas, vías de comunicación, centros de salud, de educación, de producción, de servicios, etcétera. Es interesante apreciar que la ingeniería estructural participa en la realización y el mantenimiento de esta infraestructura. Con el fin de describir esta participación, se presenta el *proceso de diseño* dentro de un proyecto y las actividades que desarrolla un ingeniero estructurista; para complementar la descripción del campo de acción de éste, también se mencionan las herramientas que usa y los profesionistas con los que se relaciona en su trabajo, tales como topógrafos, dibujantes, especialistas en mecánica de suelos, ar-

quitectos, otros ingenieros (electricistas, mecánicos, industriales, etcétera), constructores, y otras (véase figura 1).

Tradicionalmente el *proceso de diseño* se limitaba al cálculo de los elementos que conforman la estructura a fin de que la construcción resultara estable y funcional. Esta forma de diseño, sin embargo, limitaba la acción del ingeniero estructurista a las etapas finales del proyecto. Dado el avance de éste, resultaba difícil modificarlo a fin de lograr algún beneficio estructural. Actualmente, el proceso de diseño inicia desde las primeras etapas del proyecto junto con el diseño de otros sistemas (arquitectónico, sanitario, de ventilación, etcétera). De esta forma, el proceso de diseño ha evolucionado para convertirse en un trabajo de equipo, con un enfoque de sistemas que beneficia a todo el proyecto en su conjunto.

El diseño estructural, visto como un proceso, involucra todas aquellas acti-

* Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Tel.: (7) 214 08 55.

Correo electrónico: jcolina@coatepec.uaemex.mx y hra@coatepec.uaemex.mx

vidades encaminadas a la definición de las propiedades del sistema (estructural) que proporcionan de manera económica *resistencia y rigidez* a la construcción. Con el fin de mostrar un panorama más claro de la esencia del diseño, se describen a continuación las principales etapas implícitas en el proceso de diseño:

a) *Estructuración*. Esta etapa define el sistema o sistemas estructurales que, de manera global, darán a la construcción resistencia y rigidez para que responda satisfactoriamente ante las acciones (cargas) a las que previsiblemente pueda someterse. La definición de estos sistemas se lleva a cabo junto con la selección de los materiales que mejor se adapten al sistema elegido. La estructuración es la parte esencial del proceso de diseño ya que impactará en el resto del proyecto estructural; por

ejemplo, en el caso de un edificio, es en esta etapa donde se define si la estructura será de concreto reforzado o de acero. También se define si el edificio se “estructura” con marcos, con muros, con marcos contraventeados o con una combinación de algunos de ellos. El criterio y la creatividad del ingeniero estructurista juegan un papel muy importante en este punto, particularmente en el caso de estructuras de formas poco comunes.

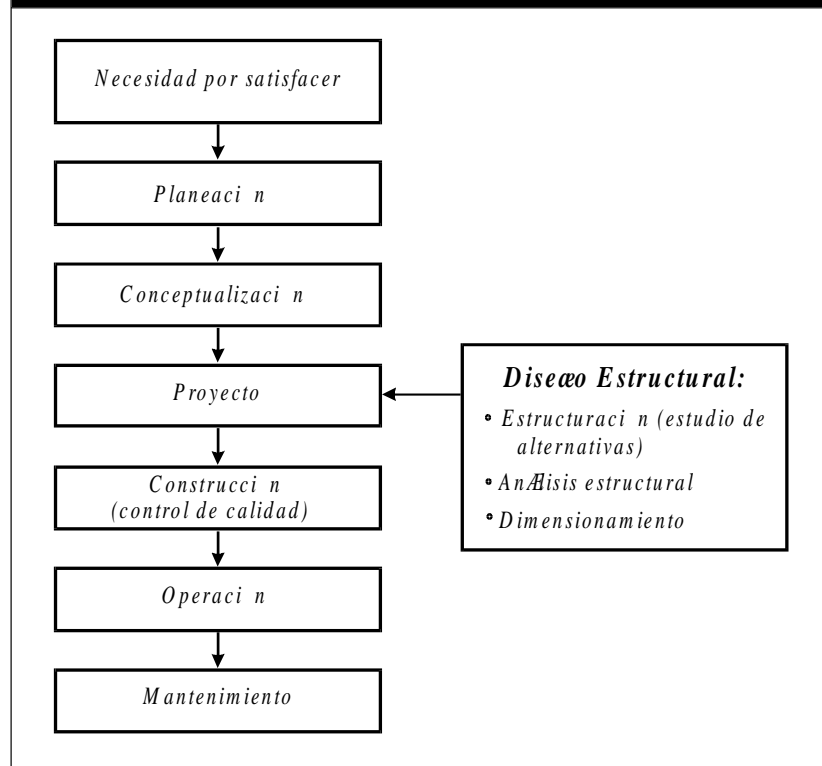
b) *Análisis*. Esta etapa requiere de menos experiencia por parte del ingeniero que la empleada en la estructuración, ya que aquí se realizan actividades similares a casi todos los proyectos; sin embargo, sí se requieren muchos conocimientos y habilidades. Básicamente, esta etapa agrupa las tareas necesarias

para evaluar la respuesta de la estructura ante las acciones que puedan preverse. Para esto, deben estimarse las magnitudes y distribuciones de las acciones y aplicarlas a un modelo (generalmente analítico) a fin de determinar su respuesta (deformación) y la distribución de fuerzas entre los distintos elementos que conforman la estructura. Es importante enfatizar que, durante este proceso, la estructura no existe más que en papel, pero resulta imperioso estimar cómo se comportará una vez construida a fin de evitar condiciones inaceptables en cuanto a seguridad y funcionamiento. Actualmente, esta respuesta se obtiene numéricamente con la ayuda de programas de computadora específicamente creados para esta tarea. Esta etapa también arroja información sobre las reacciones que la estructura transmitirá al suelo. Información útil para el diseño de la cimentación y el análisis de posibles asentamientos de la estructura, es decir, determinar si serán tolerables.

c) *Dimensionamiento*. Aquí se seleccionan las dimensiones y características de todos los elementos de la estructura a fin de que ésta responda con seguridad (y funcionalidad) a las acciones predeterminadas. Por ejemplo, en el caso de una columna de un edificio de concreto reforzado, se definen las dimensiones de su sección transversal, su refuerzo longitudinal y su refuerzo transversal. Debe comprobarse que este dimensionamiento impida que la columna falle ante las distintas condiciones de carga, pero también debe impedir que el edificio en su conjunto se deforme más de lo razonablemente permitido.

Las etapas anteriores, aun presentadas de manera separada, generalmente requieren de un proceso iterativo para completar un diseño. Por ejemplo, si el dimensionamiento conduce a una columna con una sección transversal re-

FIGURA 1. ESQUEMA DE LOS PRINCIPALES PASOS PARA LA REALIZACIÓN DE UNA OBRA DE INGENIERÍA CIVIL.



lativamente grande, quizás convenga proponer al arquitecto una estructuración diferente que contemple separaciones menores entre columnas. Obviamente la segunda etapa del proceso también se verá afectada con este cambio.

Como lo sugiere la descripción anterior del proceso de diseño, la labor del ingeniero estructurista se relaciona principalmente con la de arquitectos, constructores y otros ingenieros (por ejemplo de instalaciones eléctricas), así como con especialistas o proveedores de la industria de la construcción. En este medio profesional, en el caso de construcciones urbanas, generalmente el arquitecto tiene un contacto más directo con el cliente que el ingeniero. El arquitecto compila las necesidades arquitectónicas del cliente y las satisface mediante el desarrollo de uno o varios anteproyectos de espacios y ambientes (proyecto arquitectónico). Posteriormente, el arquitecto consulta con el ingeniero en estructuras para proponer un sistema estructural que se ajuste a cada una de las alternativas arquitectónicas. Una vez que el arquitecto acuerda con el cliente el proyecto a desarrollar, el ingeniero en estructuras tiene la tarea de definir con precisión los tamaños y especificaciones de los elementos de la estructura.

El ingeniero en estructuras no sólo participa en el diseño de edificios (habitationales, comerciales, etcétera) sino también en el proyecto y diseño de otras construcciones como: puentes, plantas generadoras de energía eléctrica, plantas industriales, plantas de tratamiento de aguas residuales, túneles, tanques, instalaciones deportivas y culturales, e incluso, de presas, reactores nucleares, torres de transmisión de energía eléctrica y otros. La labor del ingeniero en estructuras frecuentemente se relaciona con el desarrollo y la investigación, lo que resulta en nuevos sistemas estructurales, depuración de procedimien-

tos y la elaboración de reglamentos de construcción y de normas; asimismo, su labor se complementa en las aulas de universidades e institutos de enseñanza superior con la transmisión de conocimientos a futuros ingenieros o especialistas del área.

También es importante que, al igual que todos los profesionistas, el ingeniero estructurista extienda sus conocimientos entre sus pares y aun entre los no especialistas para lograr que conozcan y valoren su labor y, al mismo tiempo, se abran canales para captar la opinión del público.

Cada uno de los casos anteriores generalmente contempla un aspecto de diseño que lo hace particularmente interesante. Por ejemplo, el proyecto de un edificio alto requiere que el diseño final sea económico y, a la vez, acorde con el proyecto arquitectónico; que responda de manera segura y funcional ante todas las acciones previsibles que actuarán en su vida útil; las solicitaciones contra sismo o viento generalmente constituye la condición de carga que rigiere el diseño de un edificio. Además, muchas veces no es la resistencia (contra la falla) lo que define el tamaño de las secciones de la estructura, sino la *rigidez*; esta última impide que la estructura se deforme más allá de los límites aceptables. En algunos edificios altos, es necesario instalar aditamentos especiales que disminuyan el nivel de vibración lateral; en otros, los aisladores sísmicos y los disipadores de energía también pueden considerarse.

El diseño de puentes reviste especial importancia porque resulta un problema característico de la ingeniería estructural. La acción sísmica es importante para el diseño de algunos puentes; sin embargo, el análisis de las cargas variables (cargas vivas debidas a los vehículos que pasarán por el puente) es un aspecto que hace especial e interesante el diseño. El hecho de que las cargas de los vehículos pue-

dan tener distintas magnitudes y éstas se ubiquen en diferentes posiciones, obliga a analizar varias combinaciones de carga para llegar a establecer las condiciones que rigen el diseño. En el caso de puentes colgantes el diseño contra el viento o sismo es un problema aún más interesante.

Otro caso relevante es el diseño de tanques de agua; generalmente éstos son elevados para tener una carga hidráulica útil y su diseño se rigiere por los empujes hidráulicos sobre las paredes y la base del tanque. En el caso de tanques localizados en zonas sísmicas, además de los empujes hidrostáticos se generan empujes hidrodinámicos; cuando se trata de tanques de concreto es muy importante que el refuerzo tenga un recubrimiento (de concreto) adecuado a fin de evitar su corrosión.

Como se indicó antes, una estructura debe ser segura y funcional. De acuerdo con los criterios modernos de diseño basados en *estados límite*, la estructura debe responder (deformándose, agrietándose, etcétera) ante las distintas *acciones* (cargas, aceleraciones causadas por sismos, efectos térmicos, y otras) de forma tal que no rebase ningún estado límite, los cuales pueden ser de *falla* o de *servicio*. Los primeros están relacionados con la seguridad de la estructura y los últimos con su funcionalidad y durabilidad. Para las estructuras convencionales los reglamentos de diseño generalmente prescriben cuáles son los estados límite que deben revisarse en cada caso.

Todas las variables que intervienen en el proceso de diseño (dimensiones, propiedades de los materiales, cargas y resistencias) son cantidades desconocidas pero aleatorias, lo cual quiere decir que pueden tener valores menores o valores mayores de los supuestos para el diseño. Por lo tanto, pueden presentarse, aunque con una probabilidad baja, condiciones desfavorables donde

se combinen cargas más altas de lo esperado junto con resistencias menores a las esperadas. Es por ello que las estructuras requieren de un margen de seguridad adecuado y no pueden considerarse 100% seguras. En el diseño, lo que se busca es que la probabilidad de falla sea muy baja y congruente tan-

to con su costo inicial como con las consecuencias de un posible colapso. Para las estructuras convencionales, los reglamentos marcan el margen de seguridad requerido para el uso y tipo de la construcción, así como los proce-

dimientos para lograr suficiente calidad en los procesos de diseño y construcción a fin de que las diversas variables que intervienen en el diseño queden dentro de límites tolerables.

Por lo que se refiere a la seguridad, lo anterior sugiere que la probabilidad de falla de la estructura diseñada puede mantenerse muy baja si no se exceden ciertos estados límite de falla (colapso, inestabilidad, cortante, fatiga, adherencia, etcétera). En la tabla 1 se presentan algunos estados límite de falla con ejemplos típicos que los ilustran.

Con respecto a la funcionalidad, ésta se cumple (teóricamente) en el diseño si no se exceden ciertos estados límite de servicio (y de daños). Éstos son valores máximos de desplazamiento, agrietamiento, vibración, etcétera. En la tabla 2 se presentan algunos estados límite de servicio.

En la actualidad, el ingeniero estructuralista cuenta principalmente con las siguientes herramientas para el diseño: los métodos analíticos, las normas de diseño y la experimentación. Los métodos analíticos engloban teorías que se valen de idealizaciones matemáticas de la estructura (geometría y material) y de las acciones a las que se sujeta para obtener estimaciones de la respuesta estructural que se debe hacer compatible con los requisitos del diseño. Estas estimaciones generalmente se obtienen de manera numérica y para ello son de mucha utilidad las computadoras y los programas específicos. Las teorías empleadas incluyen conceptos de estática, resistencia de materiales, dinámica estructural, etcétera. Los valores de respuesta usados en el diseño son las *fuerzas* y los *desplazamientos*; en las primeras se engloban las fuerzas axiales, las fuerzas cortantes, los momentos flexionantes, entre otros. Además, a los desplazamientos (horizontales y verticales) se unen los giros.

TABLA 1

DESCRIPCIÓN Y EJEMPLOS DE ALGUNOS ESTADOS LÍMITE DE FALLA		
ESTADO LÍMITE DE FALLA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
VOLTEO	DESPLAZAMIENTO LATERAL Y CAÍDA DE CONJUNTO.	UN EDIFICIO QUE SE VOLTEA DURANTE UN SISMO.
INESTABILIDAD	CRECIMIENTO EXCESIVO DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES OCASIONADO POR FUERZAS AXIALES.	UNA COLUMNA MUY ESBELTA CON CARGA AXIAL GRANDE.
FATIGA	RUPTURA POR LA APLICACIÓN REPETITIVA DE CARGAS.	UN TORNILLO QUE SOPORTA LA BASE DE UNA MÁQUINA VIBRATORIA.
CORTANTE	RUPTURA POR LA APLICACIÓN DE CARGAS TRANSVERSALES.	UNA VIGA DE CONCRETO SIN ADECUADO REFUERZO TRANSVERSAL (ESTRIBOS).
FRACTURA	ROTURA DE PARTES CRÍTICAS, GENERALMENTE DE MANERA REPENTINA.	EL APOYO DE UN PUENTE.
FLEXIÓN	FLUENCIA (DEFORMACIÓN ILIMITADA A ESFUERZO CONSTANTE).	UNA VIGA DE ACERO MUY LARGA Y CON DEMASIADA CARGA TRANSVERSAL.
ADHERENCIA	MOVIMIENTO RELATIVO DEL REFUERZO RESPECTO AL CONCRETO QUE LO RODEA.	UN ANCLA MUY CORTA DE UNA COLUMNA O POSTE EN VOLADIZO.

TABLA 2

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO		
ESTADO LÍMITE DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
DESPLAZAMIENTO VERTICAL	MÁXIMA FLECHA QUE DEBE EXPERIMENTAR UNA VIGA O LOSA.	SE DEBEN PREVER LOS DESPLAZAMIENTOS A LARGO PLAZO OCASIONADOS POR EL FLUJO PLÁSTICO DEL CONCRETO.
DESPLAZAMIENTO LATERAL	MÁXIMO DESPLAZAMIENTO LATERAL RELATIVO ENTRE DOS ENTREPISOS.	ESTE DESPLAZAMIENTO ES CRÍTICO DURANTE SISMOS. PRETENDE CONTROLAR LA RUPTURA DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES TALES COMO MUROS DIVISORIOS Y CANCELES.
AGRIETAMIENTO	AGRIETAMIENTO EXCESIVO EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO.	EL AGRIETAMIENTO EN EL CONCRETO REFORZADO ES ACEPTABLE, PERO DEBE CONTROLARSE.
VIBRACIÓN	VIBRACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.	MUCHAS VECES UNA LOSA, POR EJEMPLO, NO SE ROMPE (FALLA), PERO SI VIBRA DEMASIADO PUEDE CONSIDERARSE MAL DISEÑADA.
DAÑOS	DETERIOROS LENTOS O PROGRESIVOS.	POR EJEMPLO: LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

Los valores de respuesta obtenidos se comparan con los prescritos por los reglamentos de diseño. Así, las *fuerzas* se comparan con los valores que las normas prescriben para los estados límite de falla y los *desplazamientos* con los valores de los estados límite de servicio. Un buen diseño debe satisfacer, al menos, todos los estados límite que estipulan los reglamentos de diseño. Algunos casos especiales necesitan satisfacer algunos otros estados límite, como es el caso de asentamientos de la cimentación, impermeabilidad, dilatación térmica, etcétera.

En ocasiones no es suficiente con los resultados obtenidos por medio de los métodos antes descritos y el *análisis* de la estructura debe complementarse con los resultados de pruebas experimentales, generalmente realizados sobre modelos físicos a escala. El modelo físico puede representar la estructura completa o parte de ella; el uso de experimentación se recomienda para tipos de estructuras poco comunes o para sistemas o subsistemas estructurales en etapa de desarrollo. La experimentación también se emplea (a nivel de investigación) para soportar los valores de los estados límite de falla que recomiendan los reglamentos de diseño. Por ejemplo, en México el diseño de *El Palacio de los Deportes* se complementó con el estudio de un modelo a escala.

II. Problemas que prevé y resuelve el ingeniero estructurista

La actividad del ingeniero no siempre es apreciada por todos, sólo cuando hay problemas en el proyecto o en la construcción la gente se interesa en saber qué hizo; esto se debe, en parte, a que su trabajo no es del todo tangible como lo puede ser el de otro profesionista, pues sólo los resultados plasmados en planos, en memorias de cálculo o en dictámenes llegan a ser tan-

gibles, sin embargo no alcanzan a reflejar todo el trabajo que está detrás de ellos. La construcción, la cual sí es tangible, suele verse como una obra del arquitecto y/o del constructor, no del ingeniero estructurista. Con el fin de mostrar algunos aspectos adicionales de la actividad de este último a través de los problemas que prevé y resuelve, en esta sección se comentan algunos problemas que resaltan la importancia de su actividad. Su participación conlleva riesgos por la misma naturaleza humana de la ingeniería (Petroski, 1985).

El primero es el problema de la economía de la construcción.¹ En muchos proyectos, un constructor puede omitir la participación de un ingeniero sobrediseñando todos los elementos estructurales, esto es, con columnas muy gruesas, traveses muy peraltados, con mucho refuerzo, con demasiada soldadura, etcétera. Si el dueño de la construcción está dispuesto a ello, probablemente no haya muchos problemas; sin embargo, generalmente se busca un equilibrio entre la economía de la construcción y los límites de seguridad y funcionalidad; ésta es la labor del ingeniero estructurista.

Resulta interesante comentar un punto que no es conocido por todas las personas que invierten en una construcción, pero que afecta su economía. Muchas veces los honorarios del constructor son un porcentaje de la inversión, o en otras palabras, de lo gastado en la construcción. Si este es el caso, el constructor deja de preocuparse por la economía de la obra, de lo contrario verá disminuidos sus ingresos. Esto es común, pues incluso el constructor evita la participación del ingeniero estructurista ofreciendo al cliente el proyecto estructural sin costo inicial. Ante los ojos del inversionista, este obsequio parece ser un buen gesto del constructor y un “ahorro” ya que deja

de “gastar” en los honorarios del ingeniero; el inversionista no sabe que en el transcurso de la construcción gastará más que lo que el ingeniero estructurista pudo haber facturado por sus honorarios.

Aun cuando los honorarios de un ingeniero estructurista dependen de muchos factores, se puede considerar como base el 1% del valor de la construcción. Como puede verse, esta cantidad no es alta si se considera que el ahorro que se puede lograr con su participación es considerablemente mayor que este porcentaje; además, está el beneficio de que habrá una persona específicamente dedicada a la seguridad, durabilidad y funcionalidad de la construcción.

Un problema común, relacionado también con la economía de la construcción, es el de la *durabilidad*. Aun cuando esto es importante para estructuras de concreto y de acero, por brevedad aquí sólo se trata un aspecto muy específico relacionado con la durabilidad de estructuras de concreto: el recubrimiento del refuerzo, el cual debe especificarse claramente en los planos de construcción, ya que afecta (Ghali, 1998):

La fuerza de tensión en las varillas. La capacidad de un elemento a flexión, por ejemplo, está en función de la distancia de la zona de compresión al nivel del refuerzo de tensión; si el recubrimiento se aumenta, esta distancia se disminuye junto con la capacidad de flexión.

La resistencia contra el fuego. Aun cuando es poco común que el recubrimiento se proponga en función de la resistencia al fuego, es claro que también protegerá al refuerzo del fuego: basta recordar que la resistencia del acero de refuerzo disminuye a temperaturas altas.

1. Para destacar uno de sus rasgos característicos, es usual mencionar que un ingeniero es aquel profesionista que construye con un peso (\$1) lo que otra persona hace con \$2.

El agrietamiento del concreto. Para evitar agrietamiento excesivo por contracción durante el secado del concreto (el cual puede ser perjudicial tanto por estética como para la durabilidad de la construcción) debe colocarse el refuerzo bien espaciado y lo suficientemente cerca de la superficie expuesta.

La corrosión. Si el acero de refuerzo no se recubre, se puede corroer. La corrosión puede llevar a una pérdida total del recubrimiento la cual, a su vez, va en detrimento de la durabilidad de la construcción. Por lo anterior, el recubrimiento del refuerzo debe ser suficiente y, también, de buena calidad.

El ingeniero estructurista usualmente conoce estos aspectos básicos y especifica el adecuado recubrimiento del refuerzo, a fin de que la construcción diseñada no tenga problemas de durabilidad o de estética por agrietamiento excesivo.

Otro problema económico se da cuando una estructura tiene una falla. Por ejemplo, en el año de 1981 se cayó un pasillo del hotel Hyatt Regency de Kansas, EUA (Roddis, 1993 y Petroski, 1985). Los soportes de dos pasillos sus-

pendidos por cables se rompieron cuando había entre 1,500 y 2,000 personas cerca del lugar. Aproximadamente 50 mil kg (490 kN) de escombros, así como los huéspedes que estaban en los pasillos, cayeron sobre el vestíbulo del hotel. Murieron 114 personas y cerca de 200 resultaron seriamente heridas. La falla se debió a un mal diseño del sistema de soporte de los pasillos (detalle de su conexión). El detalle y su diseño eran muy sencillos; sin embargo, un pequeño cambio (para simplificar el proceso constructivo) duplicó las cargas de diseño de la unión (figura 2). Dada la aparente simplicidad del detalle, los ingenieros no le dieron la importancia debida al cambio, y aprobaron sin más miramientos el nuevo detalle. Independientemente de que los ingenieros fueron acusados de negligencia, las indemnizaciones excedieron varias veces el costo del edificio. Este accidente ilustra la gran responsabilidad que tiene el ingeniero estructurista; por ello, es importante que cada etapa de un proyecto, por insignificante

que ésta parezca, tome su tiempo y que cada punto del diseño se analice cuidadosamente, preferentemente en equipo.

Conclusiones

Después de un recorrido por las actividades y responsabilidades del ingeniero estructurista, se resume que:

a) El *diseño estructural* es el proceso creativo mediante el cual el ingeniero estructurista determina la forma y las características de la estructura de una construcción; comprende las etapas de estructuración, análisis y dimensionamiento.

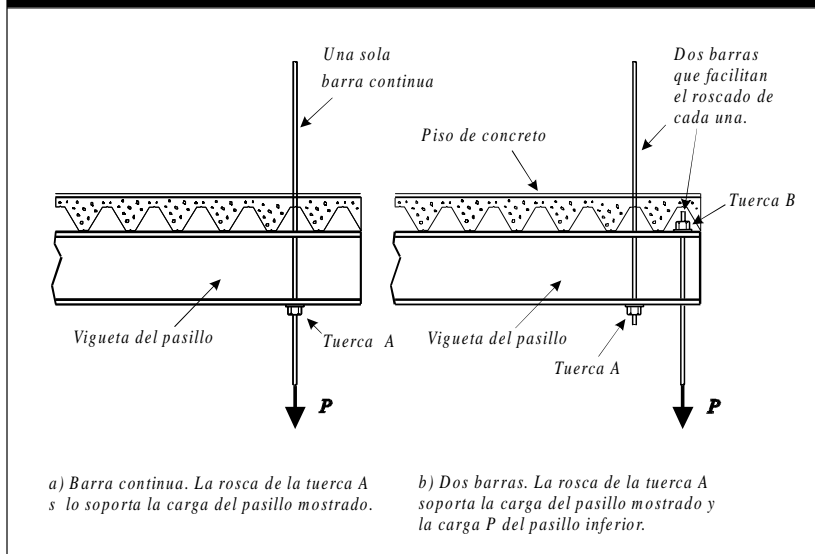
b) La labor del ingeniero de estructuras es muy importante para el progreso de un país ya que contribuye a la realización de la infraestructura necesaria para su desarrollo.

c) En todo proyecto de una obra civil se requiere la intervención del ingeniero de estructuras, quien debe de trabajar en equipo con otros especialistas desde las primeras etapas del proyecto para lograr una verdadera economía congruente con el margen de seguridad exigido por la sociedad a través de los reglamentos de construcción.

d) Las consecuencias de la falla de una estructura pueden ser muy severas en términos de pérdida de vidas humanas y económicas. Por ello, se requiere la participación de ingenieros estructuristas competentes. Su responsabilidad debe estar relacionada con sus honorarios.

Se puede prever que, al igual que otras disciplinas, se tendrá un avance importante en la ingeniería estructural a través de la incorporación de nuevos materiales, el mejoramiento de los existentes y la incorporación de nuevos sistemas estructurales (Billington, 1985). El desarrollo y el uso de herramientas computacionales sofisticadas que per-

FIGURA 2. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL DETALLE QUE CAUSÓ LA FALLA DE LOS PASILLOS EN EL HOTEL HYATT REGENCY DE KANSAS (1981).



mitan simular de mejor manera las distintas condiciones de carga y la respuesta de los materiales en el análisis, también impactará positivamente en el desarrollo de la ingeniería estructural. Este avance propiciará una mejor respuesta a las demandas de la sociedad (alimentación, transporte, salud, educación, etcétera) en términos de más y mejores edificios, presas, puentes, complejos industriales, tanques, plantas tratadoras de aguas, entre otras. 🏠



BIBLIOGRAFÍA

Billington, D. P. (1985). *The Tower and the Bridge*. Princeton University Press.

Ghali, A. (1998) "Concrete Cover to Reinforcement-or Cover up?", en *Concrete International, American Concrete Institute*. Vol. 20, No. 11.

Meli, R. (1985). *Diseño estructural*. Limusa, México.

Petroski, H. (1985). *To Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design*. St. Martinn's Press, New York.

Roddis, W. M. (1993). "Structural Failures and Engineering Ethics", en *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers*. Vol. 119, No. 5.

White, R.; Gergely, P. y Sexsmith, R. (1980). *Ingeniería estructural. Vol. 1: Introducción a los conceptos de análisis y diseño*. Limusa, México.