

DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE ESC

USO DE TUERCAS REMACHABLES EN ESTRUCTURAS CIVILES DEL ÁMBITO NUCLEAR COMO ALTERNATIVA A UNIONES ATORNILLADAS TRADICIONALES

ÁNGEL DE BLAS GORDO
EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL

La concepción de estructuras civiles busca el equilibrio entre criterios de diseño, necesidades y realidad de las plantas y materiales disponibles en el mercado. Se trata de una ecuación no siempre sencilla de resolver, de modo que, en ocasiones, es necesario explorar y emplear soluciones menos habituales. El uso de tuercas remachables, en diseños que les sean benévolos, es una buena solución para sustituir las uniones atornilladas tradicionales allí donde estas no pueden ser convenientemente instaladas.

ANTECEDENTES

En la industria nuclear, las modificaciones de diseño de carácter civil y otras actuaciones del mismo ámbito conllevan la creación o transformación de estructuras, concebidas para atender de modo específico a los cometidos que les son requeridos. La realidad de cada planta impone criterios adicionales a los meramente funcionales, siendo preceptivo encontrar el equilibrio entre métodos de diseño, disposiciones regulatorias, necesidades de espacio y gestión de tiempos. Todo ello, siempre, bajo el prisma de la mejora incesante de la seguridad.

En el caso específico de las estructuras metálicas, a la designación de materiales y a la elección de geometrías se suma el laborioso proceso de concebir su quid: las uniones. La versatilidad que aportan las múltiples opciones de diseño y ejecución de una unión permite hacer frente a las necesidades más exigentes. Sin embargo, las posibilidades se reducen cuando se trata de una aplicación nuclear, pues es requerido emplear medios que presenten no solo adecuados resistencia y comportamiento en servicio sino, a su vez, la suficiente robustez que asegure una alta fiabilidad en bajas tasas de fallo.

En el mercado existen infinidad de soluciones comerciales que permiten abordar las uniones desde puntos de vista diferenciados, por ejemplo, en cuanto a materiales, resistencia o ejecución. En el ámbito nuclear y desde la perspectiva de la disciplina civil, el amplio espectro del que disponen otras industrias se ve notablemente reducido, ya que únicamente se emplean aquellos elementos de unión que ofrecen una alta compatibilidad con los requisitos que les van a ser exigidos. Este hecho deja en la práctica fuera de uso numerosos métodos de unión que, siendo útiles, ingeniosos y eficaces, no han sido validados para aplicaciones nucleares y, por tanto, no es posible asegurar su fiabilidad. Se descartan de este modo la mayoría de los materiales, primando

los aceros de alta calidad, y se reducen las infinitas variantes geométricas a las más robustas, mediante secciones generosas que aseguren una adecuada transmisión de esfuerzos y un margen de seguridad elevado. Resulta de vital importancia que todos los elementos involucrados mantengan una cierta similitud en sus características, lo que hará esperar un comportamiento homogéneo del conjunto que será, generalmente, más fiable. Es precisamente este aspecto el que lleva a descartar inicialmente ciertas soluciones comerciales, por buenas que sean, ya que normalmente estas han sido diseñadas para cumplir una funcionalidad más allá de alcanzar una cierta resistencia. Las peculiaridades del diseño que permiten cumplir la función exigida son, en ocasiones, incompatibles con las premisas de un diseño robusto. De este modo, por ejemplo, una tuerca de teflón lubricaría y facilitaría una unión, pero resultaría poco fiable por formar parte de la cadena de transmisión de esfuerzos, donde rompería fácilmente, pero sí sería aceptable si su función fuera únicamente facilitadora, secundaria y razonablemente prescindible, dejando la responsabilidad de resistir las cargas a otro elemento. Sucede en las cerraduras, donde la función resistente la cumple el resbalón de acero u otro elemento análogo, pero su utilización a largo plazo mejora si se incluye en su mecanismo un cojinete de teflón.

LAS SOLUCIONES CLÁSICAS

En el hecho de la concepción de una estructura metálica, la unión entre sus diferentes elementos es, probablemente, el mayor desafío al que se somete el calculista. El resultado ha de ser un equilibrio entre necesidades y condicionantes geométricos y cargas aplicadas junto con desplazamientos inducidos. En este equilibrio, la mayor responsabilidad no la tiene la estructura en sí, sino las uniones, en tanto que estas

condicionan completamente la distribución de esfuerzos de aquella. Son, además, especialmente sensibles, ya que pequeñas variaciones en su razón de ser suponen grandes diferencias de comportamiento, siempre de modo más notable en las uniones atornilladas que en las que lo son por soldadura. Por ello, el cálculo de una estructura debe partir de la elección cuidadosa de sus uniones, tanto de su geometría y materiales como de su posición en el conjunto. Sucede que un mismo elemento de unión puede experimentar notables diferencias en su modo de trabajar en función de la disposición de las uniones sobre la estructura, de tal modo que una posición desfavorable puede establecer exigencias resistentes en ocasiones inasumibles, derivando en la prescripción errónea de uniones innecesariamente robustas y desproporcionadas al efecto que se pretende. Este hecho es el quid de la cuestión que plantea el utilizar únicamente soluciones clásicas o aventurarse a introducir en un diseño soluciones comerciales, como excepción razonable, cuando una necesidad concreta nos lleve a requerir estas últimas frente a aquellas. El uso de tuercas remachables, como solución alternativa donde no llegan las tradicionales, encaja perfectamente en este escenario.

LAS DIFICULTADES DEL CAMBIO

Las tuercas remachables son una solución comercial innovadora, que aúna los muchos beneficios de una unión atornillada tradicional y, mejorándolas, las ventajas de instalación que ofrece un remache. Su funcionamiento, como se detallará más adelante, incluye la necesidad de promover una deformación plástica, la de la parte remachable de la tuerca, lo que, a priori, les hace candidatas a ser descartadas para una aplicación nuclear. Por lo general, el rango de trabajo de una unión y de la estructura y en su conjunto se entiende siempre comprendido por debajo del límite elástico de los materiales. No es recomendable, con carácter general, permitir que los materiales superen su límite elástico y entren en el complejo e incontrolable régimen plástico. Complejo, porque su no linealidad lleva a que su estudio requiera un elevado esfuerzo de cálculo, resultando además menos intuitivo que el régimen elástico. Incontrolable, ya que la absorción de energía durante la plastificación conduce a la rotura y no resulta adecuado llevar a un elemento al borde de un modo de fallo. Por estos motivos, una pieza que pueda ser calificada como remachable no suele ser utilizada en un diseño relacionado con la seguridad nuclear. Resulta injusto, probablemente, porque sus muchas virtudes pueden ser aprovechadas siempre y cuando el diseño global le sea benévolo y favorable, esto es, cuando se conciba la unión para trabajar dentro del rango en el que lo hace de manera óptima y no se le exija algo para lo que no está diseñada. Este criterio es general y debe ser siempre una premisa, también en el caso de uniones tradicionales, pero debe seguirse con mayor pulcritud cuando se trata de utilizar un elemento comercial especificado para usos muy concretos, con objeto de no salirse de estos. Conocer la razón de ser una tuerca remachable, fusión de una unión atornillada tradicional y un remache, permite conocer sus puntos fuertes y aporta información sobre cómo diluir sus debilidades. Sabido que el conjunto formado por tornillo, tuercas y arandelas sí permite alcanzar todas las garantías en un uso nuclear, es precisamente el concepto de remache el que más conviene desgranar. Un remache puede llegar a ser tremendamente robusto, en especial en su con-

cepción más tradicional y ante modos de funcionamiento apropiados. Sin embargo, ciertos modelos de remache más contemporáneos, a pesar de sus virtudes, pueden resultar poco adecuados para realizar uniones con altas exigencias. Conviene siempre exigir a cada elemento lo que mejor puede estar dispuesto a dar, por lo que de un remache se pueden tomar ciertas virtudes que, fusionadas con un tornillo, dan lugar a la tuerca remachable.

LA RAZÓN DE SER

La concepción tradicional de un remache está basada en el funcionamiento de una unión bulonada. Si se desea unir dos o más chapas o perfiles, se realiza un taladro pasante a todos ellos y se introduce un redondo de acero, que trababa la unión. Hasta aquí, se tiene una unión articulada, que se podría mantener así con solo colocar, por ejemplo, unos pasadores en ambos extremos del mismo. Sería una unión válida y muy resistente, aunque únicamente a esfuerzos cortantes, esto es, radiales al bulón. Para completarla, se deforman los extremos del vástago para darles forma de gota de sebo, mediante aplicación de la energía de choque de un martillo en uno de los lados y la colocación de una sufridera en el otro, siendo habitual que uno de los extremos ya venga deformado del taller. Se adquiere cuantiosa capacidad a tracción, añadido a que el bulón se expande radialmente y ocupa todo el espacio disponible en el hueco, mejorando la transmisión de esfuerzos y limitando el movimiento de la unión. Bien proporcionados los materiales y los espesores de los elementos participantes, a efectos de evitar fenómenos de aplastamiento o de cizalladura, el conjunto constituye una unión válida cuyas prestaciones son buenas y duraderas en el tiempo. Se caracteriza por su resiliencia y buen comportamiento en servicio, especialmente colocados en los vértices de las estructuras trianguladas, que admiten grandes cargas y son muy elásticas. Sirva como ejemplo la Torre Eiffel de París, cuyos más de 300 metros de altura resisten cargas de viento muy elevadas y generan, sin daño a la estructura, desplazamientos en punta de varios centímetros. Más identificativo aún es el caso de la Estación de Francia de Barcelona, cuyos andenes están cubiertos por tres gigantescas marquesinas cuyo trazado en planta desarrolla una curva. Su estructura remachada soporta sin problema el efecto del cambio de dirección que se impone al viento a su través. Es necesario mencionar que este tipo de unión, por su forma de montaje, requiere mucho tiempo de montaje y acceso por ambos lados del bulón, por lo que generalmente se prefiere instalar una unión atornillada. Eso no quita importancia a que las tuercas remachables deben parte de su buen funcionamiento a lo que se acaba de indicar. Con todas las diferencias existentes, una vez instaladas, la zona deformada toma una forma que recuerda una unión bulonada, de donde toma parte de su esencia y su buena aptitud frente al trabajo mecánico. Sin embargo, una tuerca remachable tiene como principal virtud el que su montaje se realiza únicamente por uno de los lados de la unión, sin necesidad de disponer de acceso al otro lado. Esta ventaja la toman de los remaches más habituales en la industria en el momento actual. Son menos robustos, pero más fáciles y rápidos de instalar. Se trata de una estructura cilíndrica hueca, a través de la cual pasa una espiga en uno de cuyos extremos dispone de una esfera o similar. Se introduce el remache ciego en el taladro practicado en los elementos a unir y se tira de la espiga por el lado contrario a la esfera,

introduciéndose esta en el interior del cuerpo cilíndrico, expandiéndolo y fijando la unión. La principal ventaja es la rapidez de instalación, además del hecho de que únicamente es necesario acceso por un lado de la unión. Sin embargo, presenta ciertas desventajas que desaconsejan su uso en aplicaciones nucleares: el punto donde la esfera queda encajada es el de máxima concentración de tensiones, mientras que el resto del remache apenas trabaja, lo que ocasiona no pocos problemas en el reparto de esfuerzos; no permite comprobar hasta qué punto su instalación ha sido correcta, de modo que no es posible asegurar que se haya alcanzado el total de su resistencia ni comprobar la misma por métodos no destructivos; no es desmontable y no permite su reinstalación ni reapriete; ante acciones dinámicas, no trabaja bien y puede aflojarse, sin que se aprecien signos externos de su mal funcionamiento. De esto no resulta que un remache ciego sea un mal elemento de fijación, sino que no es adecuado para los usos que se esperan en una instalación nuclear. Su razón de ser, sin embargo, sí inspira a las tuercas remachables, que toman de ellos parte de la geometría y, en cierto modo, su modo de instalación. La espiga se sustituye por un tornillo y la esfera por una tuerca roscada, produciéndose la deformación en la base de la unión en lugar de en el interior. Y bien, conocidos los aspectos que una tuerca remachable toma de una unión bulonada y de un remache ciego, la terna la completa la unión atornillada tradicional, mediante tornillo, tuerca y arandela, que es precisamente aquello a lo que una tuerca remachable quiere parecerse. A grandes rasgos, esta unión puede trabajar de dos formas diferenciadas: como unión bulonada y como unión pretensada. La unión bulonada mediante tornillería no es otra cosa que pasar un tornillo por el orificio de fijación y colocar la correspondiente tuerca sin par de apriete, con algún dispositivo de retención de esta como por ejemplo una contratuerca, de forma que el tornillo quede prácticamente suelto y no tenga restringido su movimiento en dirección transversal al mismo. De este modo, queda cierta holgura entre tornillo y las paredes del taladro, lo que produce un funcionamiento válido, pero mucho peor que en el caso de la unión bulonada. Cabe recordar que el bulón se expandía radialmente bajo los efectos de la energía del martillo, ocupando todo el hueco, mientras que el tornillo queda suelto, exponiendo los filetes de rosca al aplastamiento de las paredes. Es una unión poco adecuada para trabajar a cortante, resultando válida para trabajos a tracción. La unión pretensada es la que ofrece mejores condiciones de trabajo para un tornillo. Se disponen las superficies a unir y, a su través, se pasa el tornillo y se le coloca una tuerca y arandelas. Se da un par de apriete a la tuerca, lo que genera tracción en el tornillo, esto es, fuerza de pretensado. La tracción impuesta al tornillo supone que este ejerce constantemente una fuerza normal a las superficies a unir, de modo que una acción contenida en el plano de estas es resistida por la reacción de rozamiento que entre ellas genera la normal, por lo que no deriva en un esfuerzo cortante en el tornillo. Respecto a una acción perpendicular a las superficies a unir, el tornillo la absorbe como tracción hasta alcanzar la fuerza de pretensado. Este modo de funcionar es el que mejores resultados da en aplicaciones civiles en estructuras nucleares, ya que permite absorber grandes cargas y los elementos integrantes trabajan en su modo más benévolo, por lo que se dispone de mayor capacidad. Las tuercas remachables toman de esta idea lo mejor de su funcionamiento, ya que cuando quedan instaladas, a efectos prácticos, la disposi-

ción es similar a colocar una tuerca al otro lado, por lo que es posible pretensar el tornillo y crear una buena unión. Su limitación está en que el pretensado del tornillo no debe generar en la zona deformable una mayor plastificación de la cuenta, pero esta problemática se resuelve fácilmente manteniéndose siempre en el rango de pretensado especificado en la hoja técnica.

LAS VIRTUDES

La tuerca remachable es un elemento versátil, de fácil instalación, que permite disponer de un sistema razonablemente cercano a una unión atornillada común con las ventajas que supone poder realizar la instalación de modo ciego, esto es, con acceso únicamente desde uno de los lados. Se compone de un cilindro hueco roscado interiormente en un extremo, con un saliente a modo de cabeza en forma de corona en el otro y una parte deformable entre ellos. Dicho de otro modo, es una tuerca que se alarga en un extremo para colocar un cuerpo remachable. En el mercado existe una amplia variedad de este tipo de tuercas, ofreciendo un amplio rango de funcionamiento en cada parámetro estudiado: cargas y resistencia, espesores a fijar, estanqueidad, rapidez de colocación y prestaciones generales de la unión. Donde el remache ciego constituía en sí solo la unión, porque aprisionaba sin más elementos las superficies a unir, la tuerca remachable queda fijada únicamente a una de las superficies a unir, concretamente la más próxima a la tuerca, como si fuera una tuerca soldada, pero evitando los inconvenientes térmicos que tendría la soldadura de la misma. Una vez colocada, se disponen el resto de las superficies a unir y se coloca el tornillo, apretando el mismo y obteniendo una unión atornillada pretensada. Ciertamente también puede utilizarse para unir dos o más piezas a la vez o para actuar como espaciador, si bien en aplicaciones nucleares, parece que lo más recomendable es la opción principal. Dependiendo del modelo concreto de tuerca, las prestaciones son diferentes, pero todas ellas reúnen ciertas virtudes: modo ciego, esto es, sin necesidad de acceso por la parte trasera; reducción de retrabajos o posibilidad de inutilización de la unión, para lo que rompe antes el tornillo que la tuerca en caso de un exceso de par de apriete; rapidez de instalación, para lo que se da diferentes formas a la sección transversal, entre otras, hexagonal, cuadrada o estriada, para evitar el giro de la tuerca durante el ensamblaje; admisión de grandes pares de apriete luego grandes esfuerzos, con las limitaciones que imponga la zona deformable de cada modelo y el daño por aplastamiento que se pueda realizar en las chapas fijadas, en función de su espesor; estanqueidad, si es requerida, mediante fondo cerrado; mantenimiento de la continuidad galvánica; posibilidad de instalación en múltiples materiales; desmontabilidad, resistiendo frecuentes desenroscados; variedad geométrica, con múltiples formas de cabeza en función del acabado deseado para la unión. Estas y otras características permiten al diseñador tener la posibilidad de elegir el modelo más adecuado a las necesidades concretas.

EL USO EN APLICACIONES NUCLEARES

El uso de tuercas remachables en aplicaciones nucleares requiere de un minucioso estudio por parte del diseñador, que debe responder a la pregunta relativa a cuándo se debe recurrir al uso de uno de estos elementos. La respuesta no es simple, pero se debe tener claro que una estructura

civil trabaja mejor cuanto más sencillo sea su diseño y más homogénea sea su geometría, no resultando nunca adecuado forzar a los elementos a trabajar fuera de su modo más propicio. Dicho de otro modo, en caso de necesidad, es posible pedir a una estructura que trabaje de modo extraño, para lo que será necesario sobredimensionar la misma y someterla a un estado de cargas distorsionado. Sin embargo, siempre que el equilibrio entre la realidad y las exigencias del diseño lo permitan, éste debe ser sencillo, de lo que resultará un mejor comportamiento global y un dimensionado razonable. Por lo general, en uno u otro caso, suele ser factible el instalar una unión atornillada convencional, opción que debe ser prioritaria. Sin embargo, Si este hecho resulta excesivamente complicado o enrevesado, es el momento de optar por otras soluciones, aunque sean menos habituales o conocidas. Es habitual el encontrar problemas a la hora de colocar un tornillo, ya que no siempre es factible colocar una tuerca. Una solución muy común es la de realizar un roscado in situ mediante una terraja, de manera que se pueda roscar un tornillo a cualquier elemento que permita efectuar sobre él una rosca de suficiente tamaño. No es asunto baladí, porque se ha de tener en cuenta que, en una unión roscada, la tuerca ha de ser siempre elemento más resistente y con mejor material. En ocasiones se advierte cómo se coloca, por ejemplo, un cáncamo roscado sobre una chapa. El cáncamo tendrá, probablemente, un acero de calidad tres o cuatro veces superior al de la chapa, por lo que, de facto, la unión no es válida, ya que el acero de la chapa debería ser de igual o superior calidad al del cáncamo y, probablemente, no lo será. Si, además, la rosca que se realiza tiene una longitud similar a la tuerca que correspondería, entonces la unión será tres o cuatro veces más débil de lo que debiera. Al menos, aunque no lo es todo, el número de filetes de rosca debería ser el de la correspondiente tuerca multiplicado por la relación entre calidades cáncamo/chapa. Un ejemplo de diseño más acertado sería el de colocar una chapa más gruesa, efectuar un fresado por debajo y soldar una tuerca en espera o, por qué no, modificar el diseño para colocar tuercas remachables. Es solo un ejemplo, pero es muy común el encontrarse situaciones de este tipo, en las cuales no resulta fácil colocar una tuerca convencional en espera o, más reseñable e importante aún, no es conveniente que haya una tuerca en un lugar en el que, en caso de desprendimiento accidental, pueda ocasionarse un problema. Un elemento tan pequeño como una tuerca puede romper el circuito de una turbina o de una bomba, por ejemplo, o puede generar debris en un sumidero. La opción de la tuerca soldada en espera siempre se toma como prioritaria pero, cuando las circunstancias no lo aconsejan, remachar una tuerca puede ser una buena idea. Un buen ejemplo es de un conducto HVAC de ventilación, que suele estar formado por chapas de espesores finos y soldaduras realizadas de modo controlado en taller. Si en un conducto en funcionamiento fuera necesario practicar un hueco y posteriormente taparlo y reponer las condiciones anteriores, probablemente no será posible soldar in situ, por miedo a calentar excesivamente y por tanto deteriorar el material base, ni colocar uniones atornilladas tradicionales ya que o no se puede acceder al interior del conducto para poner la tuerca o si hay que soldarla se produce el problema mencionado, pero sí una solución remachada, que se puede colocar fácilmente en operación y da garantías sobre los problemas indicados.

Para ello, conviene tener en cuenta que la posición de las nuevas tuercas remachadas ocupe un lugar en el que los esfuerzos le sean benévolos. Por ejemplo, distribuir las tracciones entre muchas unidades o colocar tantas unidades como sea necesario para que los brazos resistentes a los momentos sean lo suficientemente grandes como para reducir los cortantes. Si bien las tuercas remachadas de catálogo disponen de capacidad frente a grandes esfuerzos, la prudencia lleva a la conveniencia de disponer de márgenes de seguridad elevados, para lo cual basta con incrementar el número de uniones y, como se ha comentado antes, colocarlas de forma que la estructura trabaje de forma sencilla pero eficiente.

CONCLUSIONES

El uso de tuercas remachables, más habitual en otras industrias, precisa de un cuidadoso estudio para que su utilización en clave nuclear disponga de todas las garantías necesarias. La dificultad del arte reside en obtener soluciones sencillas frente a problemas complejos, frecuentes especialmente cuando se interviene en una instalación en funcionamiento. Ante este escenario, son siempre bienvenidas las nuevas aportaciones en la materia que ofrece la investigación y desarrollo de otros sectores especializados. A la hora de efectuar uniones atornilladas, las innovadoras tuercas remachables suponen una alternativa razonable ante problemas cuya resolución se dificulta mediante uniones tradicionales. Del análisis detallado de esta solución se extraen numerosas virtudes resistentes y un buen comportamiento ante vibraciones. Bien seleccionadas y en diseños que les sean proclives, las tuercas remachables sustituyen con garantías a las tuercas tradicionales allí donde no se aconseja o no es posible el uso de estas últimas.

Los buenos diseños son aquellos que consiguen que los conjuntos estructurales trabajen de forma armoniosa; que mantienen a los distintos elementos dentro de su rango óptimo de funcionamiento y que aplican soluciones sencillas, cuanto más mejor, a problemas complejos.

REFERENCIAS

- [1]. Avdel® Infastech (2011). Tuercas remachables. (https://www.avdel-global.com/fileadmin/user_upload/Data/PDF/Brochures/ES/Avdel_Tuercas_remachables_ES.pdf) (última vez consultado: 30/08/2021).
- [2]. Fixor SL. Tuercas remachables. (<http://fixor.es/data/documents/TUERCAS-REMACHABLES-FIXOR-2019.pdf>) (última vez consultado: 30/08/2021).
- [3]. Gesipa® (2021). Catálogo 2021/2022. Remaches. Tuercas remachables. Remachadoras. (https://www.gesipa.es/servicio/medios_y_descargas/catalogo/) (última vez consultado: 30/08/2021).
- [4]. Rivkle® Bollhoff. Tuercas y pernos remachables. (<https://media.boellhoff.com/files/pdf13/rivkle-tuercas-y-pernos-remachables-es-2307.pdf>) (última vez consultado: 30/08/2021).
- [5]. Teknolösungen Sistemas S.L. (2020). Tuercas remachables. Información técnica. (<https://www.teknoloesungen.com/wp-content/uploads/CATALOGO-TUERCAS-Y-PERNOS-REMACHABLES.pdf>) (última vez consultado: 30/08/2021).■