

El acero como material estructural.

Ventajas e inconvenientes

MILAGROSA BORRALLO JIMÉNEZ
ARQUITECTA

Todas las ventajas e inconvenientes que colleva la utilización del acero en la construcción actual en función del uso y tipología del edificio, el control de ejecución y las acciones externas a las que se ve sometido.

This article outlines the advantages and disadvantages of the current use of steel in the building sector, according to building type and use, execution control and external actions to which it is subjected.

El acero como material estructural tiene en Europa una gran tradición. No es un material nuevo, pudiendo decirse que es el más veterano o antiguo de los **no tradicionales**, entendiéndose como materiales tradicionales la piedra, el ladrillo y la madera principalmente.

La Revolución Industrial (1760-1830) significó el impulso del hierro para la construcción. Ya desde antiguo se había venido usando dicho material en este campo, pero, sólo a partir de esta época, los avances y progresos técnicos descubiertos, que introducían conceptos totalmente nuevos en la técnica constructiva, permitieron extender sus aplicaciones a obras civiles y edificios, así como aumentar la producción del hierro hasta las cantidades que requerían las nuevas exigencias. De la intervención sobre la composición química y sistemas de fabricación de los minerales del hierro, fueron surgiendo sucesivamente nuevos materiales de construcción derivados de éstos, tales como la fundición y el hierro forjado, cuyas deficiencias impulsaron a la búsqueda de un material mejor, que trabajara de la manera más óptima para todas las sollicitaciones posibles y que ofreciera las máximas prestaciones estructurales, llegándose finalmente al acero laminado.

A partir de 1850, las Exposiciones Universales hicieron del hierro un elemento moderno, jugando éstas un papel muy importante en su proceso de difusión. Desde entonces, el empirismo, unido a nuevos tipos de enseñanzas técnicas, ha originado a lo largo de casi un siglo, una metodología de conocimiento y uso científico que nos lleva hoy en día a poder hablar con fundamento de las venta-

jas e inconvenientes que nos ofrece este material cuando se usa estructuralmente.

VENTAJAS

Material elástico, que nos **avisa** con visibles deformaciones antes de llegar a producirse el colapso, aunque en determinadas condiciones y circunstancias puede darse una rotura inminente, conocida por rotura frágil.

Los factores que influyen en ello son:

La temperatura mínima¹

La probabilidad de rotura frágil aumenta al descender la temperatura. La temperatura mínima, que es previsible que llegue a soportar la estructura, es función de las características climáticas de la localidad y de la protección térmica de los revestimientos. Se considera clasificada en dos grupos:

- No menor que -10° C.
- Menor que -10° C y no menor que -30° C.

En casos singulares, cuando sean previsible temperaturas menores que -30° C, se realizara estudio especial.

Espesor del producto

La probabilidad de rotura frágil aumenta al crecer el espesor del producto; en caso de productos con espesores variables, son decisivos los espesores de las zonas más próximas a los cordones de soldadura.

Deformación en frío del producto

La probabilidad de rotura frágil aumenta al crecer la magnitud de la deformación en frío que haya sufrido el producto.

El grado de deformación que se tendrá en cuenta es el que se haya producido en las zonas próximas a las soldaduras. Se considerarán también como deformaciones en frío las obtenidas mediante conformaciones en caliente a temperaturas inferiores al punto de transformación.

Estas recomendaciones se refieren al caso más frecuente en que la deformación en frío es menor que el 2 por 100, y deben extremarse las características requeridas para los materiales cuando dicha deformación sea mayor.

Clase de los esfuerzos

La probabilidad de rotura frágil de un elemento estructural sometido a esfuerzos principalmente estáticos es menor que la del que está solicitado por esfuerzos alternados o procedentes de acciones dinámicas.

Estado de tensiones

Los estados de tensiones triaxiales, cuando las tres tensiones principales son de tracción, tienden a fragilizar el acero. Como en la práctica de las estructuras se presentarán muy raramente estados de tensiones triaxiales debidos únicamente a la actuación de las cargas, los posibles estados de tensiones triaxiales se originan por la forma o por la ejecución de los elementos estructurales (tensiones residuales de laminación, de soldadura o de deformación en frío; efectos de entalladura, etc.). Su evaluación va, pues, ligada a la de otros factores.

Condiciones de forma y de ejecución

Tanto la forma del elemento como su proceso de ejecución pueden modificar el estado de tensiones debido a las acciones exteriores provocando una triaxialidad que acentúe la probabilidad de la rotura frágil. En este aspecto conviene distinguir dos grados: normal y difícil, cuya influencia se tendrá en cuenta en la elección del material. La clasificación correcta de un elemento estructural, en uno u otro grado, depende mucho de la experiencia profesional del proyectista. A título de indicación puede decirse que deben ser incluidos en el grado **difícil** los elementos estructurales con entalladuras o con cambios bruscos de sección; los que presentan

cordones de soldadura transversales a esfuerzos normales de tracción, etc.

Material homogéneo e isotropo, o sea, material con idénticas propiedades en todas direcciones, que tiene un buen comportamiento frente a los distintos esfuerzos de tracción, compresión, cortante o flexotracción. Se diferencia por ello de otros materiales como la madera, cuyo comportamiento estructural ante los esfuerzos antes citados se evalúa y cuantifica en función de la dirección de las fibras existentes en la madera.

Material seguro, poco expuesto a fallos en el proceso de fabricación, teniendo en cuenta el control de calidad ejercido hoy en día en este campo de la producción industrial, a diferencia del hormigón, en el que es decisivo la puesta en obra del mismo (vertido, vibrado, curado). El acero no padece fenómenos reológicos a tener en cuenta a efectos de cálculo, como es la retracción en el hormigón o la fluencia, sin embargo, sí sufre las variaciones térmicas al igual que el hormigón y podríamos decir incluso que más acusadamente. Mientras que en hormigón, las juntas de dilatación deben dejarse a partir de los 40 m de longitud de estructura, en acero se reduciría la distancia a 30 m).

Material de gran resistencia con secciones pequeñas, algo bastante beneficioso hoy en día cuando se busca ajustar al máximo la superficie útil de las viviendas así como optimizar la superficie congruida. Esta ventaja nos ofrece la posibilidad de embeber los pilares en los cerramientos, dadas su reducidas dimensiones, evitando así los incómodos y antieéticos **tacones** en el interior de las habitaciones. Resulta de gran rentabilidad sobre todo para edificios de gran altura (a partir de las 15 o 20 plantas) o de grandes luces (a partir de los 10 ó 15 m), en los que las grandes dimensiones de pilares de planta baja requeridos, o de vigas, respectivamente, hacen antieconómico pensar en otro material que no

sea acero, que ofrece gran resistencia con reducidas dimensiones y costos, por la economía de material.

Material con gran facilidad y rapidez de ejecución, aunque a través de un perfecto control.

No precisa encofrados ni moldes en obra para su montaje, ni esperar tiempos de fraguado, ni controlar valores de resistencia a los 7 ó 28 días, aunque por el contrario, sí precisa de una gran definición por parte de los técnicos a nivel de Proyecto (Memoria, Planos, Mediciones y sobre todo Pliego de Condiciones), así como una especializada mano de obra. Dada su rapidez de montaje resulta rentable cuando los plazos de ejecución de las obras son limitados. Podríamos hacer una somera valoración en este sentido considerando que una estructura enteramente de acero puede suponer un aumento del 25 o 30 % sobre otra de hormigón. Pero teniendo en cuenta que la partida de estructura puede representar aproximadamente un 18% del Presupuesto de Ejecución Material de la Obra, se compensaría posiblemente con el ahorro en tiempo de ejecución. Resuelve igualmente el problema que se plantea en construcciones en el casco histórico de ciudades, por las limitaciones físicas que se tienen para el acceso de algunos materiales a la obra, como es el caso del hormigón llegado de central en hormigoneras, siendo necesario incluso cortar el tráfico en determinadas ocasiones debido a la estrechez de las calles.

Existe una fase decisiva en la construcción con estructuras de acero, entre la fase de fabricación y entre la de montaje en obra, que es la de taller, en la que el material llega y los perfiles y piezas que intervienen en la construcción se cortan según planos de taller, se preparan los distintos tipos de uniones a realizar (taladros si van a ser uniones atornilladas o roblonadas y preparación de los bordes o superficies si van a ser uniones soldadas) e incluso se dan

las primeras manos de protección frente a la corrosión. Es importante realizar el máximo de operaciones sobre la estructura en taller, ya que el control de calidad de la ejecución que se puede llegar a tener en un taller de montaje es superior al que se pueda llegar a tener en obra. De ahí la importancia de definir explícitamente los planos a tener en cuenta en esta fase.

Material liviano, de poco peso, apropiado para casos en los que se quieren evitar pesadas concargas, como en obras de ampliación sobre plantas edificadas o en obras de rehabilitación, donde es difícil calcular exactamente el estado de los materiales antiguos o preexistentes, así como lo que aguantan o pueden aún aguantar.

Material de gran aprovechamiento en demoliciones. La demolición de los elementos estructurales de acero es rápida y poco costosa. Se puede aprovechar, si no para otros edificios construidos para la chatarrería, de importante valor comercial aún hoy en día.

Material en el que el refuerzo de elementos estructurales es fácil y rápido, si éste fuera necesario. Dadas sus propiedades de soldabilidad y posibilidad de atornillado o roblonado cualquier aumento de esfuerzos o disminución de capacidad portante puede solventarse con los cambios de sección requeridos o introduciendo cambios en el esquema estructural que disminuyan el calibre de los mismos, como es el caso de acortar luces.

INCONVENIENTES

Sin embargo, no todos son ventajas; al igual que todos los materiales de construcción nos encontramos con algunos inconvenientes, que contrarrestan las numerosas ventajas hasta ahora descritas:

Material corrosivo. La corrosión es un proceso natural que se de-

sarrolla en el material por la propia naturaleza química del mismo, así como, por su comportamiento con el medio ambiente en el que se encuentra. El acero no es un material en estado natural, sino el resultado industrial de una aleación química a partir de componentes como carbono, fósforo, azufre, nitrógeno, cobre, etc., tomados de la naturaleza no en estado puro, sino en forma de óxidos, sulfuros, carbonatos, etc., y sometidos a tratamientos térmicos, para alcanzar su pureza, con gran aporte de energía. Esta energía, siguiendo una ley natural de estabilidad de los metales, tiende a ser liberada de manera natural con el paso del tiempo para volver al estado original de la naturaleza, que es más estable por contener menor cantidad de energía. A esta tendencia se la denomina corrosión y al proceso que la origina y conduce, oxidación. El hombre lucha contra ella, haciendo que este proceso natural sea lo más lento posible, utilizando revestimientos protectores o fabricando aceros más resistentes al fenómeno corrosivo. La elección de un sistema u otro dependerá del grado de agresión a que estará sometido el acero, así como muchos otros factores ligados a la propia construcción. Entre las protecciones más usuales destacaremos:

- Pinturas.

Teniendo en cuenta que un factor determinante en el proceso de corrosión es la reacción del acero con el medio ambiente en el que se encuentra, es una solución colocar sobre el mismo una **barrera** que, siendo impermeable, impide el paso del agua y del oxígeno. Esta barrera puede ser una pintura que incluyen en su formulación pigmentos inhibidores que dificultan o retrasan tal proceso de oxidación constituyendo así una protección de tipo pasivo. Sin embargo, la protección anticorrosiva con pinturas no es una solución definitiva, precisa mantenimiento y reposición a medida que se produce su desgaste.

- Galvanización.

Se trata de un recubrimiento superficial de zinc aplicado por inmersión en un baño en caliente de este metal. Protege al acero de tres maneras distintas:

- Constituyendo una barrera que se corroe a una velocidad inferior a la del acero (del orden de 10 a 15 veces).
- Proporcionando protección catódica a las pequeñas zonas que puedan quedar al descubierto del recubrimiento de zinc por causas externas tales como cortes, taladros, arañazos, etc.
- Impidiendo que en las mismas zonas se forme el óxido de hierro superficial que inicia el proceso de corrosión.

Es un tipo de revestimiento que constituye un mayor coste inicial que la protección con pinturas pero su elevada duración amortiza a largo plazo dicha inversión. Su mantenimiento es, en la mayoría de los casos, innecesario y su duración en un ambiente determinado (urbano, marítimo o rural) es directamente proporcional a su espesor. Protege al acero tanto de la corrosión atmosférica como de la provocada por las aguas o el terreno. Se puede combinar con pintura sobre galvanizado ofreciendo una protección de gran duración si su aplicación es adecuada. La única precaución a tener en cuenta es adecuar la técnica de la soldadura a las condiciones particulares del material galvanizado, ya que puede provocar la destrucción del mismo por efecto del calor, reponiendo el recubrimiento dañado si éste llega a producirse con pinturas ricas en zinc o metalización.

- Recubrimientos gruesos.

Consiste en utilizar como material de revestimiento materiales tales como el hormigón, materiales plásticos, recubrimientos bituminosos armados, etc., que impidan la reacción del acero con el medio ambiente en el que se encuentra. Es de aplicación

ideal para elementos enterrados corrosivos con dificultad de mantenimiento. Entre ellos, el hormigón resulta ser un revestimiento económico que ofrece la ventaja de servir igualmente como protección frente al fuego y la abrasión, teniendo como inconveniente que contrarresta la liviandad original de las estructuras de acero, de ahí que sea descartado en determinadas ocasiones.

- **Protección catódica.**

Consiste en colocar un ánodo de sacrificio (un metal más activo y menos noble que el acero tal como el zinc, el magnesio, etc.) que se sacrifica en vez del acero estructural, en el proceso de corrosión electrolítica, que es la que se produce en un medio húmedo por aparición de la pila galvánica y que genera una corriente que partiendo de las zonas anódicas pasa por la solución hasta las zonas catódicas, en este caso el acero, formando capas de compuestos no solubles sobre su superficie y creando un revestimiento protector ante las corrosión. Es de uso específico para aceros enterrados y en zonas muy húmedas.

- **Ennoblecimiento del material.**

Se puede hacer frente a la corrosión atmosférica desde la propia composición química del acero, añadiendo determinados componentes en su aleación que mejoren su resistencia ante el posible ataque por reacción con el medio ambiente. A este apartado pertenecen los conocidos **aceros inoxidables**, que llevan incorporados cromo y níquel, en contenidos medios del 18 por 100 y 8 por 100 respectivamente, con adición de molibdeno para ambientes agresivos, tales como un ambiente marino o industrial. Es recomendable su utilización para piezas o uniones estructurales de acero de difícil acceso y mantenimiento y en elementos en contacto permanente con ambientes húmedos o zonas industriales.

También podemos considerar dentro de esta forma de protección frente a la corrosión atmosférica a los

aceros patinables, que por su composición química, con el paso del tiempo y como consecuencia de la acción atmosférica, desarrollan en su superficie una pátina protectora uniforme (estéticamente aceptable) que hace innecesaria la aplicación de pinturas protectoras. Entre ellos podemos nombrar el acero cor-ten, que lleva incorporado una adición de cobre mejorando la resistencia a la corrosión atmosférica mediante la formación de una capa de óxido de hierro enriquecido en cobre. Esta capa es muy adherente, compacta y poco permeable que impide, transcurrido algún tiempo, que progrese la oxidación a capas más profundas. Resulta económico para grandes estructuras, en las que la posibilidad de prescindir de pinturas protectoras supone un ahorro en el mantenimiento.

- **Diseño adecuado.**

Se pueden evitar muchos problemas de corrosión si tenemos en cuenta este defecto, a la hora realizar el diseño estructural. Podría considerarse como un tema de prevención que si se tiene en cuenta adecuadamente reduce la necesidad de protección con los sistemas vistos en los apartados anteriores. Se podría decir que es por tanto un tipo de protección complementario a los anteriores y de gran importancia. Provocar, con el propio diseño, lugares de difícil acceso con vistas a la protección y al mantenimiento, donde, además, se puedan depositar materias ambientales, tales como polvo o agua, que complementen el proceso de oxidación por las condiciones atmosféricas, ayudará a una destrucción más rápida del sistema protector y del mismo acero.

Material inestable ante el fuego. El acero no es combustible pero a partir de determinadas temperaturas adquiere grandes deformaciones, que pueden ser irreversibles y que pueden desencadenar en el colapso de la estructura. De ahí que ne-

cesite, igualmente, revestimientos protectores obligados por la Normativa vigente, que retrasen o amortigüen el efecto del calor sobre el material a través de una resistencia determinada, y que permitan la evacuación segura de los ocupantes del edificio construido, garantizándose su estabilidad durante el tiempo mínimo. Es por tanto obligatorio recubrir los elementos estructurales de acero con revestimientos protectores ante el fuego, de los que el mercado nos ofrece una gran variedad. Entre ellos:

- Los materiales cerámicos y pétreos, con la posibilidad de combinarse con revestimientos de yeso, de muy buen comportamiento ante el fuego.

- Materiales proyectados, tales como los morteros de vermiculita o de perlita, lana de roca, etc., con grandes propiedades de resistencia ante el fuego, que incluso en algunos se combinan con propiedades de aislamiento acústico y térmico.

- Materiales de acabado, de aplicación en seco, tales como placas de fibrosilicatos, placas de fibra-yeso o paneles de lana de roca, cuyo acabado es de mejor calidad estética que los proyectados.

- Pinturas intumecentes que ante un estímulo térmico reaccionan, conformándose, a partir de una simple capa superficial, una capa protectora de mayor densidad que amortigua el efecto del calor sobre los elementos estructurales de acero, garantizando la estabilidad necesaria durante el tiempo determinado.

- Pinturas ignífugas, incombustibles, que no se ven afectadas por el fuego.

Material con el que es difícil y costoso conseguir nudos rígidos y estructuras hiperestáticas. Si comparamos con el hormigón, en donde los nudos se consideran en la mayoría de los casos como rígidos, por su realización constructiva, en metálicas, sin embargo, es difícil conseguir la rigidez en los nudos,

precisando de una gran cantidad de elementos complementarios en la unión, tales como un gran número de tornillos o de cordones de soldaduras, cartelas, rigidizadores, etc. Esto es excesivamente costoso, tanto por la cantidad de material complementario que precisa como por la mano de obra necesaria para ejecutarlo. Esta dificultad repercute notablemente en su capacidad para absorber esfuerzos horizontales debidos a viento o a sismo. Ahí radica la necesidad imperiosa, cuando no es posible conseguirse la rigidez en los nudos, de arriostrar los pórticos de las estructuras metálicas (bien con triangulaciones como las conocidas cruces de San Andrés, o macizando tramos de los mismos pórticos con muros de hormigón o fábrica e incluso con muros pantallas dispuestos de forma simétrica en los edificios

conformando cajas de escaleras o ascensores), tanto en los planos verticales como en los horizontales o inclinados de cubierta.

Material que origina estructuras poco rígidas. Las estructuras realizadas totalmente en acero resultan ser poco rígidas, acusándose este defecto en otras partes constructivas de los edificios tales como cerramientos o tabiques, en los que pueden aparecer fisuras o grietas, debidas a movimientos difíciles de controlar originados por dilataciones térmicas, por movimientos debidos a esfuerzos horizontales de viento o sismo o por deformaciones de flecha, que tanto desconciertan en forjados metálicos. Por esto, es importante ser estrictos en fijar las limitaciones máximas a los desplazamientos o movimientos producidos por estas causas.

Habiendo hecho un repaso por las ventajas e inconvenientes que nos aporta la utilización del acero en las estructuras de nuestros edificios, nos quedaría a los técnicos la difícil situación de tomar la decisión acerca de en qué ocasiones nos puede resultar ventajosa o perjudicial su elección como material estructural, evaluando aspectos fundamentales y decisivos en este caso como son: el control sobre la ejecución que se puede llegar a tener, la mano de obra con la que se cuenta, el uso y tipología del edificio y las acciones externas a las que estará expuesto, como agentes atmosféricos de viento, sismo, atmósferas agresivas o clima.

NOTA

I. Anexo 3.AI de la NBE EA-95