

Enseñanza de las estructuras de acero en México

En el ámbito de la enseñanza de las estructuras de acero en México hay cinco problemas fundamentales que deben atenderse de manera urgente:

1. La materia de Estructuras metálicas (de acero) es optativa y no de carácter obligatorio en buena parte de las universidades mexicanas y centros de enseñanza superior; escuelas de ingeniería civil y de arquitectura.

2. Los programas de estudio en gran cantidad de centros de educación superior de nuestro país dedican sólo un semestre a la enseñanza de las estructuras de acero, lo cual resulta insuficiente porque sólo permite cubrir temas generales de diseño estructural de miembros aislados —elementos en tensión axial, miembros en compresión (columna aislada),

vigas (miembros en flexión) y columnas (elementos flexocomprimidos)— y deja un gran vacío en cuanto a conexiones trabe-columna y otras uniones importantes de la estructura que constituyen el punto medular de este tipo de construcción. De nada sirve efectuar un diseño estructural, a veces muy engorroso, de los diversos miembros constitutivos de un edificio, si no se conceptualizan y diseñan correctamente las conexiones, sean soldadas, atornilladas o una combinación de éstas.

3. El enfoque que se da en las escuelas de arquitectura a la impartición de la materia de estructuras de acero es en general inadecuado. Para proponer una estructura conveniente y congruente en los proyectos arquitectónicos que desa-

rollan en sus materias de composición arquitectónica o en los talleres integrales, los estudiantes de arquitectura deben entender los criterios generales para la conceptualización estructural y las reglas de predimensionamiento. Es común que en la carrera de arquitectura se imparta la materia de Estructuras de acero con el mismo contenido y enfoque que en las escuelas de ingeniería civil, lo cual es erróneo. El estudiante de arquitectura debe visualizar la manera de aplicar la estructura de acero y las alternativas estructurales para salvar los grandes claros que proyecta (véase gráfica 1); el cálculo estructural no es parte esencial de su formación académica, y frecuentemente se elude en ella lo que tiene que ver con el diseño estructural.



HÉCTOR SOTO RODRÍGUEZ
Director general del Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.

mms600mxb.blogspot.mx

En este artículo se presenta el estado actual de la enseñanza de las estructuras de acero en nuestro país, con recomendaciones generales y las contribuciones del autor en aras de coadyuvar a mejorar su calidad en las escuelas de ingeniería civil y de arquitectura de las universidades y centros de estudios superiores. Lo anterior permitirá en el mediano plazo uniformar los criterios de enseñanza y que los estudiantes de estructuras de acero de cualquier institución del país tengan una formación académica adecuada, suficiente y equiparable a la de las mejores universidades en las que se imparte esta asignatura.

4. Otro problema relacionado con lo anterior es la notoria falta de vinculación entre las materias de estructuras de acero y las de composición arquitectónica o talleres. Existe una apreciación genera-

lizada de que tal vinculación redundaría en beneficios notables en la formación académica que se brinda en la carrera de arquitectura, tanto en el ámbito de la enseñanza como en la práctica profesional

posterior. Cuando la arquitectura va de la mano con la ingeniería estructural se logran soluciones acertadas.

5. Otra de las limitaciones más severas en la enseñanza de las estructuras de acero



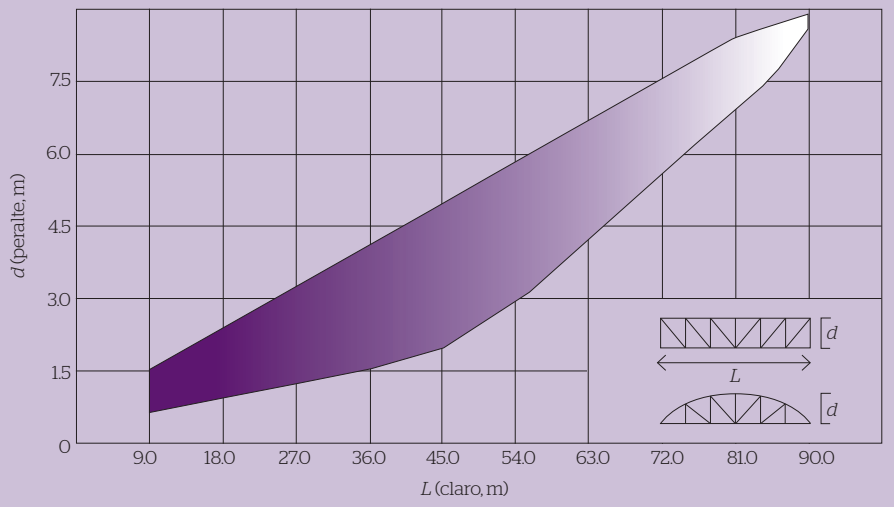
en México es la falta de recursos humanos especializados, y el hecho de que los profesores con amplia trayectoria profesional carezcan del tiempo necesario o el interés para mejorar las condiciones en las cuales se da la experiencia educativa.

Respecto al tercer problema mencionado, no hay que perder de vista que la mayor responsabilidad de los futuros arquitectos será proyectar espacios óptimos para que el usuario viva en condiciones de comodidad y bienestar durante la vida útil de una edificación, y que la fase de diseño estructural es responsabilidad del ingeniero estructurista.

El diseño estructural en las escuelas de arquitectura se enseña solamente "a medias". Para realizar un cálculo estructural que cumpla con las premisas fundamentales de seguridad y economía se necesitan conocimientos generales de ingeniería sísmica, de dinámica estructural y de mecánica de suelos, y estas materias también se excluyen de los planes de estudio de dicha carrera.

Recientemente, la mayoría de las escuelas de ingeniería civil y de arquitectura de nuestro país se han dedicado a actualizar sus planes de estudios para certificarse a través del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería y del Consejo para la Acreditación de Educación Superior. Ello ha obligado a que las instituciones de enseñanza superior revisen con especial cuidado y replanteen el contenido de la materia de Diseño de estructuras de acero con objeto de cambiar de una vez por todas el enfoque de diseño basado en esfuerzos permisibles

GRÁFICA 1. Peralte de armaduras en función del claro a salvar



(DEP) o diseño elástico (DE) por el diseño dual: diseño por factores de carga y resistencia (DFCR o LRFD) y diseño por resistencia permisible (DRP o ASD).

Por otra parte, como resultado de la actualización del manual de construcción en acero M-IMCA (5ª ed., 2014) y del Manual AHMSA para Construcción en Acero (1970-2014), ahora Manual de Diseño para la Construcción en Acero 2014, es importante difundir y modificar las filosofías de diseño tradicionales (DEP o DE) por métodos de diseño más racionales y modernos (LRFD-ASD).

Cabe señalar que desde hace varios años la mayoría de los países de América Latina ha dado este paso importante para adoptar el método dual LRFD-ASD, y los estudiantes mexicanos deben emprender rápidamente este cambio en el diseño de estructuras de acero para edificios.

Contribuciones

Se propone un menú de temas selectos de estructuras de acero para actualizar y enriquecer la formación académica:

1. La importancia de las estructuras de acero en la arquitectura contemporánea.

2. Criterios generales de estructuración de edificios de acero.

3. Eficiencia estructural de edificios de acero.

4. Predimensionamiento de elementos de acero estructural.

5. Diseño de elementos aislados de acero de acuerdo con la especificación ANSI/AISC 360-10.

6. Consideraciones generales de diseño de conexiones trabe-columna de acuerdo con ANSI/AISC 360-10.

7. Diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero.

8. Comportamiento sísmico de conexiones trabe-columna.

Cursos, videos y otras ayudas

El autor de este trabajo ha impartido en varias universidades el curso de diseño de conexiones trabe-columna para presentar los aspectos fundamentales de las conexiones soldadas y atornilladas, sus características, ventajas y aplicaciones, recomendaciones y diseño estructural, con énfasis en la especificación ANSI/AISC 360-10. Además, cuenta con una serie de videos que ilustran el comportamien-

to estructural de los diversos miembros sometidos a las solicitaciones comunes (tensión, compresión, vigas y columnas) y conexiones.

Con la participación de profesores y alumnos de las instituciones donde el autor imparte la materia de Estructuras de acero en maestría, se ha elaborado una gran cantidad de ayudas de diseño para facilitar el cálculo de elementos estructurales y de conexiones soldadas y atornilladas.

Si bien los diagramas de flujo propuestos hace muchos años por Theodore Galambos, profesor emérito de la Universidad de Minnesota, se utilizan actualmente en la materia de Estructuras de acero y

constituyen una base importante para programar hojas de cálculo Excel o macros y para la toma de decisiones en un problema particular de diseño en acero, se dispone ya de un buen número de diagramas de flujo para la enseñanza de las estructuras de acero con énfasis en la especificación ANSI/AISC 360-10.

De igual manera se ha preparado una serie abundante de ejemplos ilustrativos de diseño de miembros en tensión, compresión, vigas y columnas que ayudan al estudiante a interpretar correctamente la aplicación de la especificación ANSI/AISC 360-10, que es la normatividad de uso común en América Latina.

Propuesta de actualización para licenciatura

Con objeto de uniformar los conocimientos sobre las estructuras de acero en los centros educativos de México donde se imparte esta materia, se sugiere actualizar su contenido de acuerdo con el temario siguiente:

1. Introducción
2. Aspectos generales de las estructuras de acero
3. Tipos de aceros estructurales
4. Propiedades relevantes de los aceros estructurales
5. Perfiles laminados y armados de acero estructural. Designación y usos convenientes

PUBLICIDAD



6. Criterios y bases de diseño de conformidad con la especificación ANSI/AISC 360-10

7. Miembros en tensión axial

7.1. Definición

7.2. Usos

7.3. Secciones transversales típicas

7.4. Comportamiento de miembros en tensión axial

7.5. Modos de falla

7.6. Propiedades geométricas (áreas de las secciones transversales): área total, área neta y área neta efectiva

7.7. Cortante diferido o relajación por cortante (*shear lag*)

7.8. Resistencia de diseño y resistencia permisible

7.9. Cargas y combinaciones de carga

7.10. Detalles de las conexiones de miembros en tensión

7.11. Ejemplos de diseño

8. La columna aislada (miembro en compresión axial)

8.1. Definición

8.2. Usos

8.3. Secciones transversales típicas

8.4. Comportamiento de miembros en compresión axial

8.5. Modos de falla

8.6. Estados de equilibrio: estable, indiferente e inestable

8.7. Tipos de columnas

8.8. Carga crítica de Euler

8.9. Pandeo por flexión

8.10. Pandeo elástico

8.11. Pandeo inelástico

8.12. Factores de longitud efectiva

8.13. Condiciones de apoyo de columnas

8.14. Pandeo local

8.15. Relaciones ancho-grueso

8.16. Pandeo lateral por flexotorsión

8.17. Resistencia de diseño (LRFD) y resistencia permisible (ASD)

8.18. Ejemplos de diseño

8.19. Detalles de las conexiones de miembros en compresión axial

9. Miembros en flexión (vigas)

9.1. Definición

9.2. Usos

9.3. Secciones transversales típicas

9.4. Vigas isostáticas o estáticamente determinadas

9.5. Vigas continuas o estáticamente indeterminadas

9.6. Teoría plástica simple. Factor de forma, articulación plástica, redistribución de momentos, métodos de análisis plástico (estático y cinemático) para determinar la carga de colapso

9.7. Comportamiento de miembros en flexión y modos de falla

9.7.1. Vigas en flexión pura

9.7.2. Pandeo lateral elástico

9.7.3. Pandeo lateral inelástico

9.8. Vigas soportadas lateralmente (vigas sin pandeo lateral)

9.9. Vigas sin soportes laterales (vigas con pandeo lateral)

9.10. Clasificación de las secciones de acero

9.11. Vigas compuestas acero-concreto

9.12. Trabes armadas

9.13. Requisitos generales de diseño

9.13.1. Flexión

9.13.2. Cortante

9.13.3. Flechas o deflexiones

9.13.4. Vibraciones (conceptual)

9.14. Especificación de diseño. Resistencia de diseño (LRFD). Resistencia permisible (ASD)

9.15. Ejemplos de diseño

10. Columnas o elementos flexocomprimidos

10.1. Definición

10.2. Usos

10.3. Secciones transversales típicas

10.4. Tipos de columnas

10.4.1. Columnas que forman parte de marcos con contraventeo concéntrico

10.4.2. Columnas que pertenecen a marcos con contraventeo excéntrico

10.5. Diseño por estabilidad. Análisis elásticos de primer y segundo orden

- 10.6. Especificación de diseño. Resistencia de diseño (LRFD). Resistencia permisible (ASD)
- 10.7. Ecuaciones de interacción
- 10.8. Ejemplos de diseño
- 11. Placas base
 - 11.1. Introducción
 - 11.2. Placas base sujetas a compresión axial
 - 11.3. Placas base a compresión axial y a flexión
 - 11.4. Ejemplos de diseño
 - 11.5. Detalles de placas base columnas

Al final del curso propuesto, el estudiante adquirirá los conocimientos suficientes para diseñar una estructura de acero de un edificio convencional de altura media: columnas, traveses, vigas secundarias, armaduras, diagonales de contraventeo, revisión del sistema de piso compuesto acero-concreto, placas base y anclas. Asimismo, será capaz de efectuar la conceptualización de las diversas conexiones de la estructura del edificio.

Propuesta de evaluación nacional de estructuras de acero

Con el propósito de contribuir a mejorar el nivel de enseñanza de la materia de Estructuras de acero, se propone un cuestionario de conceptos generales en el que se resumen los conocimientos mínimos que debe tener un estudiante que cursa esta asignatura (materia o unidad de aprendizaje) en las escuelas de ingeniería civil.

1. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas inherentes del acero estructural que lo hacen conveniente como material de construcción en estructuras de edificios localizados en zonas sísmicas?



2. Menciona los sistemas estructurales comunes en edificios de acero, incluyendo los más convenientes en zonas de alta sismicidad.

3. ¿Qué son los esfuerzos residuales y qué influencia tienen en la resistencia de los miembros de acero estructural?

4. Describe las diferencias entre los métodos de diseño basados en factores de carga y resistencia (DFCR o LRFD) y resistencia permisible (DRP o ASD).

5. ¿Cuáles son los estados límite que deben revisarse en un miembro en tensión axial conectado al resto de la estructura con tornillos de alta resistencia ASTM (NMX-H)?

6. ¿Qué significa el fenómeno "cortante diferido o relajación por cortante (*shear lag*)" y en qué casos debe tomarse en cuenta en el diseño de juntas y conexiones atornilladas y soldadas?

7. Explica de manera precisa en qué consiste el modo de falla de ruptura por cortante y tensión combinadas en un miembro en tensión axial atornillado en sus extremos. ¿Qué recomendaciones para evitar que esta forma de falla no sea crítica?

8. Indica los problemas de inestabilidad que pueden ocurrir en miembros sujetos a flexión (vigas).

Interpretación de la especificación ANSI/AISC 360-10

Para ilustrar las disposiciones de diseño de la especificación ANSI/AISC 360-10, se ha elaborado una serie de ilustraciones que permiten al estudiante entender correctamente la especificación para su aplicación inmediata.

Finalmente, se considera que hay otras áreas de conocimiento que deberían incluirse en los programas de estudio de la materia de estructuras de acero:

- Prácticas de laboratorio para analizar el comportamiento estructural de los diversos miembros que constituyen una estructura.
- Elaboración de modelos estructurales.
- Visitas a talleres de fabricación de estructuras metálicas.
- Visitas a obras en proceso de montaje.
- Uso de programas de computadora en aulas o en laboratorios para el diseño estructural.
- Organización de concursos nacionales de proyectos arquitectónicos y de diseño estructural.
- Difundir una cultura permanente del acero entre estudiantes de arquitectura y de ingeniería civil 🛑