

## FUSIBLES ESTRUCTURALES PARA EVITAR LA PROPAGACIÓN DE FALLOS EN LAS CIMBRAS DE EDIFICACIÓN

Manuel Buitrago<sup>1</sup>, Pedro A. Calderón<sup>1</sup>, Juan J. Moragues<sup>1</sup>, Marina Oliver<sup>1</sup> y José M. Adam<sup>1</sup>

1: Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH)

Universitat Politècnica de València

Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain

e-mail: mabuimo1@upv.es; pcaldero@upv.es; jmorague@upv.es; maolca1@upv.es; joadmar@upv.es

web: <https://b-resilient.webs.upv.es/>

**Palabras clave:** Fusibles, Estructuras temporales de apuntalamiento, cimbra, fallos, fase de construcción, colapso progresivo.

**Resumen:** *La construcción de edificios con estructura de hormigón armado se realiza, habitualmente, con la ayuda de puntales metálicos que se encargan de transmitir las cargas de las plantas recién hormigonadas a las inferiores. Los principales problemas que presenta el empleo de puntales son: a) la aparición de cargas superiores a las previstas en los puntales, pudiendo provocar el colapso de toda la cimbra o incluso del edificio, b) la heterogeneidad de las cargas que reciben los puntales de una misma planta cimbrada, y c) la limitada variedad de puntales de que disponen las casas comerciales. Todo ello obliga a que, en la mayor parte de las ocasiones, los puntales empleados en las obras estén claramente sobredimensionados. En este artículo se presenta el fusible estructural para el control de la carga de los puntales (también llamado limitador de carga o LL por sus siglas en inglés), que fue desarrollado en ICITECH a partir de estudios teóricos avanzados, una intensa campaña experimental y la ejecución de una prueba de concepto. El artículo se compone de: 1) una breve recopilación de los trabajos experimentales y de validación computacional llevados a cabo; y 2) el estudio realizado con simulación numérica avanzada para evaluar y cuantificar la posible mitigación del daño y el riesgo de fallo de estructuras de edificios durante su construcción. De los resultados obtenidos se puede afirmar que con el uso de LLs se consigue una mejora: de la seguridad, frente a fallos locales de la cimbra cuyas consecuencias podrían propagarse de forma desproporcionada; de la eficiencia estructural, con una mayor uniformidad en las cargas que reciben los puntales; y de los costes del sistema de apuntalamiento.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El cimbrado de plantas sucesivas es el método más ampliamente utilizado para acometer la construcción de estructuras de edificios [1–3]. Este procedimiento consiste en el cimbrado de una o más plantas consecutivas cimbradas encargadas de transmitir y repartirse las nuevas

cargas de hormigonado o de cualquier operación constructiva como el clareado, recimbrado o descimbrado. Muchos han sido los estudios acometidos para tratar de definir cómo se transmiten las cargas entre forjados y puntales, así como los métodos simplificados de cálculo desarrollados para predecir de una forma sencilla esta transmisión de cargas [2–11].

A pesar de los grandes esfuerzos y avances realizados en esta dirección, y de las mejoras transferidas a la industria e introducidas por las empresas de cimbrado en el sector, queda todavía un margen significativo de mejora en diferentes aspectos, como son:

- La seguridad durante la construcción, ya que son diversos los colapsos y fallos registrados anualmente que tradicionalmente diferentes autores han ido recopilando [12].
- Las deformaciones sufridas por la estructura de hormigón, con hormigones jóvenes, durante su construcción. Un exceso de deformaciones en esta etapa se podría traducir en problemas a largo plazo en la forma de deformaciones diferidas y fisuración, causando problemas de durabilidad de las estructuras.
- El sobredimensionamiento de puntales que actualmente deben ser escogidos para resistir la carga máxima del sistema de apuntalamiento en la operación constructiva más desfavorable y en la posición de más carga (habitualmente las zonas cercanas al centro de vano). Esta heterogeneidad de cargas presente en una misma planta provoca que gran parte de los puntales empleados estén claramente sobredimensionados, sin aprovechar su capacidad resistente. Es el claro ejemplo de los puntales cercanos a las columnas que reciben una carga muy inferior a los instalados en centros de vano.
- La posibilidad de utilizar todo el stock de puntales disponible, y no solo aquellos puntales cuya carga admisible supere la carga máxima de cálculo en la operación constructiva más desfavorable.

Como solución a estos aspectos nace el Fusible Estructural - Limitador de Carga en puntales (LL por sus siglas en inglés), el nuevo dispositivo patentado por el Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH-UPV) de la Universitat Politècnica de València (UPV) [13,14] para el control de la carga de los puntales durante la construcción. La viabilidad técnico-económica del uso de este nuevo concepto fue previamente estudiada por Buitrago et al [15], demostrando su capacidad de mejora de la seguridad durante la construcción, el coste del sistema temporal de apuntalamiento y la eficiencia estructural.

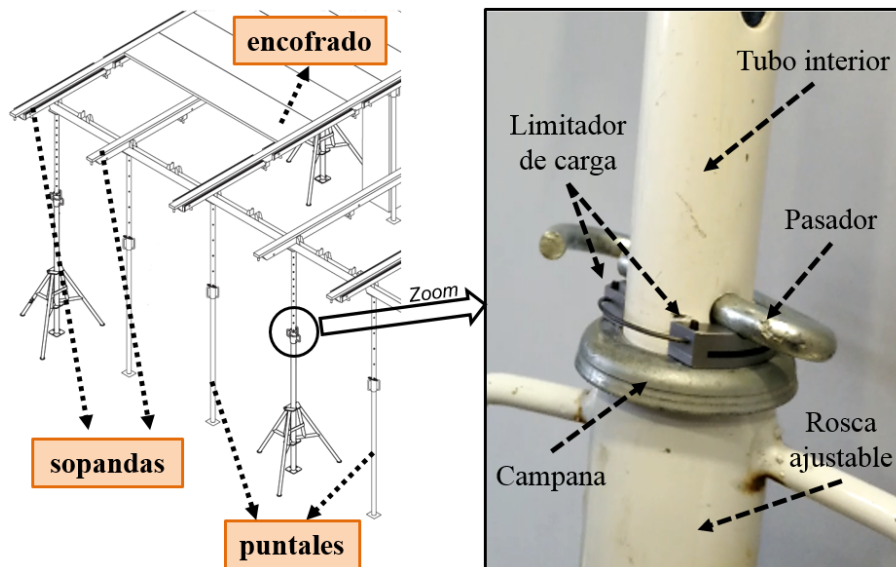
En este artículo se presenta, en el apartado 2, una recopilación de los trabajos experimentales llevados a cabo. El apartado 3 describe y analiza las posibilidades que ofrece el nuevo fusible estructural para mitigar daños y riesgos en la construcción de edificios. Finalmente, las conclusiones obtenidas se presentan en el apartado 4.

## **2. RECOPIACIÓN DE TRABAJOS EXPERIMENTALES**

### **2.1. Concepto del fusible estructural**

El concepto de fusible-limitador de carga en puntales (LL por sus siglas en inglés) nace con el objetivo de evitar fallos durante la construcción de estructuras de edificios y reducir el riesgo de colapso de este tipo de estructuras. Además, otro objetivo consiste en reducir los costes del

sistema de apuntalamiento con ayuda de la mejora de la eficiencia estructural del sistema de apuntalamiento durante la fase de construcción. La Fig. 1 muestra un esquema de la estructura temporal de apuntalamiento más utilizada (compuesta por puntales, sopandas y tableros de encofrado), junto con el detalle de un puntal con el LL instalado. Este tipo de puntal está formado por dos tubos telescópicos, una rosca para el ajuste fino de la altura del puntal y una campana o arandela para la transmisión suave de la carga entre el pasador y la rosca. Los LLs están formados por una pareja de elementos conectados entre sí que se instalan entre el pasador y la campana del puntal, de forma que interrumpen y consecuentemente pueden controlar la transmisión de la carga del puntal.



**Figura 1.** Detalle del sistema de apuntalamiento con los fusibles estructurales (limitador de carga) instalados en puntales.

Los LLs fueron diseñados para que inicien un comportamiento plástico a una carga determinada: la carga límite definida. Con este comportamiento plástico se permite el descenso ( $\delta$ ) controlado del puntal que ha superado la carga límite, permaneciendo operativo y evitando, de forma simultánea, la sobrecarga y posible rotura de dicho puntal. La carga en exceso que hubiera recibido dicho puntal sin el uso del LL se redistribuye hacia los puntales vecinos, que a su vez llevan instalados LLs. Por motivos de seguridad, el máximo desplazamiento plástico del LL (igual a la altura de la ranura del LL; véase Fig. 1 y Fig. 2) viene limitado a un valor máximo, tras el que el puntal seguiría absorbiendo carga hasta su rotura. El inicio del comportamiento plástico, que permite limitar y controlar la carga del puntal, se produce con la formación de tres rótulas plásticas en la parte superior del LL. La Fig. 2 muestra el comportamiento del LL antes y después de alcanzar la carga límite. En esta figura se puede observar el comportamiento real de los LLs y, a través de un modelo estructural simplificado de la parte superior del LL, cuál es su comportamiento estructural antes y después de alcanzar la carga límite. El comportamiento es elástico y lineal para cargas inferiores a la carga límite, mientras que para cargas superiores se inicia un comportamiento

plástico con la formación de tres rótulas plásticas. Todo ello, extrapolado al caso de puntales con limitadores de carga instalados, se traduce en un comportamiento fuerza-desplazamiento como el presentado en la Fig. 3, donde  $S_{adm}$  representa el valor de la carga límite de diseño del LL y  $S_u$  representa la carga última del puntal.

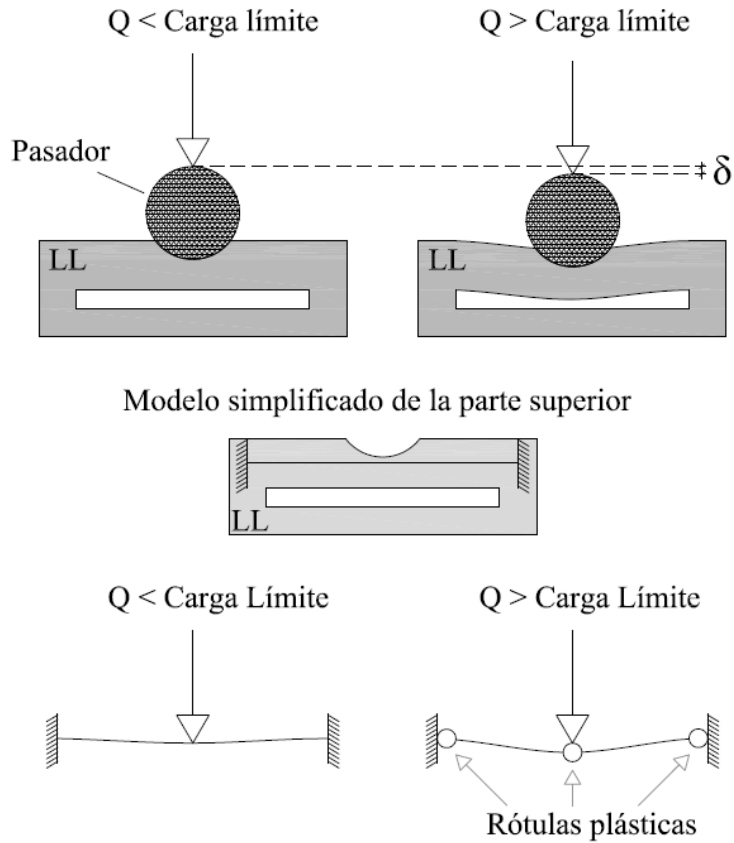


Figura 2. Comportamiento teórico del fusible estructural.

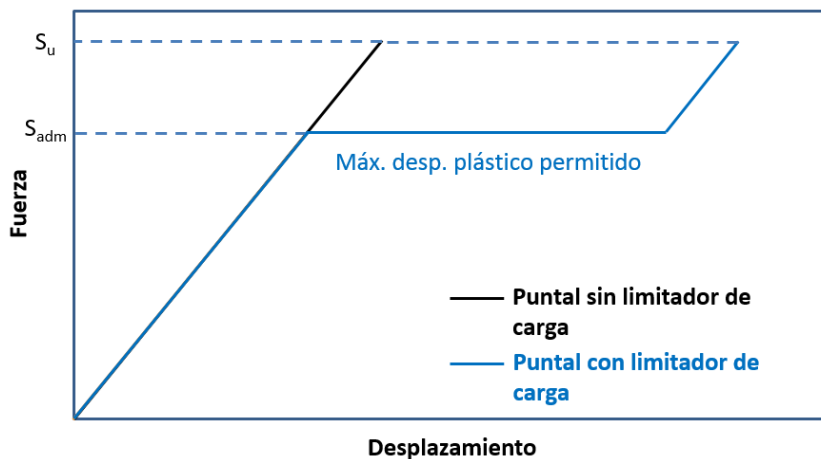


Figura 3. Comportamiento fuerza-desplazamiento teórico del fusible estructural.

## 2.2. Primeras aproximaciones con simulación numérica

Para evaluar cuantitativamente las mejoras introducidas por el LL durante la fase de construcción y la vida útil de estructuras de edificios se realizaron estudios avanzados de simulación numérica. Para ello se escogieron diferentes estructuras de edificios con las que evaluar distintos aspectos: a) una estructura de edificio construida en el año 2007 por el grupo de investigación con propósitos únicamente experimentales, y b) una estructura de un edificio real (véase Fig. 4), ambas estructuras con el objetivo de evaluar y cuantificar la eficiencia estructural introducida por los LL y su repercusión en la reducción del coste del sistema de apuntalamiento y el aumento de la seguridad estructural.

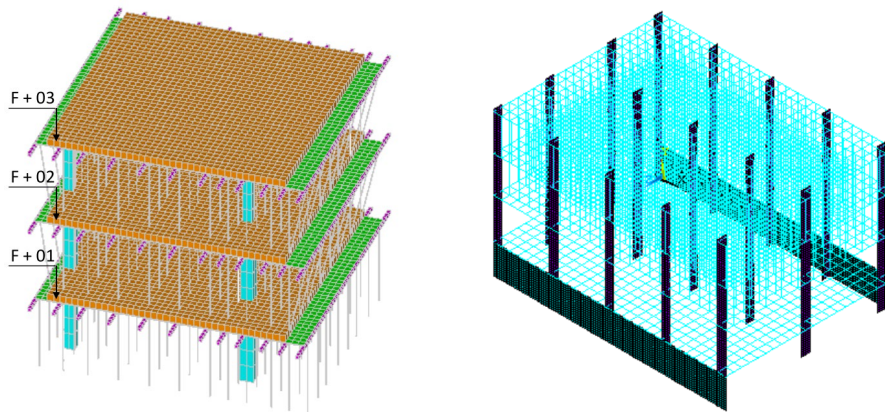


Figura 4. Edificios ejemplo donde se aplicó el concepto de fusibles estructurales.

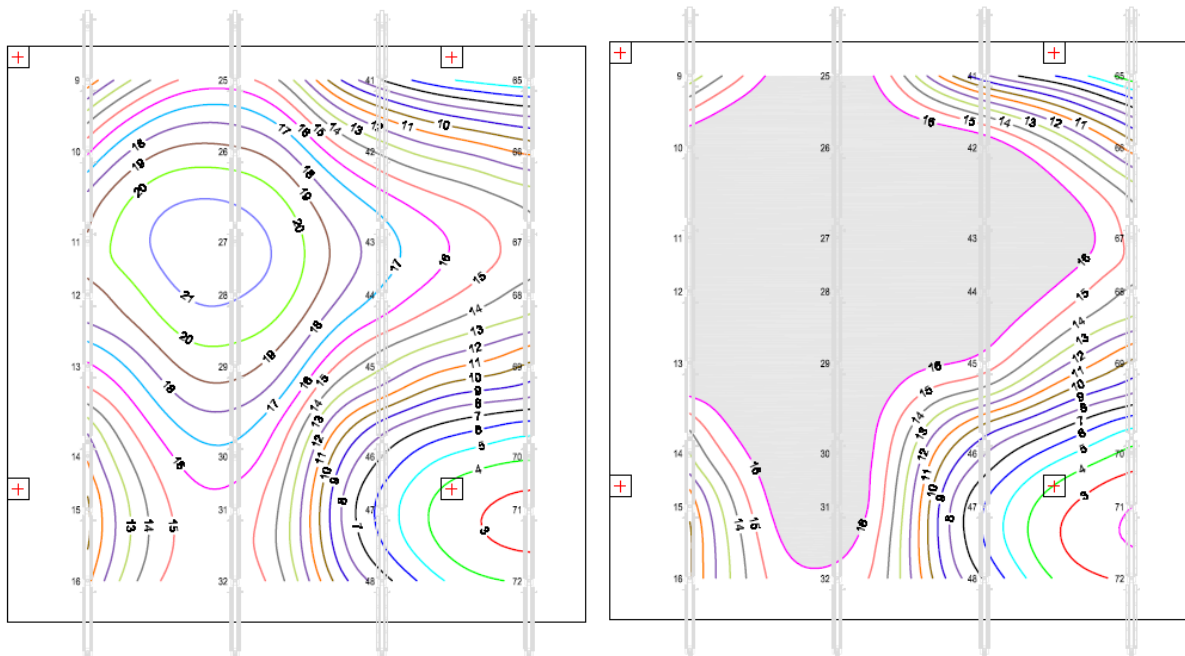
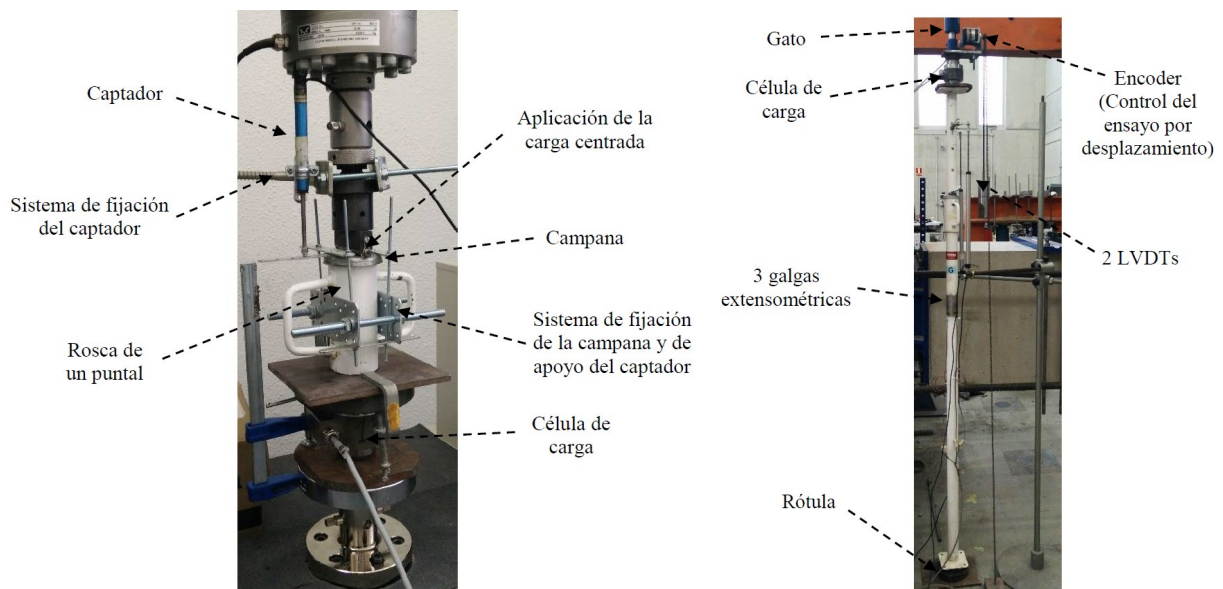


Figura 5. Distribución de cargas en puntales bajo el forjado 1 durante el hormigonado del forjado 2 sin (izquierda) y con (derecha) el uso de fusibles estructurales de carga límite de diseño de 16kN.

La Fig. 5 muestra uno de los principales resultados obtenidos, mediante el uso de isolíneas de carga en puntales representadas en una vista en planta de los forjados. Tal y como se puede observar, la introducción de LLs de 16kN permite emplear puntales de esta capacidad resistente gracias a una pequeña plastificación de los LLs y la redistribución de cargas elevadas a los puntales vecinos (véase Fig. 5 derecha). En cambio, si no se hubieran empleado LL, la carga máxima hubiera alcanzado un valor superior a los 21kN (véase Fig. 5 izquierda).

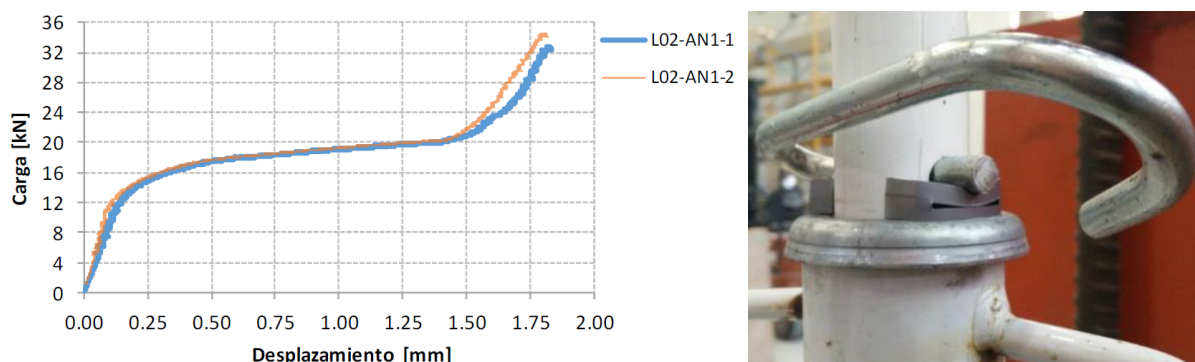
### 2.3. Ensayos de laboratorio

Los LLs tuvieron una amplia campaña de validación experimental en condiciones de laboratorio. Tras su diseño [13], se iniciaron diferentes ensayos con el objetivo de comprobar y caracterizar el comportamiento individual de los LLs y el comportamiento de los mismos una vez instalados en puntales (véase Fig. 6). Los resultados obtenidos fueron muy positivos [13], obteniendo un comportamiento similar al teóricamente definido (véase Fig. 7).



**Figura 6.** Ensayos realizados en laboratorio de los fusibles aislados (izquierda) e instalados en puntales (derecha).

A modo de ejemplo, la Fig. 7 muestra los resultados obtenidos en laboratorio y una situación al finalizar un ensayo donde el LL ha alcanzado el máximo desplazamiento plástico permitido. De esta forma, con el uso de LLs se consigue evitar la rotura repentina de puntales al introducir una clara componente dúctil que evita la descarga instantánea de los mismos y los posibles efectos negativos asociados, como pueden ser el fallo estructural completo o la aparición de defectos en la estructura durante la fase de construcción (flechas excesivas y fisuras que acarrearán, además, un fallo en el comportamiento a largo plazo de la estructura y su durabilidad).



**Figura 7.** Ejemplo de resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de los fusibles estructurales colocados en puntales.

## 2.4. Prueba de concepto

Tras la validación experimental llevada a cabo en condiciones de laboratorio, se inició entonces una prueba de concepto que consistió en la construcción de una estructura en los laboratorios del ICITECH-UPV. En esta prueba se comprobó el correcto comportamiento de los LLs en condiciones reales de ejecución y considerando la componente tridimensional que tiene la ejecución real de una estructura de edificio. En este ensayo se permitió, consecuentemente, una redistribución de cargas en el sistema de apuntalamiento al alcanzar la carga límite de los LLs (o carga admisible de los puntales), repartiendo así la concentración de cargas del sistema de apuntalamiento en los puntales situados en los puntos de mayor deformabilidad del forjado, entre todos los puntales y el forjado.

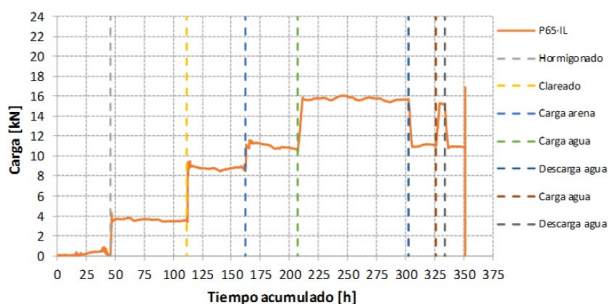
La prueba consistió en la ejecución de una losa de 20cm de canto, sobre cuatro pilares con luces de 5m entre ejes, y un sistema de apuntalamiento con separación entre sopandas y entre puntales de 1m (véase Fig. 8). El proceso constructivo adoptado consistió en un proceso con clareado al 50%, a los 3 días del hormigonado, y la disposición de una sobrecarga sobre la losa con arena y piscinas a los 7 días del hormigonado de la losa (véase Fig. 8), equivalente al hormigonado de una segunda planta y a la sobrecarga de construcción. Los puntales que permanecieron operativos tras el clareado tenían instalados LLs, cuya carga límite era de 16kN (igual a la carga admisible del puntal) cuando teóricamente se preveía que la carga máxima del sistema de apuntalamiento fuera de 23kN. Por lo tanto, se preveía la activación de los LLs, sin requerir de puntales con una mayor carga admisible o de un mayor número de unidades, y manteniendo la seguridad durante la fase de construcción evitando la descarga repentina de puntales debido a la rotura frágil de los mismos.



**Figura 8.** Hormigonado de la losa (izquierda) y disposición de la sobrecarga (derecha).

Se empleó un sistema de monitorización ambicioso, con el empleo de 3 galgas extensométricas por puntal (117 en total) para la medida de la carga de cada unidad, 6 termopares de medida de la madurometría [16,17] y gradientes de temperatura [18,19] del hormigón ubicados tanto en probetas cilíndricas como en la losa, 4 sensores de deformación de fibra óptica en pilares para la medida de la carga de los mismos, y 14 captadores de desplazamiento para la medida de flechas en la losa y la obtención de curvas carga-desplazamiento en puntales.

Los resultados obtenidos fueron realmente satisfactorios y prometedores, aspecto que permitía que los LLs pudieran ser introducidos en el mercado con un amplio respaldo experimental. A modo de resumen (véase un mayor detalle en Buitrago et al. [20]), los LLs se activaron durante la sobrecarga introducida sobre la losa en los puntales más cargados del ensayo experimental. Esto permitió que no se alcanzaran cargas muy elevadas en los puntales, manteniendo a los mismos en cargas muy próximas a sus cargas admisibles. Como se ha comentado anteriormente, el uso de los LLs también implicó: o a) el uso de puntales de menor capacidad resistente a la teóricamente necesaria, o b) el uso de una menor cantidad de puntales. La Fig. 9 muestra uno de los resultados obtenidos de la carga de uno de los puntales más cargados durante el desarrollo del ensayo, así como el estado del LL de uno de los puntales más cargados en el momento de su carga máxima. De esta fotografía puede observarse como con una ligera plastificación del LL se limitó la carga del puntal, redistribuyendo el exceso de carga entre el forjado y los puntales vecinos. Todo el trabajo llevado a cabo en la prueba de concepto también fue acompañado de simulación numérica (Fig. 10).



**Figura 9.** Registro de carga en uno de los puntales más cargados (izquierda) y estado del fusible en el momento de más carga de uno de los puntales más cargados.



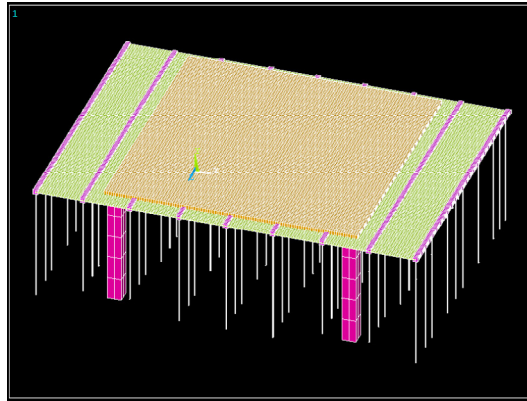


Figura 10. Figura del modelo correspondiente a la prueba de concepto.

### 3. MITIGACIÓN DEL DAÑO Y RIESGO DE ESTRUCTURAS DURANTE SU CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL USO DE FUSIBLES ESTRUCTURALES EN LOS PUNTALES

El estudio de este trabajo se centró en un edificio de hormigón armado de tres pisos en el que se utilizó la cimbra para soportar las losas y el encofrado. En este apartado se describe tanto la estructura del edificio como la cimbra. El peso del hormigón fresco vertido en el encofrado superior se distribuyó uniformemente entre las losas previamente construidas y la cimentación por medio de los apuntalamientos, como se muestra en la Fig. 11.

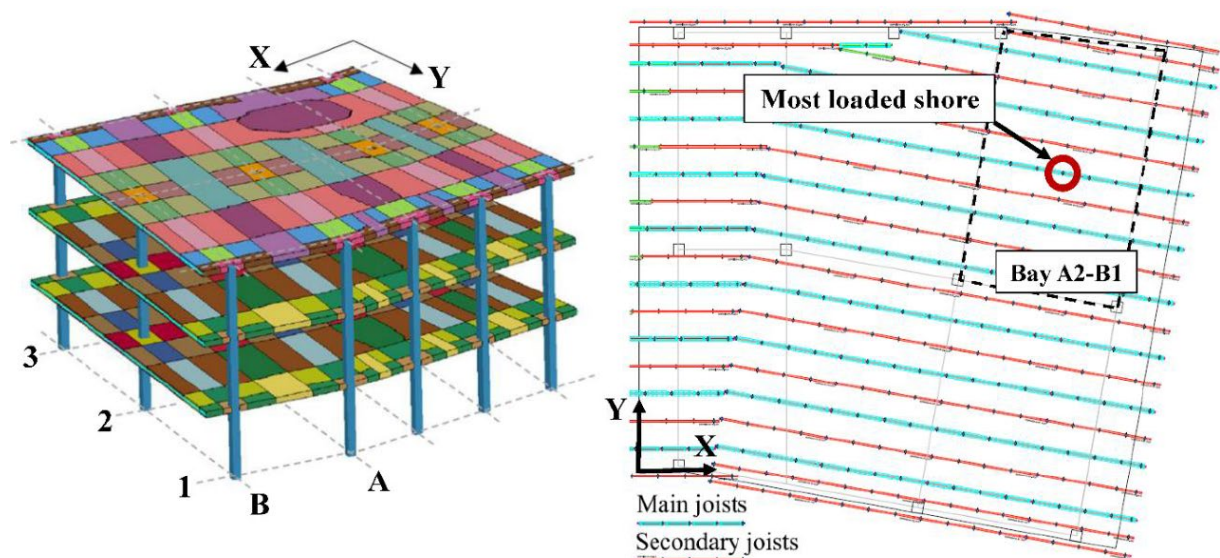


Figura 11. Geometría del modelo y esquema del sistema de apuntalamiento.

#### 3.1. Descripción del caso de estudio

La estructura del edificio considerada en este estudio corresponde a un edificio real de

oficinas cuyas características (geometría, armadura, materiales) se describen detalladamente en CS [21] y que fue diseñado de acuerdo con el Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1 2004). El edificio tiene tres plantas con losas de hormigón armado de 300 mm de espesor, 3,5 m entre plantas y pilares de 400 mm de lado distribuidos irregularmente en planta. Una descripción más exhaustiva del edificio, que también fue objeto de otros estudios, puede encontrarse en Olmati et al. [22]. La Fig. 11 muestra una vista en 3D del edificio.

### 3.2. Descripción del modelo de elementos finitos

En este trabajo se ha realizado un análisis dinámico no lineal por elementos finitos utilizando el software LS-DYNA empleando, para su resolución, cálculo explícito en el dominio del tiempo para resolver las ecuaciones de movimiento, considerando además las no-linealidades mecánicas y geométricas. El modelo incluyó la losa maciza, los puntales, los tableros de encofrado y las sopandas durante construcción. El análisis se centró en la fase de construcción más desfavorable, con las mayores cargas en las cargas más elevadas en los puntales, correspondientes al vertido de la losa número tres utilizando el proceso constructivo cimbrado-clareado-descimbrado con dos plantas clareadas y una totalmente cimbrada como se muestra en la Fig. 12. El modelo fue validado previamente por Olmati et al. [22] y ampliamente estudiado por Buitrago et al. [23,24]. En estos dos estudios se puede encontrar una descripción más profunda de la simulación realizada.

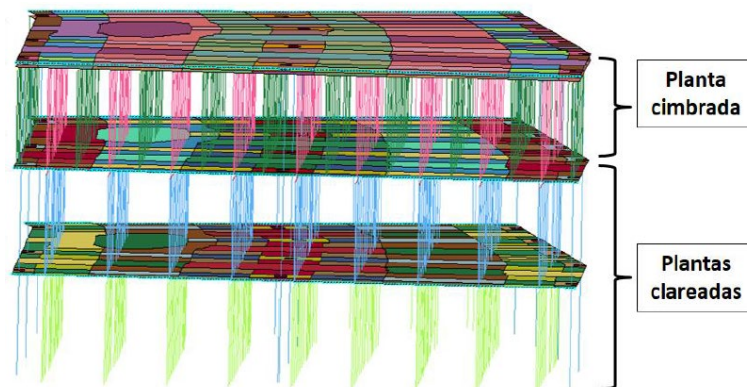


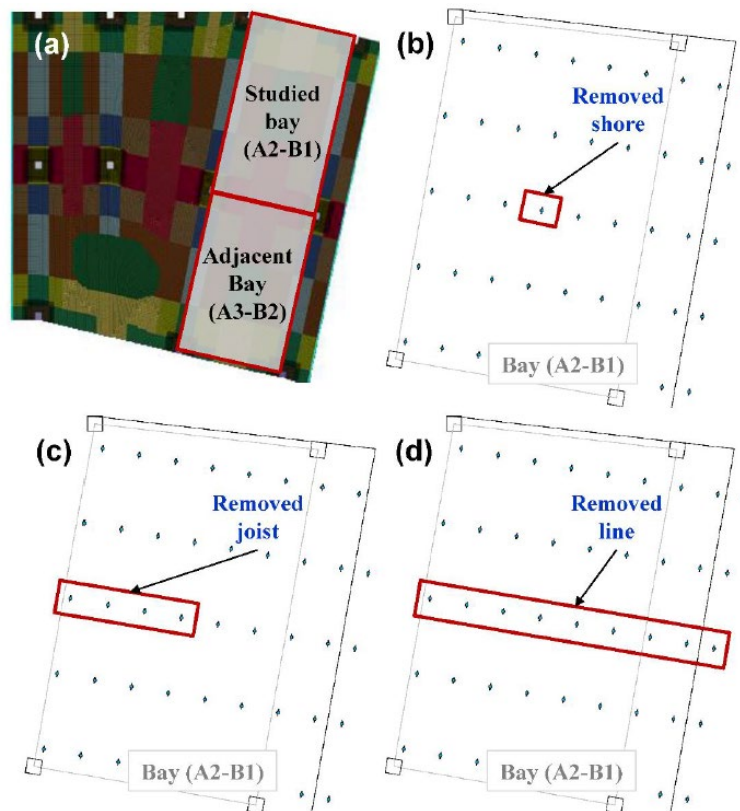
Figura 12. Modelización de la estructura.

### 3.3. Descripción y análisis de los escenarios de fallo considerados

En este apartado se definen los diferentes escenarios de fallo local de algunos de los componentes de la cimbra que sirvieron para estudiar sus efectos en el comportamiento del sistema estructura-cimbra. Esto es relevante ya que según un estudio reciente de Buitrago et al. [23], el fallo de apuntalamiento es la principal causa de colapso de los edificios en construcción.

Los escenarios de fallo local considerados siguieron el enfoque convencional de eliminación de elementos aislados utilizado tradicionalmente para estructuras permanentes de edificación. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos del fallo repentino de uno o varios

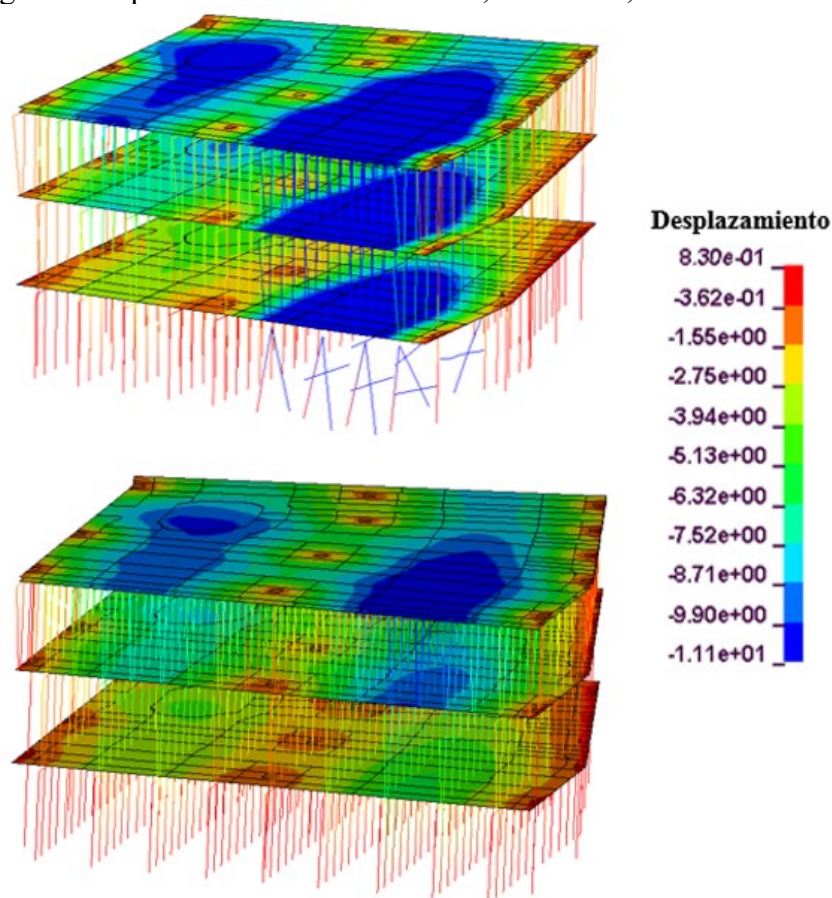
puntales de la planta baja, que soportan las mayores cargas cuando se hormigona la tercera planta, con dos plantas clareadas y una totalmente cimbrada. En este trabajo, el daño local y el estudio del comportamiento del sistema cimbra-estructura se centra en un vano representativo (A2-B1) como se muestra en la Fig. 13. En A2-B1 se consideraron cuatro escenarios de fallo local de los puntales más cargados: 1) fallo del puntal más cargado (ver Fig. 13b), 2) fallo de los puntales bajo una sopanda (ver Fig. 13c), 3) fallo de los puntales de una línea completa de sopandas (véase la Fig. 13d) y 4) selección incorrecta de puntales por uno puntales de una capacidad resistente inferior a la carga que reciben durante la construcción. Los resultados detallados de todos los escenarios de fallo pueden encontrarse en Buitrago et al. [24].



**Figura 13.** Representación esquemática de los escenarios de fallo en el vano estudiado.

Como resumen del análisis realizado, la Fig. 14 presenta los resultados correspondientes a la selección incorrecta de puntales. Se puede observar como ante este caso, la estructura temporal inicia un colapso progresivo de sus elementos cuando no se emplean fusibles estructurales en los puntales. En cambio, si se instalan fusibles, estos elementos son capaces de absorber las cargas en exceso que provocan la rotura de la cimbra y redistribuir la carga a otros elementos que están más sobredimensionados, evitando así la propagación de daños en la estructura temporal de apuntalamiento y sus consecuencias en la estructura permanente de

hormigón (riesgo de colapso durante la construcción, fisuración, deformaciones excesivas).



**Figura 14.** Resultados correspondientes a una selección incorrecta del tipo de puntal sin (arriba) y con (abajo) el uso de fusibles estructurales en los puntales.

#### 4. CONCLUSIONES

En este artículo se ha tratado el nuevo fusible estructural-limitador de carga (LL) de los puntales empleados durante la construcción de estructuras de edificación, que fue diseñado y desarrollado por el ICITECH-UPV. Este nuevo dispositivo ha sido validado con una amplia campaña experimental, basada en diferentes pruebas de laboratorio y una prueba de concepto a escala real, además de diversos estudios de simulación numérica que han cuantificado las mejoras introducidas por los LLs en términos de eficiencia estructural, ahorro económico y seguridad durante la construcción [25].

De todos los estudios realizados, experimentales y computacionales, se establecieron y cuantificaron las mejoras introducidas por los LLs, quedando definidos como puntos más importantes los siguientes:

- El uso de LLs puede permitir el uso de puntales con menor capacidad resistente a la requerida. Existe una elevada heterogeneidad en las cargas que reciben los puntales de una misma planta (véase Fig. 5) que con el uso de LLs puede uniformizarse, haciendo

trabajar más a los puntales menos cargados y reduciendo notablemente las cargas máximas. En el ejemplo de la Fig. 5 pudo reducirse la carga máxima de más de 21kN a 16kN con el uso de LLs de 16kN, requiriendo, consecuentemente, puntales de menor capacidad resistente.

- El uso de LLs permite la modificación de la carga máxima de cálculo, aspecto que puede permitir a las empresas de encofrado y cimbras elegir, dentro de unos límites razonables, la carga máxima que recibirán los puntales. De esta forma se podría emplear una mayor parte del stock de puntales disponible al poder emplear los puntales de una menor capacidad resistente a la teóricamente exigida sin el uso de LLs.
- El uso de LLs permite el empleo de una cantidad menor de puntales. Aunque teóricamente las cargas máximas serían superiores, con el empleo de LLs se puede acotar este valor a valores inferiores a la capacidad resistente de los puntales.
- Las tres primeras ventajas provocan que el coste del sistema de apuntalamiento sea significativamente inferior con el uso de LLs.
- Adicionalmente, el uso de LLs mejora notablemente la seguridad durante la fase de construcción en los siguientes aspectos:
  - Protegen al puntal de fallos y descargas repentinas, permitiendo su reutilización.
  - Protegen a la estructura permanente, mitigando el riesgo de colapso y fallo durante la construcción. Históricamente, muchas estructuras de edificios han colapsado durante la fase de construcción, siendo la carga en puntales superior a la admisible una de las principales causas de colapso [12]. Con el uso de LLs se introduce un comportamiento plástico del conjunto puntal-LL, con el que es posible aumentar la ductilidad global del sistema cimbra-estructura. Adicionalmente, evitando fallos no tan graves como el colapso total de la estructura permanente (v.g. fallos del sistema de apuntalamiento), también se mejora el comportamiento de la estructura durante la construcción, reduciendo la fisuración, flechas instantáneas y cargas de los forjados, y consecuentemente mejorando la respuesta de la estructura a largo plazo y su durabilidad.

Su introducción en el mercado puede suponer una revolución de las técnicas de cimbrado utilizadas actualmente, que mejorará la seguridad, eficiencia y coste de los sistemas de apuntalamiento y que puede mejorar también las condiciones de servicio y durabilidad de las estructuras.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud a todas las entidades por la financiación recibida (FPU13/02466; PRX17/00302; GV/2015/063; APOSTD/2019/101; 101000396; IJC2020-042642-I), así como a las empresas Encofrado J. Alsina S.A. y Levantina, Ingeniería y Construcción S.L. por su invaluable cooperación.

## REFERENCIAS

- [1] Adam JM, Buitrago M, Moragues JJ, Calderón PA. "Limitations of Grundy & Kabaila's simplified method and its repercussion on the safety and serviceability of successively shored building structures". *J Perform Constr Facil* 2017;**31**:1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001038](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001038).
- [2] Calderón PA, Alvarado YA, Adam JM. "A new simplified procedure to estimate loads on slabs and shoring during the construction of multistorey buildings". *Eng Struct* 2011;**33**:1565–75. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.01.027>.
- [3] Buitrago M, Adam JM, Moragues JJ, Calderón PA. "Load transmission between slabs and shores during the construction of RC building structures - A review". *Eng Struct* 2018;**173**:951–9. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.046>.
- [4] Grundy P, Kabaila A. "Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings". *J Proc* 1963;**60**:1729–38.
- [5] Duan MZ, Chen WF. *Improved simplified method for slab and shore load analysis during construction*. Proj Rep CE-STR-95-21 1995.
- [6] Fang DP, Geng CD, Zhu HY, Liu X La. "Floor load distribution in reinforced concrete buildings during construction". *ACI Struct J* 2001;**98**:149–56.
- [7] Buitrago M, Adam JM, Alvarado YA, Calderón PA, Gasch I. "Maximum loads on shores during the construction of buildings". *Proc Inst Civ Eng - Struct Build* 2016;**169**:538–45. <https://doi.org/10.1680/jstbu.15.00089>.
- [8] Buitrago M, Adam JM, Calderón PA, Alvarado YA, Moragues JJ. "Estimating loads on shores during the construction of RC building structures". *Struct Concr* 2016;**17**:502–12. <https://doi.org/10.1002/suco.201500130>.
- [9] Buitrago M, Adam JM, Alvarado YA, Moragues JJ, Gasch I, Calderón PA. "Designing construction processes in buildings by heuristic optimization". *Eng Struct* 2016;**111**:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.009>.
- [10] Alvarado YA, Buitrago M, Gasch I, Domínguez MN, Cipagauta MA. "Short- and long-term deflections of RC building structures influenced by construction processes". *Struct Eng Mech* 2017;**64**:173–81. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.64.2.173>.
- [11] Alvarado YA, Buitrago M, Gasch I, Prieto CA, Ardila YA. "Stage of construction: An essential consideration in designing reinforced concrete building structures". *Struct Concr* 2017:1–9. <https://doi.org/10.1002/suco.201700128>.
- [12] Buitrago M, Moragues JJ, Calderón PA, Adam JM. *Structural failures in cast-in-place RC building structures under construction*. In: Makhlof ASH, Aliofkhaezai M, editors. *Handb. Mater. Fail. Anal. with Case Stud. from Constr. Ind.* Vol. 6. 1st ed, Butterworth-Heinemann, Elsevier; 2018, p. 560. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101928-3.00008-2>.
- [13] Buitrago M, Adam JM, Calderón PA, Moragues JJ. "Load limiters on shores: Design and experimental research". *Eng Struct* 2018;**173**:1029–38. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.063>.
- [14] Calderón PA, Adam JM, Buitrago M, Alvarado YA, Moragues JJ. *Limitador de carga*

- para puntales telescópicos de obra* - Patent number ES2636833, 2017.
- [15] Buitrago M, Alvarado YA, Adam JM, Calderón PA, Gasch I, Moragues JJ. Improving construction processes of concrete building structures using load limiters on shores. *Eng Struct* 2015;100:104–15. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.06.007>.
- [16] Alvarado YA, Calderón PA, Adam JM, Payá-Zaforteza IJ, Pellicer TM, Pallarés FJ, et al. "An experimental study into the evolution of loads on shores and slabs during construction of multistory buildings using partial striking". *Eng Struct* 2009;31:2132–40. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.021>.
- [17] Alvarado YA. Estudio experimental y numérico de la construcción de forjados hormigonados in situ mediante procesos de cimbrado, clareado y descimbrado de plantas consecutivas. PhD Thesis - Universitat Politècnica de València. [In Spanish], 2009.
- [18] Gasch I, Alvarado YA, Calderón PA. "Temperature effects on load transmission between slabs and shores". *Eng Struct* 2012;39:89–102. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.02.004>.
- [19] Gasch I. Estudio de la evolución de cargas en forjados y estructuras auxiliares de apuntalamiento durante la construcción de edificios de hormigón in situ mediante procesos de cimbrado, clareado y descimbrado de plantas consecutivas. PhD Thesis - Universitat Politècnica de València. [In Spanish], 2012.
- [20] Buitrago M, Calderón PA, Moragues JJ, Alvarado YA, Adam JM. "Load Limiters on Temporary Shoring Structures: Tests on a Full-Scale Building Structure under Construction". *J Struct Eng* 2021;147:04020345. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002948](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002948).
- [21] CS: Concrete Society. Guide to the design and construction of reinforced concrete flat slabs. Technical report no 64; 2007.
- [22] Olmati P, Sagaseta J, Cormie D, Jones AEK. "Simplified reliability analysis of punching in reinforced concrete flat slab buildings under accidental actions". *Eng Struct* 2017;130:83–98. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.09.061>.
- [23] Buitrago M, Sagaseta J, Adam JM. "Effects of sudden failure of shoring elements in concrete building structures under construction". *Eng Struct* 2018;172:508–22. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.052>.
- [24] Buitrago M, Sagaseta J, Adam JM. "Avoiding failures during building construction using structural fuses as load limiters on temporary shoring structures". *Eng Struct* 2020;204:109906. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109906>.
- [25] Buitrago M, Calderón PA, Moragues JJ, Adam JM. "Briefing: Construction of RC buildings – ICITECH’s experience over the last 30 years". *Proc Inst Civ Eng - Struct Build* 2021:1–6. <https://doi.org/10.1680/jstbu.20.00271>.