

CONNECT4C: UNIONES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA PARA CONSTRUCCIÓN CIRCULAR

Connect4C: High-Strength steel connections for circular construction

Alejandro Bernabeu Larena ^a, Guillermo González Sanz ^b, Tialgo Alves ^c, Neda Jankovic ^d, Filip Ljubinkovic ^e, Luis Simoes Da Silva ^f, Jorge Conde Conde ^g, Antonio José Lara Bocanegra ^h, Almudena Majano Majano ⁱ, Laurent Duchêne ^j, Arnaud Neutelers ^k, Jean-François Demonceau ^l, Adriano Silva De Carvalho ^m, Teodora Bodgan ⁿ, Christoph Odenbreit ^o y Kristo Mela ^p

^a Bernabeu Ingenieros. abl@bernabeu.net ; ^b Bernabeu Ingenieros. ggs@bernabeu.net

^c Universidad de Coimbra. tialgo.alves@adfconsultores.com ; ^d Universidad de Coimbra. neda.jankovic13@gmail.com

^e Universidad de Coimbra. fili@uc.pt ; ^f Universidad de Coimbra. luiss@dec.uc.pt

^g Universidad Politécnica de Madrid. jorge.conde@upm.es ; ^h Universidad Politécnica de Madrid. antonio.lara@upm.es

ⁱ Universidad Politécnica de Madrid. almudena.majano@upm.es ; ^j Universidad de Lège. L.Duchene@uliege.be

^k Universidad de Lège. Arnaud.Neutelers@uliege.be ; ^l Universidad de Lège. fjdemonceau@uliege.be

^m Universidad de Luxemburgo. adriano.decarvalho@uni.lu ; ⁿ Universidad de Luxemburgo. teodora.bodgan@uni.lu

^o Universidad de Luxemburgo. christoph.odembreit@uni.lu ; ^p Universidad de Tampere. kristo.mela@tuni.fi

RESUMEN

Connect4C es un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea, cuyo objetivo es desarrollar un sistema de conexiones de acero de alta resistencia para la construcción circular en acero. El proyecto se centra en desarrollar soluciones estandarizadas, diseñadas para uniones desmontables, reutilizables y adaptables en 3D, aprovechando el acero de alta resistencia. El proyecto abarca el desarrollo de tres tipos de uniones más habituales: uniones simples viga-pilar, uniones rígidas viga-pilar, y empalmes de pilares. El artículo presenta el enfoque general del proyecto, los objetivos perseguidos y el desarrollo que se está llevando a cabo para la implementación del sistema, considerando ensayos y análisis detallados.

ABSTRACT

Connect4C is a research project funded by the European Union, which aims to develop a system of high-strength steel connections for circular steel construction. It focuses on developing ready-to-use, standardized solutions for demountable, reusable, and adaptable 3D connections, taking advantage of the enhanced performance of advanced steel grades. The project considers the development of three most-used joint types: beam-to-column simple joints, beam-to-column moment-resisting joints and column splices. The paper presents the general approach of the project, the objectives pursued, and the development being carried out for the development of the system, considering specific tests and analyses.

PALABRAS CLAVE: Construcción circular, reutilización, uniones metálicas, acero de alta resistencia.

KEYWORDS: Circular construction, reuse, steel connections, high-strength steel.

1. Antecedentes

Una creciente tendencia en las emisiones de carbono ha impulsado a los organismos reguladores a implementar nuevos mandatos. En 2020, la Comisión Europea introdujo el Pacto Verde Europeo [1] como una estrategia integral con el objetivo de reducir las emisiones de carbono en un 55% para 2030 y lograr una descarbonización completa para 2050. Como marco estándar para apoyar a las industrias en el cumplimiento de este objetivo, ese mismo año se presentó el reglamento de taxonomía de sostenibilidad de la UE [2].

La industria de la construcción contribuye de manera importante a las emisiones globales de CO₂. Según el informe sobre el estado global de 2018 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el sector es responsable del 39% de las emisiones globales de CO₂-e [3]. Por lo tanto, es esencial que los investigadores y las industrias dentro del ámbito de la construcción investiguen y desarrollen sistemas que guíen al sector hacia la sostenibilidad. En este sentido, los requisitos establecidos en el Pacto Verde Europeo obligan al sector de la construcción a adoptar estrategias de "diseño para desmontaje y reutilización" [1].

El acero, por su naturaleza, ofrece una ventaja única para los enfoques de economía circular debido a su durabilidad y reciclabilidad. Sin embargo, la reutilización de estructuras de acero presenta un desafío complejo, agravado por factores como la disponibilidad limitada de materiales, la alta huella de carbono de los procesos de demolición y la falta de normas de diseño estandarizadas para la reutilización [4]. Además, las implicaciones económicas de estos desafíos son significativas, ya que el costo y el nivel de industrialización de las conexiones entre miembros de acero impactan directamente en la viabilidad de la reutilización. Las conexiones

desempeñan un papel crucial, ya que son elementos clave para la reutilización de estructuras de acero. Asimismo, las conexiones son responsables directa e indirectamente del 50% del costo de una estructura de acero. Al emplear conexiones desmontables de alto rendimiento, donde las conexiones atornilladas son preferibles a las soldadas [5], las vigas y pilares de acero estructural pueden desmontarse y reutilizarse fácilmente.

En este contexto, Connect4C tiene como objetivo desarrollar un sistema de conexiones de acero de alta resistencia (HSS, por sus siglas en inglés) para la construcción circular en acero. Es un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea, coordinado por la Universidad de Coímbra, que involucra universidades y empresas de Portugal, Bélgica, Luxemburgo, Finlandia y España. El consorcio está compuesto por cinco instituciones académicas – la Universidad de Coímbra, la Universidad de Lieja, la Universidad de Luxemburgo, la Universidad de Tampere y la Universidad Politécnica de Madrid – así como por cinco socios industriales – Ferpinta, Fator, Jupasa, Adão da Fonseca y Bernabeu Ingenieros [6]. El proyecto comenzó en septiembre de 2023, con una duración total de 42 meses, hasta febrero de 2027.

Connect4C se centra en desarrollar soluciones estandarizadas y listas para usar para conexiones tridimensionales desmontables, reutilizables y adaptables, aprovechando el rendimiento mejorado de los aceros avanzados (Figura 1). El proyecto promoverá una economía circular en la industria de la construcción en acero, lo que conducirá a importantes ahorros medioambientales mediante un pensamiento basado en el ciclo de vida y la digitalización, manteniendo al mismo tiempo la competitividad

de la economía europea. Se busca mejorar la circularidad en la construcción en acero mediante el desarrollo de sistemas de conexión innovadores, desmontables y adaptables, que son elementos clave para la reutilización efectiva de elementos estructurales de acero (vigas y pilares), independientemente de sus dimensiones exactas (longitud), permitiendo grandes tolerancias. Finalmente, fomenta el desarrollo de conexiones de acero con un rendimiento optimizado, no solo a nivel macro, sino también a nivel de componentes, para lo cual se prevé el

uso de acero de alta resistencia (HSS) y pernos largos.

El propósito de este artículo es presentar el sistema Connect4C en su estado actual de desarrollo, abordando la motivación y los objetivos del proyecto, la configuración del sistema, el concepto y las características de las conexiones desmontables, reutilizables y adaptables de acero de alta resistencia investigadas, y los próximos desarrollos previstos.

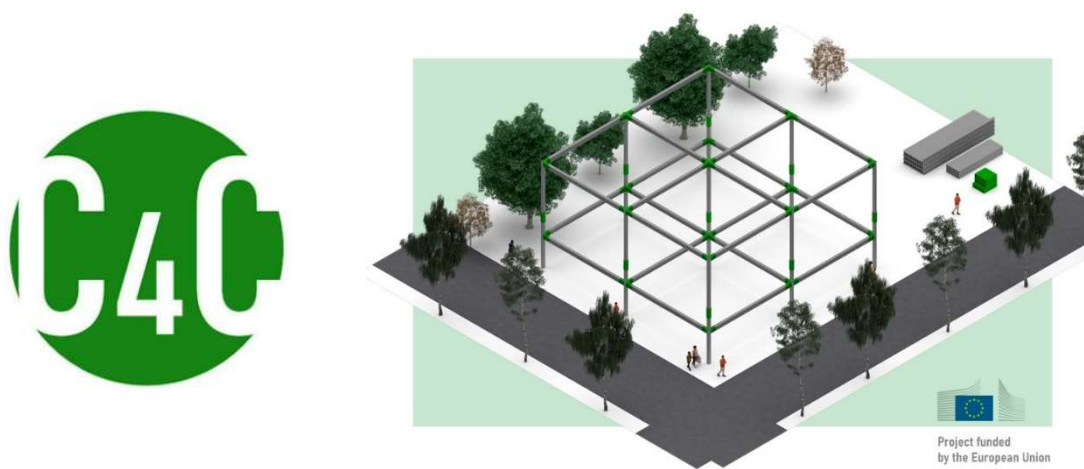


Figura 1. Connect4C. Conexiones de acero de alta resistencia para la construcción circular en acero.

2. Connect4C. Objetivos y visión general del proyecto

2.1 Motivación y objetivos

El proyecto Connect4C está motivado por dos grandes requisitos:

- Los requisitos de sostenibilidad establecidos en el Pacto Verde Europeo de la Comisión Europea, que exigen la eliminación de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050, impulsan al sector de la construcción hacia un "diseño para desmontaje y reutilización", como se mencionó anteriormente.
- La demanda de códigos estructurales y guías de diseño que puedan beneficiarse de las propiedades de los aceros de alta resistencia.

Siguiendo estos requisitos, el principal objetivo del proyecto es el desarrollo de soluciones estandarizadas y listas para usar para estructuras de acero desmontables, adaptables y reutilizables, junto con las conexiones tridimensionales subyacentes, utilizando aceros avanzados y proporcionando todas las herramientas necesarias para su implementación.

En concreto, el sistema propuesto debe cumplir los siguientes requisitos clave:

- Adaptabilidad: capacidad de ajustar pequeños desajustes geométricos entre la longitud de los elementos y la retícula estructural. Esto es especialmente importante para la reutilización óptima de vigas existentes, cuya longitud

podría no coincidir con el vano requerido, así como para pilares, permitiendo pequeñas variaciones en la altura entre niveles.

- Reutilización: posibilidad de reutilizar fácilmente los elementos de acero. Durante el proceso de diseño se debe prestar especial atención a la deformación de los elementos en estados límite de servicio (e.g., limitar las deformaciones no recuperables).
- Desmontabilidad: capacidad de desmontar fácilmente las uniones, permitiendo así la recuperación completa de los elementos estructurales no dañados. Si es posible, se debe evitar el corte térmico de alto consumo energético durante el proceso de desmontaje. Por lo tanto, las soldaduras en los elementos estructurales deben minimizarse o, si es posible, eliminarse y sustituirse por soluciones equivalentes atornilladas.

La ambición principal del proyecto es promover una economía circular en la industria de la construcción aprovechando el potencial del acero como material estructural.

2.2 Descripción general del proyecto

El sistema *Connect4C* se aplica a edificios de acero no industriales, como residenciales, oficinas y edificios comerciales de poca altura o múltiples pisos, con losas simples o mixtas. El sistema incluye vigas, pilares y uniones innovadoras como elementos clave para la reutilización de estructuras de acero. Los perfiles utilizados en el sistema para vigas y pilares incluyen perfiles de sección abierta y perfiles tubulares. El sistema considera tres tipos diferentes de conexiones:

- Uniones simples (articuladas): viga-viga o viga-pilar.
- Uniones resistentes a momentos: viga-viga o viga-pilar.
- Empalmes de pilares.

Todos los elementos del sistema (pilares, vigas y uniones) están fabricados con acero al carbono, utilizando tanto acero estándar como acero de alta resistencia (HSS).

El sistema está diseñado para cargas gravitatorias. Por lo tanto, la estabilidad lateral debe garantizarse de forma independiente, presumiblemente mediante un núcleo rígido o un sistema de arriostramiento complementario que asegure el comportamiento del sistema frente a cargas horizontales de viento y sísmicas. Por ende, no se consideran cargas de viento ni sísmicas en el análisis y comportamiento del sistema. Asimismo, el sistema no considera el diseño y análisis de las cimentaciones, ni de elementos secundarios como escaleras, fachadas o revestimientos.

Se lleva a cabo un estudio paramétrico considerando una variedad de luces de vigas, separación entre vigas, y cargas. Los vanos de vigas oscilan entre 4.05 m y 16.20 m, considerando una longitud modular de 1.35 m (de 3×1.35 m a 12×1.35 m). La separación entre vigas varía entre 2 y 3 m, con vanos estándar cubiertos por losas de acero. Las cargas totales (incluyendo permanentes y variables) se clasifican como ligeras ($q_k \approx 5.5\text{-}6.0$ kN/m²), medias ($q_k \approx 7.0\text{-}8.0$ kN/m²) o altas ($q_k \approx 10.0\text{-}11.0$ kN/m²). El sistema y las conexiones diseñadas permiten una tolerancia de hasta 250mm.

Para guiar el desarrollo del sistema y verificar su aplicabilidad y eficiencia, se considera un edificio representativo. Este edificio de referencia se diseña inicialmente con soluciones de conexión estándar y posteriormente se rediseña incorporando las características del sistema de conexiones *Connect4C*, incluyendo las implicaciones de desmontabilidad y grandes tolerancias. La Figura 2. presenta el edificio de referencia, un edificio de oficinas de 7 pisos de altura, con una planta de 28.35 m (21×1.35 m) $\times$ 16.20 m (12×1.35 m). Los vanos de las vigas varían entre 5.40 m (vigas transversales) y 6.75 m o 10.80 m (vigas longitudinales). La altura de los pisos es de 4.0 m. El edificio está arriostrado por un núcleo central, por lo que no se consideran cargas horizontales, como se mencionó anteriormente. El edificio se considera tanto con conexiones

simplemente apoyadas como resistentes a momentos.

Además, se han desarrollado o están en desarrollo varias campañas experimentales para la caracterización de componentes innovadores y de acero de alta resistencia (HSS) en las diferentes configuraciones de conexiones. Estas

incluyen el análisis y experimentación de nuevos componentes, como "L-stubs", la extensión de componentes existentes a HSS y los pernos largos. El propósito es caracterizar los distintos componentes y considerar su comportamiento real en los diferentes tipos de conexiones analizados.

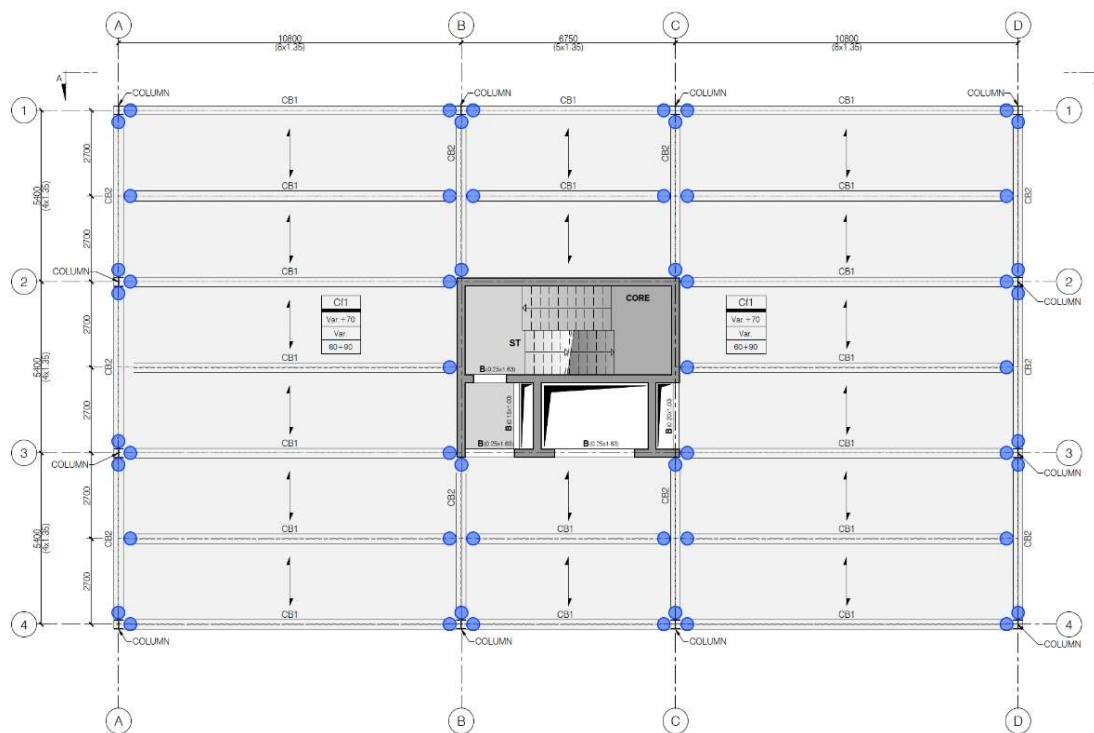


Figura 2. Configuración del edificio de referencia.

3. Conexiones de acero de alta resistencia (HSS) desmontables, reutilizables y adaptables.

3.1 Uniones simples

Las uniones simples utilizarán un elemento de conexión ajustable en forma de L con orificios ranurados. Este componente será responsable de la conexión entre vigas y pilares, proporcionando adaptabilidad horizontal a la estructura de la unión. Las uniones simples estudiadas incluyen conexiones entre vigas de sección abierta y pilares tubulares, conexiones entre celosías cerradas y pilares de sección abierta, conexiones entre vigas y pilares de sección abierta. Para adaptarse a las variaciones de perfiles de pilar en edificios antiguos y

nuevos, se permitirá una gran tolerancia de 230 mm entre los extremos de las vigas y las líneas centrales de las pilares. Esto se logrará mediante el uso de pletinas en forma de L con orificios ranurados largos. En los ensayos, se variarán los siguientes parámetros: tipo y tamaño de la viga, tipo y tamaño del pilar, uso de aceros de alta resistencia, excentricidades. Se investigarán los siguientes aspectos: resistencia a la flexión y capacidad rotacional de la unión considerando el pretensado de los pernos, modos de rotura, reutilización de los elementos.

La conexión entre vigas de sección abierta y pilares tubulares representa un desafío en el

diseño de uniones. El sistema de conexión propuesto utilizará una pletina en forma de L como elemento principal. Sin embargo, también

incorporará un componente adicional que permitirá la conexión de la placa de aleta en forma de L con el pilar circular

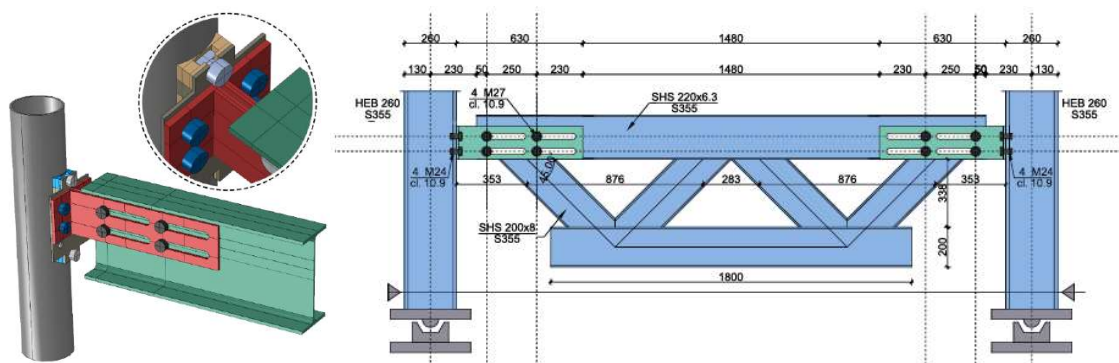


Figura 3. Uniones simples. a) Vigas de sección abierta y pilares tubulares, b) Celosías y pilares de sección abierta.

El sistema propuesto también contempla la posibilidad de una conexión entre pilares de sección abierta y vigas en celosía. Para ello, es necesario investigar el comportamiento de la unión con perfiles tubulares como elementos de la celosía. Durante los ensayos se considerarán diferentes excentricidades, dependiendo de la posición del pilar con respecto a la celosía. Por lo tanto, en el primer ensayo, la celosía estará conectada al ala del pilar y en el segundo ensayo, la celosía estará conectada al alma del pilar. Esto permitirá una mejor comprensión del comportamiento de la conexión pilar-celosía.

La unión propuesta también puede aplicarse a configuraciones más estándar, como la conexión de vigas de sección abierta a pilares de sección abierta. En este caso, se llevará a cabo un ensayo experimental para evaluar la variación de rigidez de la conexión mediante el uso de una placa extendida en la conexión viga-pilar. Este diseño también fomentará el uso de un mayor número de pernos en la región de conexión entre la pilar y la placa en forma de L.

3.2 Uniones resistentes a momento

Las uniones resistentes a momento se consideran tanto para conexiones viga-viga como para conexiones viga-pilar, dependiendo de la configuración estudiada [7]. Primero se realizó un estudio para evaluar la influencia de la continuidad de una viga en sus soportes,

concluyendo que el aumento del vano proporcionado por la continuidad es mayor si se realiza un análisis plástico. En base a esto, se adopta una estrategia de desarrollo de conexiones semi-rígidas, en las que la resistencia de la conexión es inferior a la resistencia de la viga, proporcionando continuidad razonable con pequeña rotación para Estados Límite de Servicio (SLS), y continuidad moderada con gran rotación para Estados Límite Últimos (ULS).

Se ha desarrollado y validado una innovadora conexión desmontable resistente a momento de doble cara para vigas de sección abierta. Esta unión asegura la continuidad entre los dos elementos conectados transfiriendo las fuerzas internas en su interfaz, permitiendo además cambios en las dimensiones de la sección transversal. La conexión estudiada se ensambla con piezas independientes mediante pernos convencionales y pernos largos, sin necesidad de soldadura adicional, haciéndola completamente desmontable. La Figura 4 muestra la conexión propuesta. Un elemento llamado "hyperpack" (en azul claro y oscuro en la figura) se añade a la conexión en comparación con uniones convencionales, para adaptarse a diferentes sistemas estructurales. Su propósito es conectar vigas secundarias de diferentes longitudes con la viga principal de manera efectiva. La conexión incluye cuatro hyperpacks, dispuestos en cada extremo de ambos lados de la viga.

El hyperpack está formado por cinco placas de acero (S355 o acero de alta resistencia HSS S690) soldadas entre sí y sirve para unir la viga principal con las vigas secundarias. Contiene numerosos orificios de pernos, con una separación de 50 mm, que permiten ligeros movimientos longitudinales de las vigas secundarias para adaptarse a diferentes vanos. El diseño del hyperpack deja espacios abiertos para facilitar el acceso a todas las partes de la conexión. La conexión entre la viga secundaria y el hyperpack se realiza con varios pernos convencionales (clase 10.9), con cuatro pernos convencionales en el alma de la viga principal transfieren principalmente esfuerzos cortantes y los pernos largos son responsables de transmitir

los esfuerzos de tracción. Para evitar la flexión de los pernos largos y efectos no deseados, se utilizan orificios ranurados en el alma de la viga principal. Se han realizado análisis de elementos finitos (FEM) para comprobar el comportamiento de la conexión y confirmar que los diferentes elementos permanecen en la zona elástica durante la vida útil de la estructura, asegurando que no haya plastificación significativa y permitiendo la reutilización de la conexión. Según este análisis, se están realizando pequeños ajustes, como la inclusión de rigidizadores y placas adicionales, pero el desempeño de la configuración propuesta es satisfactorio.

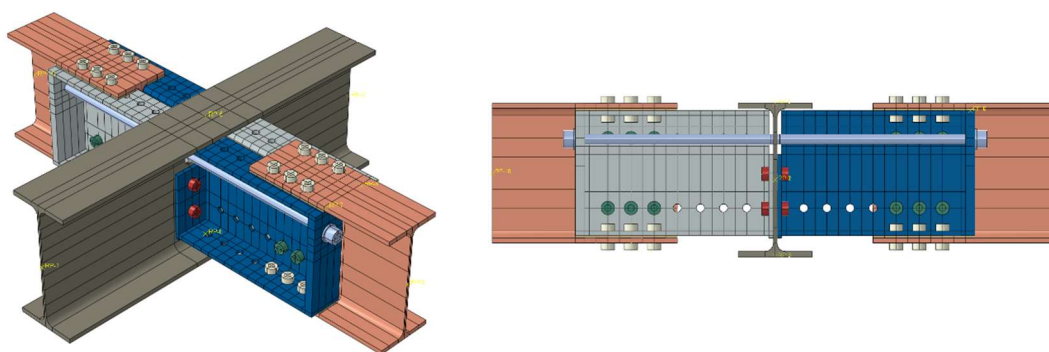


Figura 4. Conexión viga-pilar resistente a momento.

Una configuración similar está siendo estudiada para el caso de conexiones resistentes a momento entre viga y pilar, considerando pilares tubulares y vigas con perfiles tipo I (Figura 5). Al igual que en el caso viga-viga, la continuidad del momento se logra mediante los pernos largos. Según análisis preliminares, es posible transferir entre el 60-70% de la resistencia de la viga, lo que clasifica la conexión como semi-rígida con suficiente capacidad de rotación.

Los esfuerzos cortantes se transfieren de la viga al elemento intermedio mediante elementos

convencionales y de este elemento al pilar por medio de un conjunto de placas de acero soldadas, dispuestas en el pilar a intervalos específicos en altura, lo que permite adaptabilidad vertical para niveles de planta. Es importante destacar que la conexión asegura la continuidad del momento en la viga, pero está simplemente apoyada en el pilar, lo que significa que no hay transferencia de esfuerzos de flexión de las vigas hacia los pilares.

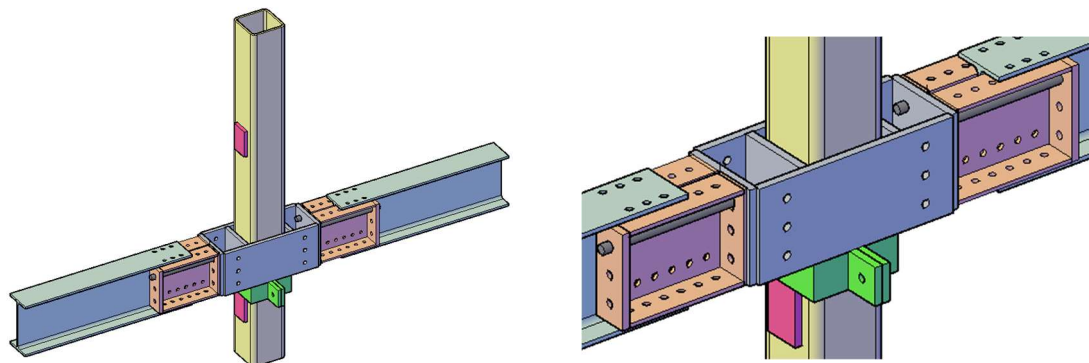


Figura 5. Conexión viga-pilar resistente a momento.

3.3. Empalmes de pilares

Los empalmes de pilares están diseñados para lograr adaptabilidad vertical y un modo de rotura dúctil, asegurando que los pilares sean reutilizables al evitar deformaciones plásticas locales excesivas. Se han evaluado múltiples soluciones de empalme para equilibrar la viabilidad, reutilización, adaptabilidad y eficiencia, de acuerdo con los objetivos del proyecto. Las soluciones se dividen en dos categorías principales según cómo se transfieren las cargas: empalmes por contacto (bearing splices) y empalmes tipo tapa y placa (cap-and-plate splices).

En primer lugar, en las configuraciones de empalme por contacto, las cargas se transfieren a través de uniones solapadas por cizalladura, donde los pernos activan el contacto en los agujeros y transfieren las cargas mediante cizalladura de los pernos (Figura 6a). Si bien este tipo de unión es ampliamente utilizado y su diseño está regulado por las fórmulas de la normativa actualizada prEN1993-1-8, el análisis realizado muestra que este tipo de conexión es ineficiente, incluso en los casos más favorables de carga axial pura. En efecto, el uso de pernos largos de resistencia 10.9 permite alcanzar una capacidad de contacto que es inferior a la capacidad de carga del pilar. Además, los modos de rotura en este tipo de configuración son frágiles o conllevan una deformación significativa de las caras del pilar, lo que genera

deformaciones locales que comprometen la reutilización y van en contra de los objetivos del proyecto. Por estas razones, esta solución se descarta.

En segundo lugar, los empalmes tipo tapa y placa, ampliamente utilizados en la práctica, transfieren la carga axial principalmente por contacto entre las placas, mientras que los pernos se utilizan principalmente para fines constructivos y para transmitir posibles momentos o esfuerzos de cizalladura. Aunque esta solución es eficiente, no se puede utilizar tal cual en el sistema Connect4C, ya que no proporciona adaptabilidad y el fallo de cualquier elemento comprometería inmediatamente la reutilización de los pilares. Para abordar estos problemas, se propone una pieza intermedia que actúe como elemento fusible entre los pilares. Este diseño es similar al de los empalmes clásicos de placa final, pero incluye una pieza intermedia con placas en sus extremos, calibradas para actuar como fusibles en caso de sobrecarga, al tiempo que permiten adaptabilidad vertical.

Entre las configuraciones evaluadas para la pieza intermedia se incluyen: piezas de escuadra, piezas tipo UPE, piezas de T, soluciones cruzadas, escuadras con placas finales o piezas de enchufe. De todas estas, la solución cruzada intermedia ha demostrado ser la más adecuada para cumplir con los requisitos del sistema. En esta solución, el esfuerzo de

cizalladura se transfiere a través de las almas de la pieza. El momento flector y las cargas axiales se transmiten mediante las alas de la pieza. Es conveniente porque no requiere placas de empalme en los pilares que sobresalgan de sus dimensiones, eliminando restricciones en la ubicación del empalme. Los agujeros alargados en las placas finales de la pieza intermedia permiten cubrir una amplia gama de perfiles con

una única pieza, ofreciendo variaciones de geometría. Esta pieza única puede conectar perfiles H y tubulares (circulares o no). Para conectar tubos, únicamente se requieren agujeros de acceso cerca del extremo del pilar para el ajuste de los pernos. Además, esta pieza intermedia puede utilizarse para conectar vigas si se coloca al nivel de una planta.

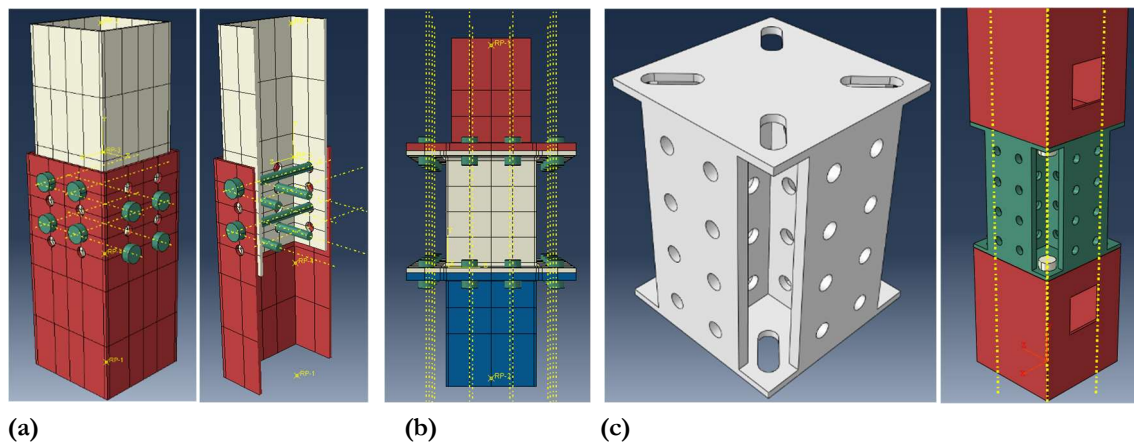


Figura 6. Empalmes de pilares. a) Empalme por contacto. Descartada. b) Tipología de tapa y placa. C) Solución cruzada intermedia.

4. Conclusiones

El artículo presenta el estado actual de desarrollo del proyecto de investigación Connect4C, un sistema innovador de conexiones de acero de alta resistencia (HSS) para la construcción circular de acero, financiado por la Unión Europea. En particular, el proyecto considera el desarrollo de los tres tipos de juntas más utilizadas: juntas simples viga-pilar, juntas resistentes a momentos viga-pilar y empalmes de pilares.

Las conexiones presentadas aseguran una gran adaptabilidad horizontal, obtenida mediante configuraciones innovadoras, de modo que las vigas pueden moverse ligeramente permitiendo tolerancias de hasta 250 mm, así como una adaptabilidad vertical de la conexión habilitada por las ocasionales placas soldadas de soporte, y empalmes de pilar para la adaptabilidad del pilar. Las conexiones son completamente desmontables, ya que todas

están atornilladas. Elementos innovadores están incluidos en el estudio, tales como L-stubs, pernos largos, hyperpacks o empalmes cruzados intermedios. También se consideran los posibles beneficios del uso de HSS. Finalmente, se toma en cuenta la reutilización de las conexiones, asegurando que no haya plastificación en las partes que puedan causar daños.

Los siguientes desarrollos y avances del proyecto consideran los siguientes puntos clave:

- Completar el análisis y refinar la configuración y el diseño de las diferentes conexiones, teniendo también en cuenta los resultados de las campañas experimentales.
- Coordinar y asegurar la compatibilidad entre los diferentes tipos de conexiones, según las características y los requisitos del sistema.

- Estudiar y coordinar la compatibilidad de las conexiones Connect4C con la reutilización de perfiles existentes, de modo que estos perfiles existentes requieran el menor proceso de adaptación posible al sistema Connect4C.
- Completar el estudio paramétrico, cubriendo el rango de cargas establecido, los tramos de viga y el espaciamiento de vigas.
- Evaluar el sistema Connect4C, utilizando el estudio del edificio de referencia, que será rediseñado incorporando las características estructurales de las conexiones C4C, con una perspectiva de ciclo de vida que abarque las dimensiones ambientales, económicas y sociales.

Además, el trabajo y los desarrollos hasta la fecha nos permiten avanzar algunas de las limitaciones del sistema, que son desafíos y oportunidades para futuros desarrollos. Estos incluyen la extensión del sistema Connect4C para considerar cargas horizontales de viento y sísmicas, mediante la integración de marcos rígidos y/o arriostrados y las conexiones necesarias en estos casos, así como la integración del sistema y su compatibilidad con sistemas de cimentación desmontables y reutilizables.

El propósito es contribuir a la digitalización y circularidad en la construcción de acero, lo que resulta en altos niveles de sostenibilidad y adaptabilidad a lo largo de la vida útil de un edificio.

Agradecimientos

Se agradece enormemente la financiación del Fondo de Investigación de Carbón y Acero de la Comisión Europea a través del proyecto de investigación Connect4C (Conexiones de acero de alta resistencia para la construcción circular), ref. no. 101112300.

Descargo de responsabilidad: "El trabajo está financiado por la Unión Europea. Sin embargo, las opiniones y puntos de vista expresados son únicamente los del o los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión

Europea o la Agencia Ejecutiva de Investigación Europea (REA). Ni la Unión Europea ni la autoridad otorgante pueden ser responsables de ellos."

Referencias

- [1] European Council, 2020. The European Green Deal. Available online: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
- [2] European Commission, 2020. EU taxonomy for sustainable activities. Available online: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
- [3] United Nations, 2018. Global Status Report 2018: towards a zero-emission, efficient and resilient build-ings and construction sector. International Energy Agency and the United Nations Environment Pro-gramme.
- [4] Kanyilmaz, A., Birhane, M., Fishwick, R. et al, 2023. Reuse of Steel in the Construction Industry: Chal-lenges and Opportunities. Int J Steel Struct 23, 1399–1416 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00778-4>
- [5] Dams, B., Maskell, D., Shea, A., Allen, S., Driesser, M., Kretschmann, T., Walker, P., Emmitt, S., 2021. A circular construction evaluation framework to promote designing for disassembly and adaptability. J. Clean. Prod. 316, 128122.
- [6] Connect4C, 2023. Connect4C. High-strength steel connections for circular construction (ref. 101112300. Website: <https://connect4c.eu/>
- [7] Janković, N., Dobrić, j, Gluhović, N, Conde, J., Ljubinković, F., Simões da Silva, L., 2023. Numerical characterization of innovative demountable beam-column connections using long bolts. XIV Confer-ence on Steel and Composite Construction. Coimbra, Portugal, November 23-24 2023.