

CMMoST 2019

5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON

Mechanical Models in Structural Engineering

Alicante, SPAIN

23 - 25 October 2019

Escuela Politécnica Superior

Universidad de Alicante

Full Papers



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

CMMoST 2019

5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
**Mechanical Models in
Structural Engineering**

Polytechnic School of Alicante

23rd – 25th October 2019



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

COMITÉ DE EDICIÓN

Salvador Ivorra Chorro

Victor Compán Cardiel

Andrés Sáez Pérez

Enrique Hernández Montes

Luisa M^a Gil Martín

Margarita Cámara Pérez

COORDINADORES

Francisco Javier Baeza de los Santos

M. A. Yordhana Gómez Sánchez

Edita: Editorial Club Universitario
C/ Decano, n.º 4 – 03690 San Vicente (Alicante)
www.ecu.fm
original@ecu.fm

ISBN: 978-84-17924-58-4
ISBN papel: 978-84-17924-22-5

Printed in Spain

Organizan:



ugr



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Patrocinan:



PAVASAL

CONTENTS

KEYNOTE LECTURES

FROM REAL-TIME SIMULATION TO STRUCTURAL DYNAMICS HYBRID TWIN. <i>Francisco Chinesta</i>	17
LOS EDIFICIOS EN ALTURA DE LA CIUDAD DE BENIDORM. <i>Florentino Regalado Tesoro</i>	17
DISEÑO PARAMÉTRICO. SU APLICACIÓN AL PROYECTO DE PUENTES. <i>José Romo Martín</i>	17

EXTENDED ABSTRACTS

A METHODOLOGY TO DESIGN INERTIAL MASS CONTROLLERS FOR HUMAN-INDUCED VIBRATIONS. <i>I.M. Díaz, X. Wang, E. Pereira, J. García Palacios, J.M. Soria, C. Martín de la Concha Renedo y J.F. Jiménez-Alonso</i>	21
A STATISTICAL-BASED PROCEDURE FOR GENERATING EQUIVALENT VERTICAL GROUND REACTION FORCE-TIME HISTORIES. <i>J.M. García-Terán, Á. Magdaleno, J. Fernández y A. Lorenzana</i>	37
A TOPOLOGICAL ENTROPY-BASED APPROACH FOR DAMAGE DETECTION OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES. <i>J.F. Jiménez-Alonso, J. López-Martínez, J.L. Blanco-Claraco, R. González-Díaz y A. Sáez</i>	55
ALTERNATIVE SOLUTIONS FOR THE ENHANCEMENT OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE COLUMNS IN FIRE USING HIGH PERFORMANCE MATERIALS – A NUMERICAL STUDY. <i>A. Espinós, A. Lapuebla-Ferri, M.L. Romero, C. Ibáñez y V. Albero</i>	63
ANÁLISIS PARAMÉTRICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADAS FRENTE A PUNZONAMIENTO. <i>M. Navarro, S. Ivorra y F.B. Varona</i>	83
APLICACIÓN DE OPTIMIZACIÓN KRIGING PARA LA BÚSQUEDA DE ESTRUCTURAS ÓPTIMAS ROBUSTAS. <i>V. Yepes, V. Penadés-Plà y T. García-Segura</i>	101
APPLICATION OF THE COMPRESSION CHORD CAPACITY MODEL TO PREDICT THE FATIGUE SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS WITHOUT STIRRUPS. <i>A. Cladera Bohigas, C. Ribas González, E. Oller Ibars y A. Marí Bernat</i>	115
ASSESSMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE USING ELECTRIC ARC FURNACE DUST AS AN ADMIXTURE. <i>M.D. Rubio Cintas, M.E. Parrón Rubio, F. Pérez García, M.A. Fernández Ruiz y M. Oliveira</i>	123
CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE UN DESLIZADOR ANTE TENSIONES NORMALES VARIABLES Y FRICCIÓN RATE AND STATE REGULARIZADA. <i>J.C. Mosquera, B. González Rodrigo, D. Santillán y L. Cueto-Felgueroso</i>	133
CHANGES IN STRENGTH AND DEFORMABILITY OF POROUS BUILDING STONES AFTER WATER SATURATION. <i>Á. Rabat, R. Tomás y M. Cano</i>	147
CHARACTERIZATION OF WELDED STEEL JOINTS USING MODAL SHAPES. <i>E. Bayo, J. Gracia y J. Jönsson</i>	157

COMPARATIVA NUMÉRICO EXPERIMENTAL DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA A COMPRESIÓN DIAGONAL. <i>D. Bru, B. Torres, F.B. Varona, R. Reynau y S. Ivorra</i>	171
CONDUCTIVE CONCRETE, NANOADDITIONS AND FUNCTIONAL APPLICATIONS. <i>B. del Moral, O. Galao, F.J. Baeza, E. Zornoza y P. Garcés</i>	181
CONSTRUIR Y ROMPER ESTRUCTURAS UN CURSO PRÁCTICO DE INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS. <i>J. Antuña, M. Vázquez, V. Pascua y C. Olmedo</i>	191
CORRODED B-REGIONS RESIDUAL FLEXURE CAPACITY ASSESSMENT IN REINFORCED CONCRETE BEAMS. <i>J.F. Carbonell-Márquez, L.M. Gil-Martín y E. Hernández-Montes</i>	203
DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL COMPLETO APLICADO AL PROYECTO DE MUROS DE CONTENCIÓN. <i>D. Martínez-Muñoz, V. Yepes y J.V. Martí</i>	221
DYNAMIC MODEL UPDATING INCLUDING PEDESTRIAN LOADING APPLIED TO AN ARCHED TIMBER FOOTBRIDGE. <i>Á. Magdaleno, J.M. García-Terán, I.M. Díaz y A. Lorenzana</i>	235
DYNAPP: A MOBILE APPLICATION FOR VIBRATION SERVICEABILITY ASSESSMENT <i>J. García Palacios, I. Lacort, J.M. Soria, I.M. Díaz y C. Martín de la Concha Renedo</i>	247
EFFECT OF THE BOND-SLIP LAW ON THE BOND RESPONSE OF NSM FRP REINFORCED CONCRETE ELEMENTS. <i>J. Gómez, L. Torres y C. Barris</i>	257
EFFECTS OF TENSILE STRESSES ON PUNCHING SHEAR STRENGTH OF RC SLABS. <i>P.G. Fernández, A. Mari, E. Oller y M. Domingo Tarancón</i>	275
E-STUB STIFFNESS EVALUATION BY METAMODELS. <i>M. López, A. Loureiro, R. Gutiérrez y J.M. Reinosa</i>	291
ESTUDIO DE LOS DESPLAZAMIENTOS NECESARIOS PARA EL COLAPSO DE ARCOS DE FÁBRICA EN LA EDUCACIÓN. <i>J. Antuña, J.I. Hernado, F. Magdalena, A. Aznar, V. Pascual y A. Blasco</i>	297
EVALUACIÓN DEL DAÑO POR EXPLOSIONES EN PATRIMONIO HISTÓRICO. <i>S. Ivorra, R. Reynau, D. Bru y F.B. Varona</i>	307
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL MEDIANTE ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA FRENTE A CARGAS CÍCLICAS EN SU PLANO. <i>B. Torres, D. Bru, F.B. Varona, F.J. Baeza y S. Ivorra</i>	319
EVALUATION OF X42 STEEL PIPELINES BASED ON DEFORMATION MONITORING USING RESISTIVE STRAIN GAUGES. <i>H.F. Rojas-Suárez y Á.E. Rodríguez-Suesca</i>	331
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION ON TRM REINFORCED MASONRY VAULTS SUBJECTED TO MONOTONICAL VERTICAL SETTLEMENTS. <i>E. Bertolesi, M. Buitrago, B. Torres, P.A. Calderón, J.M. Adam y J.J. Moragues</i>	341
EXPERIMENTAL EVALUATION OF 3D STEEL JOINT WITH LOADING IN BOTH AXIS. <i>A. Loureiro, M. López, J.M. Reinosa y R. Gutiérrez</i>	351

EXPERIMENTAL EVALUATION OF HAUNCHED JOINTS. <i>A. Loureiro, M. López, R. Gutiérrez y J.M. Reinos</i>	359
EXPERIMENTAL NUMERICAL CORRELATION OF A PADEL RACKET SUBJECT TO IMPACT <i>A.A. Molí Díaz, C. López Taboada, G. Castillo López y F. García Sánchez</i>	371
FORM FINDING OF TENSEGRITY STRUCTURES BASED ON FAMILIES: THE OCTAHEDRON FAMILY. <i>M.A. Fernández Ruiz, L.M. Gil-Martín, J.F. Carbonell-Márquez y E. Hernández-Montes</i>	389
HEALTH MONITORING THROUGH A TUNED FE MODEL OF A MEDIEVAL TOWER PLACED IN A LANDSLIDE AREA. <i>M. Diaferio, D. Foti, N.I. Giannoccaro y S. Ivorra</i>	399
HIGH PERFORMANCE CONCRETE REINFORCED WITH CARBON FIBERS FOR MULTIFUNCTIONAL APPLICATIONS. <i>O. Galao, M.G. Alberti, F. Baeza, B. del Moral, F.J. Baeza, J. Gálvez y P. Garcés</i>	415
IN THE SEARCH OF MODAL PARAMETERS CONFIGURATION OF PASSIVE AND ACTIVE ISOLATION SYSTEMS, APPLIED TO MOMENT FRAMES. <i>C.A. Barrera Vargas, J.M. Soria, I.M. Díaz y J.H. García-Palacios</i>	429
INFLUENCE OF INFILL MASONRY WALLS IN RC BUILDING STRUCTURES UNDER CORNER-COLUMN FAILURE SCENARIOS. <i>M. Buitrago, E. Bertolesi, P.A. Calderón, J.J. Moragues y J.M. Adam</i>	441
LABORATORY DYNAMIC STRUCTURAL TESTING. METHODS AND APPLICATIONS. <i>J. Ramírez Senent, J.H. García Palacios, I.M. Díaz y J.M. Goicolea</i>	451
MECHANICAL AND DYNAMIC PROPERTIES OF TRM WITH DIFFERENT FIBERS <i>D. Bru, B. Torres, F.J. Baeza y S. Ivorra</i>	469
METODOLOGÍA PARA VALORAR LA SOSTENIBILIDAD CON BAJA INFLUENCIA DE LOS DECISORES. <i>V. Penadés-Plà, V. Yepes y T. García-Segura</i>	481
MODELIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN ACUEDUCTO DE MAMPOSTERÍA. <i>S. Ivorra, Y. Spariani, B. Torres y D. Bru</i>	495
MODELLING OF HIGHLY-DAMPED COMPOSITE FLOOR BEAMS WITH CONSTRAINED ELASTOMER LAYERS. <i>C. Martín de la Concha Renedo, I. Díaz Muñoz, J.H. García Palacios y S. Zivanovic</i>	507
MODELOS MULTI-VARIABLE NO-LINEALES PARA PREDECIR LA ADHERENCIA ACERO-HORMIGÓN A ALTA TEMPERATURA. <i>F.B. Varona-Moya, F.J. Baeza, D. Bru y S. Ivorra</i>	521
MODELOS NUMÉRICOS PARA PREDECIR LA ADHERENCIA RESIDUAL ENTRE ACERO Y HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS A ALTA TEMPERATURA. <i>F.B. Varona-Moya, Y. Villacampa, F.J. Navarro-González, D. Bru y F.J. Baeza</i>	539
MOTION-BASED DESIGN OF VISCOUS DAMPERS FOR CABLE-STAYED BRIDGES UNDER UNCERTAINTY CONDITIONS. <i>J. Naranjo-Pérez, J.F. Jiménez-Alonso, I.M. Díaz y A. Sáez</i>	553
NUMERICAL AND EXPERIMENTAL LATERAL VIBRATION ASSESSMENT OF AN IN-SERVICE FOOTBRIDGE.	567

<i>R. García Cuevas, J.F. Jiménez-Alonso, C. Martín de la Concha Renedo, F. Martínez y I.M Díaz</i>	
NUMERICAL MODEL OF VEGETAL FABRIC REINFORCED CEMENTITIOUS MATRIX COMPOSITES (FRCM) SUBJECTED TO TENSILE LOADS. <i>L. Mercedes, E. Bernat y L. Gil</i>	583
NUMERICAL MODELS FOR MAMMOPLASTY SIMULATIONS. <i>A. Lapuebla-Ferri, A. Pérez del Palomar, J. Cegoñino- y A.J. Jiménez-Mocholí</i>	597
ON THE VULNERABILITY OF AN IRREGULAR REINFORCED CONCRETE BELL TOWER. <i>M. Diaferio, D. Foti, N.I. Giannoccaro, S. Ivorra, G. Notarangelo y M. Vitti</i>	611
OPTIMIZACIÓN DE MUROS DE HORMIGÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA. <i>V. Yepes, D. Martínez-Muñoz y J.V. Martí</i>	623
PIEZOELECTRIC LEAD-FREE NANOCOMPOSITES FOR SENSING APPLICATIONS: THE ROLE OF CNT REINFORCED MATRICES. <i>F. Buroni, J.A. Krishnaswamy, L. Rodríguez-Tembleque, E. García-Macías, F. García-Sánchez, R. Melnik y A. Sáez</i>	637
STRONG EQUILIBRIUM IN FEA - AN ALTERNATIVE PARADIGM? <i>E. Maunder y A. Ramsay</i>	651
STUDY OF ACTIVE VIBRATION ISOLATION SYSTEMS CONSIDERING ISOLATOR-STRUCTURE INTERACTION <i>J. Pérez Aracil, E. Pereira González, I. Muñoz Díaz y P. Reynolds</i>	665
THERMAL AND STRUCTURAL OPTIMIZATION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXTURES TO MANUFACTURE COMPOSITE SLABS. <i>F.P. Álvarez Rabanal, J.J. del Coz Díaz, M. Alonso Martínez y J.E. Martínez-Martínez</i>	675
THROUGH-BOLTING EFFECT ON STIFFENED ANGLE JOINTS. <i>J.M. Reinoso, A. Loureiro, R. Gutiérrez y M. López</i>	689
VIBRATION TESTING BASED ON EVOLUTIONARY OPTIMIZATION TO IDENTIFY STRUCTURAL DAMAGES. <i>J. Peña-Lasso, R. Sancibrián, I. Lombillo, J. Setién, J.A. Polanco y Ó.R. Ramos</i>	699

Through-bolting effect on Stiffened Angle Joints

Reinosa, J.M.¹; Loureiro, A.²; Gutiérrez, R.³; López, M.⁴

¹Departamento de Ingeniería Naval e Industrial. Universidade da Coruña (SPAIN). j.reinosa@udc.es

²Departamento de Ingeniería Naval e Industrial. Universidade da Coruña (SPAIN). a.loureiro@udc.es

³Departamento de Ingeniería Naval e Industrial. Universidade da Coruña (SPAIN). rutgut@udc.es

⁴Departamento de Ingeniería Naval e Industrial. Universidade da Coruña (SPAIN). manuel.lopez.lopez@udc.es

ABSTRACT

The rotational stiffness and resistance of steel structural joints are fundamental parameters according to Eurocode 3. Many experimental tests do not take into account the contributions of the panel zone since they have considered a very stiff column. However, the contribution of the components of the panel zone can be significant. In order to increase the rotational stiffness, stiffened angle joints can be considered. This joint configuration increments the stress and deformation of the column components. Thus, in this paper, the use of through-bolts in stiffened angle beam-to-column joints is dealt with to study the effect of through-bolting in the joint behaviour. FE models considering different bolt configuration were developed. The results show that the use of through-bolting in semi-rigid angle joints does not significantly modify the joint initial rotational stiffness but it reduces the stress level in the panel tension zone.

Keywords: Finite Element Model, Semi-rigid Joints, Component Method, Rotational Stiffness

1. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DEL PROBLEMA DEL TORNILLO PASANTE

1.1. Introducción

Las uniones viga pilar de estructura metálica se han calculado habitualmente bien como articuladas, bien como rígidas. Sin embargo, el comportamiento real de estas uniones tiene una naturaleza semirrígida en mayor o menor medida. De entre las tipologías de uniones semirrígidas, la unión con casquillos angulares representaría un término medio dentro del rango del comportamiento semirrígido, con menor rigidez en general que la que aportan por ejemplo las uniones con chapa de testa. Las uniones con angulares han tenido y tienen presencia sobre todo en la tradición constructiva norteamericana. Presentan una serie de características que las hacen muy atractivas en ambientes sísmicos, dada su ductilidad [1] pero también presentan ventajas económicas y son ideales para reducir los tiempos de montaje. Además, desde la perspectiva de la construcción sostenible, la unión atornillada con casquillos angulares es una alternativa muy recomendable pensando en posibles diseños para deconstrucción [2]. Se puede incrementar la rigidez de esta unión pretensando los tornillos o rigidizando los casquillos angulares. La unión con angulares rigidizados ha sido objeto de recientes estudios en el ámbito europeo [3-8] enfocados hacia la obtención de formulaciones compatibles con el método de los componentes del Eurocódigo 3 [9]. En este artículo se presenta una aproximación novedosa en torno a la tipología de uniones viga-pilar con angulares, pero extensible a

otras tipologías, basada en la utilización de tornillos pasantes a través del pilar. Los tornillos pasantes son una solución rápida y sencilla al problema de la conexión de elementos a pilares tubulares [10], pero no hay constancia práctica de su utilización en perfiles laminados abiertos. Sin embargo, el uso de tornillos pasantes puede resultar de interés en caso de tensiones importantes en el panel, habituales cuando las configuraciones de la conexión adquieren cierta rigidez, como es el caso de uniones con angulares rigidizados. En estos casos, para proteger el pilar, es habitual en la práctica soldar rigidizadores, pero este proceso podría evitarse con el uso de tornillos pasantes. En este artículo se tratará esta cuestión como primera aproximación a esta configuración, de modo que en futuros trabajos se pueda desarrollar una formulación analítica en consonancia con el método de los componentes del Eurocódigo 3.

1.2. Descripción del modelo base de elementos finitos

Se ha desarrollado un modelo de elementos finitos sobre el que trabajar para estudiar el efecto de las distintas configuraciones de tornillos pasantes que se analizarán en este trabajo. Se ha reproducido un futuro ensayo con la configuración de la Figura 1, con angulares superior e inferior L120.90.8 rigidizados (rigidizador de 10 mm de espesor), angulares de alma L100.10, vigas HE240B, pilar HE300A y tornillos TR20 de grado 10.9 sin pretensar. Para la modelización numérica se ha considerado la simetría existente, por lo que sólo se modela un cuarto del espécimen. El modelo se ha creado utilizando el programa ABAQUS® y se ha mallado con elementos C3D8R, elementos sólidos de ocho nudos con integración reducida y control del fenómeno de *hourglass*. Los materiales se han introducido siguiendo modelos simplificados bilineales con endurecimiento por deformación, según los valores suministrados en la Tabla 1. El material de los tornillos se ha considerado elástico lineal. Se ha utilizado el algoritmo de contacto generalizado de ABAQUS® considerando un comportamiento tangencial sin fricción y un contacto normal sin penetración. La simulación se desarrolló utilizando el solver explícito de ABAQUS® considerando un proceso cuasiestático, controlando durante el cálculo que la energía cinética fuese despreciable. Se han impuesto condiciones de contorno tipo simetría en el plano del alma de la viga y en el plano normal al eje débil del pilar. Además la viga se apoya en una superficie rígida analítica que simula el cilindro del ensayo, de modo que pueda deslizar libremente sobre él. Se ha impuesto al pilar un desplazamiento vertical a través de una superficie rígida unida a él mediante condiciones de atado. De igual manera, los rigidizadores se han conectado a los angulares a través de restricciones de atado, simulando las soldaduras.

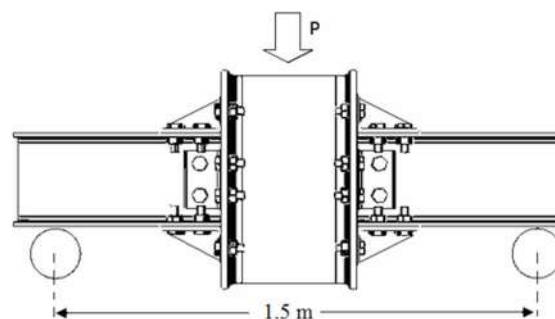
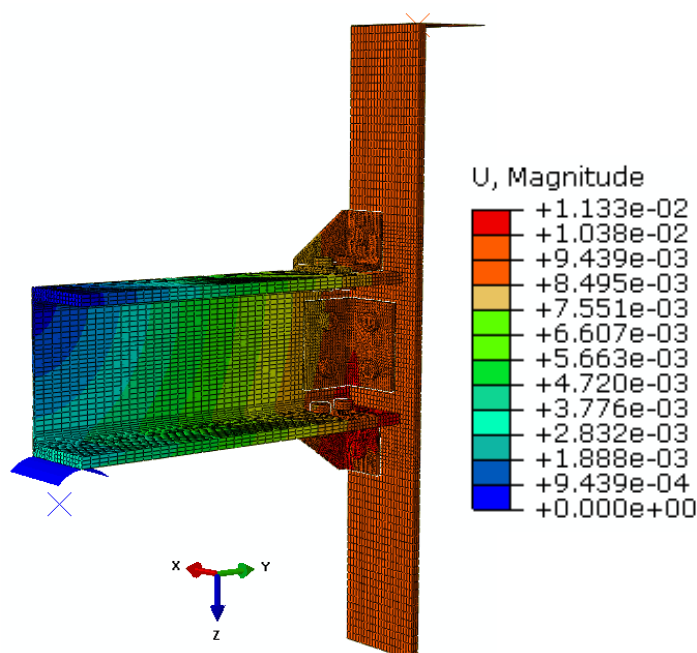


Figura 1. Esquema de la geometría del modelo base

Tabla 1. Caracterización mecánica de los materiales

Propiedad	Valor		
	Angulares	HEB240	HEA300
Límite elástico	349 MPa	447 MPa	435 MPa
Tensión última	474 MPa	625 MPa	617 MPa
Deformación máxima	28%	28.2%	27.5%

La Figura 2 muestra los desplazamientos totales del modelo base, así como su geometría general y el mallado.

**Figura 2.** Desplazamientos en el modelo base (metros)

1.3. Modelo con tornillos pasantes

Se ha realizado sobre el modelo base anterior una modificación cambiando los tornillos que unen los angulares al pilar por tornillos pasantes como muestra la Figura 3. El modelo tiene las mismas características que el descrito en el apartado anterior, añadiendo condiciones de simetría a la sección del tornillo pasante. En dicha Figura 3 pueden observarse las tensiones de Von Mises asociadas a la configuración propuesta comparada con los resultados del modelo base del apartado anterior. Se observa cómo en la zona del panel a tracción desaparecen las tensiones.

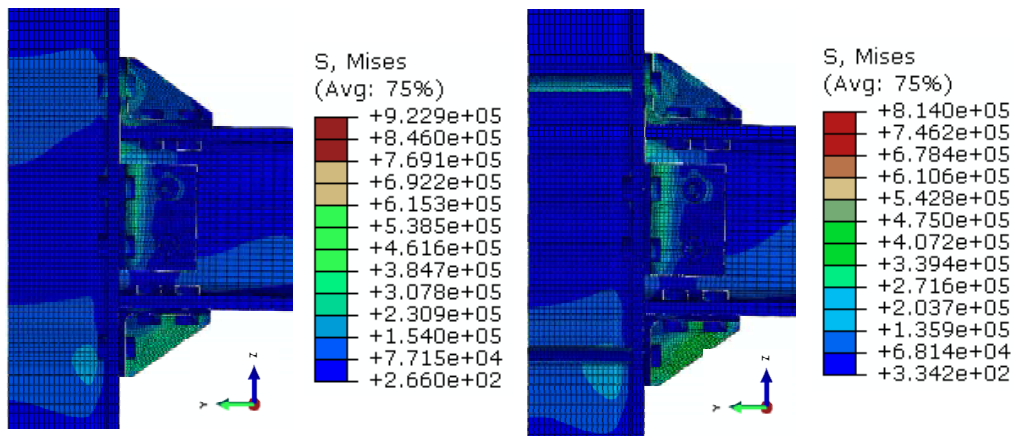


Figura 3. Tensiones de Von Mises en la configuración base y la asociada a tornillos pasantes (kPa)

1.4. Modelo con tornillos pasantes y tuercas en la cara interior del pilar

En este apartado se estudia el efecto de colocar tuercas en la cara interior del pilar. La Figura 4 muestra el modelo y las tensiones de Von Mises asociadas, con una sección del tornillo pasante a compresión. Como se puede comprobar en la imagen, el tornillo en la zona de tracción no absorbe todas las tracciones, como sucedía en el caso anterior, y el tornillo en la zona de compresiones está relativamente tensionado.

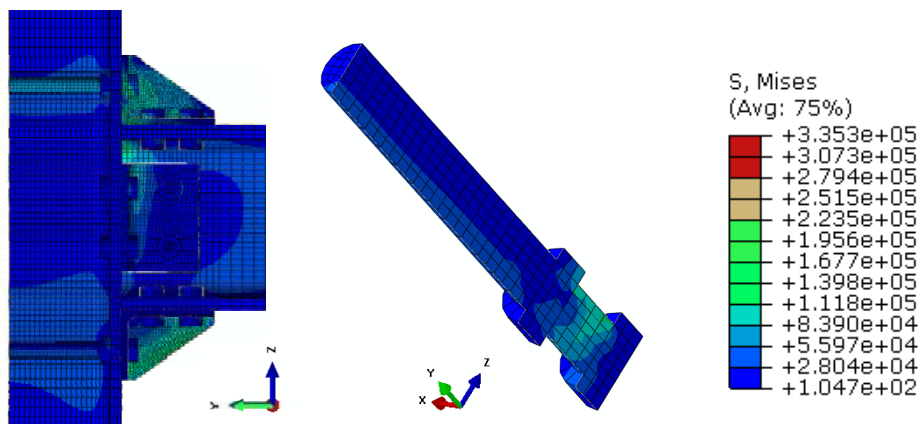


Figura 4. Tensiones de Von Mises en el modelo con tornillos pasantes con tuerca interior (kPa)

1.5. Estudio de la influencia del espesor del ala del pilar

Se ha realizado un estudio sobre la influencia del espesor del pilar en el comportamiento de la unión con tornillos pasantes sin tuercas en la cara interior del pilar. Para ello se han modelado dos nuevas uniones con pilar HE280AA (10 mm de espesor del ala) y pilar HE240A (12 mm de espesor del ala), que se suman al modelo con pilar HE300A (14 mm de espesor del ala) del apartado 1.3. Como muestra la Figura 5, a nivel tensional el comportamiento es parecido, aumentando las tensiones del panel en el modelo con el pilar HE280AA por tener un menor espesor en el alma del pilar.

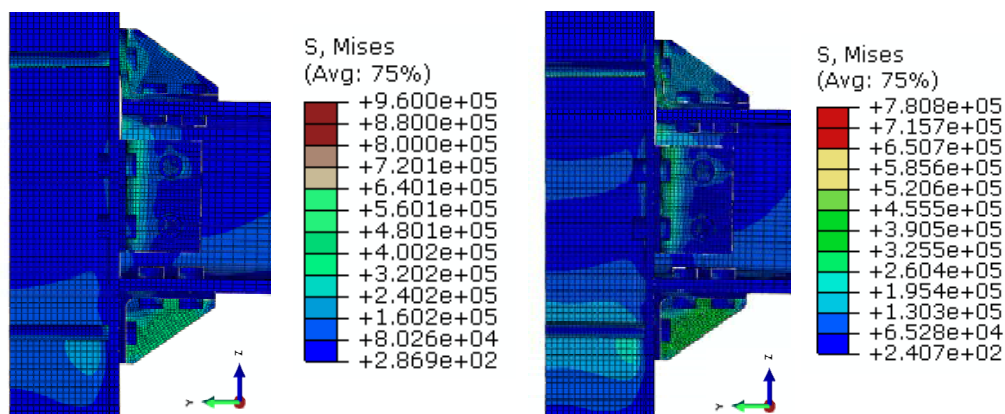


Figura 5. Tensiones de Von Mises en los modelos HE240A (izquierda) y HE280AA (derecha) (kPa)

2. ANÁLISIS COMPARATIVO

2.1. Curvas Momento-Rotación

En la Figura 6 se pueden observar las curvas Momento-Rotación de las tres configuraciones estudiadas para el pilar HE300A. Como se aprecia, las diferencias en el comportamiento general de la unión son mínimas, con rigideces iniciales similares para los casos de tornillo pasante y no pasante, y una rigidez inicial un 10% superior en el caso de tornillo pasante con tuerca en el interior del pilar. En cuanto a la rigidez post-crítica, la diferencia llega a ser de un 15% entre los casos de tornillo pasante con y sin tuerca interior. En lo relativo al momento resistente, la variación es mínima entre los distintos casos.

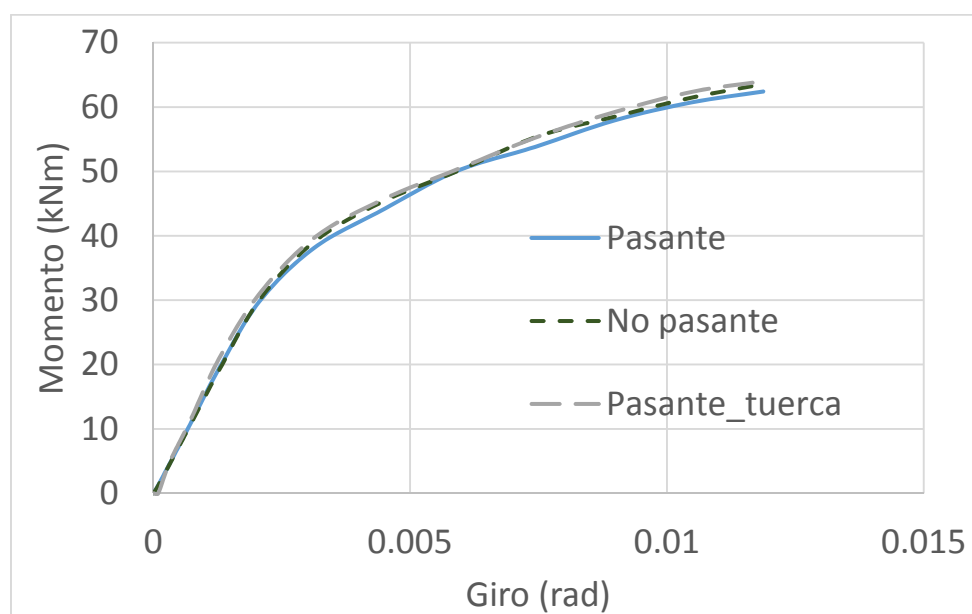


Figura 6. Curvas Momento-Rotación en las distintas configuraciones estudiadas.

2.2. Tensiones en el panel

La Figura 7 muestra las tensiones principales en la dirección longitudinal de la viga sobre un corte centrado el panel, para las tres configuraciones estudiadas relativas al pilar HE300A. Lo más significativo es la diferencia entre las tensiones máximas de tracción de los modelos con tornillo normal y tornillo pasante sin tuerca interior. El pico de tensiones máximas en la zona de tracción desaparece al utilizar tornillos pasantes. En el caso de tornillos pasantes y tuerca en el interior del pilar, la distribución de tensiones de tracción es más homogénea en toda la zona traccionada del panel, con una diferencia máxima respecto del modelo sin tornillos pasantes del 86%. En cuanto a las compresiones, las curvas presentan menos diferencias, pero es destacable que las compresiones son un poco mayores en el modelo con tornillo pasante sin tuerca respecto de los otros dos modelos, y el modelo del tornillo pasante con tuerca interior presenta un 19.5% menos de tensiones de compresión que el modelo sin tornillos pasantes. Esto confirma las conclusiones previas del apartado 1.4. en donde se observaba cómo el tornillo de la zona de compresión asumía tensiones al colocar la tuerca por el interior del pilar.

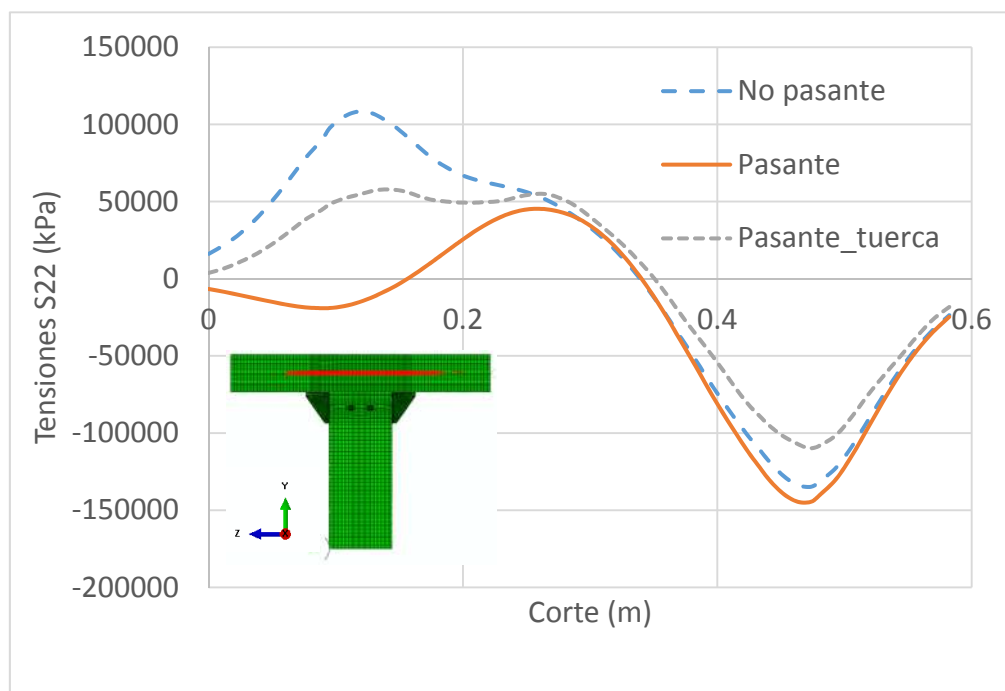


Figura 7. Tensión principal 2 a lo largo del panel

2.3. Efecto del espesor del ala del pilar

La Figura 8 muestra las curvas Momento-Rotación de los tres modelos con tornillo pasante sin contratuerca y con distinto espesor del ala del pilar, t_{cf} . Como se puede observar, de nuevo esta variación del espesor no afecta significativamente al comportamiento general de la unión, con variaciones máximas de menos del 2% en la rigidez inicial, en torno al 6% en la rigidez post-crítica y

del 5% en el momento resistente. Es por ello interesante este análisis, no tanto por lo que sucede al variar el espesor, sino por lo que no sucede, en cuanto que el uso de tornillos pasantes en las dos modalidades estudiadas, no modificando apreciablemente rigidez y resistencia, sí reduce las tensiones en el panel.

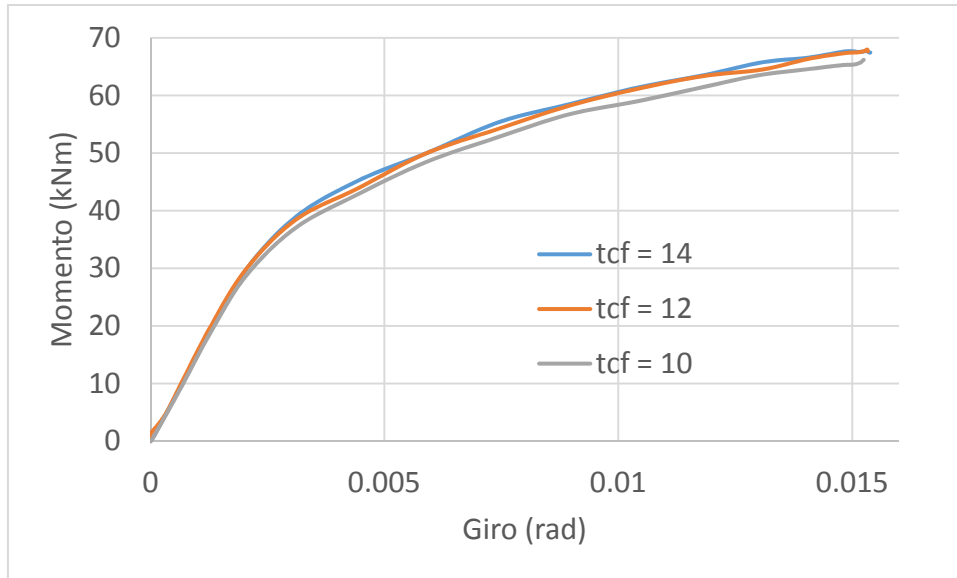


Figura 8. Curvas Momento-Rotación en función del espesor del ala del pilar

La Figura 9 muestra las tensiones principales en el panel para los modelos con 10 y 14 mm de espesor del ala del pilar. Como era de esperar, en el modelo con menores espesores está un poco más tensionado, pero la distribución es muy similar.

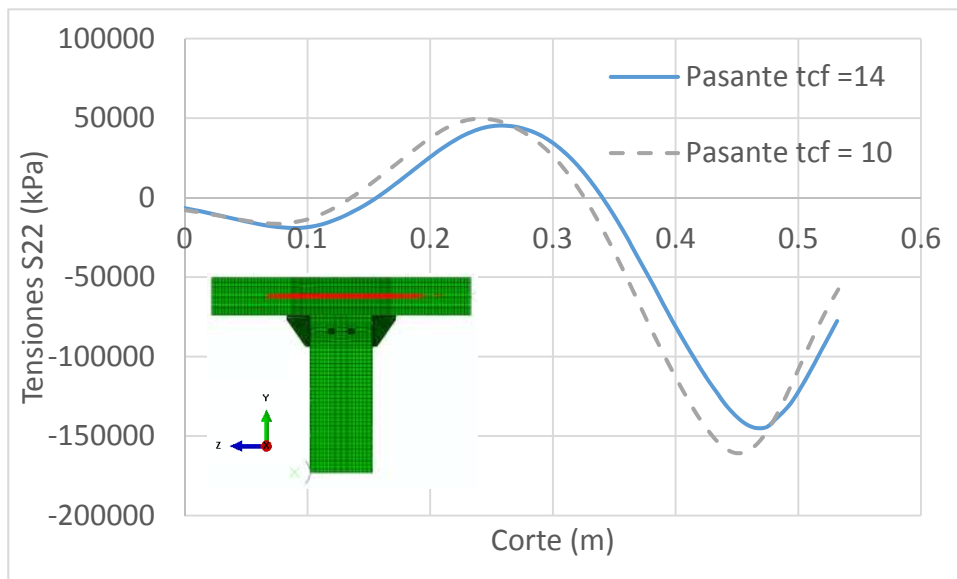


Figura 9. Tensión principal 2 a lo largo del panel para distinto espesor del ala del pilar

3. CONCLUSIONES

Se han realizado un total de cinco modelos de elementos finitos, los tres primeros con un pilar HE300A y tornillos normales, pasantes y pasantes con tuerca interior. Adicionalmente se han estudiado dos modelos más sobre la configuración de tornillo pasante para ver el efecto del espesor del ala del pilar. Del estudio numérico realizado se extraen las siguientes conclusiones que pueden resultar relevantes para futuras aproximaciones y propuestas de formulaciones analíticas:

- Al introducir un tornillo pasante, sin tuerca interior, se eliminan las tensiones de tracción en el panel pero no así las tensiones en la zona de compresión.
- El modelo con tornillo pasante y tuerca interior presenta una mejor distribución tensional en la zona de tracción del panel y reduce las tensiones de compresión desde el momento en que el tornillo admite parte de las compresiones.
- La introducción de tornillos pasantes resta protagonismo al pilar, protegiendo la zona del panel y haciendo que el comportamiento de la unión sea poco sensible a las dimensiones del mismo. Esto es particularmente interesante en el caso de uniones semirrígidas con un alto grado de rigidez, como puede ser el caso de uniones con chapa de testa o de la unión que se ha estudiado en este caso, donde los angulares van rigidizados.
- El comportamiento general de la unión en todos los casos estudiados, variando la tipología de conexión o el espesor de las alas del pilar, no varía sensiblemente, con ligeras variaciones de la rigidez inicial, de la rigidez post-crítica y del momento resistente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo a esta investigación del Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del proyecto BIA2016-80358-C2-2-P MINECO/FEDER UE.

REFERENCIAS

- [1] Schippers J.D., Ruffley D.J., Rassati G. A., Swanson J.A. (2012) A design procedure for bolted top-and-seat angle connections for use in seismic applications. *7th International Workshop on connections in steel structures*. Timisorara.
- [2] Danielle Densley Tingley, Buick Davison. Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction. *Building and Environment*, Volume 57, November 2012, Pages 387-395
- [3] Skejic D., Dujmovic D., Beg D. (2014). Behaviour of stiffened flange cleat joints. *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 103, December, Pages 61-76
- [4] Reinoso J. M., Loureiro A., Gutiérrez R., López M. (2015). Analytical plate approach for the axial stiffness prediction of stiffened angle cleats. *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 106, Pages 77-88.

- [5] Skejic D., Dujmovic D., Lukacevic I. *Unstiffened and stiffened cleats under bending: Experimental investigation*. Eurosteel 2011. Budapest. Volume A: 309-314
- [6] Ghindea M., Catarig A., Ballok R. (2015). Behavior of Beam-to-Column Connections with Angles. Part 1- Experimental Investigations. *Journal of Applied Engineering Sciences*; Vol 5(18), issue 2 pp 21-28.
- [7] Skejic D., Beg D., Dujmovic D. (2014) Beam-to-Column Joints with Stiffened Flange Cleats. Experimental Investigation. *Eurosteel 2014*. Naples. Abstracts book: 375-376
- [8] Reinosa, J.M.; Loureiro, A.; Gutiérrez, R.; López, M. (2015). Advanced FE Models of Stiffened Cleat Angle Connections. *CMMoST2015 3rd International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering*. Sevilla;
- [9] EUROCODE 3, Design of Steel Structures – part 1.8: Design of joints CEN, Brussels, 2005.
- [10] McCormick J. (2017). Connecting Hollow Structural Steel Members with Through-Bolts. Steel Tube Institute. <https://steeltubeinstitute.org/>