

LA CONSTRUCCIÓN CON ESTRUCTURA DE ACERO

CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN

La construcción metálica tiene ya su historia y tradición. No en vano tenemos aún en uso realizaciones pioneras de hace más de dos siglos y está grabada en la retina de la Sociedad merced a construcciones como la Torre Eiffel, los grandes puentes y estaciones de ferrocarril o las tristemente célebres Torres Gemelas de Nueva York.

La estructura metálica, hoy día en acero, es un método alternativo de construcción al del hormigón estructural con ventajas e inconvenientes claramente establecidos.

El acero es un material de elevada resistencia específica, resistencia por unidad de peso, por lo que el diseño conduce a elementos de reduci-

José Luis Ramírez Ortiz
Dr. Ingeniero Industrial
Catedrático de Estructuras E.T.S.I.
de Bilbao
Consultor en LABEIN

da sección transversal, con lo que, por ejemplo, las estructuras de pisos pueden tener gran diafanidad por las grandes luces y esbeltas columnas. Existen hoy perfiles en H que con dimensiones externas del orden de medio metro, espesores de 100 mm y acero S355 podrían ser columnas de un edificio de 100 pisos de altura, e incluso hay perfiles mayores.

Otra característica importante es la de la rapidez de construcción, motivada por la posibilidad de simultanear trabajo en taller y en obra, y facilitada por los pesos propios

reducidos que repercuten en las operaciones de montaje y transporte. En este mismo sentido, la construcción metálica tiene grandes posibilidades de modificación y de facilitar, y no perturbar, actividades posteriores en la obra por su carácter autoportante y de flexibilidad de ejecución.

También son muy relevantes la ductilidad, que puede hacerla apropiada para edificios sometidos a sollicitación sísmica, la ligereza, por su repercusión en las cimentaciones, y la desmontabilidad, para traslado y nuevos usos o reciclaje.

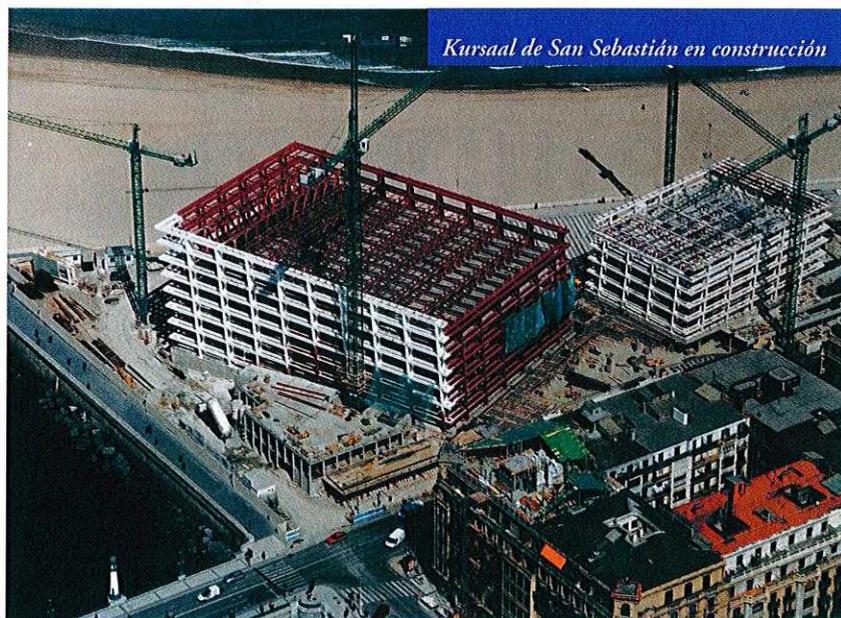
Los inconvenientes fundamentales son la necesidad de protección contra la corrosión y el fuego, respecto a lo que se ha avanzado mucho en las últimas décadas, existiendo hoy, en cuanto al fuego, un cuerpo de doctrina fruto de los recursos que la industria siderúrgica ha dedicado a la investigación, que va a hacer cambiar los métodos de diseño actuales, en ocasiones muy limitativos, hacia otros más acordes con el problema.

Aún cuando el balance de ventajas e inconvenientes sea altamente favorable, en España la tasa relativa de utilización del acero en la construcción es muy baja en relación a otros países de ámbito europeo. Donde se advierte la mayor diferencia es en los edificios de vivienda y comerciales, en que la proporción de nuestro país es, por ejemplo, la cuarta parte de la británica.

Las razones son bastantes. Hay unas procedentes de épocas ya remotas en que el sector del acero estuvo protegido con lo que ello supuso de precios elevados, escasez de produc-

Paloma del aeropuerto de Bilbao





Kursaal de San Sebastián en construcción

tos y normativa endógena y estática. La construcción metálica estaba fundamentalmente orientada a su uso en instalaciones industriales.

Por otra parte, las enseñanzas técnicas relacionadas con la Construcción, sobre todo en las Escuelas de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, han concentrado su docencia alrededor del hormigón como material estructural al estar dicho sector profesional, más en contacto con la gran obra pública. El mundo de la Arquitectura, también ha sido muy ajeno a la estructura metálica, al considerarla más del campo de la Ingeniería.

Todo ello ha propiciado que las empresas constructoras hayan trabajado más con el hormigón y por ello sus técnicos se han incorporado a grupos de trabajo y de normativa nacional e internacional sobre dicho material, no siendo así en el sector de la estructura metálica.

Finalmente, se puede decir que la industria siderúrgica ha tardado en lanzar organizaciones nacionales de promoción del acero hasta época bien reciente en que se han creado ITEA e ICT, de las que más adelante hablaremos, lo que ha hecho que el ambiente tecnológico alrededor de la estructura metálica haya estado ralentizado durante muchos años.

ASPECTOS ACTUALES RELATIVOS A LA INVESTIGACIÓN

La investigación en relación con la construcción en acero en nuestro entorno se desarrolla en las propias empresas siderúrgicas y en el Programa Acero de la CECA, fundamentalmente. En el V Programa Marco de la Unión Europea también se habilitó un apartado que recogía propuestas en este campo.

La finalidad de la investigación es resolver problemas relacionados con el diseño económico y competitivo de la construcción en acero, desarrollando reglas de cálculo armonizadas para los Eurocódigos 3 y 4, referidos a estructuras de acero y mixtas respectivamente, y desarrollar nuevas áreas para estimular la competitividad del acero.

Hay variados campos de actividad, como se corresponde con el ámbito de la construcción en acero, pero nos limitaremos a dar una pincelada sobre tres temas de interés que ilustran sobre dicha actividad.

Aceros de alta resistencia

Para referirnos con propiedad a aceros de alta resistencia deberíamos considerar valores realmente altos como, por ejemplo, los empleados en el puente Akashi Kaikyo abierto hace

tres años en Japón, con un tramo central suspendido de 2 km y 4 km de longitud total. Es el puente mayor del mundo en su género y se han empleado en él cables de alambre galvanizado de 1.770 MPa y acero estructural de 570 MPa en torres y 690 y 750 MPa en vigas.

En Europa también se fabrican aceros semejantes pero, aunque no se considere correcto en el ámbito siderúrgico, hablando de alta resistencia solemos referirnos, sin embargo, a los aceros S420 y S460 de la Normativa, que poseen elevada resistencia y ductilidad además de excelente soldabilidad.

Se puede afirmar que, aunque esté aceptado su uso en el Eurocódigo 3, la aplicación de estos aceros está aún muy restringida debido a la existencia todavía de lagunas de conocimientos en cuanto a cómo proyectar y fabricar, de restricciones administrativas y de certificación y de disponibilidad muy limitada de perfiles. Hay varios proyectos de investigación CECA finalizando que mejorarán la situación.

Concepto de incendio natural

El aspecto de la debilidad de la resistencia a incendio de la estructura de acero, debido a la gran superficie respecto a la masa y alta conductividad térmica, ha espoleado enormemente la actividad relativa al mejor conocimiento de este fenómeno. Estimo que, en estos momentos, estamos al final de este camino y que, más que problemas técnicos, el esfuerzo está en convencer a las autoridades correspondientes en cuanto a las exigencias realistas que deben aplicarse y lograr su confianza en la metodología de cálculo que se ha desarrollado.

Hoy en día se dispone de abundantes guías de cálculo y programas informáticos para analizar el tema del fuego. Como consecuencia de ello, se ha llegado a establecer lo que se denomina "Concepto de seguridad a incendio natural" que se basa en curvas

de incendio reales en vez de la curva ISO, absurdamente penalizadora.

Las nuevas teorías de diseño a fuego se han verificado experimentalmente. Se han realizado incendios en edificios de pisos tamaño natural, en naves industriales altas o garajes. Unas veces eran edificios próximos a demoler; otras, edificios específicamente dedicados a experimentación como los del *Building Research Establishment* en Cardington o bien edificios para el entrenamiento de bomberos.

Desde mi punto de vista, esta actividad investigadora pionera del sector de estructuras de acero respecto al fuego, va a ser paradójicamente de gran utilidad para el sector del hormigón al que últimamente la normativa está imponiendo restricciones a las que no estaba acostumbrado y que pueden condicionar su diseño.

Estructuras mixtas

La construcción mixta es un campo de gran interés para el sector. La conexión de placas de hormigón armado, necesaria funcionalmente en los edificios, con perfiles metálicos dan lugar a vigas mixtas con menores pesos, dimensiones, encofrados y andamiajes.

Por otra parte, las columnas en construcción mixta, además de aumentar la resistencia a compresión, mejoran el tiempo de resistencia al incendio por la presencia de hormigón.

Una solución particularmente interesante para suelos de edificios es el sistema de "slim floors", que consiste en primer lugar en un perfil de platbanda inferior ancha, compuesto o laminado directamente, lo que ya se hace en Europa. Ello permite apoyar prefabricados de hormigón o viguetas metálicas y hormigonar después la cabeza de hormigón. Se logran grosores de suelos reducidos, sin vigas salientes, lo que facilita la integración y distribución de servicios.

También es interesante señalar que este sistema se complementa perfectamente con el forjado de chapa grecada galvanizada, en el que diversas empresas españolas están muy activas en el mercado, por la rapidez de construcción y ahorro de encofrado que el sistema proporciona.

LA PROMOCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO EN ESPAÑA

Las razones de nuestro retraso relativo a otros países en la utilización

de la estructura metálica, expuestas al principio, han calado en el cuerpo técnico, en la Administración y en la propia industria dando lugar desde hace pocos años a un especial empuje para recuperar el tiempo perdido y ponernos al día en cuanto a disponibilidad de normativa, de suministro de materiales y de formación y herramientas para el diseño.

Ello se ha traducido en la aparición de entidades de ámbito estatal, como ITEA e ICT para la promoción técnica, en revitalizarse el subcomité de AENOR correspondiente al Eurocódigo 3 y a la mayor disponibilidad en el mercado de todo tipo de perfiles y calidades, por instalación de nuevas plantas y por las fusiones entre compañías que últimamente se vienen produciendo. Sobre ello vamos a hacer algún comentario.

ITEA-Instituto Técnico de la Estructura en Acero

ITEA ofrece en su todavía pocos años de vida muy importantes realizaciones orientadas a promover, asesorar, divulgar y difundir la construcción con perfiles de acero. Entre sus realizaciones más notorias está la organización del II Congreso Mundial de la Construcción en Acero en 1998

en el que, entre 665 congresistas de todo el mundo, se habló ampliamente de tecnología y de mercado.

Pero tan importante o más que esos acontecimientos singulares es la labor de preparación de documentación y organización de jornadas de difusión que viene desarrollando.

En 1997 preparó, en colaboración con el mundo de las Ingenierías y las Escuelas de Ingeniería y Arquitectura, una Guía de diseño para edificios con estructura de acero, sector que está muy bajo en España en cuanto a la tasa de

Feria de Bilbao en construcción



participación de la construcción metálica.

Aparte de diferentes Jornadas y Simposios, hay sobre todo varias realizaciones a destacar. En primer lugar, el lanzamiento en castellano del ES-DEP - *European Steel Design Educational Programme*, programa educativo basado en la normativa europea de los Eurocódigos con la finalidad de difundir el conocimiento del uso del acero en la construcción desde el aspecto docente. El conjunto de esta enorme enciclopedia estructural del acero comprende 22 tomos con 5.000 páginas y 1.000 diapositivas, y

en simulaciones por elementos finitos que han sido contrastadas por investigación experimental a escala real con resultados muy satisfactorios.

Un esfuerzo actual de ITEA es el referente a poner a disposición de profesionales y constructores los últimos estudios relativos al tema del comportamiento de la estructura metálica frente a incendio. Con independencia de otras acciones merecen citarse el Simposio sobre "*Construcción segura al fuego. Ingeniería de fuego. Códigos basados en prestaciones*", desarrollado en el marco del Construmat 2001 en Barcelona, al que

la Administración, en colaboración con ICT, ASCEM y LABEIN, ha sido el desarrollo de un documento de seguridad contra incendios en edificios industriales, que ha sido aceptado y publicado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Finalmente otro foco de atención está situado en la introducción del acero en los puentes para las próximas líneas de ferrocarril de alta velocidad en España, debido a que la utilización de la estructura metálica en este campo ha tropezado tradicionalmente con barreras por la necesidad de muy elevada rigidez. Parece que por la vía de la construcción mixta y tipos estructurales especiales puede lograrse cumplir con las exigencias impuestas.

Sheraton en construcción con Euskalduna



va desde temas históricos hasta el acero inoxidable pasando por todos los temas de Ingeniería estructural en acero.

Por otra parte, el lanzamiento recientemente de otra guía, esta vez para el Diseño Estructural en Acero de Navas Industriales Ligeras - DEANIL que posibilita soluciones basadas en optimización estructural con peso mínimo utilizando al máximo perfiles laminados y simplificando los diseños. La combinatoria de casos lleva a una colección de más de 1.500. El desarrollo de esta guía se ha basado

asistieron más de 200 personas. Las ponencias corrieron a cargo de destacados expertos nacionales e internacionales y resulta curioso recordar que uno de los ejemplos puestos por Mrs. Rita Fahy en su conferencia "*Cómo determinar el tiempo de evacuación de un edificio en caso de incendio*" fuera, entre otros, el correspondiente al de la megaestructura de las dos torres de 110 pisos del *Wold Trade Center* en Nueva York en cuanto al primer atentado que implicó explosión y fuego ocurrido en 1993.

Una de las últimas acciones con

ICT-Instituto para la Construcción Tubular

Otro elemento impulsor del empleo de la estructura metálica es la creación del Instituto para la Construcción Tubular, promovido por los fabricantes de tubo estructural y en el que participan distribuidores, estructuralistas y otras empresas interesadas en la promoción del empleo del tubo de acero en todo tipo de estructuras de edificación, obra civil y maquinaria.

La forma tubular presenta, dentro de los perfiles de acero, ciertos aspectos diferenciales y peculiaridades de cálculo que han hecho que los fabricantes hayan juzgado tratarlos especialmente. La forma tubular tiene indiscutibles ventajas a compresión y torsión, y las posibilidades de relleno de hormigón armado, creando grados de esbeltez sorprendentes permite mayor resistencia al fuego, que puede ser indefinida por medio de estructuras tubulares rellenas de goma.

Las actividades que se llevan a cabo desde el ICT se refieren a la formación y al asesoramiento técnico como, por ejemplo, y en primer lugar, la traducción y difusión de hasta ocho Guías de diseño y programas informáticos específicos CIDECT,

que es el Centro Internacional para el Desarrollo y el Estudio de la Construcción Tubular.

Igualmente, la organización de Seminarios técnicos de Formación de profesionales y estudiantes: En relación a las guías, se han organizado del orden de 25 Seminarios para el proyecto de estructuras con tubo de acero, lo que significa que, juntamente con otros actos en la misma línea, hay cerca de 1.500 profesionales interesados y conocedores de estas tecnologías.

En estos momentos se está muy pendiente del diálogo con prescriptores del mundo relacionado con las estructuras, tanto por cauces habituales como a través de Internet con asistencia técnica en directo. En este sentido se ha puesto en red y publicado un CD de asistencia técnica con una herramienta de diez casos resueltos de proyectos de naves industriales en perfil tubular con memorias, planos constructivos y programas de utilización para cálculos.

En un contexto más amplio, se ha desarrollado el proyecto *TESCOL* (Tecnologías Emergentes en el Sector de la Construcción *On-Line*), una plataforma que integra las herramientas básicas sobre las cuales desarrollar un sistema de teleasistencia a los profesionales del sector de la Construcción, tanto en su proceso de familiarización con las nuevas soluciones técnicas que les oferta el mercado como en la posterior explotación de las mismas. Como demostración de la utilidad de esta plataforma se desarrollará una aplicación enfocada en el desarrollo de estructuras con perfiles tubulares.

En general, el objetivo de *TESCOL* es diseñar e implementar una plataforma que permita dar soporte a distancia a cualquier profesional del sector de la Construcción que desee utilizar una nueva tecnología o solución técnica. En particular, se abordará la problemática inherente a la introducción de perfiles tubulares en

el diseño y construcción de estructuras. Esto implica que el sistema incluye una serie de módulos relativos a base de datos documental, utilidades de cálculo, consultoría y comercio electrónico.

Con la Administración se está ofreciendo colaboración en los ámbitos de certificación y para el impulso de la actualización de la normativa y, como se ha citado antes, ICT ha colaborado en el desarrollo del Documento de seguridad contra incendios en edificios industriales de acuerdo con la metodología de códigos basados en prestaciones.

Puente tubular (al lado de la Universidad de Deusto)



Los fabricantes de tubo de acero siguen modernizando y poniendo en marcha nuevas instalaciones como apoyo necesario a la disponibilidad de productos para cumplimentar los proyectos, en unos casos de medidas estándar, pero con muy alta productividad y versatilidad, pero en otros con instalaciones singulares, que permiten llegar a tamaños tan importantes como 500 x 500 x 20 mm u otras secciones de perímetro equivalente, capaces, rellenos de hormigón, de ser columnas de un edificio de gran altura.

Respecto a la calidad siderúrgica de este tipo de productos, se puede decir que el S235 está prácticamente descatalogado, el S275 está restringido a espesores pequeños y que el S355 está en auge además con el grado metalúrgico más exigente J2H. Podemos añadir que es posible ver en

Europa, empleados en estructura, tubos patinables Corten e incluso de acero inoxidable.

NORMALIZACIÓN

La normalización en España es responsabilidad de AENOR cuyas Secretarías para aceros y productos siderúrgicos y Eurocódigo 3 están en Calidad Siderúrgica, participada por UNESID.

En relación con materiales, el Comité correspondiente es el CTN 36. Últimamente se trabaja intensamente en adaptar las normas europeas en España. Naturalmente este trabajo se efectúa tanto en el seguimiento y colaboración en la preparación de las normas a nivel europeo, como en la edición adecuada al castellano de la norma ya preparada y estudiada y de su difusión apropiada en la industria española.

En aceros para estructura metálica se viene trabajando fundamentalmente en las incorporadas a UNE en los últimos años: la UNE EN 10025 de 1996, productos laminados en caliente de aceros no aleados para aplicaciones estructurales generales, que contempla los aceros normales 235, 275 y 355 y la UNE EN 10113 de 1993, productos laminados en caliente de aceros soldados de grano fino, que cubre los aceros de límite elástico elevado desde 275 hasta 420 y 460, con buena resistencia a la rotura frágil y excelente soldabilidad, a que ya nos hemos referido.

Una cuestión de gran interés es el que la norma EN 10025 se está revisando en Europa para absorber otras normas orientadas a aplicaciones estructurales y que su parte primera, "Condiciones generales de suministro", estará pronto disponible. Ello redundará en una clarificación y simplificación de los aceros disponibles y mayor facilidad del prescriptor estructuralista para la elección del acero.

En cuanto a perfiles huecos, la situación de las actuales normas UNE-EN 10210 de 1994 y 10219 de 1998 para tubos acabados en caliente o en

frío respectivamente es la de estar en el comienzo de un proceso de modificación para adaptarlas al mandato de la Comisión Europea en relación con la Directiva de productos de Construcción.

Respecto al Eurocódigo 3 "Proyecto de estructuras de acero", el Comité correspondiente de AENOR es el CTN 140 y es muy prometedor que en el pasado año *Calidad Siderúrgica* se haya hecho cargo de su Secretaría, con lo que se han renovado los miembros y estructura correspondientes al Eurocódigo 3. Se ha distribuido para su conocimiento y análisis la ingente documentación que en el proceso de conversión de la prenorma a norma EN se está preparando en Europa y, probablemente, más adelante se abordará la puesta al día de la norma básica Española.

Como puede comprobarse, es imprescindible la adscripción de recursos y el empuje de la Administración para que el sector normativo relacionado con la estructura metálica salga del paréntesis en que se hallaba estancado.

PERSPECTIVAS

El panorama para el desarrollo de la Construcción en acero en España resulta hoy prometedor. Junto a lo dicho se podría añadir la muy reciente creación de la Comisión Interministerial Permanente de Estructuras de Acero, a propuesta del **Ministerio de Fomento**. Ello implica a la Administración en el desarrollo y la puesta en vigor de la normativa necesaria de profunda revisión, que, sin duda, contará en los diversos Grupos de trabajo con relevantes expertos provenientes de la Industria, Universidades y Centros tecnológicos y la propia Administración.

A pesar de las carencias en normativa, muchos profesionales e Ingenierías han procurado actualizarse con respecto a las necesidades que les plantean los proyectos, estudiando y aplicando los documentos del Eurocódigo 3. Realmente dicho Eurocódigi-

go es insustituible respecto a nuestra norma cuando se quiere precisar la incidencia de la simultaneidad de cargas, verificar la resistencia al pandeo considerando el tipo de perfil y sus imperfecciones, o necesitar un cálculo a fatiga. El interés del Eurocódigo ha trascendido ya a nuestra bibliografía y en la última edición del clásico de la estructura de acero de **Ramón Argüelles** "Estructuras de acero", los diferentes temas de cálculo se estructuran tratándolos en primer lugar según nuestra norma básica NBE EA95 y a continuación según los Eurocódigos 3 y 4.

Respecto al suministro de materiales de variados tamaños y características, la situación ha dado un giro absoluto con la puesta en marcha de nuevas instalaciones en algunos sectores y la fusión de las grandes compañías como telón de fondo que lo

puede lograr estructuras muy ligeras y transparentes mediante la utilización de perfiles conformados en frío o tubulares, o bien estructuras fuertes para grandes luces y cargas a base de perfiles de alma llena, laminados con preferencia, y siempre en los mayores tamaños compatibles con el transporte, para unir en obra mediante uniones atornilladas.

Para finalizar, deseo llamar la atención de que el aumento de la participación de la estructura de acero en la Construcción depende también mucho de la enseñanza que se imparte en las **Escuelas de Ingeniería y Arquitectura**. Los programas actuales de las diferentes carreras probablemente podrían ser mejorados, pero más importante que ello es crear y consolidar Grupos de investigación y preparar laboratorios e infraestructura sobre la materia por ser imprescin-

Nave industrial tubular



garantiza. Además de las flexibles condiciones de entrega de los perfiles en cuanto a cortes, preparación de bordes, granallado, están las facilidades que hoy en día se tienen para dar formas como el curvado, la disponibilidad del acero inoxidable estructural con la calidad estética y de limpieza que conlleva, de los aceros patinables, y el mundo de la perfilearía conformada en frío que permite gran ligereza en las estructuras.

La construcción metálica utiliza hoy los materiales acorde al propósito fundamental de la estructura. Así,

dible para que un docente considere como propia una tecnología, se relacione con otros científicos y multiplique sus conocimientos. Y ello no es posible sin la iniciativa y empuje de las empresas del sector: las siderúrgicas, las transformadoras y las constructoras y su mentalización de la necesidad de aportar recursos, bien propios, bien de forma compartida con instituciones nacionales o internacionales, pero siempre con la mentalidad de que es necesario investigar y conocer, además de producir, para ser competitivo e innovador. ■