

Región Industrial

Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de la Región de Murcia



César Calomarde,
“Desde Iberdrola apostamos
decididamente por las
energías renovables”



Reportaje: Centro Tecnológico del Mueble y la Madera

Noticias de la EPIE

Estructuras atornilladas (4)

Personajes: Tales de Mileto



Nº39

OCTUBRE 2006

Uniones estructurales atornilladas (4)

Jesús H. Alcañíz Martínez (*)

Con esta cuarta y última entrega, finalizamos el ciclo de estudio de ambas alternativas de uniones estructurales. Hemos analizado las ventajas e inconvenientes en cada caso, con lo que nos disponemos ahora a realizar un resumen de la investigación llevada a cabo y un análisis comparativo entre ambas alternativas, para facilitar así el proceso de toma de decisiones, para inclinarnos en cada una de nuestras obras, para una u otra alternativa.

Hasta la conclusión de este último artículo, se han analizado minuciosamente ambas alternativas de uniones en estructuras metálicas, teniendo ya una idea muy clara de las ventajas e inconvenientes que presenta cada una de ellas. En base a todo ello, a partir de ahora, tendremos la posibilidad de sintetizar sobre cual es el sistema más aconsejable en cada caso y con ello, poder decidir y aplicar en nuestras obras el sistema que consideremos más adecuado.

Consideraciones iniciales

Para hacernos un acertado juicio sobre ambas alternativas, conviene recordar algunas ideas básicas en relación con las uniones de los elementos en estructuras metálicas y que ya se han expuesto ampliamente en los artículos anteriores. Lo recordamos ahora en letra cursiva, en un breve resumen, para ambas alternativas de unión, soldada y atornillada.

Uniones Soldadas

Existen varios tipos de uniones soldadas, pero vamos a recordar dos



Detalle del apoyo de vigas de mayores luces, sobre pilar central, con unión soldada realizada "in situ"

de ellas, soldadura a tope y soldadura en ángulo. En cuanto al proceso de corte, se puede llevar a cabo mediante oxicorte y corte por plasma. También se puede cortar mediante elementos mecánicos como la sierra, el disco o la cizalla, pero siempre en elementos de menor espesor. Al realizar los cortes, se debe controlar todo el borde de la pieza y en su caso, actuar con una piedra

esmeril, fresa o cepillo, con el único fin de eliminar la rebabas, estrías, etc.

Distintas posiciones, horizontal, vertical, inclinada o en techo. De todas las posiciones, la más fácil es la soldadura horizontal, mientras que la más difícil resulta la de techo, con lo que una soldadura en una posición plana u horizontal, da como resultado una soldadura de mayor calidad.

Por el contrario, las soldaduras en posición más compleja, se precisa un mayor Control de Calidad de su ejecución, al resultar más complicada y por tanto, con mayor riesgo de aparición de defectos en su ejecución y en su resultado final.

Defectos en las soldaduras. Fisuras, cavidades y poro, Inclusiones sólidas, defectos de fusión, falta de penetración, defectos de forma, teniendo en cuenta que:

- La inspección visual es el método más extendido. Se debe realizar por personal cualificado.

-La inspección con Líquidos Penetrantes, permite detectar fisuras o defectos que afloran a la superficie y que no pueden ser vistos a simple vista.

- La Inspección con partículas magnéticas es un procedimiento rápido, con el que se pueden detectar fisuras y otros defectos internos o inaccesibles a la vista.

- La Inspección radiográfica se basa en la interpretación de las imágenes producidas sobre una placa radiológica impresionada por rayos X, después de atravesar la unión soldada, para detectar defectos internos.

- La Inspección por ultrasonidos, se utiliza la propagación del sonido en un medio sólido, como elemento diferenciador de los posibles defectos en el interior de la soldadura.

Se tendrán en cuenta algunas ideas conocidas, como que las uniones soldadas podrán ejecutarse mediante los procedimientos de soldeo eléctrico, manual, por arco descubierto, con electrodo revestido, por soldeo eléctrico, semiautomático o automático, por arco en atmósfera gaseosa, con alambre - electrodo revestido, por soldeo eléctrico, automático, por arco sumergido, con alambre - electrodo desnudo o por soldeo eléctrico por resistencia, dependiendo de los casos y de los tipos de elementos a unir.



Detalle de un cordón de soldadura, mediante hilo, continua, en taller. Véase la calidad de su ejecución y la uniformidad de su trazado

Las piezas que se van a unir con soldadura, se presentarán primero y se fijarán en su posición mediante dispositivos adecuados que aseguren, la inmovilidad durante el proceso de soldeo y el enfriamiento subsiguiente. El orden de ejecución de los cordones y la secuencia de soldeo, se elegirán con vistas a conseguir que, después de unidas las piezas, obtengan su forma y posición definitiva, sin necesidad de un enderezado o rectificación posterior.

Después de ejecutar cada cordón y antes de iniciar el siguiente, se limpiará su superficie con picoleta y cepillo de púas de alambres, eliminando todo rastro de escorias. Para facilitar esta operación y la ejecución de los cordones posteriores, se procurará que las superficies exteriores de los cordones, no formen ángulos demasiado agudos y que las superficies de los cordones sean lo más regulares posibles.

Ventajas.

- El empleo de uniones soldadas en vez de atornilladas permite un ahorro de material (se han realizado estudios que demuestran que puede llegar hasta un 15 %).

- La soldadura requiere menos trabajo y por lo tanto menos personal,

que la colocación de tornillos (un solo soldador puede reemplazar una cuadrilla o un equipo de atornillado).

- La soldadura permite una gran variedad de conexiones, que no se puede conseguir con uniones atornilladas.

- Las uniones soldadas son más rígidas que las demás, lo cual permite una verdadera continuidad en la transmisión de esfuerzos y acciones mecánicas entre elementos.

- Debido a la mayor resistencia del metal de aportación, las uniones soldadas permiten una gran resistencia a la fatiga.

- Las estructuras soldadas pueden repararse muy fácilmente a diferencia del resto de opciones.

- Las uniones soldadas permiten ajustes de proyecto o modificaciones en obra, más fácilmente que en otro tipo de unión.

Inconvenientes.

- Las conexiones rígidas pueden no ser óptimas, en el diseño de algunos nudos en concreto.

- La mano de obra no especializada, en la realización de soldaduras, trae como consecuencia, una menor calidad del proceso acabado.

- La revisión de las conexiones sol-



Detalle de un cordón de soldadura, durante el proceso de ensayo, donde se aprecia su correcta ejecución. Véase su uniforme trazado

dadas es más dificultosa que en otros sistemas de unión, lo que supone una mayor necesidad de control y supervisión.

- La creencia de la baja resistencia a la fatiga en conexiones soldadas.
- Es más fácil la aparición de defectos en los cordones de soldadura y con ello, se corre un mayor riesgo estructural, del comportamiento final del conjunto.

Uniones Atornilladas

Dos tipos de tornillería para estructuras metálicas: los Tornillos Ordinarios Calibrados (TC) y los Tornillos de Alta Resistencia (TR o también TAR). Vamos a utilizar los tornillos ordinarios, sólo para elementos secundarios o auxiliares, en estructuras. Para las uniones importantes utilizaremos siempre tornillos TR.

En todos los casos, en las uniones atornilladas debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se colocarán siempre arandelas del tipo correspondiente al tornillo empleado.

- Para los tornillos ordinarios y para los de alta resistencia que no trabajen por razonamiento, el diámetro del orificio será superior en un milímetro, al nominal del tornillo. Para los tornillos calibrados, el diámetro del taladro será igual al nominal del tornillo.

- Para los tornillos de alta resistencia que trabajen por razonamiento, el diámetro del orificio podrá ser superior hasta en dos milímetros al nominal del tornillo.

- Los tornillos que van a quedar con su eje en posición vertical o inclinada, se colocarán de modo que la tuerca quede más baja que la cabeza.

- Las superficies estarán exentas de grasa y pintura, que se eliminarán con disolvente adecuado y se someterán como mínimo, a un cepillado enérgico con cepillo metálico.

- Queda terminantemente prohibido rellenar con soldadura los agujeros para los tornillos provisionales o ejecutados en posición errónea.

- Se prestará la debida atención al ensamblaje de las distintas piezas, con el objeto de que la estructura se adapte a la forma prevista en el proyecto

Verificación de las uniones atornilladas.

- El Director de Ejecución comprobará, por sí mismo o por medio de sus representantes, que todos los tornillos colocados son del diámetro y de la calidad indicados en el proyecto y que disponen de las arandelas precisas.

- Se comprobará un cinco por ciento de todos los tornillos de alta resistencia colocados y al menos en uno de cada unión o nudo, en el que exista más de cinco tornillos, que el esfuerzo de pretensado es el indicado en el proyecto.

- Los tornillos se considerarán correctamente apretados, cuando después de la aplicación del par de

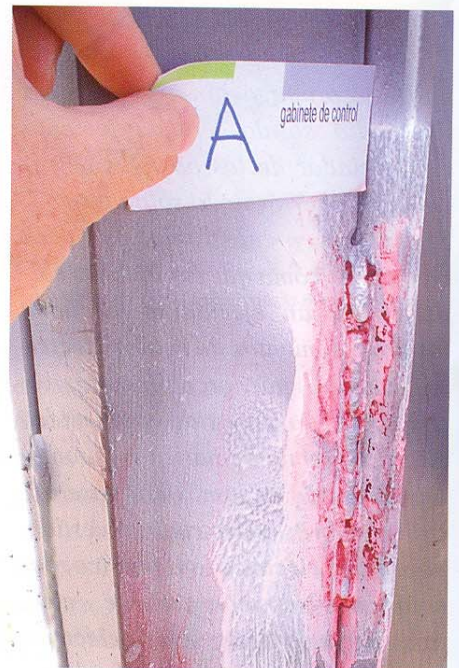
apriete, las marcas vuelven a estar alineadas, sin que la marca de la tuerca sobrepase en más de diez grados, la realizada en la arandela.

- Para garantizar una adecuada unión, las tuercas se apretarán mediante llaves dinamométricas, que miden el momento torsor aplicado, hasta alcanzar el valor prescrito. Los tornillos de una unión deben apretarse inicialmente al ochenta por ciento del momento torsor final, empezando por los situados en el centro y terminar de apretarse en una segunda vuelta, para garantizar su adecuado acabado.

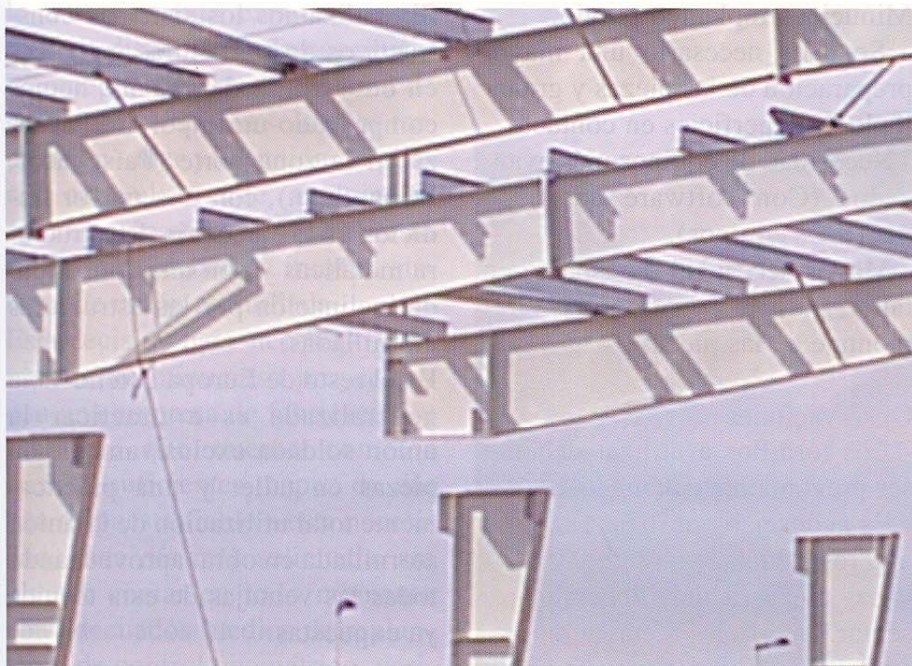
- Cuando de estas pruebas se deduzca que un tornillo está insuficientemente apretado, se comprobarán otros dos de la misma unión, si ambos resultan estar correctamente apretadas, se aceptará la unión. En caso contrario, se comprobarán todos y cada uno de los tornillos de la misma.

Otros detalles

Se permite el punzonado en espesores no superiores a quince milíme-



Detalle de un cordón de soldadura deficientemente ejecutado, con una total falta de eficacia para resolver la unión estructural



Aspecto general de un conjunto de pórticos, montados a pie de obra y elevado con grúa hasta su posición: Todas las uniones se han resuelto mediante tornillería de alta resistencia



Detalle de un nudo de coronación de pórtico de estructura metálica, resuelto mediante unión atornillada. Véase el momento de comprobación del par de apriete, mediante llave dinamo métrica

tros. Cuando la estructura vaya a estar sometida a cargas predominantemente estáticas, el diámetro del orificio será por lo menos igual a vez y media el espesor y se adoptarán las medidas oportunas para la coincidencia de los orificios que deban

corresponderse. Se podrá efectuar el punzonado al tamaño definitivo, con tal de utilizar un punzón que ofrezca garantías de lograr un orificio de borde cilíndrico, sin grietas ni fisuras. En caso contrario, se punzonarán los agujeros con un diámetro

máximo inferior en tres milímetros al definitivo, rectificándolos mediante escariado mecánico posterior. El diámetro nominal del tornillo ordinario es el de su espiga. El diámetro del orificio será un milímetro mayor que el de su espiga. En el caso de los tornillos calibrados, se designarán por los mismos diámetros nominales que los tornillos ordinarios.

Siempre que sea posible, se taladrarán de una sola vez los orificios que atraviesen dos o más piezas, después de armadas, atornillándolas fuertemente. Después de taladradas las piezas, se separarán para eliminar las rebabas.

Ventajas e inconvenientes

Una vez conocidas sus características más relevantes, estamos en disposición de destacar aquellas ventajas e inconvenientes, por los que se caracterizan ambos sistemas de unión:

En las estructuras **soldadas**:

Ventajas:

- Menor tiempo de diseño técnico.
- Menor tiempo de elaboración de la pieza en el taller.

Inconvenientes:

- Dificultad de encontrar soldados competentes: Es necesaria una mayor especialización.
- Gran influencia por las inclemencias del tiempo.
- No se pueden realizar a temperaturas por debajo de los 0o C.
- No se pueden realizar en condiciones de viento superior a 2,5 m/s.
- No se pueden realizar si las superficies a soldar están mojadas o están en peligro de mojarse por lluvia.
- Pueden alojar defectos en su interior no visibles.
- Dificultad de realizar la inspec-

ción y supervisión de la ejecución, por lo que su control es complejo y más caro.

- Menor rendimiento de producción en obra.

Observaciones

- Están destinadas a uniones realizadas en taller.

- Debemos intentar reducir al mínimo el número de soldaduras en obra.

En las estructuras **atornilladas**:

Ventajas

- Mayor calidad de ejecución, mayor facilidad de montaje y mayor rapidez de montaje.

- Posibilidad de desmontaje y de traslado a otra posición.

- Mejor control de ejecución de la unión y menor coste de comprobación.

- No afección de las condiciones meteorológicas adversas.

- Menor riesgo de caída de altura (Menor tiempo de presencia del operario en altura).

- Fácil reparación, en caso de detección de errores o fallos de montaje.

- Se pueden realizar en menor espacio.

- Se pueden realizar correcciones de ajuste.

- No se necesita energía eléctrica para su ejecución.

- Económicamente resultan más ventajosas por su rapidez de montaje.

Inconvenientes

- Mayor tiempo de diseño técnico y por tanto, un mayor coste de producción, aun con menos tiempo de montaje en obra.

- Mayor tiempo de elaboración de la pieza en el taller.

- Un mínimo fallo geométrico implica el rechazo de la pieza:

Minucioso replanteo previo.

- Se hace necesario una mayor preparación de las piezas y granallado de superficies en contacto.

- Necesidad de equipos más avanzados (Con software adecuado para esos equipos).

- Mayor necesidad de espacio en taller, para la fabricación y pre-montaje de las piezas.

Observaciones

- Los tornillos a utilizar deberán ser previamente calculados.

- Es aconsejable utilizar acero de alta resistencia.

- Las piezas a unir deberán presentar superficies rectas y planas, con el fin de garantizar una unión casi perfecta.

Esta técnica supone sin duda, la necesidad de una "cultura del atornillado", con mayor precisión, mayor calidad, menor tiempo y mayor seguridad.

Experiencias en otras zonas



Aspecto del equipo mecánico para el primer apriete de la tornillería, de una estructura metálica cuyos nudos están resueltos mediante uniones atornilladas

Si analizamos los sistemas constructivos de estructuras metálicas en otras zonas de España, hemos comprobado un importante avance en la zona norte (País Vasco, Bilbao, etc.), con una mayor tradición en la ejecución de estructuras metálicas y con una consolidada inclinación por las estructuras atornilladas.

En el resto de Europa la tendencia generalizada es a practicar la unión soldada exclusivamente en piezas en taller y una prácticamente total utilización de la unión atornillada en obra, aprovechando todas las ventajas de esta técnica ya expuestas.

Opiniones de los colegiados

Hay que celebrar la cordial acogida de la iniciativa, en la que han participado gran cantidad de colegiados, unos en respuesta a su ya amplia experiencia en este tema y otros, no menos importante, por las dudas e incógnitas, que estas dos alternativas de uniones de estructuras metálicas plantean, según se ha podido comprobar en conversaciones con distintos técnicos, que han planteando distintas opiniones al respecto, en la línea de lo avanzado y expuesto en esta serie de artículos, que ha presentado la revista "Región Industrial".

Conclusiones

Antes de terminar nuestro artículo, como hemos dicho, último de la serie de cuatro entregas, en relación a las estructuras soldadas o atornilladas, el lector estará pensando en cual será el consejo o recomendación final para decidir entre ambas alternativas.

En ese sentido es difícil plantear un consejo o recomendación general y que de respuesta a todos los casos, pero a la vista de todo

lo anteriormente expuesto, estamos en disposición de concluir y recomendar el uso del sistema de unión por soldadura solo a los trabajos en taller y en unión de pilares con placas de anclaje en cimentación en obra. Para el resto de uniones, debemos irnos al sistema de unión atornillada.

Esta decisión hace necesario contar con un minucioso proyecto y con una empresa de fabricación y montaje, que cuente con los medios suficientes, capaz de dar una respuesta fiable a esta necesidad, cada día más solicitada, sin olvidar contar en todo momento con adecuados medios de replanteo y de control geométrico, verificados por los servicios de Control de Calidad y de Ejecución, puestos al servicio de la obra.

No queremos terminar esta serie de artículos, sin recordar el importante papel que va a jugar el recién publicado Código Técnico de la Edificación (C.T.E), donde en el Documento Básico: SE-A: Seguridad Estructural: Acero, en sus capítulos 8.6 y 10.3 (Uniones Soldadas) y en el 8.5 y 10.4 (Uniones Atornilladas) deja constancia clara de la normativa para uniones soldadas y para uniones atornilladas, actualmente en vigor.

(*) *Jesús H. Alcañiz Martínez, es Arquitecto Técnico, Director del "GABINETE DE CONTROL" (Organización de Control de Calidad), Profesor de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) y Especialista en Materiales del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia (COAATMU).*

e-mail: gabinetedecontrol@ono.com



Detalle de una unión estructural resuelta con tornillería. Véase la precisión en el montaje y la facilidad para su control y supervisión



Detalle del equipo utilizado para proporcionar el primer apriete de la tornillería, para las puntas de unión de la estructura