

S6. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

1. PUENTES PRETENSADOS DE ALTA EFICIENCIA SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL BAJO PRESUPUESTOS RESTRICATIVOS: PROYECTO BRIDLIFE

PRESTRESSED BRIDGES IN TERMS OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY AND UNDER RESTRICTIVE BUDGES: BRIDLIFE PROJECT

Víctor Yepes Piqueras. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepesp@cst.upv.es

Fernando González Vidosa. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fgonzale@cst.upv.es

José Vicente Martí Albiñana. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jvmartia@cst.upv.es

Julián Alcalá González. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jualgon@cst.upv.es

Eugenio Pellicer Armiñana. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pellicer@cst.upv.es

Toma de decisiones, puentes pretensados, análisis del ciclo de vida, sostenibilidad, optimización multiobjetivo.

Decision making, prestressed bridges, life-cycle assessment, sustainability, multiobjective optimization.

Las vías de comunicación terrestre, y en especial los puentes, son infraestructuras básicas en el desarrollo económico, en el equilibrio territorial y en el bienestar social, cuya construcción, proyecto, conservación y desmantelamiento se ven afectados cuando los presupuestos son restrictivos. Una parte significativa de estos puentes son pretensados. Su deterioro y su incidencia en la seguridad son objeto de alarma social. El objetivo del proyecto BRIDLIFE consiste en desarrollar una metodología que permita incorporar procesos analíticos en la toma de decisiones en el ciclo completo de vida de puentes de hormigón pretensado, de forma que se contemplen las necesidades e intereses sociales y ambientales.

El proyecto de los puentes se realiza de forma secuencial. Tras un predimensionamiento se comprueban todos los estados límites, en un proceso iterativo cuyo resultado dependen fuertemente de la experiencia previa del proyectista. Una alternativa es el proyecto totalmente automático utilizando técnicas de optimización, capaces de incorporar múltiples funciones objetivo y cuyo resultado es la generación de un conjunto de soluciones eficientes. No obstante, esta metodología sigue presentando limitaciones.

El aspecto más relevante de BRIDLIFE consiste en incorporar un análisis del ciclo de vida definiendo un proceso de toma de decisiones que integre los aspectos sociales y medioambientales mediante técnicas analíticas de toma de decisiones multicriterio tanto de forma previa a los procesos de optimización multiobjetivo, como posteriormente en la priorización de las soluciones del frente de Pareto. Por otra parte, la fuerte limitación presupuestaria presente en momentos de crisis como la actual, compromete seriamente las políticas de creación y conservación de las infraestructuras. Los resultados esperados, tras un análisis de sensibilidad de distintas políticas presupuestarias asociadas a un horizonte temporal, pretenden detallar qué tipologías, actuaciones de conservación y alternativas de demolición y reutilización son adecuadas para minimizar los impactos ambientales y sociales. Ello requiere complementar los inventarios de las emisiones equivalentes de gases de efecto invernadero y consumos energéticos, así como identificar y valorar los factores de

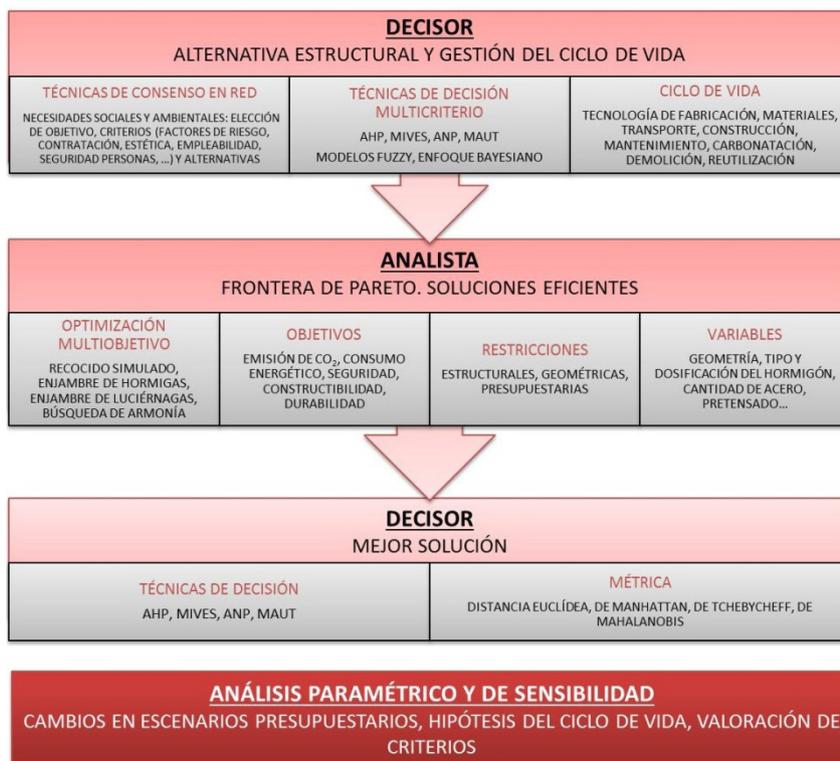


Figura 1. Esquema metodológico diseñado para la realización del proyecto BRIDLIFE

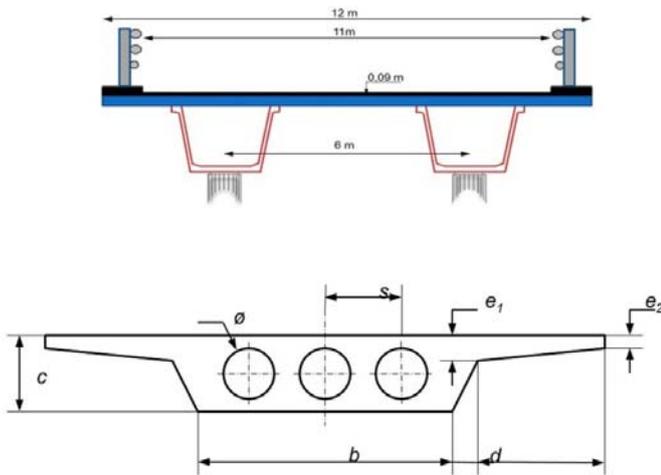


Figura 2. Secciones de puentes pretensados

riesgo que afectan a la seguridad de las personas a lo largo de todo el ciclo de vida de los puentes.

5. DISEÑO EFICIENTE DE PUENTES DE SECCIÓN EN CAJÓN CON CRITERIOS SOSTENIBLES MULTI OBJETIVO

EFFICIENT DESIGN OF BOX-GIRDER BRIDGES BASED ON SUSTAINABLE MULTI OBJECTIVE CRITERIA

Tatiana García Segura. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Becaria de Investigación FPI. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. tagarse@cam.upv.es
 Víctor Yepes Piqueras. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepesp@cst.upv.es

Diseño eficiente, puentes en cajón, hormigón postesado, sostenibilidad, optimización multiobjetivo.

Efficient design, box-girder bridges, post-tensioned concrete, sustainability, multiobjective optimization.

Este estudio presenta un método de diseño de puentes eficientes que minimiza el coste y las emisiones de CO₂, mientras maximiza la seguridad estructural. Para ello, se proponen ocho módulos que unen un programa comercial de análisis por elementos finitos con un programa de control que lleva a cabo la optimización multiobjetivo y verificación de los estados límite. Mediante esta metodología, el ingeniero puede escoger los parámetros que se mantienen fijos y las variables a optimizar. Finalmente, el programa proporciona una frontera de Pareto representada por las soluciones de equilibrio entre los criterios. Estas soluciones presentan la mejor combinación de geometría, tipo de hormigón, armadura y postesado para lograr los objetivos seleccionados. Se ha escogido como caso de estudio un puente continuo de sección en cajón de tres vanos situado en la costa. El puente tiene un vano principal de 44 m y dos laterales de 35,2 m. La sección funcional del puente consta de dos carriles de 3,50 m y arcones de 1 y 2,5 m de ancho. Además, se prevé un espacio de 65 cm para alojar los pretilles. Todo ello forma un ancho necesario de 11,8 m. Se ha utilizado el algoritmo heurístico de búsqueda armónica multiobjetivo (multiobjective harmony search) mejorado con estrategias de diversificación-intensificación. Los objetivos de económicos y ambientales valoran el coste y las emisiones derivados de la producción de materiales, transporte y construcción del puente. Además, éstos consideran, respectivamente, el coste de las emisiones y la captura de CO₂ producida durante la vida útil del puente. El objetivo de seguridad estructural es evaluado mediante el valor mínimo del coeficiente asociado a cada estado límite último. Esta herramienta proporciona reglas de diseño que llevan a puentes sostenibles. Además, los resultados muestran tanto la relación entre los objetivos, como la relación entre los objetivos y las variables.

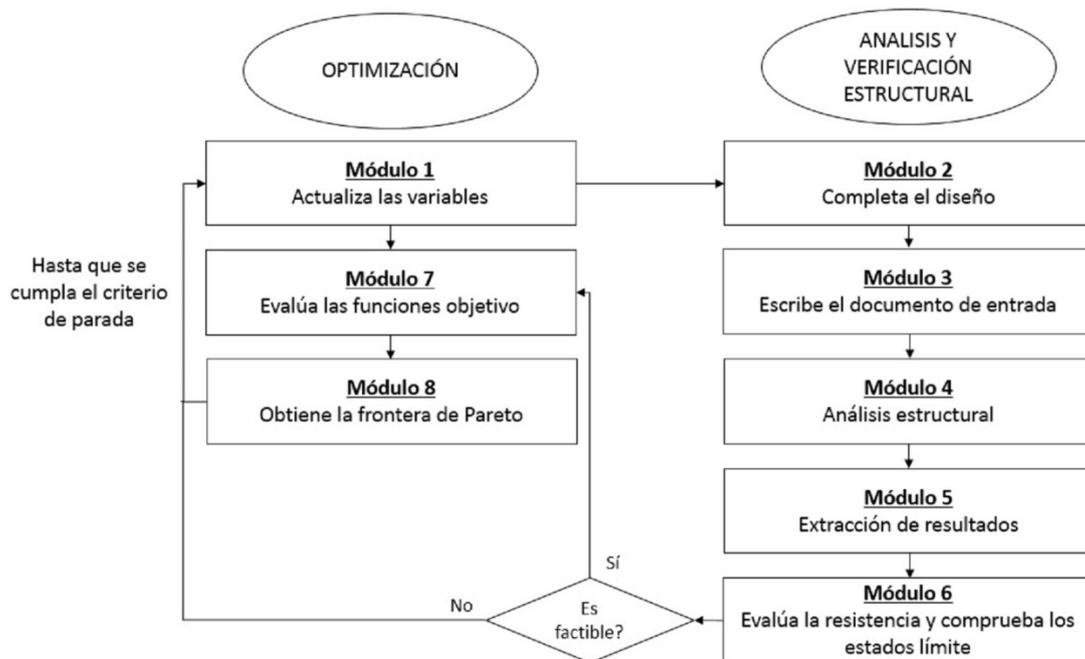


Figura 1. Módulos del problema de optimización

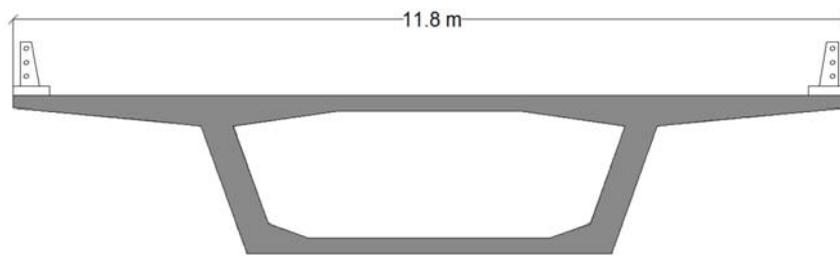


Figura 2. Sección transversal en cajón

8. DISEÑO DE PASOS SUPERIORES DE CARRETERAS CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD APLICANDO ALGORITMOS HEURÍSTICOS

DESIGN OF PRECAST ROAD BRIDGES WITH SUSTAINABILITY CRITERIA APPLYING HEURISTIC ALGORITHMS

José Vicente Martí Albiñana. ICITECH, Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jvmartia@cst.upv.es
 Víctor Yepes Piqueras. ICITECH, Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepesp@cst.upv.es
 Tatiana García Segura. ICITECH, Universitat Politècnica de València. Becaria de Investigación FPI. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. tagarse@cam.upv.es
 Fernando González Vidosa. ICITECH, Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fgonzale@upv.es

Optimización heurística, puentes, consumo energético, vigas pretensadas, diseño de estructuras.

Heuristic optimization, bridges, energy consumption, precast beams, structural design.

El diseño de las estructuras de hormigón se centra principalmente en reducir su coste. Sin embargo, en los últimos años se está dando cada vez más importancia, por una preocupación ambiental, al consumo energético necesitado en su construcción. El coste económico y el consumo energético se seleccionan como funciones objetivo a reducir, basadas en la producción de los materiales, el tipo de hormigón, el transporte y la puesta en obra. Este artículo se centra en el diseño de los pasos superiores de carreteras. Los tableros del puente se ejecutan a partir de dos vigas pretensadas prefabricadas apoyadas sobre pilas o estribos que integran una losa de hormigón armado ejecutada in situ, dando servicio al tráfico de vehículos. En la práctica, las vigas se colocan centradas a la sección de la losa, y el diseño geométrico de las vigas es independiente de las luces entre apoyos.

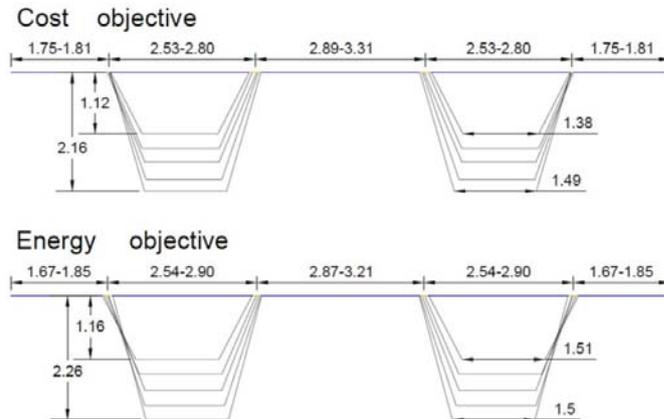


Figura 2. Dimensiones de las secciones medias respecto a la variación de las luces según objetivos

Para la optimización del coste y del consumo energético en la ejecución de la estructura se aplica la optimización metaheurística mediante el algoritmo del recocido simulado (SA) híbrido con un operador mutacional (SAMO2). El problema contiene 41 variables de diseño discretas: nueve para la geometría de la viga y la losa, incluyendo la separación entre vigas y el ángulo de las almas de las vigas; dos para los tipos de hormigones de las vigas y losa; cuatro para el pretensado y veintiséis para la armadura pasiva en vigas y losa.

El ejemplo presentado tiene un ancho de tablero de 12 metros. Se realiza un estudio paramétrico para distintas luces de vano -20, 25, 30, 35 y 40 metros-, obteniéndose correlaciones para el coste, el consumo energético, la geometría de las secciones y las características de refuerzo del armado. Los resultados indican que los dos objetivos planteados no muestran conflictos entre sí. El análisis revela que la reducción de 1 euro en el coste de la estructura permite reducir su consumo en 4 kWh. En cuanto al diseño y colocación de las vigas, tanto para la optimización en coste como para el consumo energético, el estudio nos muestra que al aumentar la luz, la separación de las vigas se reduce y el ángulo de las almas aumenta. Este trabajo muestra la utilidad de la aplicación de las técnicas metaheurísticas para diseñar estructuras sostenibles sin incrementar su coste.

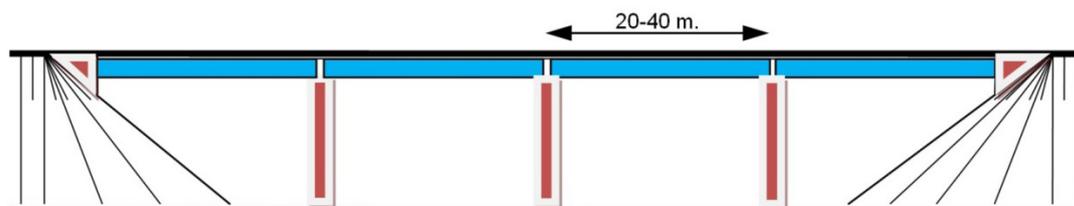


Figura 1. Perfil longitudinal del puente de vigas pretensadas

9. COLLARÍN METÁLICO PARA EL CONFINAMIENTO TRANSVERSAL DE PILARES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE REUTILIZACIÓN DE TROZOS SOBRAINTES DE PERFILES LAMINADOS

METALLIC COLLAR FOR TRANSVERSAL CONTAINMENT OF STRUCTURAL CONCRETE PILLARS THROUGH THE REUSE OF ROLLED PROFILE PIECES LEFT OVER

Juan Rafael Pérez Cabrera. Arquitecturas Las Palmas. Director Técnico. Dr. Arquitecto. laspalmas@arquitecturas.es
 Benjamín Cova Alonso. Arquitecturas Tenerife. Director Técnico. Arquitecto. tenerife@arquitecturas.es
 Aarón Medina Arias. Gravity Arquitectos. Director Técnico. Arquitecto. aaronmedina@gravityarquitectos.com

Collarín metálico, confinamiento transversal, sostenibilidad, reciclaje.

Metal collar, transverse confinement, sustainability, recycling.

En el presente trabajo se expone un sistema de collarines metálicos capaces de mejorar el confinamiento transversal de pilares de hormigón estructural de cualquier sección (circular, cuadrada, rectangular...). Están confeccionados a partir de trozos de alas de perfiles tipo "H" o "doble T" de acero laminado en caliente procedentes de mermas y despuntes; especialmente cortados, curvados y soldados entre sí.

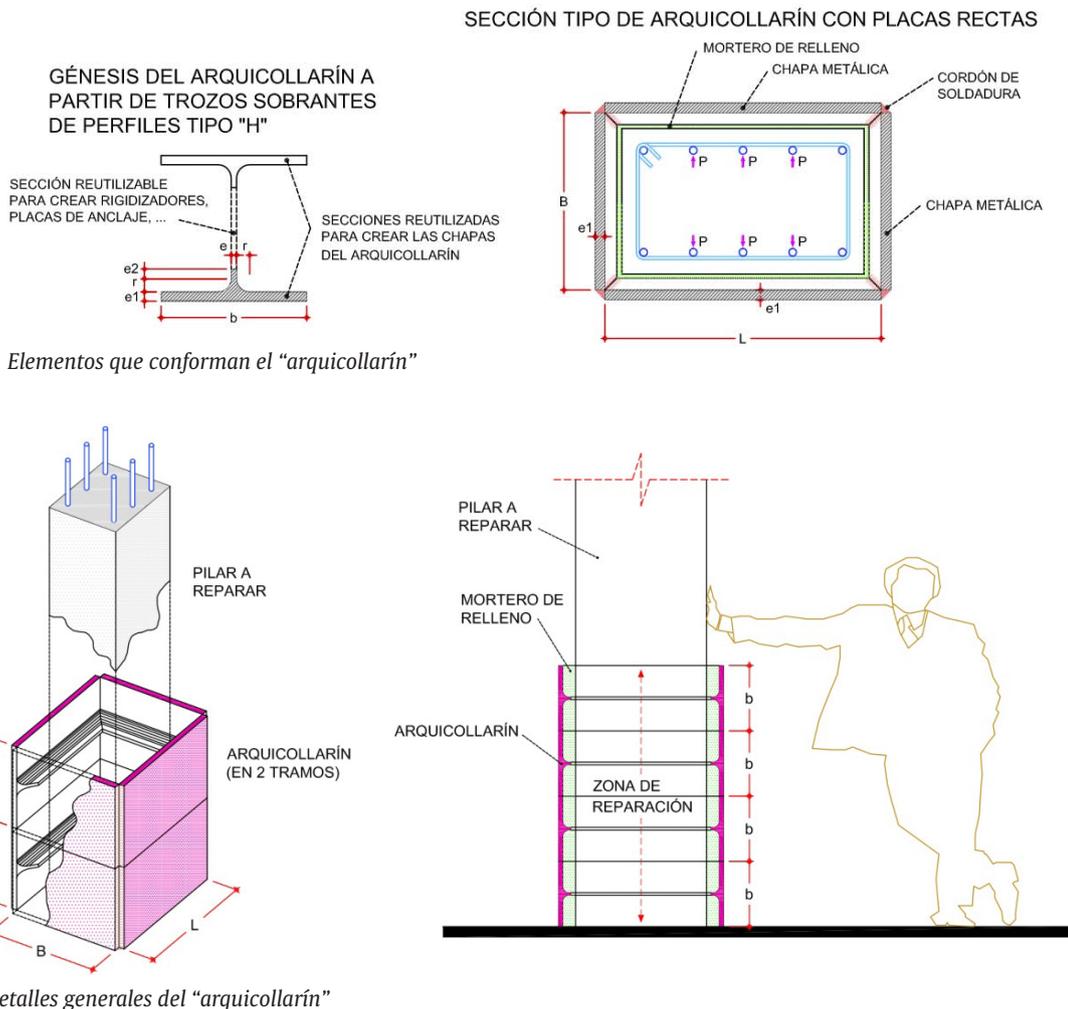
La utilidad del sistema radica en que la serie de piezas metálicas que lo constituye, debidamente manipuladas y unidas, consiguen conformar ensamblajes económicamente encofrados para morteros fluidos de altas prestaciones, erigiéndose en un conjunto resistente capaz de atender a la reparación y/o refuerzo de tramos de pilares degradados o dañados, por los efectos del confinamiento transversal de su sección.

La posibilidad de reutilizar trozos sobrantes de perfiles laminados (alas de la sección tipo "H" o "doble T") para construir sistemas constructivos que refuercen y/o reparen pilares de hormigón estructural dañados o degradados de edificios es sin duda el principal interés del sistema que aquí se presenta por su evidente impacto, por un lado, en la reducción del coste de la materia prima empleada y, por otro, en la mejora en el comportamiento medioambiental de los procesos constructivos.

Es importante resaltar que este sistema permitirá a los técnicos atender con seguridad la reparación de pilares cuando no se pueda proceder técnicamente al amparo de lo dispuesto en la exigente UNE EN 1504 "Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón", norma de obligado cumplimiento en Europa, debido a que para el correcto funcionamiento del sistema no es necesaria la preparación del soporte afectado. Tampoco lo es la realización en muchos casos de apuntalamientos de seguridad ni el desalojo de los edificios.

El sistema cuenta con el título de patente de invención según publicación nº ES2539302, concedido por la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM)

En esta comunicación se expone tanto la descripción de las características del sistema desde el punto de vista estructural como las



ventajas que aporta al estado de la técnica, además de mostrar ejemplos de obras ya ejecutadas.

Como apoyo técnico, el sistema cuenta con una aplicación informática ideada y desarrollada específicamente por el equipo, que justifica el comportamiento estructural de los pilares antes y después de la reparación/refuerzo, de acuerdo al marco actual normativo.

11. ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO AL CICLO DE VIDA DE LOS PUENTES

STUDY OF APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS IN BRIDGE LIFE CYCLE

Vicent Penadés Plà. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Becario de Investigación FPI. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vipepl2@cam.upv.es

Víctor Yepes Piqueras. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepesp@cst.upv.es

Tatiana García Segura. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Becaria de Investigación FPI. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. tagarse@cam.upv.es

José Vicente Martí Albiñana. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jvmartia@cst.upv.es

Puentes, multicriterio, ciclo de vida, sostenibilidad, toma de decisiones.

Bridges, multi-criteria, life-cycle, sustainability, decision-making.

El proyecto y construcción de los puentes constituye una actividad fundamental para la sociedad. Hasta hace poco tiempo, el único criterio que se tenía en cuenta en el proyecto y construcción de los puentes era la reducción del coste. Pero actualmente, la búsqueda de estructuras sostenibles conlleva tener en cuenta los criterios que constituyen los pilares de la sostenibilidad: económicos, sociales y medioambientales. Estos tres pilares presentan objetivos enfrentados, generándose un conflicto entre ellos a la hora de tomar la elección más sostenible. La toma de decisión multicriterio es un proceso que permite ayudar a la solución de este problema.

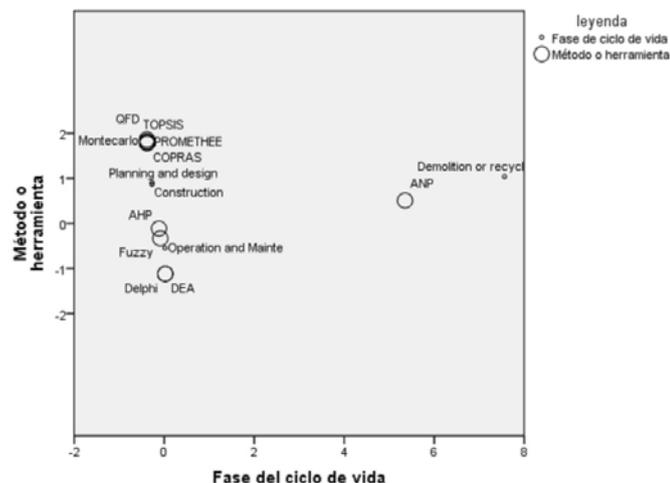


Figura 1. Análisis de correspondencias

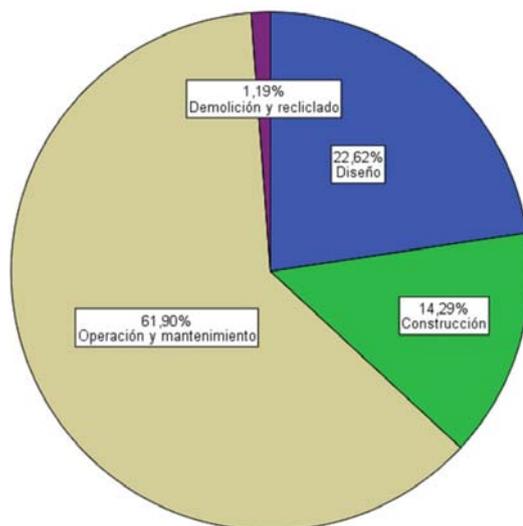


Figura 2. Porcentaje de aplicación por fases

En este trabajo se centra en un estudio de los métodos y herramientas más utilizadas en las diferentes etapas del ciclo de vida de un puente -proyecto, construcción, operación y mantenimiento, y reciclado y demolición-. Para ello se ha realizado una revisión bibliográfica de los artículos que han aplicado algún método o herramienta para la toma de decisión sobre algún aspecto de las diferentes etapas del ciclo de vida de un puente. Posteriormente se han agrupado los métodos y las herramientas, así como las fases del ciclo de vida y se ha realizado un análisis estadístico mediante el programa informático IBM SPSS Statistics 22.0.

El análisis muestra el empleo de los diferentes métodos y herramientas, así como porcentajes de aplicación a las diferentes fases del ciclo de vida. También se ha realizado un análisis de correspondencias, que evidencia la asociación de métodos/herramientas con las fases del ciclo de vida. La fase de operación y mantenimiento es la más estudiada con un 68,83%, seguido del proyecto, construcción, y demolición o reciclado con un 19,48%, 9,09% y 2,60% respectivamente. El método AHP (Analytic hierarchy process) es predominante, con un 34,52%, y la lógica fuzzy es la herramienta más utilizada, aplicada en un 48,81% de los artículos. El análisis de correspondencias muestra como la lógica fuzzy se asocia con la fase operación y mantenimiento. Además, el método AHP se emplea en las tres primeras etapas del ciclo de vida de un puente, y que la fase de demolición y reciclado se estudia poco y tiende a asociarse con el método ANP (Analytic Network Process).

15. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES DE ÚLTIMA GENERACIÓN BASADOS EN LA INNOVADORA TECNOLOGÍA PAE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA REOLOGÍA DEL HORMIGÓN

LAST GENERATION SUPERPLASTICIZERS BASED ON INNOVATIVE PAE TECHNOLOGY FOR OPTIMIZATION OF CONCRETE RHEOLOGY

Pere Borralleras Mas. BASF Construction Chemicals España S.L. Technical & Marketing Manager Iberia. Ldo. CC Químicas. pere.borralleras@basf.com

Poli-aril éter fosfónico (PAE), superplastificante, hormigón, reología.

Poly-aryl ether phosphonic (PAE), superplasticizer, concrete, rheology.

La tecnología para diseñar aditivos reductores de agua para hormigón no ha parado de evolucionar desde su introducción en el mercado en 1950. Los primeros aditivos plastificantes estaban basados en ligno-sulfonatos. Posteriormente, con la introducción de los condensados de melamina y naftalensulfonato, aparecieron los primeros aditivos superplastificantes. Y finalmente, en la última década del siglo pasado, el desarrollo tecnológico del hormigón experimentó un salto cuantitativo con la introducción de los aditivos superplastificantes de nueva generación basados en la química de los éter y éster de policarboxílico (PCE). Estos nuevos aditivos permitieron el desarrollo del hormigón de alta resistencia y el hormigón autocompactante, pero especialmente abrieron la puerta a la síntesis de polímeros adaptados a las características puntuales de cada cemento y cada situación, con la intención de obtener las prestaciones máximas.

La tecnología de los polímeros PAE, basados en condensados de poli-aril éter fosfónico, representa el último avance en el diseño de aditivos superplastificantes para hormigón. Mientras el desarrollo de los aditivos basados en PCE ha servido para aumentar la capacidad reductora de agua de los aditivos superplastificantes y balancear el mantenimiento de la consistencia, la tecnología PAE aporta importantes mejoras en el comportamiento reológico del hormigón, para permitir el diseño de hormigones con muy bajo contenido de agua incluso ante elevadas cantidades de finos. Con la tecnología PAE se fabrican hormigones de baja viscosidad y sin pegajosidad incluso en condiciones de relaciones agua/finos muy bajas. Dichas condiciones representaban el límite de uso de los aditivos superplastificantes basados en PCE, que mostraban problemas de alta viscosidad cuando la relación agua/finos era excesivamente baja (por ejemplo, al reducir mucho el contenido de agua o al usar altas cantidades de finos), y que ahora pueden ser resueltos con esta innovadora y única tecnología.

Se presentará la química básica de la tecnología PAE y su mecanismo de funcionamiento, observando cómo a partir de su mecanismo se explican las ventajas que aporta a nivel reológico. También se presentarán las aplicaciones más indicadas para esta nueva tecnología y los beneficios que aporta en hormigones bombeados o cuando se usan arenas con altos contenidos en finos. Y como la tecnología PAE puede ser la herramienta que permita el uso de cementos con altos contenidos de adición o bien el uso masivo de adiciones para la fabricación de hormigones convencionales con la finalidad de aportar un avance significativo en el desarrollo sostenible de la construcción.

19. ADHERENCIA HORMIGÓN-ACERO EN UN HAC DE ALTA RESISTENCIA ANTE CARGAS CÍCLICAS

STEEL-CONCRETE BOND IN A HIGH STRENGTH SCC UNDER CYCLIC LOADING

Héctor Bernardo Gutiérrez. DRAGADOS. Ingeniero. Dr. Ingeniero

de Caminos, Canales y Puertos. h.bernardo@gmail.com

Miguel Ángel Vicente Cabrera. Universidad de Burgos. Profesor Titular.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. m.vicente@ubu.es

David Alonso García. Prehormi S.A. Director. Ingeniero Agrónomo. prehormisa@yahoo.es

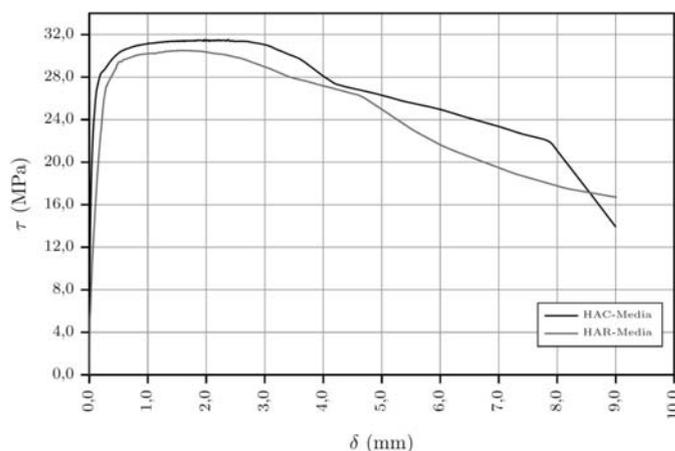
Dorys González Cabrera. Universidad de Burgos. Profesor Contratado

Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. dgonzalez@ubu.es

Hormigón, autocompactante, carga cíclica, adherencia.

Concrete, self-compacting, cyclic loading, bond.

El estudio de la adherencia entre acero y hormigón en hormigones autocompactantes consta de escasos trabajos que contemplen cargas cíclicas.



Gráficas "Pull-Out" comparadas. HAC-HAR

En un estudio que ha involucrado 54 probetas tipo Pull-Out, se ha comparado la adherencia frente cargas cíclicas de dos mezclas de hormigón de alta resistencia (70 MPa), una autocompactante y su equivalente vibrada.

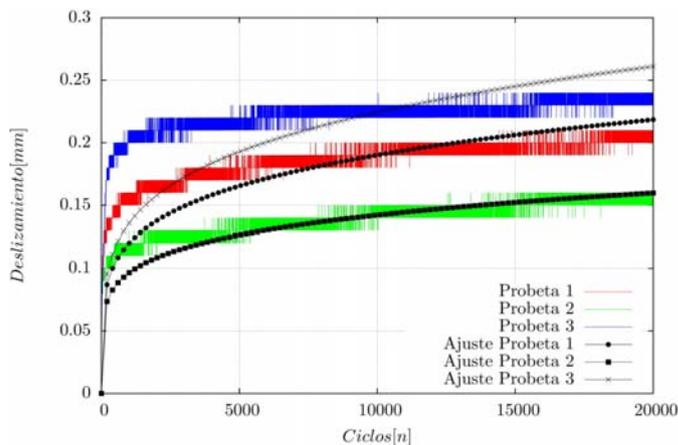
Los ensayos efectuados han cubierto 2 valores de carga máxima (0,6 y 0,8 de la carga última) y tres valores de amplitud de carga (0,33, 0,60 y 0,75) así como 4 niveles de número de ciclos (2.000, 20.000, 200.000 y 2.000.000). De esta forma se ha buscado explorar el efecto de la amplitud de carga, de a la tensión máxima y del número de ciclos en la adherencia y deslizamiento residuales.

Asimismo, se han efectuado ensayos monotónicos sobre probetas no fatigadas para establecer un valor de comparación de los valores residuales.

Los resultados obtenidos muestran que el HAC presenta mejor capacidad adherente que su homólogo convencional, tanto en condiciones de carga monotónica como cíclica. Su comportamiento ante cargas crecientes es más rígido en toda la curva tensión-deslizamiento, y la rama post-crítica no presenta un comportamiento inferior al hormigón convencional.

En ninguna probeta se ha producido un fallo por fatiga de la adherencia y, o bien se han superado los ciclos objetivo, o se ha producido la rotura de la barra de acero.

La tensión de adherencia última alcanzada tras los ciclos es mayor que la de las probetas de referencia, y aumenta de manera aproximadamente lineal en doble escala logarítmica al número de ciclos y con la amplitud de carga.



Gráfica ciclos-deslizamiento

Se ha observado además, que la mezcla autocompactante muestra sistemáticamente menor dispersión en los datos obtenidos, fruto de eliminar la variable de la vibración en la mezcla.

20. CÁLCULO DE SOLICITACIONES PLÁSTICAS EN PÓRTICOS DE EDIFICACIÓN A PARTIR DEL CÁLCULO ELÁSTICO

CALCULATION OF STRESSES IN PLASTIC BUILDING FRAMES FROM THE ELASTIC ANALYSIS

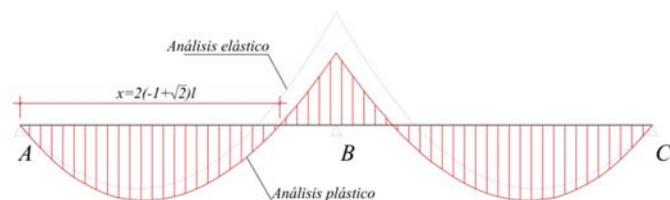
Oswaldo Moreno Iría. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Profesor. Dr. Arquitecto. oswaldomoreno@ulpgc.es
Aarón Medina Arias. Gravity Arquitectos. Director Técnico. Arquitecto. aaronmedina@gravityarquitectos.com
Juan Rafael Pérez Cabrera. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Profesor. Dr. Arquitecto. juanrafael.perez@ulpgc.es

Solicitaciones, cálculo elástico, cálculo plástico, hormigón armado, acero.

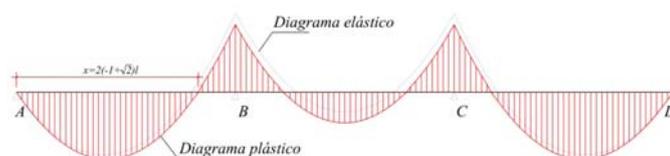
Solicitations, elastic calculation, calculation plastic, reinforced concrete, steel.

La celeridad del cálculo de solicitaciones elásticas en cualquier estructura hiperestática de edificación es posible gracias al desarrollo que, en las últimas décadas, ha experimentado la informática en general y el software especializado en particular. No obstante, la posibilidad de realizar dicho cálculo de solicitaciones en régimen plástico -con sus consiguientes ventajas en el aspecto económico-, inexplicablemente no viene recogida en la mayoría de los programas específicos de edificación.

El desarrollo del siguiente trabajo aporta el procedimiento mediante el cual podremos realizar el cálculo elástico utilizado por los programas informáticos, pero modificando la posición del momento nulo de las solicitaciones elásticas, de tal manera que el resultado sea el equivalente al del cálculo plástico. El método está dirigido a estructuras formadas por pórticos intraslacionales de pilares y vigas unidos rígidamente, sometidos a cargas continuas -lo que supone la mayoría de las estructuras de edificación de nuestro país-.



Posicionamiento de la rótula plástica en una viga de dos vanos



Posicionamiento de la rótula plástica en una viga de tres vanos

La metodología pasa por introducir en el último vano de la estructura porticada, la articulación correspondiente al momento nulo de la sollicitación plástica. Esta posición se demuestra ser siempre la misma y proporcional a la longitud del último vano, independientemente del número de tramos que contenga el pórtico de la estructura.

22. MODELO ANALÍTICO PARA EL ANÁLISIS DE LA FLEXIÓN Y FISURACIÓN EN SECCIONES DE HA COMO ALTERNATIVA AL DIAGRAMA DE PIVOTES

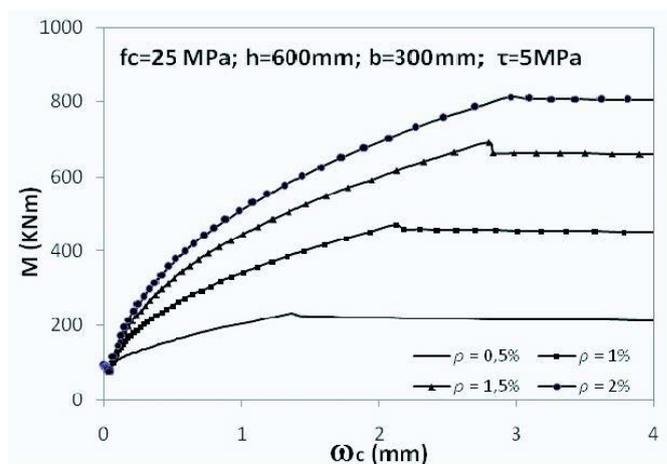
ANALYTICAL MODELING OF FLEXURAL FAILURE AND CRACKING PROCESS IN RC AS ALTERNATIVE TO THE SO-CALLED "PIVOT DIAGRAM"

Jacinto Ruiz Carmona. Universidad de Castilla-La Mancha/Mecanismo. Investigador/Asociado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jacinto.rc@gmail.com
Gonzalo Ruiz López. Universidad de Castilla-La Mancha. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gonzalo.ruiz@uclm.es

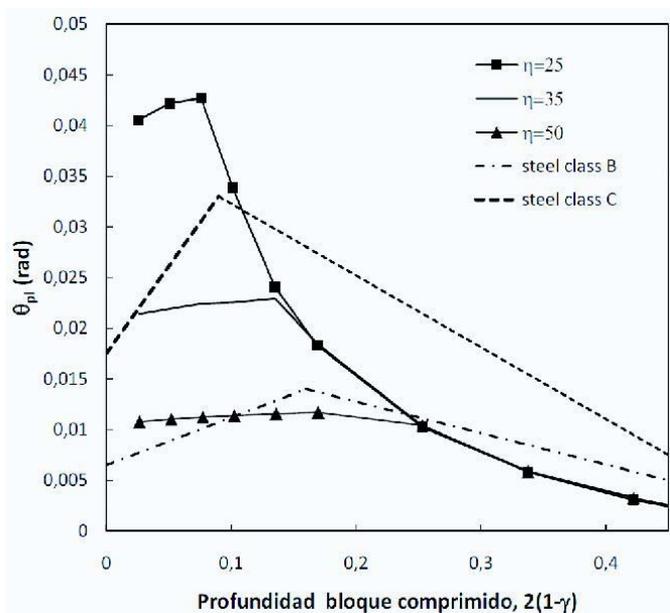
Hormigón armado, apertura de fisura, fallo por flexión, capacidad de rotación.

Reinforced concrete, crack opening, flexural failure, rotational capacity.

Esta ponencia propone un modelo para determinar la carga de fallo por flexión en vigas de hormigón armado (HA), evaluando simultáneamente la apertura de fisura durante el proceso de carga. Actualmente el análisis de la rotura por flexión de secciones de hormigón y la comprobación de la apertura de fisura se realizan de forma independiente, cuando en realidad corresponden a un mismo fenómeno físico. El modelo comúnmente utilizado para analizar la flexión en secciones de hormigón es el denominado "diagrama de pivotes", el cual realiza una serie de gruesas simplificaciones como, por ejemplo, considerar que el acero y el hormigón están perfectamente adheridos entre sí y que, por tanto, su deslizamiento relativo es nulo, o postular que la sección de hormigón permanece plana aun cuando haya fisurado el hormigón, llevando así la hipótesis de Navier a un extremo irreal. Aunque se trate de un diagrama extensamente utilizado, sería necesario actualizar su base teórica, siendo los modelos basados en Mecánica de la Fractura una alternativa adecuada.



Ejemplo de diagrama momento - apertura de fisura. Influencia de la cuantía de armado



Influencia de la adherencia en la capacidad de rotación plástica en secciones de HA

El modelo analítico que aquí se propone incorpora el proceso de fisuración de la sección mediante una ecuación de compatibilidad que relaciona la apertura de fisura con el alargamiento de la barra de refuerzo, relacionando así la apertura de fisura con el momento aplicado en la sección. Además, se tiene en cuenta simplificada mente el comportamiento en fractura del hormigón introduciendo, en la punta de la fisura, una fuerza de tracción dependiente de las tensiones cohesivas y de la profundidad de la fisura. El modelo se valida frente a resultados experimentales de vigas de hormigón armado, tanto en carga máxima como en las aperturas de fisura correspondientes.

Este nuevo modelo se podría usar ventajosamente en aplicaciones tecnológicas, ya que permite relacionar el momento aplicado en la sección y la apertura de fisura que produce, pudiéndose llevar a cabo las comprobaciones en ELS y ELU con un único cálculo. Asimismo, permite estudiar la influencia de la adherencia hormigón-acero en el proceso de flexión, lo cual resulta útil en rehabilitación de estructuras. También permite evaluar la capacidad de rotación de las secciones de

hormigón armado. Además, la propuesta reproduce el efecto de tamaño que se manifiesta en el fallo de las secciones de hormigón armado.

24. DISEÑO DE PASARELAS DE HORMIGÓN POSTESADO DE SECCIÓN EN T MEDIANTE OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA BAJO CRITERIOS ECONÓMICOS Y DE SOSTENIBILIDAD

DESIGN OF POST-TENSIONED CONCRETE FOOTBRIDGES T CROSS SECTION WITH HEURISTIC OPTIMIZATION UNDER ECONOMIC AND SUSTAINABILITY CRITERIA

Víctor Molina Jotel. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Investigador Asociado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vicmojo@alumni.upv.es

Julián Alcalá González. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jualgon@upv.es

José Vicente Martí Albiñana. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jvmartia@cst.upv.es

Víctor Yepes Piqueras. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepes@cst.upv.es

Hormigón pretensado, optimización heurística, puentes peatonales, recocido simulado, sostenibilidad.

Prestressed concrete, heuristic optimization, footbridges, simulated annealing, sustainability.

Este artículo se ocupa del diseño y optimización automática de pasarelas de hormigón postesado con sección en T bajo criterios económicos (coste) y de sostenibilidad (emisiones de CO₂ y energía consumida), empleando la técnica heurística de optimización Simulated Annealing (SA). Para ello, se desarrolla un código de programación de diseño y comprobación estructural que se aplica al tablero de la pasarela, definido por 20 variables discretas y 15 parámetros de distinta naturaleza (geometría, calidad de materiales, cuantía y disposición de armadura pasiva y activa, etc.).

El diseño se inicia con la generación aleatoria de las variables que definen el tablero de la pasarela para posteriormente realizar un

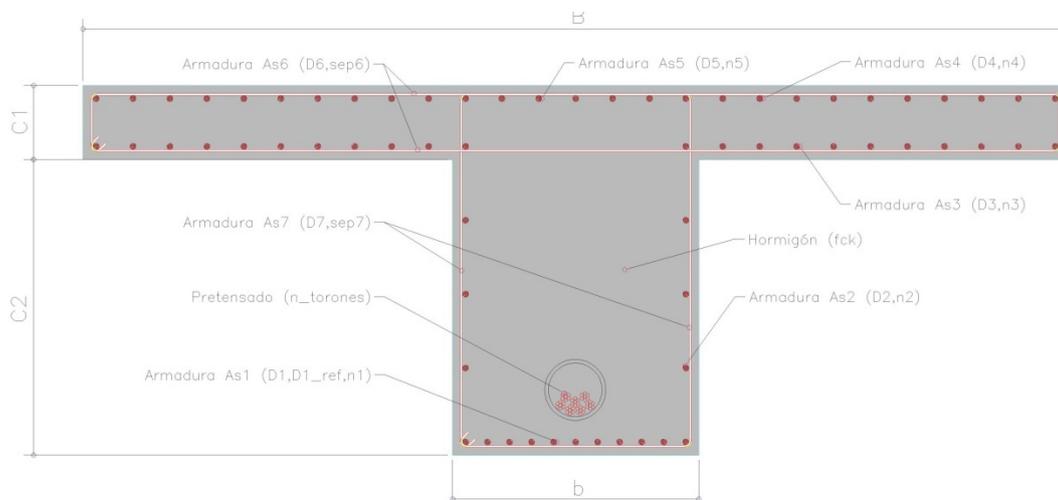


Figura 1. Variables de diseño

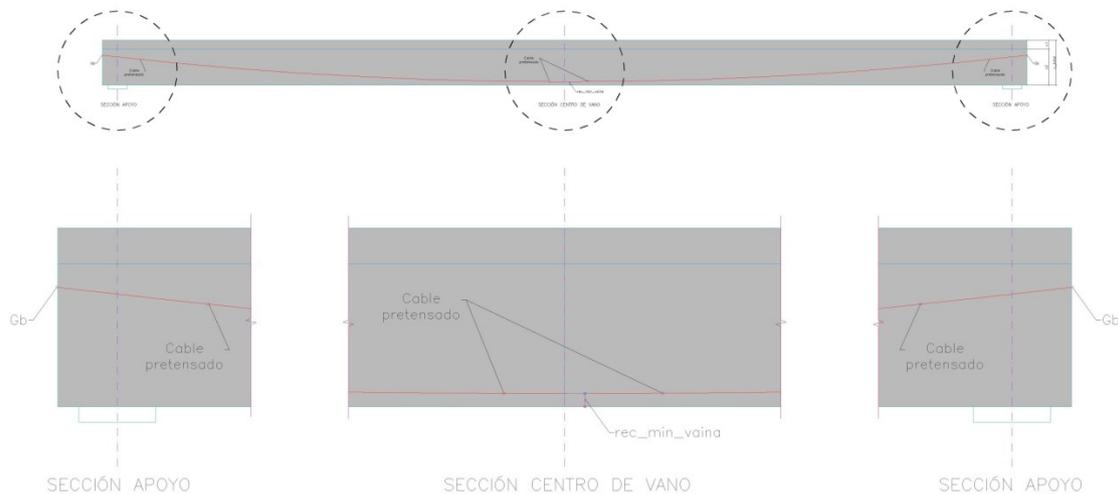


Figura 2. Diseño trazado pretensado. Alzados en sección de apoyo y centro de vano

proceso automático que engloba todas las comprobaciones geométricas y estructurales que la normativa exige para este tipo de estructuras. Tras analizar la factibilidad de la solución se procede a la evaluación del coste económico y medioambiental (emisiones de CO₂ y energía consumida) que conlleva su ejecución a partir de las mediciones y costes unitarios de cada una de las unidades de obra que la componen.

Se ha comprobado que la optimización bajo cualquiera de los tres criterios proporciona soluciones aceptables para los otros dos (variaciones inferiores al 5% respecto a las mejores soluciones encontradas), lo que demuestra la no conflictividad entre los objetivos estudiados.

28. EL ELOGIO DEL HORIZONTE DE CHILLIDA, UN ENCUENTRO ENTRE CIENCIA Y ARTE

CHILLIDA'S "IN PRAISE OF THE HORIZON", AN ENCOUNTER BETWEEN SCIENCE AND ART

Deborah García Bello. University of A Coruña. PhD student. Graduate in Chemistry. deborahciencia@gmail.com

Moisés Canle López. University of A Coruña. Prof. Dr. PhD. mcanle@udc.es

Hormingón aluminoso, Chillida, arte.

Aluminous concrete, Chillida, art.

A través de la investigación de los aspectos ingenieriles del Elogio al horizonte de Chillida, tales como materiales, ejecución de la obra, localización, forma y escala, se pretende demostrar la inequívoca relación entre la ciencia y el arte.

El material escogido para esta escultura fue el hormigón, específicamente hormigón aluminoso con elevadas dosis de virutas de fundición y agua, conformando un material atípico para el arte e inapropiado para obra civil. En el artículo se describen de forma divulgativa los procesos fisicoquímicos implicados en la dosificación, encofrado, fraguado, curado, etc. del hormigón empleado, así como la interpretación artística de esta elección: el hormigón se interpreta como pie-

dra artificial, como ese horizonte impostado entre lo que es del hombre y lo que es de la naturaleza.

La localización de la obra, frente al horizonte, convierte a ese espacio en lugar, lo señala como punto de contemplación del entorno.

La forma de la obra sugiere la idea de refugio, con su puerta abierta, animando a entrar, su ventana hacia el horizonte, su apertura superior hacia un tejado que es el cosmos. Contrapone la quietud de la estancia en el interior de la obra al movimiento exterior: las olas, el viento, la luz.

Pese a ser un refugio, la escala de la obra es monumental, enfrentando al hombre con la dimensión inabarcable del cosmos.

La conclusión de esta investigación acerca de los aspectos técnicos y artísticos del Elogio al horizonte, es que queda constatado el vínculo entre ambas formas de conocimiento. Se evidencia la relación indispensable entre ambos, ya que la obra no podría haber sido ejecutada, ni pensada, ni interpretada de no disponerse de conocimientos y herramientas propios de la ingeniería.

Esta investigación abre camino a la integración de la cultura científica con la cultura artística como instrumento divulgativo.



Elogio del horizonte Hormigón Eduardo Chillida Juantegui, 1990



Chillida at the works for "In Praise for the Horizon"

29. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS ADITIVOS QUÍMICOS EN EL RÉGIMEN DE EXPANSIÓN DE HORMIGONES EXPANSIVOS USADOS EN INFRAESTRUCURAS

EVALUATION OF INFLUENCE OF CHEMICAL ADMIXTURES ON EXPANSION RATE OF EXPANSIVE CONCRETES USED IN INFRASTRUCTURES

Pedro Carballosa de Miguel. Instituto Eduardo Torroja. Ingeniero de Materiales-Laboratorio de Hormigones. Dr. Ingeniero de Materiales. carballosa@ietcc.csic.es

David Revuelta Crespo. Instituto Eduardo Torroja. Científico Titular. Dr. Ingeniero Industrial. d.revuelta@ietcc.csic.es

José Luis García Calvo. Instituto Eduardo Torroja. Funcionario de carrera. Dr. Ciencias Ambientales. jlgac@ietcc.csic.es

Valentina Morales Benedetto. Universidad Politécnica de Madrid. Estudiante Máster. Ingeniera Civil.

valentina.moralesb@alumnos.upm.es

Hormigones pretensados químicamente, hormigones de retracción compensada, agentes expansivos, aditivos químicos, tubos rellenos de hormigón.

Chemically prestressed concrete, shrinkage compensated concrete, expansive agents, chemical admixtures, concrete filled tubes (CFT).

Los hormigones expansivos, de uso cada vez más habitual en la construcción, se clasifican en función de la magnitud de su expansión en: hormigones de retracción compensada, de aplicación principal en la ejecución de elementos superficiales tipo losas y pavimentos con objeto de disminuir o eliminar la fisuración y limitar el número de juntas, y hormigones pretensados químicamente, de aplicación en sistemas de tubos rellenos de hormigón para mejorar la respuesta estructural y facilitar la puesta en obra, empleados en la ejecución de puentes arco y pilares de edificios en zonas sísmicas.

Estos hormigones se fabrican con cementos o agentes expansivos de carácter hidráulico que al contrario que el cemento portland con-

vencional inducen un incremento del volumen del hormigón tras el fraguado durante las fases iniciales del endurecimiento debido a la formación de una mayor proporción de ciertos hidratos ya presentes en la matriz cementicia.

Los aditivos químicos se emplean en la industria del hormigón de forma habitual, y casi necesaria, con objeto de mejorar o modificar las propiedades intrínsecas habituales o de puesta en obra de este material.

En el caso particular de los hormigones expansivos esta modificación de propiedades, especialmente las de carácter reológico, y la naturaleza química de los aditivos adicionados, aunque en pequeña proporción, pueden tener una alta incidencia en el desarrollo, velocidad y magnitud final de la expansión, pudiendo anular el efecto buscado por los mismos.

En esta investigación se determina sobre una dosificación referencia de hormigón de dosis fija de agente expansivo base sulfoaluminato cálcico, la influencia de varias tipologías de aditivos químicos comerciales introducidos en dos dosis, máxima y mínima recomendadas por el fabricante, sobre el régimen de expansión desarrollado, verificando el efecto, o no, de las tipologías propuestas sobre la velocidad y magnitud final de la expansión desarrollada.

La influencia de estos aditivos sobre el régimen de expansión del hormigón referencia se evalúa mediante dos métodos de ensayo, uno de carácter normativo ASTM C878 donde la expansión se evalúa sobre prismas de hormigón restringidos, y otro, mediante el empleo de tubos de acero rellenos con las mezclas de hormigón expansivo diseñadas. En este segundo caso, la medida de la expansión se realiza mediante galgas. En ambos métodos se procuran unas condiciones de curado similar.

Los resultados obtenidos muestran una alteración del régimen y la magnitud de la expansión a considerar, sobre manera, en las dosificaciones con aditivos químicos en sus dosis máximas.



Medida de la expansión sobre prismas restringidos de acuerdo con ASTM C878



Medida de la expansión en tubos de acero rellenos de hormigón mediante galgas

30. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE MUROS DE CONTENCIÓN DE TIERRAS DE HORMIGÓN ARMADO CON CONTRAFUERTE Y MUROS PANTALLA

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE BUTTRESSED EARTH-RETAINING AND DIAPHRAGM WALLS

Francisca Molina Moreno. Universitat Politècnica de València. Departamento I. Transp. Becaria de Investigación FPI. Arquitecta. framomo4@upvnet.upv.es
 Andrés Ródenas Escartí. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Estudiante Máster Planificación y Gestión en I.C. Graduado en Ingeniería Civil. andres.rodenas.upv@gmail.com

José Vicente Martí Albiñana. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Profesor Titular De Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jvmartia@cst.upv.es
 Víctor Yepes Piqueras. Universitat Politècnica de València. ICITECH. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepes@cst.upv.es

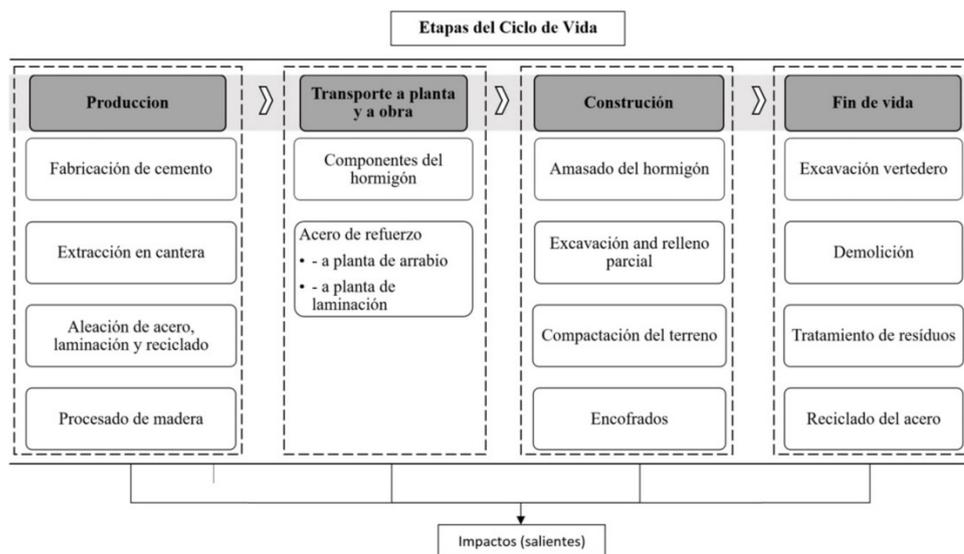
Muro de contrafuertes, muro pantalla, calentamiento global, agotamiento del ozono, ACV.

Buttressed wall, diaphragm wall, global warming, ozone depletion, LCA.

El potencial de calentamiento global es una de las mayores preocupaciones entre los impactos ambientales. El presente estudio muestra la evaluación de impactos durante el ciclo de vida de dos tipologías de muros de contención de tierras: con contrafuertes y muros pantalla. Las mediciones de material han sido obtenidas preliminarmente para el primero mediante optimización heurística y para el segundo mediante la técnica de muestreo de hipercubo latino y posterior meta-modelo Kriging. Previamente se ha realizado un análisis paramétrico del ciclo de vida para diferentes alturas de muros de contrafuertes (Zastrow et al. 2017).

Se ha analizado la ratio de contribución de cada flujo de entrada (extracción de materiales y proceso de construcción) sobre el impacto total para un muro tipo. Los flujos se modelan como subprocesos individuales de los muros de contención. La altura de muro se considera parámetro de diseño. Un estudio previo mostraba que las ratios de contribución de los impactos varían de forma no uniforme con la altura; por tanto, la unidad funcional definida considera este parámetro permitiendo comparación con otros tipos de muros de igual altura. El análisis muestra la ratio de contribución de cada material o actividad para cada tipología de muro. La contribución de cada material se deriva de las mediciones de las variables de diseño de la tabla para la tipología de contrafuertes.

Los resultados muestran que la ratio de contribución del hormigón es la mayor en todos los impactos excepto en la reducción de la capa de ozono, donde la utilización de la maquinaria implica mayor impacto (30%), así como en la oxidación fotoquímica del aire, donde el acero es el mayor contribuidor. Por otra parte, el porcentaje de acero reciclado se estima en un 75%. La influencia de la tasa de reciclaje del acero es manifiesta, se aprecia prominente reducción de impactos al



Etapas del ciclo de vida del muro de contención de tierras

Tensión Terreno (MPa)	V _{horn} (m ³)	m _{acer} (kg)	V _{sw} (m ³)	V _{exc} (m ³)	A _{enconf} (m ²)	V _{talón} (m ³)	V _{puntera} (m ³)
0.2	7.206	429.339	11.700	24.128	30.648	10.107	2.321
0.3	7.682	405.562	10.140	21.068	28.034	9.878	1.050
0.4	7.743	356.662	9.240	19.422	27.848	9.828	0.354

Mediciones de las variables de diseño por metro lineal de un muro de 10 m

incrementar este parámetro. El ACV deja ver el interés en estudiar la relación de los impactos del hormigón, acero, con los diferentes impactos producidos para cada tipo de muro.

33. EVALUACIÓN NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UN FARO FABRICADO MEDIANTE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRA (PRF)

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE DYNAMIC RESPONSE OF A FIBRE REINFORCED POLYMERS (FRP) LIGHTHOUSE

José David Jiménez Vicaria. Centro Tecnológico ACCIONA Infraestructuras. Investigador en Grupo Diseño Estructural. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jose david.jimenez.vicaria@acciona.com

Pablo Sánchez Sierra. Centro Tecnológico ACCIONA Infraestructuras. Investigador en Grupo Diseño Estructural. Ingeniero Industrial. pablo.sanchez.sierra@acciona.com

Eva Martínez Barriguete. Centro Tecnológico ACCIONA Infraestructuras. Jefa Grupo Polímeros y Composites. Licenciada en Química (esp. Química Orgánica). eva.martinez.barriguete@acciona.com

Carlo Paulotto. Centro Tecnológico ACCIONA Infraestructuras. Jefe Grupo Diseño Estructural. Ingeniero Civil y Dr. en Ingeniería Estructural. carlo.paulotto@acciona.com

Polímeros reforzados con fibra, faro, vibraciones libres, respuesta dinámica, simulación numérica.

Fibre reinforced polymers, lighthouse, free vibrations, dynamic response, numerical simulation.

En ambientes marinos, para minimizar los costes de mantenimiento, el uso de polímeros reforzados con fibra (PRF) para la construcción de estructuras civiles durables y ligeras es una alternativa atractiva y prometedora frente a los materiales tradicionales, como el acero o el hormigón armado con acero. ACCIONA Infraestructuras ha construido un faro de 32 metros de altura fabricado en Madrid íntegramente con polímeros reforzados con fibra e instalado en sólo dos horas en la ampliación norte del Puerto de Valencia en febrero de 2015 (fig. 1). Esta estructura de cinco plantas, con un peso de 19 toneladas, está formada por ocho columnas circulares huecas de polímero reforzado con fibra de carbono (PRFC), fabricadas por pultrusión y posicionadas en los vértices de un octógono. Los 5 forjados son paneles sándwich octogonales de fibra de vidrio y poliuretano fabricados por infusión de resina. En el centro de la estructura, desde su base hasta la parte superior, se ubica una escalera de caracol de PRF. Para incrementar la rigidez lateral de la estructura, entre cada par de forjados consecutivos, sus columnas de PRFC están conectadas en el perímetro de la estructura por medio de tubos horizontales de



Figura 1. Imagen del faro en polímeros reforzados con fibra (PRF) una vez terminado

polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) formando de esta manera cuatro anillos octogonales. Se ha llevado a cabo un control de calidad exhaustivo de todos los elementos estructurales, determinando experimentalmente sus propiedades mecánicas y físico-químicas (fig. 2). Una vez instalado el faro, las vibraciones de la estructura inducidas por el viento se registraron por medio de una serie de acelerómetros colocados estratégicamente para determinar su respuesta dinámica. Previamente, se llevó a cabo una simulación numérica de la estructura para determinar sus frecuencias naturales y formas modales y poder compararlas con las obtenidas de manera experimental.

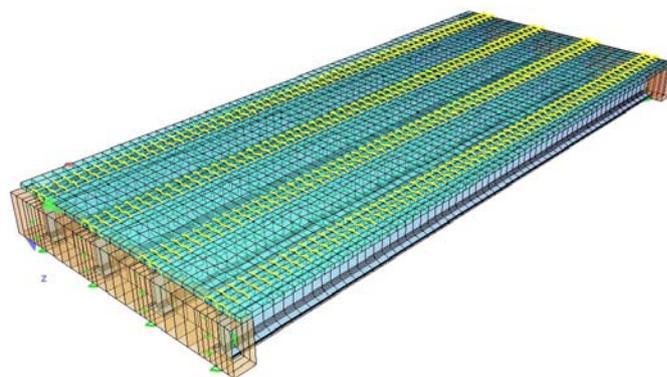


Figura 2. Ensayo estático a escala real de una columna de polímero reforzado con fibra de carbono

37. DISTRIBUCIÓN SIMPLIFICADA DE ESFUERZOS ORIGINADOS POR LA SOBRECARGA DE TRÁFICO EN TABLEROS DE PUENTES DE CARRETERA

LIVE LOAD DISTRIBUTION FACTORS IN ROADWAY BRIDGES

Alberto Fernández Álvarez. Torroja Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. afernandez@torroja.es
 José Manuel Simón-Talero Muñoz. Torroja Ingeniería S.L. Director General. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jsimontalero@torroja.es
 Ángel Carriazo Lara. Torroja Ingeniería S.L. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. acarriazo@torroja.es



Modelo de cálculo típico elementos finitos

Coefficiente de reparto sobrecarga.

Live load distribution factors.

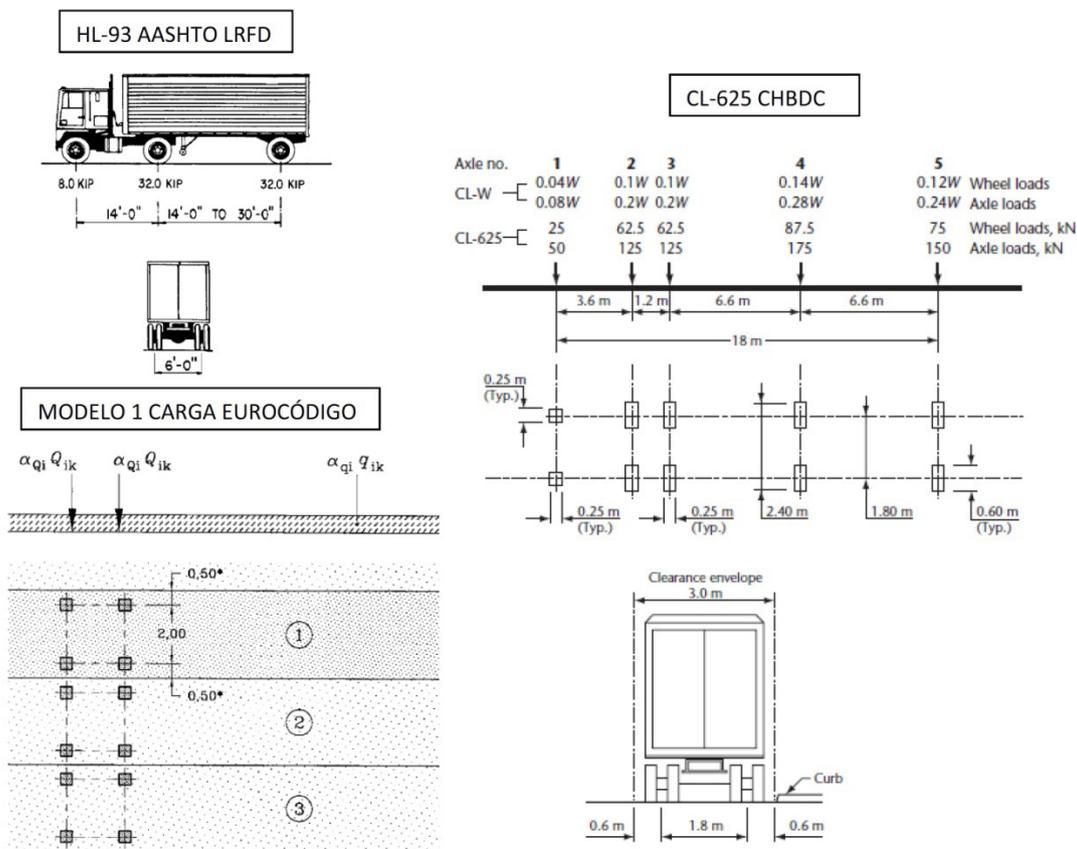
La práctica profesional habitual en la ingeniería de puentes comprende el desarrollo de modelos de cálculo numéricos, para el diseño y la comprobación de tableros de puentes de carretera sometidos a la sobrecarga de tráfico incluida en el Eurocódigo. Se utilizan profusamente con este fin multitud de programas de cálculo comerciales de código cerrado.

Existen por otro lado, incluidas dentro del marco normativo de algunos países, formulaciones simplificadas que explicitan, en función de algunos parámetros geométricos y resistentes, cómo deben distri-

buirse los esfuerzos originados por la sobrecarga de tráfico entre los distintos elementos portantes que forman parte del tablero.

Mediante la aplicación de estas formulaciones simplificadas es posible completar el dimensionamiento del tablero, obviando la necesidad de elaborar complejos modelos de cálculo. La metodología propuesta es más sencilla, y sus resultados son fácilmente verificables.

En el presente artículo se efectúa una revisión de las formulaciones incluidas en los desarrollos normativos vigentes en la actualidad a nivel internacional, describiendo los rangos en los que son aplicables, y para qué modelo de sobrecarga se han desarrollado. Se discute qué parámetros se consideran en cada formulación y cuál es su influencia en los resultados.



Vehículos pesados sobrecarga de tráfico

38. COMPORTAMIENTO DE BARRAS METÁLICAS ENCOLADAS EN PIEZAS DE MADERA PARA EL DISEÑO DE UNIONES

BEHAVIOR OF STEEL BARS GLUED IN TIMBER PIECES FOR JOINT DESIGN

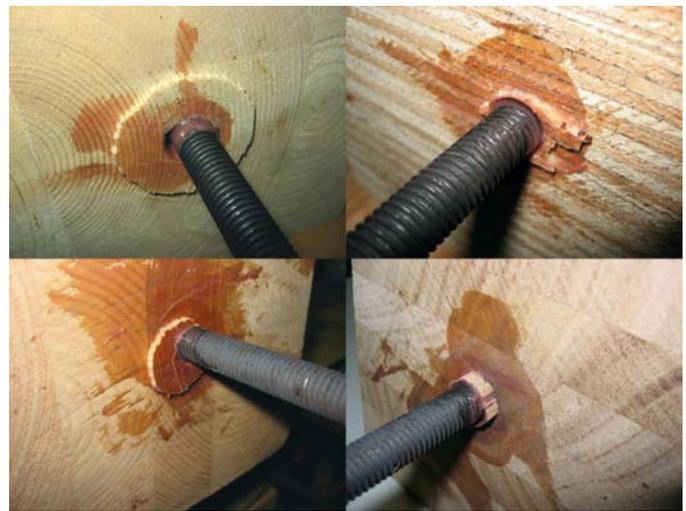
Emilio Martín Gutiérrez. Universidad de A Coruña. Profesor Titular de Universidad (Full Professor). Dr. Arquitecto. emilio.martin@udc.es
 Javier Estévez Cimadevila. Universidad de A Coruña. Catedrático de Universidad (Full Professor). Dr. Arquitecto. javier@udc.es
 Dolores Otero Chans. Universidad de A Coruña. Profesora Contratada Dra. (Full Professor). Dra. Arquitecta. dolores.otero.chans@udc.es

Madera, uniones, adhesivos, resistencia, ensayos.

Timber, joints, adhesives, strength, testing.

El diseño de uniones constituye uno de los aspectos más relevantes tanto en el proyecto de estructuras de madera como en la recuperación de entramados antiguos. Dentro del amplio abanico de posibles soluciones, la utilización de barras metálicas encoladas ocultas constituye una eficaz alternativa.

En este contexto, nuestro equipo ha desarrollado una extensa campaña numérica y experimental sobre el comportamiento de anclajes rectos. En la misma se han ensayado probetas confeccionadas con diferentes especies de madera (coníferas y frondosas), utilizando tanto piezas aserradas como laminadas y microlaminadas. Asimismo, se han empleado diversos adhesivos estructurales, incluyendo productos de base epoxídica, poliuretano, poliéster y neopreno, siendo los primeros los que han evidenciado mejores prestaciones. En cada caso se ha analizado la influencia de los diferentes parámetros geométricos que integran el problema: longitud de anclaje, diámetro de barra, espesor de adhesivo, separación de la barra al borde de la pieza, y proporciones de la misma. La mayor parte del estudio se ha centrado en la transmisión de la fuerza en dirección paralela a la fibra, si bien también se ha desarrollado una campaña en sentido transversal con objeto de analizar las importantes diferencias de comportamiento. Los ensayos se han implementado en una máquina universal mediante disposiciones a tracción doble y tracción-compresión, lo que a su vez ha permitido valorar adicionalmente la posible incidencia del tipo de ensayo en los resultados finales.



Ejemplos de modos de fallo

En el documento se clasifican los diferentes modos de fallo posibles, analizando en consecuencia los aspectos que pueden propiciar cada configuración. Paralelamente se estudia el comportamiento tenso-deformacional, a efectos de lograr conexiones suficientemente dúctiles, y se determinan los valores de carga última. Con relación a dicha resistencia se recoge una posible formulación predictiva, con un mayor ajuste experimental que la actualmente disponible en el marco normativo (anexo informativo contenido en el Eurocódigo 5, específicamente orientado a las soluciones de madera laminada).

Por otra parte, los resultados de esta investigación han permitido desarrollar dispositivos de mejora, objeto de sendas patentes. Se presentan en consecuencia soluciones mediante la inclusión de bulbos de adhesivo, ya sea en el extremo interior de la longitud de anclaje o mediante ensanchamientos sucesivos a lo largo de la misma. Para ello se han desarrollado brocas articuladas, igualmente patentadas, que facilitan dichas configuraciones haciendo uso de taladros convencionales. Estas disposiciones facilitan incrementos reseñables tanto en la capacidad portante como en la ductilidad de la unión.

39. HAC CON FILLER DE RECUPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS CALIENTES: DURABILIDAD

SCC MADE WITH RECOVERY FILLER FROM HOT-MIX ASPHALT PLANTS: DURABILITY

Álvaro Romero Esquinas. EPS de Bélmez/Universidad de Córdoba. Doctorando FPU. Ingeniería de Minas. p52roesa@uco.es
 Rocío Otero Izquierdo. IUIQFN/Universidad de Córdoba. Técnica de Laboratorio. Dra. Licenciada en Química. b42otizr@uco.es
 José Ramón Jiménez Romero. EPS de Bélmez/Universidad de Córdoba. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Agrónomo. jjjimenez@uco.es
 José María Fernández Rodríguez. EPS de Bélmez/Universidad de Córdoba. Profesor Titular. Dr. Licenciado en Química. um1feroj@uco.es

Minimización de residuos, hormigón autocompactante, filler de recuperación, caracterización físico-química, durabilidad.

Waste minimization, self compacting concrete, recovery filler, physical-chemical characterization, durability.

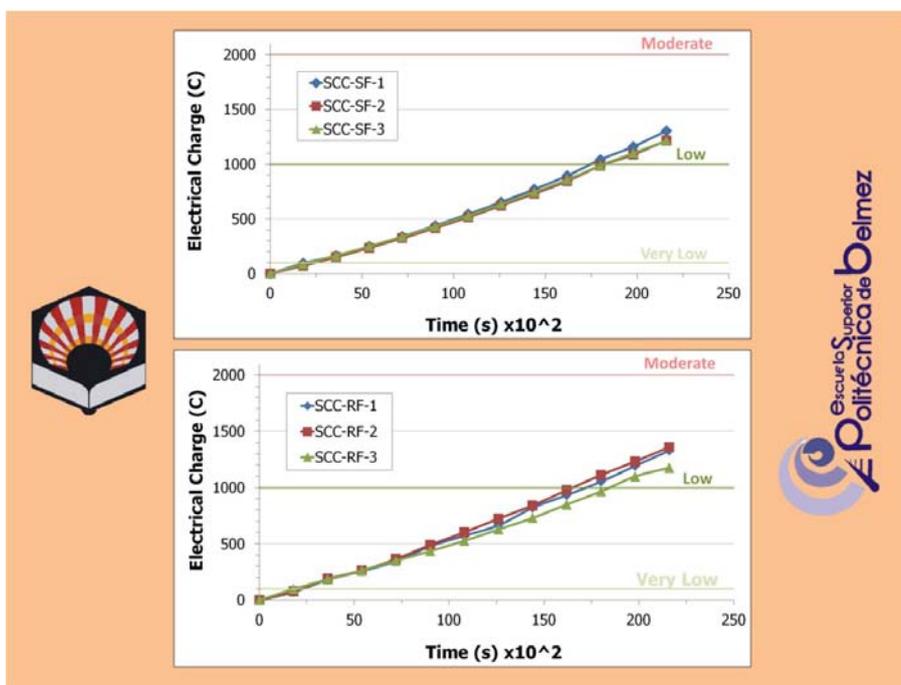


Ensayo a doble tracción implementado en la máquina universal de ensayos

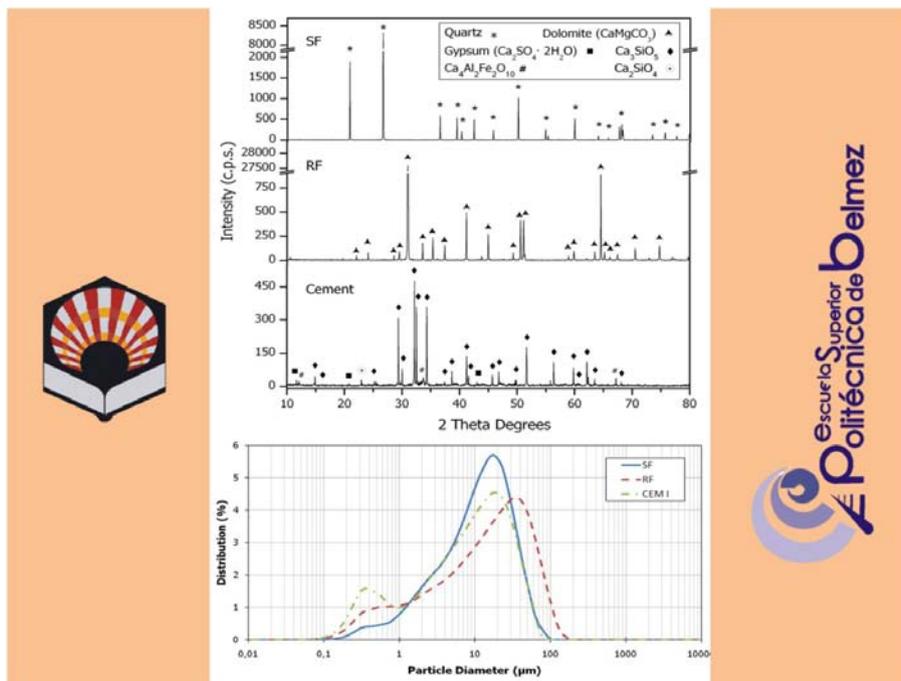
Hoy en día existe una fuerte línea de investigación mundial relacionada con la optimización de recursos naturales y minimización de residuos dentro del campo de la construcción. La industria del hormigón, en constante evolución, busca tecnologías más eficientes debido a que es el material más usado, dos veces más que el resto de materiales (madera, acero, plástico o aluminio). En la década de los 80 se produce el más revolucionario desarrollo de esta industria desde años, con la aparición de Hormigón Autocompactante (HAC). El cual presentaba algunas ventajas respecto al Hormigón Normalmente Vibrado (NVC) como menores tiempo de ejecución, reducción de la mano de

obra, mejor superficie a acabado, mas fácil colocación, mejora de la condiciones de trabajo, etc. [2].

El HAC requiere la incorporación de agentes químicos superplastificantes específicos y alto porcentaje de finos (filler) para conseguir y mantener las propiedades de autocompactabilidad adecuadas. Esta gran cantidad de áridos finos demandada, son generados por molienda de alta energía para conseguir la granulometría deseada, lo que conlleva unos altos costes tanto económicos como medio ambientales. En las Plantas de Mezclas Bituminosas en Caliente (MBC) se originan continuamente grandes cantidades de residuos de granulometría fina (polvo),



Penetración de Ion cloruro de HAC-SF y HAC-RF (ASTM C1202)



Patrones PXRD y distribución de tamaño de partícula del SF, RF y cemento

generados en el proceso de secado, denominados filler de recuperación (RF), siendo destinados por lo general a vertederos con los consiguientes problemas medio ambientales y riesgos para la salud. Su producción es aproximadamente un 4% en peso de la MBC producida. Siendo la producción de MBC en Europa de 263,7 millones de toneladas en 2014.

El objetivo de este trabajo ha sido realizar un estudio de viabilidad de HAC fabricados con filler residual de MBC (RF) en sustitución del filler silíceo comercial (SF). La caracterización geométrica-física-química del material (SEM, distribución de tamaño de partícula mediante laser, DRX, EDAX, ATG-TD e isoterma de adsorción-desorción de N₂) ha sido el primer objetivo de la investigación lo cual ha permitido hacer un examen de las propiedades de ambos. Además se llevó a cabo el estudio de los parámetros de autocompactabilidad y de durabilidad de las mezclas diseñadas (HAC-SF vs HAC-RF). De acuerdo con la EHE-08 un hormigón HA-40/AC/16/IIIc fue usado como referencia (HAC-SF). Los resultados ponen de manifiesto una autocompactabilidad similar en ambos HAC. Los resultados demuestran un gran rendimiento en las mezclas con RF en cuanto a penetración de agua (por capilaridad y a presión), de agentes químicos (sulfatos, cloruros y carbonatación) y retracción.

44. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO EN INCENDIOS EN PUENTES. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA AL FUEGO DE PUENTES MULTIVIGA METÁLICOS

DETERMINING RISK FACTORS OF FIRE ON BRIDGES. ANALYSIS OF THE FIRE RESPONSE OF STEEL GIRDER BRIDGES

Guillem Peris Sayol. Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. guipesa2@upv.es

Ignacio Payá Zaforteza. Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. igpaza@upv.es

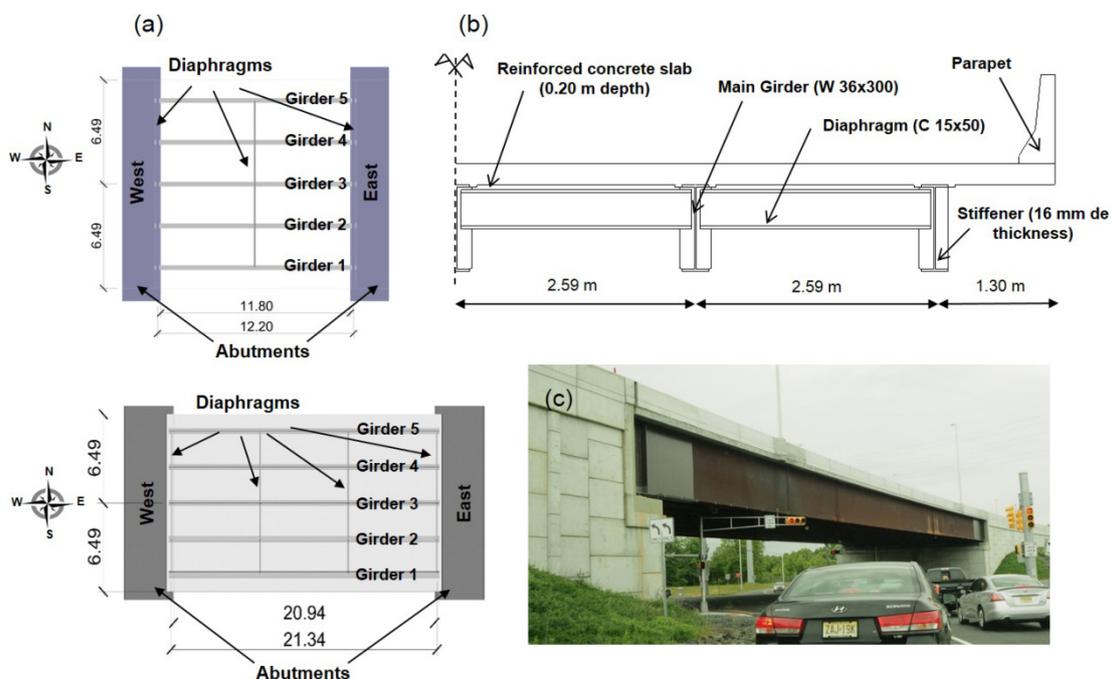
Incendios, puentes metálicos, dinámica de fluidos computacional, método de los elementos finitos, diseño basado en prestaciones.

Fire, steel-girder bridges, computational fluid dynamics, finite element method, performance-based design.

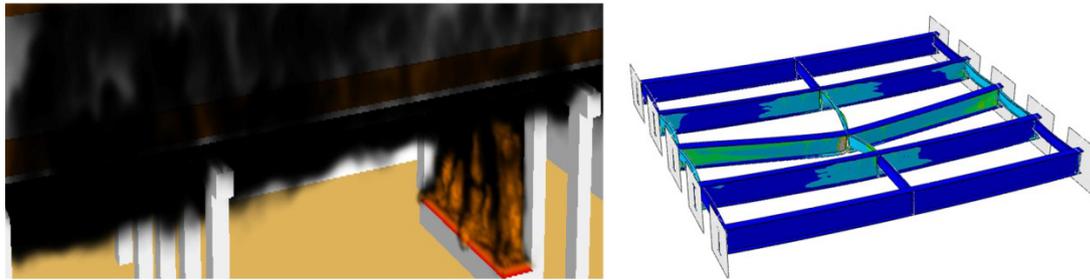
La respuesta estructural de los puentes frente a fuego está poco estudiada y ausente de las normativas a pesar de su frecuencia y consecuencias. Este artículo analiza los escenarios de incendio que pueden causar daños sobre un puente y muestra, para el caso más desfavorable, una metodología que analiza numéricamente los daños causados por el incendio.

Para determinar qué tipos de escenarios pueden provocar el colapso de la estructura, se ha realizado una recopilación de incendios en puentes, detallándose en cada caso las características del incendio y las características geométricas y estructurales del puente afectado así como los daños estructurales sufridos. Un total de 154 casos han sido recogidos para el período comprendido entre 1997 y 2015, caracterizando de 1 a 5 el daño causado por el fuego, donde 5 indica colapso de la estructura y 1 indica ausencia de daños estructurales. Una vez procesada toda la información, los resultados han sido comparados a través de un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar qué factores influyen en la respuesta estructural. Los resultados muestran que para puentes metálicos y de hormigón los únicos escenarios susceptibles de causar graves daños estructurales son aquellos en los que el incendio es producido por un camión cisterna o por una zona de almacenaje con alto poder calorífico debajo de la estructura, siendo críticos los pasos superiores.

Una vez determinado el escenario más desfavorable, se ha estudiado el comportamiento estructural de dos pasos superiores compuestos por vigas metálicas de 12,2 m de luz y 21,34 m de luz respectivamente con losa superior de hormigón no conectada, frente al incendio de un camión cisterna debajo del puente. Las temperaturas del gas alrededor de la estructura han sido calculadas en una primera fase a través del software de dinámica de fluidos computacional



Definición de los puentes. (a) Vista en planta (sin la losa), (b) Sección, (c) Ejemplo



Modelo de incendios (izq) y respuesta estructural de un puente multi-viga frente al fuego (dcha)

de incendios Fire Dynamics Simulator. Posteriormente, la respuesta estructural del puente ha sido obtenida a través de análisis numérico mediante elementos finitos con el software ABAQUS. Un estudio de transferencia de calor se ha realizado teniendo en cuenta las temperaturas del gas para obtener las temperaturas del material en el tiempo. Posteriormente, se ha realizado un análisis estructural no lineal con propiedades mecánicas del material dependientes de la temperatura. Este análisis ha permitido obtener el tiempo y modo de fallo en ambos puentes. Los tiempos de fallo oscilan entre 4 y 5 minutos y los puentes han fallado por abolladura del alma cerca del apoyo.

45. HORMIGONES DE ESCORIA ACTIVADA ALCALINAMENTE. COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DURABLE

ALKALI-ACTIVATED SLAG CONCRETES: MECHANICAL AND DURABILITY BEHAVIOR

Manuel Torres-Carrasco. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Contratado Posdoctoral. Dr. Ciencias Químicas. mtorres@ietcc.csic.es

María del Mar Alonso. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Dra. Ciencias Químicas. mmalonso@ietcc.csic.es

Paz Guarner. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Lic. Ciencias Físicas. pazguarner@ietcc.csic.es

Ana Zamora. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Ingeniera Industrial. anazb@ietcc.csic.es

Francisca Puertas. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Prof.ª Investigación CSIC. Dra. Ciencias Químicas. puertasf@ietcc.csic.es

Escorias, activación alcalina, durabilidad, adherencia, sostenibilidad.

Slag, alkali activation, durability, Pull-out, sustainability.

El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo, pero se enfrenta a un gran desafío ambiental debido a su principal componente: el cemento. La producción de cemento Portland es responsable entre el 5-8% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. Es por ello que, los residuos y/o adiciones minerales, tales como las escorias de alto horno, puedan emplearse como sustitutos parciales o totales con el fin de evitar o reducir en la medida de lo posible este efecto climático negativo.

Por otra parte, la durabilidad es una de las propiedades más importantes exigidas del hormigón. Sin embargo, el hormigón es susceptible de ser atacado en una gran variedad de agentes internos y externos. En general se sabe que los hormigones activados alcalinamente presentan una mejor durabilidad que los hormigones de cemento Portland. Sin embargo, es necesario conocer mejor este comportamiento de

durabilidad frente a la penetración de cloruros, resistividad a la corrosión, a los ciclos de hielo-deshielo, carbonatación, etc. y comparar estos resultados con los obtenidos en hormigones convencionales de cemento Portland. Debido a esto, actualmente existe un grupo dentro de la RILEM (Durability testing of alkali-activated materials-technical committee 247-DTA) donde se pretende hacer estudios de durabilidad en estos sistemas con el fin de establecer normas específicas.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las resistencias mecánicas y la durabilidad de hormigones de escorias activadas alcalinamente utilizando como activador una disolución de silicato sódico hidratado. El comportamiento de estos hormigones en términos de resistencia y desarrollo microestructural es comparable al rendimiento observado en los hormigones de cemento Portland. Los ensayos realizados en este estudio mostraron que los hormigones de escoria activada alcalinamente exhibieron una buena durabilidad frente a la penetración de cloruros (ASTM C1202), ciclos hielo-deshielo (C 666)



Ensayos de hielo-deshielo (ASTM C 666). Medida de ultrasonidos en las probetas



Probetas de hormigón de escoria activada alcalinamente con silicato sódico (waterglass) a los 28 días

y un buen comportamiento de adherencia a barras de acero corrugado (ensayo de Pull-out).

Los datos presentados en este trabajo se pueden considerar de gran valor en el diseño y desarrollo de hormigones durables basados en materiales de escoria activada alcalinamente, así como en su selección y aplicación de metodologías de ensayo adecuadas para estos materiales.

46. DISEÑO DE MEZCLAS UHPFRC CON TIEMPOS DE FRAGUADO ULTRARRÁPIDOS

DESIGN OF UHPFRC MIXTURES WITH ULTRAFAST SETTING TIME

Raquel Torres Remón. Universitat Politècnica de València. Alumna de Doctorado. Máster Ingeniería del Hormigón. Arquitecta Técnica. ratorrem@hotmail.com

Ester Giménez Carbó. Universitat Politècnica de València. Titular de Universidad. Dra. por UPV Departamento de Ingeniería de la Construcción. esgimen@cst.upv.es

Pedro Serna Ros. Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos. pserna@cst.upv.es

Trabajabilidad, fraguado, resistencias, proyección, fibras.

Workability, setting, strength, shotcrete, fibres.

En este artículo, se desarrollan varias mezclas de hormigones de altas prestaciones con fibras (UHPFRC), modificando algunas variables, para obtener tiempos de fraguado ultrarrápidos, resistencias elevadas a corto y largo plazo y una consistencia concreta para posibilitar la incorporación de fibras. El principal objetivo es adaptar estas mezclas a técnicas como la proyección. Se evalúa la consistencia y las resistencias a flexión y compresión de las diferentes mezclas. Los resultados obtenidos muestran que los morteros comienzan a fraguar en menos de 1 minuto, presentando buenas propiedades mecánicas a 24 horas y 28 días.

Se ha realizado un estudio experimental de diferentes mezclas, siguiendo un procedimiento experimental en varias fases, con el fin de analizar:

- La influencia de los tipos de acelerador de fraguado y su dosificación (4 tipos de aceleradores).



Figura 1. Fibras empleadas



Figura 2. Ensayos para la evolución de la trabajabilidad

- El tiempo de inicio de fraguado de las mezclas.
- La evolución de la trabajabilidad a lo largo del tiempo (fig. 2).
- La evolución de las resistencias a flexión y compresión a tiempos cortos y largos.
- La incorporación de fibras.

Los resultados y conclusiones han sido la obtención de varias mezclas trabajables, con fraguado ultrarrápido y con altas resistencias, que presentan la posibilidad de incorporar fibras.

Estos resultados dejan abiertas futuras líneas de investigación para la modificación de las mezclas y adaptabilidad de estos morteros a las nuevas tecnologías que se están desarrollando en la actualidad en el ámbito constructivo y arquitectónico.

57. EFECTO DE LOS ESFUERZOS AXILES Y DEL PRETENSADO EN LA RESISTENCIA A CORTANTE DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

EFFECTS OF AXIAL FORCES AND PRESTRESSING ON THE SHEAR STRENGTH OF STRUCTURAL CONCRETE MEMBERS

Antonio Marí Bernat. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático. Ingeniero de Caminos. antonio.mari@upc.edu

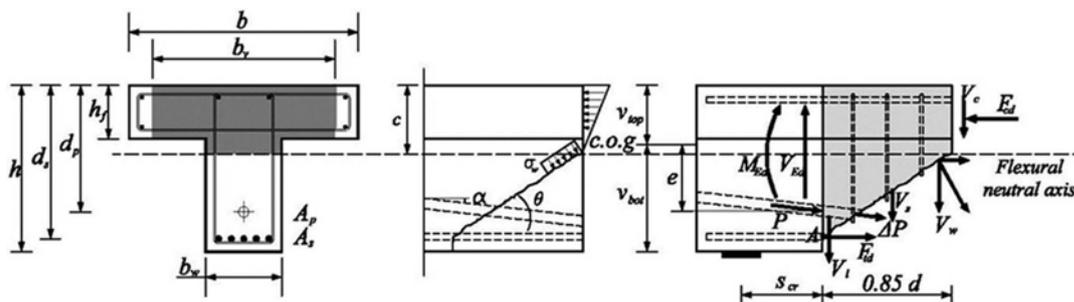
Antoni Cladera Bohigas. Universitat Illes Balears. Profesor Titular. Ingeniero de Caminos. antoni.cladera@uib.es

Jesús Miguel Bairán García. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Titular. Ingeniero de Caminos. jesus.miguel.bairan@upc.edu

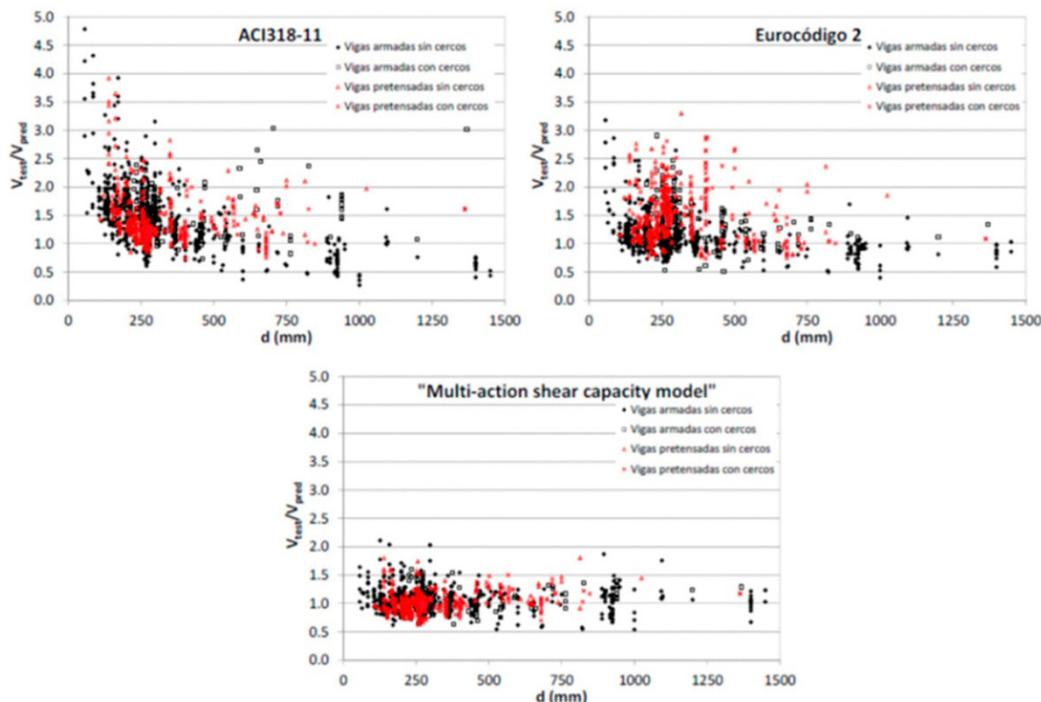
Hormigón estructural, resistencia, cortante, pretensado, axil.

Structural concrete, strength, shear, prestressing, axial force.

Los esfuerzos axiales, tanto los debidos a cargas externas como al pretensado, afectan al estado de tensiones, deformaciones y fisuras, al modo de rotura y a la capacidad resistente de elementos de hormigón estructural. La evaluación de estos efectos en la resistencia a cortante depende de cómo el axil afecta a la contribución de los distintos mecanismos resistentes a cortante, y especialmente a las contribuciones de la cabeza y del alma fisurada. Por otra parte la



Componentes de la resistencia a cortante en un elemento con esfuerzo axial



Comparación de resultados experimentales con las predicciones de diversas normativas, en vigas pretensadas

respuesta resistente de elementos de hormigón armado es muy diferente para elementos comprimidos y para elementos traccionados por su influencia en la fisuración. Este aspecto, que no está adecuadamente contemplado en los apartados de resistencia a cortante en las normativas vigentes, se presenta, por ejemplo, en soportes de pórticos sometidos a sismo o viento horizontal o en vigas que sufren deformaciones impuestas (como las térmicas o reológicas) coaccionadas.

En esta comunicación se hace una breve descripción del “Multi-action Shear Capacity Model” desarrollado por los autores, explicando cómo este modelo tiene en cuenta las contribuciones de los distintos mecanismos resistentes a cortante y como puede incorporar el efecto de los esfuerzos axiales en la cada uno de ellos. Se comparan los resultados de las predicciones del modelo con los incluidos en amplias bases de datos de ensayos a rotura de vigas pretensadas y de los disponibles para vigas armadas sometidas a esfuerzos axiales de tracción moderados. Se muestra también la influencia de distintas variables en la resistencia de piezas sometidas a cortante y axial combinados y se extraen conclusiones.

60. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DEL ARMADO SECUNDARIO HORIZONTAL Y VERTICAL EN ENCEPADOS DE HORMIGÓN BAJO CARGAS CENTRADAS Y EXCÉNTRICAS

EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF HORIZONTAL AND VERTICAL SECONDARY REINFORCEMENT IN CONCRETE PILE CAPS UNDER CENTERED AND ECCENTRIC LOADS

Lucía Miguel Tórtola. Universitat Politècnica de València. Investigadora predoctoral. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. lumitor@upvnet.upv.es

Luis Pallarés Rubio. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. luipalru@cst.upv.es

Pedro Miguel Sosa. Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pmiguel@cst.upv.es

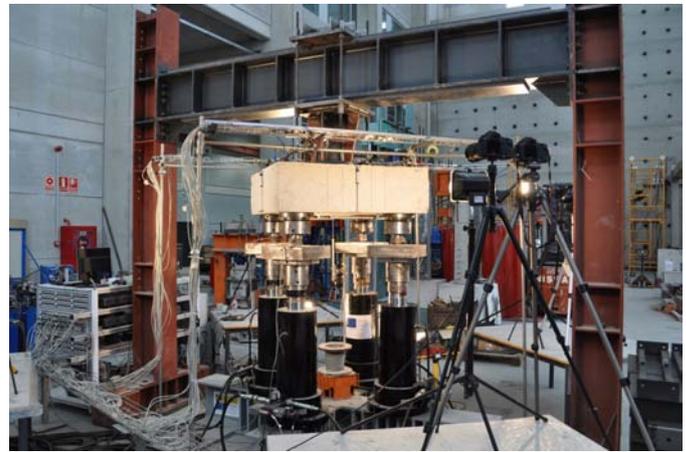
Estudio experimental, encepado, bielas y tirantes, carga excéntrica, cercos.

Experimental study, pile cap, strut and tie, eccentric load, stirrups.

El diseño de encepados de pilotes se aborda actualmente mediante modelos de bielas y tirantes tridimensionales, que permiten determinar la armadura principal a disponer, concentrada en bandas sobre los pilotes. Esta configuración resulta más eficiente que un armado distribuido obtenido por un cálculo a flexión, hecho demostrado experimentalmente por diversos autores. De todos modos, como la presencia de una armadura distribuida contribuye a reducir la fisuración en la cara inferior, algunas normativas internacionales recomiendan su colocación aunque difieren en la cuantía. Las instrucciones española (EHE-08) y brasileña (NBR 6118) prescriben la colocación de armadura secundaria vertical en cercos atando las bandas. Este armado puede contribuir al control del splitting de las bielas o bien a resistir las tracciones generadas por un posible empuje vertical entre ejes de pilotes, pero no existe verificación experimental de dichos efectos.

Para determinar la contribución del sistema de armaduras secundarias a la resistencia de los encepados, se ha llevado a cabo una extensa campaña experimental sobre 30 especímenes a escala real, enmarcado en el proyecto de investigación BIA2012-32300 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Los ensayos se dividen en 4 series: 9 encepados de tres pilotes y 9 de cuatro pilotes bajo carga centrada; 12 encepados de cuatro pilotes bajo carga excéntrica (flexión recta y esviada respectivamente). No se han encontrado hasta la fecha ensayos con carga excéntrica sobre encepados de más de dos pilotes, por lo que los resultados obtenidos constituyen una novedosa aportación. En cada serie se varía el canto de la pieza (0,25, 0,35 y 0,45 m) y la configuración de armado (armado en bandas, armado en bandas con armadura secundaria horizontal y armado en bandas con armadura secundaria horizontal y vertical).

El análisis de resultados muestra que a pesar de estar diseñados para la misma carga teórica, el incremento de canto implica un aumento de la carga última registrada, siempre por encima de la de diseño, a pesar de hallarse plastificada la armadura principal. Esto apunta a la existencia de mecanismos resistentes secundarios que no se están teniendo en cuenta, como la consideración de la resistencia a tracción del hormigón, y que en elementos tan masivos como los encepados puede tener efectos importantes. La colocación de



Configuración del ensayo con instrumentación completa

armadura secundaria horizontal y vertical mejora la capacidad de estos mecanismos alternativos y por tanto deberían ser tenidos en cuenta en la determinación de la resistencia de los encepados.

61. MODELOS MECÁNICOS PARA EL DISEÑO DE ENCEPADOS DE 3 Y 4 PILOTES SOLICITADOS POR CARGAS CENTRADAS Y EXCÉNTRICAS

MECHANICAL MODELS FOR THREE AND FOUR-PILE CAP DESIGN UNDER CENTERED AND ECCENTRIC LOADS

Lucía Miguel Tórtola. Universitat Politècnica de València. Investigador predoctoral. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. lumitor@upvnet.upv.es

Luis Pallarés Rubio. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. luipalru@cst.upv.es

Pedro Miguel Sosa. Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pmiguel@cst.upv.es

Encepado, carga excéntrica, diseño estructural, bielas y tirantes, punzonamiento.

Pile cap, eccentric load, structural design, strut and tie, punching.



Fabricación de especímenes; Tres configuraciones de armado monitorizadas con galgas extensométricas

El diseño de encepados de más de dos pilotes mediante modelos de bielas y tirantes (MBT) requiere la extensión de los mismos a tres dimensiones. La geometría del modelo para carga centrada es sencilla, pero la definición de zonas nodales congruentes para la comprobación de tensiones puede ser compleja y los factores de eficacia desarrollados para estados biaxiales de tensiones pueden ser inapropiados, tal y como se apunta en el fib Bulletin 61.

Partiendo de ensayos experimentales propios sobre 30 encepados de 3 y 4 pilotes bajo cargas centradas y excéntricas, se analiza la precisión del MBT tridimensional propuesto por la instrucción española EHE-08 en la predicción de la carga de rotura y el modo de fallo observados. Se detecta que estos modelos no captan la influencia de la relación vuelo-canto. Además, el efecto de la armadura secundaria horizontal y vertical (cercos) en los especímenes ensayados tampoco puede ser explicado por el modelo tradicional de bielas y tirantes. Sólo la existencia de mecanismos alternativos o complementarios a los descritos por los modelos clásicos de bielas y tirantes, que consi-

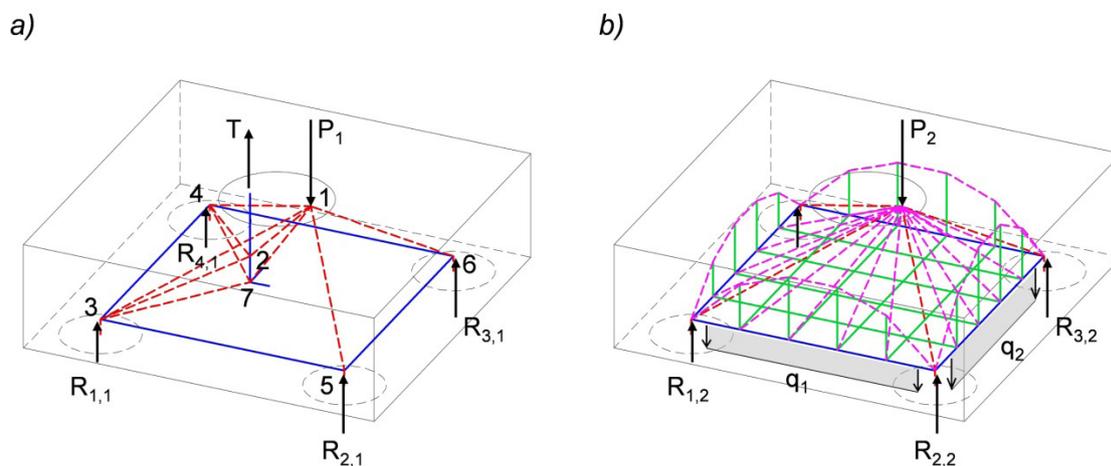


Figura 1. Propuesta de modelos de bielas y tirantes complementarios para el cálculo de encepados

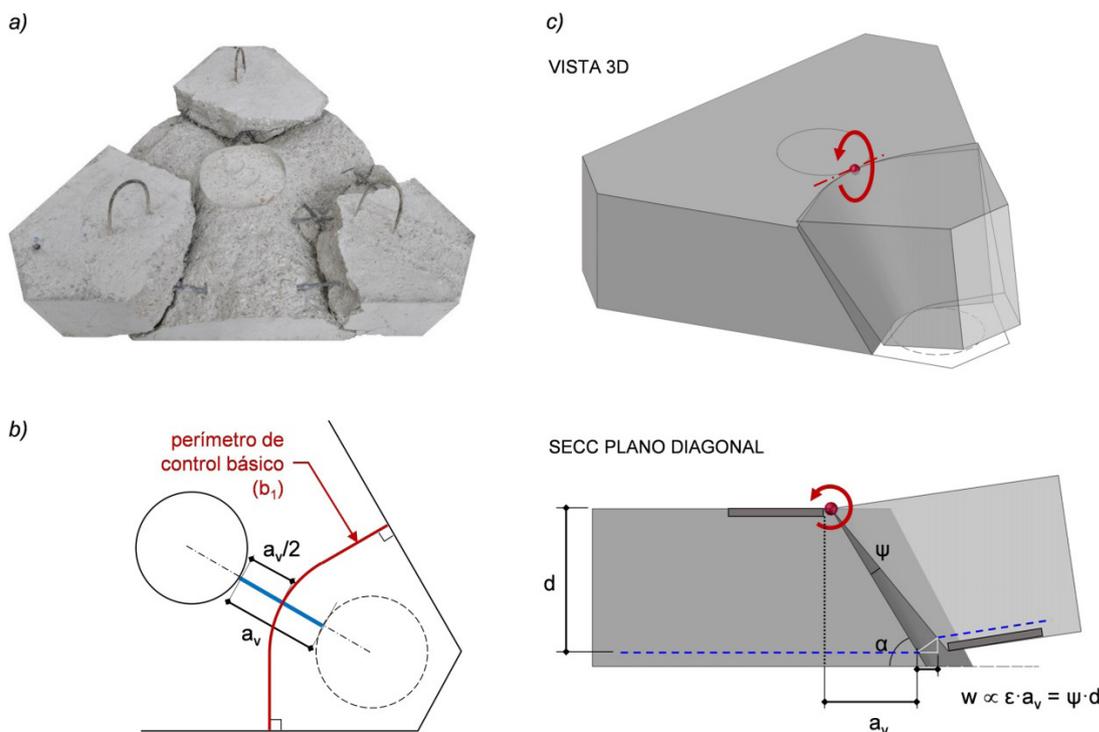


Figura 2. a) Superficie de fallo por punzonamiento; b) Perímetro control; c) Cinemática de rotura

deren la contribución del hormigón en tracción, podría explicar la mayor resistencia observada en los especímenes sobre la prevista por estos. Este campo de tensiones complejo que se genera en el encepado se simplifica en forma de modelo de bielas y tirantes complementario.

Se definen por tanto dos MBT para el análisis de encepados, el tradicional por descarga directa y el nuevo MBT que describe el flujo de compresiones hacia las bandas del encepado, que adquiere mayor importancia cuando se tienen cargas excéntricas.

Por otra parte, se complementa el cálculo por MBT de descarga directa con la formulación de punzonamiento propuesta por el Código

Modelo 2010, basado en la Teoría de la Fisura Crítica. Se adapta esta formulación al caso particular de encepados, ajustando el perímetro de control básico, el coeficiente de excentricidad y la definición de la abertura de la fisura crítica. Esta propuesta se ha validado a partir de los 30 ensayos propios y además se ha extendido a 20 ensayos de la base de datos experimental disponible.

Se obtiene así una propuesta más segura y con un coeficiente de variación menor que el determinado a partir del MBT tradicional. Con modelos de cálculo más precisos se consigue un diseño más ajustado de estos elementos o una mejor evaluación de las estructuras existentes, lo que finalmente permite reducir costes.

62. REFUERZO EXTERNO ACTIVO A CORTANTE MEDIANTE ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA

ACTIVE EXTERNAL SHEAR REINFORCEMENT USING SHAPE MEMORY ALLOYS

Joan Maria Rius Gibert. Universitat de les Illes Balears. Doctorando.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joan.rius@uib.es

Benito Mas Gracia. Universitat de les Illes Balears. Graduado en Edificación. benito.mas@gmail.com

Carlos Ribas González. Universitat de les Illes Balears. Profesor Doctor. Dr. Arquitecto. carlos.ribas@uib.es

Antoni Cladera Bohigas. Universitat de les Illes Balears. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

antoni.cladera@uib.es

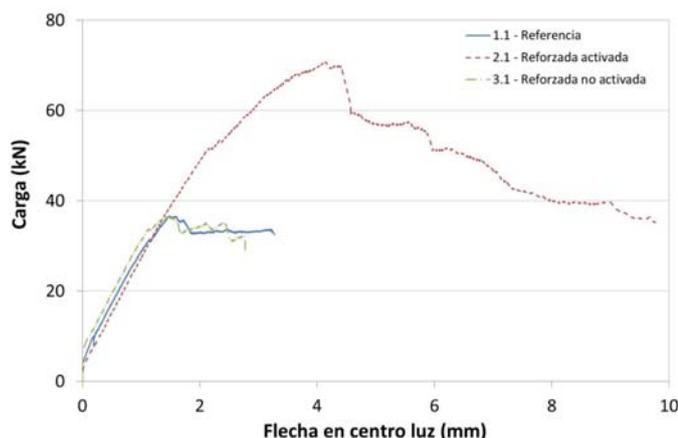
Rotura a cortante, refuerzo externo, aleaciones con memoria de forma, pretensado transversal, activación.

Shear failure, external reinforcement, shape memory alloys, transverse prestressing, activation.

La rotura a cortante de vigas de hormigón armado es frágil, produciendo generalmente roturas sin capacidad de aviso. Por esta razón, el refuerzo a cortante de estructuras existentes es frecuentemente necesario debido a la adaptación de la estructura a nuevos requisitos, ya sea, entre otros motivos, por cambio de uso o adaptación a nuevas



Rotura a cortante de viga reforzada con espirales con AMF; ramas inclinadas en cara posterior



Comportamiento carga-flecha de las tres vigas ensayadas

normativas. Las aleaciones con memoria de forma (AMF) son materiales únicos con propiedades mecánicas de gran interés para la ingeniería estructural. Una de ellas es el efecto memoria de forma, el fenómeno por el que las AMFs son capaces de volver a una forma predeterminada tras su calentamiento. Esta propiedad puede ser utilizada para pretensar estructuras de hormigón. En esta comunicación se presenta los resultados de una campaña experimental de prueba de concepto para estudiar la viabilidad de disponer una AMF de tipo Ni-Ti-Nb exteriormente a la viga, formando una espiral, como refuerzo activo de vigas críticas a cortante. Se presentarán las propiedades del material, el proceso de activación y los ensayos de las vigas a pequeña escala. En concreto, se comparará el comportamiento frente a rotura de tres vigas: una viga de referencia sin refuerzo externo, una viga reforzada con la AMF sin activación y por tanto sin efecto de pretensado transversal y una tercera viga con el refuerzo externo activado. Los resultados experimentales muestran un comportamiento prometedor de la tecnología de refuerzo propuesta.

63. SISTEMA DE AUTOTESADO PARA FORJADOS NERVADOS DE ELEVADAS PRESTACIONES-SSS®

SELF-STRESSING SYSTEM FOR HIGH PERFORMANCE RIBBED STRUCTURAL FLOORS-SSS®

Dolores Otero Chans. Universidade da Coruña. Profesora Contratada

Dra. Draa. Arquitecta. dolores.otero.chans@udc.es

Javier Estévez Cimadevila. Universidade da Coruña. Catedrático

de Universidad. Dr. Arquitecto. javier@udc.es

Emilio Martín Gutiérrez. Universidade da Coruña. Profesor Titular

de Universidad. Dr. Arquitecto. emilio.martin@udc.es

Félix Suárez Riestra. Universidade da Coruña. Profesor. Dr. Arquitecto.

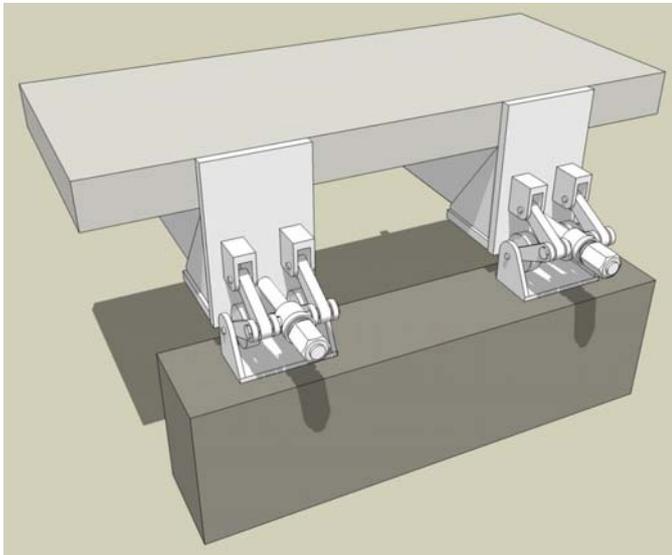
felix.suarez@udc.es

Auto-tesado, forjados ligeros, grandes luces, flechas, sistemas de forjado mixtos.

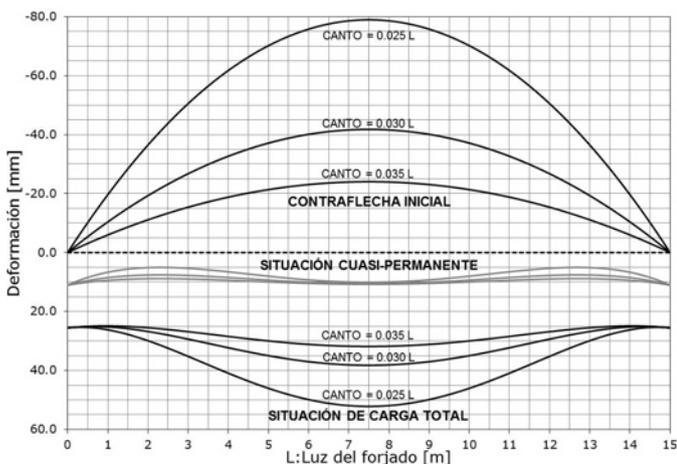
Self-stressing, lightweight floors, long-span, deflections, composite floor systems.

Se presenta un sistema de auto-tesado que posibilita, sin la necesidad de utilizar gatos hidráulicos u otra maquinaria, convertir las acciones gravitatorias que recibe el forjado en una fuerza de tesado. De este modo, el efecto de tesado generado se adapta en cada momento a la situación de carga, aumentando y disminuyendo cuando lo hacen las acciones sobre el forjado. Colocando el tendón de auto-tesado de forma excéntrica en la sección se consigue contrarrestar los efectos generados por las acciones, a través de una redistribución de la ley de momentos y, por tanto, de las tensiones generadas por la flexión, y limitar las deformaciones de las piezas.

El diseño de piezas de forjado biapoyadas de grandes luces está condicionado generalmente por el cumplimiento de las exigencias de servicio, especialmente las deformaciones. En estos casos el uso de contraflechas o pretensados previos no soluciona el problema, puesto que las cargas variables ocasionan distorsiones importantes de la pieza, lo que obliga al uso de cantos elevados como única solución para satisfacer la exigencia de integridad de los elementos constructivos. El sistema de auto-tesado presenta grandes ventajas en forjados ligeros con sobrecargas de uso elevadas, puesto que el efecto de postesado varía automáticamente con las sobrecargas actuantes en cada momento. De este modo, pueden diseñarse forjados con grandes luces y cantos reducidos que se mantienen prácticamente horizontales en situación de servicio.



Dispositivo de tipo mecánico para la materialización del sistema de auto-tesado



Deformaciones para diferentes hipótesis de carga y cantos de un forjado con sistema de auto-tesado

El sistema descrito puede materializarse con diferentes tipos de dispositivos, tanto hidráulicos como mecánicos, que se disponen en los apoyos de los nervios del forjado. Se describe el funcionamiento de un dispositivo mecánico de auto-tesado basado en la utilización de un sistema de bielas, así como los diferentes factores que influyen en su rendimiento. Para simplificar la evaluación del comportamiento no-lineal del sistema, se ha desarrollado adicionalmente una metodología de análisis numérico que permite valorar de forma sencilla las deformaciones de la solución en las diferentes situaciones de servicio, así como dimensionar los elementos necesarios para el sistema de auto-tesado.

El sistema puede implementarse en soluciones estructurales conformadas con cualquier tipo de material: madera, acero, hormigón o sistemas mixtos. Se presentan resultados de su aplicación en forjados nervados de madera y en sistemas de forjado mixtos madera-hormigón. Los resultados aportados ponen de manifiesto la elevada eficacia del sistema desarrollado.

64. CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO SOMETIDO A IMPACTO

CHARACTERIZATION OF FLEXURAL BEHAVIOR OF STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE SUBJECT TO IMPACT LOADS

Gonzalo Sanz-Díez de Ulzurrun Casals. Grupo de Ingeniería Estructural UPM. Doctorando. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. g.ulzurrun@caminos.upm.es
 Carlos Zanuy Sánchez. Grupo de Ingeniería Estructural UPM. Profesor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. czs@caminos.upm.es

Impacto, SFRC, resistencia dinámica, energía de fractura, velocidad de deformación.

Impact, SFRC, dynamic strength, fracture energy, strain rate.

Las cargas accidentales, causadas por catástrofes naturales o por acciones humanas deliberadas o no, están captando una atención especial, aumentando la concienciación sobre la necesidad de asegurar la seguridad estructural en dichas situaciones. Entre estas cargas pueden resultar especialmente dañinos los impactos de cuerpos rígidos a velocidades moderadas. Estas acciones dinámicas de naturaleza impulsiva están caracterizadas por: cargas máximas altas, velocidades de deformación elevadas y grandes cantidades de energía liberada. Las estructuras de hormigón son especialmente sensibles a estas acciones dinámicas, frente a las que presentan una tendencia a desarrollar una rotura de tipo frágil, por cortante o punzonamiento. Un modo interesante de mejorar la resistencia a impacto de las estructuras de hormigón es aumentar su capacidad de absorción de energía mediante la adición de fibras. Sin embargo el comportamiento dinámico del FRC no está bien definido, siendo necesaria una adecuada caracterización, para poder utilizarla debidamente al nivel estructural.

La investigación presentada en este artículo trata sobre el comportamiento a impacto del hormigón reforzado con fibras de acero (SFRC). Se ha realizado una campaña experimental en probetas prismáticas



Fibras con anclaje arrancadas y rotas en la superficie de la fisura



Vista general de ensayo de impacto en laboratorio

sin entallar, comprendiendo dos tipos de fibras (recta y con anclajes), dos dosificaciones volumétricas (0,5 y 1%), y una serie complementaria de probetas de hormigón convencional como referencia. Las probetas se ensayaron bajo condiciones cuasi-estáticas y de impacto. Para estos últimos ensayos se ha utilizado una máquina de impactos bien instrumentada, instalada recientemente en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Politécnica de Madrid. Los resultados ex-

perimentales sugieren que la resistencia máxima y la energía de fractura de las mezclas de SFRC dependen de la velocidad de deformación, mostrando factores de incremento dinámico (DIF) mayores a tres y a unidad, respectivamente. Por un lado, parte el análisis ha demostrado que el DIF de la resistencia a flexión del SFRC es mayor que el DIF de la resistencia a tracción del hormigón convencional, y que además aumenta junto con el contenido de fibras para fibras rectas. Sin embargo, el SFRC con fibras con anclaje ha presentado un DIF un 20% más elevado para un contenido de fibras del 0,5% que con el 1%. Por otra parte, el DIF de la energía de fractura ha mostrado la máxima dependencia de la velocidad de carga en las probetas de hormigón convencional, y decrece con la adición de fibras debido a la dependencia de velocidad de carga de los mecanismos involucrados en la interacción matriz fibra.

77. LAS TIC EN LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS: UNA EXPERIENCIA DOCENTE EN LA ETSAM

ICT IN STRUCTURES TEACHING: A CASE STUDY AT THE ETSAM

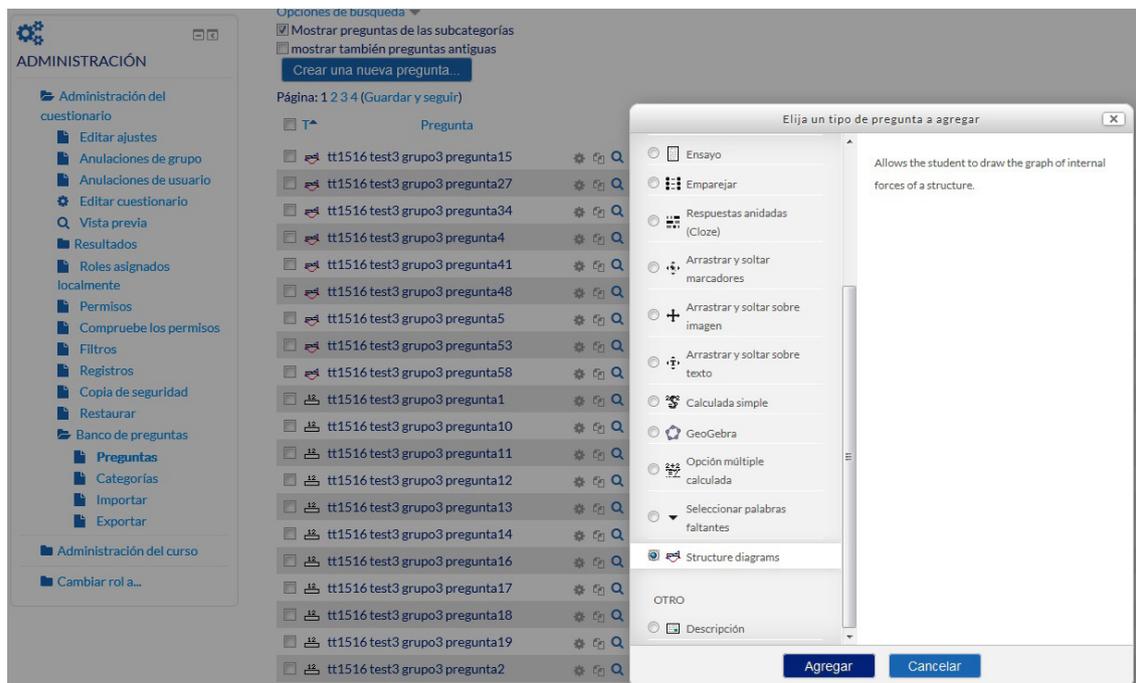
Antonio Aznar López. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Ayudante Doctor. Dr. en Arquitectura. antonio.aznar@upm.es
José I. Hernando García. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular. Dr. en Arquitectura. josegnacio.hernando@upm.es

TIC, estructuras, enseñanza, innovación educativa.

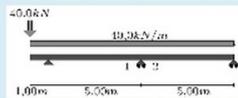
ICT, structure, learning, educational innovation.

INTRODUCCIÓN

Si la trascendencia social de las estructuras es manifiesta, no puede serlo menos su enseñanza. Es incuestionable que el advenimiento de la informática ha supuesto una revolución cualitativa en la construc-



Menú para añadir nuevas preguntas Diagrams

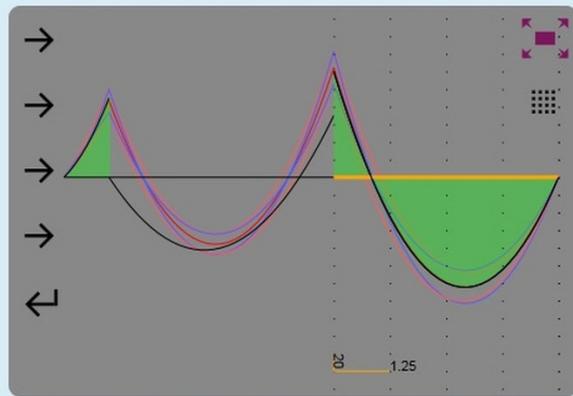


Perfil metálico continuo IPE330[S275] apoyado en soportes empresillados. Sustenta un forjado cuyas reacciones se asimilan a una carga uniformemente repartida. Desarrollo del análisis plástico indistintamente por el método estático o cinemático para las acciones mayoradas con $\gamma_f = 1.45$. Valor de M_p

Respuesta:

Diagrama de momentos flectores

Answer:



Ejemplo de pregunta tipo Diagrams

ción de las estructuras, en su análisis, cálculo, dimensionado, peritaje, etc., en suma, en el saber sobre las estructuras. Por su parte, en todos los ámbitos de la enseñanza (universitaria, preuniversitaria, básica) no deja de citarse de la revolución que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están suponiendo. En este contexto cabría pensar en una diferencia cualitativa entre el modo de enseñar estructuras a fines del siglo pasado y el momento actual: nada más lejos de la realidad.

En las aulas universitarias no es difícil encontrar ejercicios que realizaron como alumnos, en el siglo XX, los profesores noveles.

El uso de las TIC en la enseñanza de estructuras en la ETSAM ha seguido dos tendencias. La primera basada en facilitar una comunicación con los alumnos de forma continua (fomentando una tutoría sin horarios que, sin duda, mejorar el aprendizaje, aunque puede llegar a generar una dependencia del alumno con el tutor). La segunda trata de facilitar la evaluación, la autoevaluación y el aprendizaje autónomo, mediante el uso de cuestionarios comunes a la enseñanza de cualquier otra disciplina. No resulta difícil extender estas experiencias para fomentar el autoaprendizaje.

EXPERIENCIA DOCENTE EN LA ETSAM

Se expondrá una experiencia docente realizada en la ETSAM, en la que se ha desarrollado una metodología propia que permite comprobar tanto cualitativa como cuantitativamente los diagramas de esfuerzos de estructuras de edificación. Experiencia que busca fomentar el cambio cualitativo en el uso de las TIC, aún pendiente, en la enseñanza de las estructuras y que cuando se produzca superará sin duda estos primeros intentos.

79. PROPUESTA DE UNIÓN VIGA-PILAR MEDIANTE PERNOS CONECTORES: MEF Y ENSAYOS EXPERIMENTALES

A PROPOSAL OF A BEAM-TO-COLUMN CONNECTION USING SHEAR STUDS: FEM AND EXPERIMENTS

Antonio Aznar López. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Ayudante Doctor. Dr. en Arquitectura. antonio.aznar@upm.es
 José I. Hernando García. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular. Dr. en Arquitectura. joseignacio.hernando@upm.es
 Jesús Ortiz Herrera. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. jesusmaria.ortiz@upm.es
 Jaime Cervera Bravo. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. en Arquitectura. jaimе.cervera@upm.es

Unión viga-pilar, perno conector, estructuras.

Beam-to-column conection, shear stud, structures.

RESUMEN

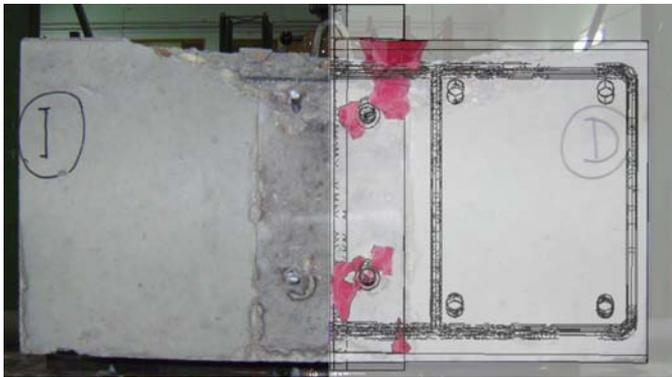
El objetivo principal de este trabajo consiste en proponer una alternativa más económica y viable como solución de unión entre forjados de hormigón y pilares metálicos, principalmente destinados a estructuras de edificación.

INTRODUCCIÓN

La solución que se propone en este trabajo consiste en un grupo de pernos conectores, destinados a transferir las solicitaciones desde las vigas de hormigón hasta los pilares metálicos.



Instrumentación del apoyo en el ensayo experimental de la unión



Comparación cualitativa entre los resultados numéricos y experimentales

Los pernos conectores (tipo Nelson o Köco) aportan numerosas ventajas dentro del campo de las estructuras; entre ellas se destaca los excelentes niveles de seguridad de sus soldaduras.

DISEÑO DE UNIÓN

El diseño de unión propuesto en este trabajo consiste en una unión primaria, capaz de transmitir las solicitaciones desde las vigas de hormigón hasta los pilares metálicos.

Cabe destacar que este diseño de unión es válido tanto para forjados de hormigón como para losas. Además, aporta numerosas ventajas respecto a las uniones habituales, entre las que se destaca la sencillez, la posibilidad de industrialización, la seguridad y la alta capacidad de transmisión de cortante, comparada con las uniones convencionales.

Actualmente, el tipo de uniones que se utiliza en estos casos son las formadas por perfiles metálicos UPN soldados en crucetas a los pilares. Esta tipología requiere una exhaustiva labor de control y supervisión esenciales para poder asegurar los niveles de seguridad requeridos. Por ello, una de sus principales desventajas es su relación coste-seguridad.

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Este trabajo resume los modelos de uniones mediante pernos conectores que han sido analizados mediante simulaciones por elementos finitos en tres dimensiones.

Los resultados obtenidos, tales como las distribuciones de esfuerzos entre los diferentes elementos, la progresión de la deformación, diferentes modos de colapso, la capacidad máxima de carga y la progresión de la fisuración del hormigón han sido analizados en este trabajo.

ENSAYOS DE LABORATORIO

Se ha fabricado una serie de uniones entre vigas de hormigón y pilares metálicos a escala 1:1 para su posterior ensayo en laboratorio. En la figura 1 se puede observar una de las uniones fabricadas durante su ensayo. Se han obtenido experimentalmente la resistencia del diseño de unión propuesto, junto con su modo de rotura, patrón de fisuración, etc.

RESULTADOS

Finalmente, los resultados obtenidos mediante Elementos Finitos, incluidos los patrones de fisuración, han sido comparados con ensayos experimentales realizados a escala real hasta la rotura.

La figura 2 muestra la comparación de resultados experimentales con los obtenidos mediante elementos finitos.

80. HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON FIBRAS PARA PREMOLDEADOS

SELF-COMPACTING CONCRETE WITH FIBERS FOR PRECAST

Gemma Rodríguez de Sensale. Universidad de la República, UDELAR. Profesora Titular. Dra. en Ingeniería Civil, Arquitecta. gemma@fing.edu.uy

María Esther Fernández Iglesias. Universidad de la República. Profesora Agregada. Dra. Arquitecta. mefernandez@fadu.edu.uy

Luis Segura Castillo. Universidad de la República. Profesor Adjunto. Dr. Ingeniero Civil. lsegura@fing.edu.uy

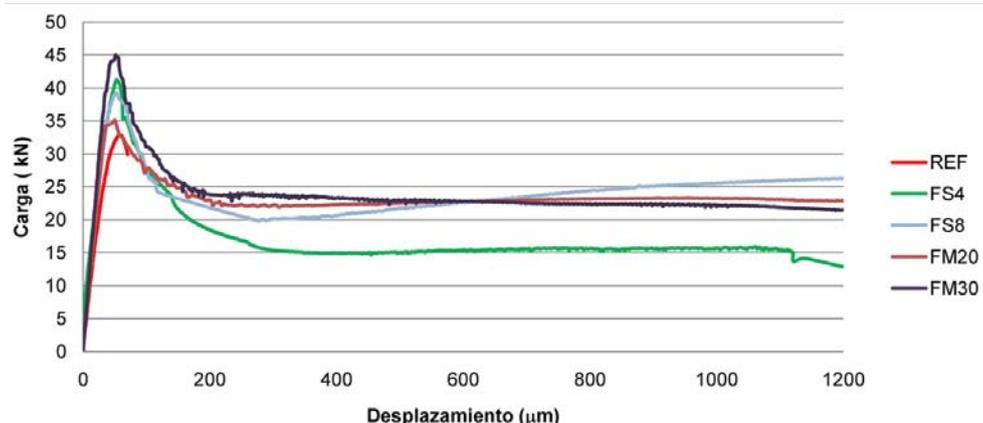
Iliana Rodríguez Viacava. Universidad de la República. Asistente. Arquitecta. rodriguez.iliana@gmail.com

Rosana Rolfi Netto. Universidad de la República. Asistente. Arquitecta. rrolfi@fing.edu.uy

Hormigón autocompactante, fibras estructurales, propiedades, hormigones especiales.

Self-compacting concrete, structural fibers, properties, special concretes.

Experiencia internacional en premoldeados ha demostrado ventajas empleando nuevos hormigones en lugar del convencional. En Uruguay, las mayores experiencias en premoldeados se basan en la prefabricación pesada con hormigón convencional, cuyo desempeño es variable,



Resistencia a flexión por tracción (UNE 83510, 2004): Diagrama carga-desplazamiento



Resistencia a flexión por tracción (UNE 83510, 2004)

por lo que se ha empezado a usar hormigón autocompactante (HAC). Por ello el objetivo del Proyecto ANII FMV_2014_104566 "Aplicación de nuevos hormigones para premoldeados" es mejorar prestaciones y procesos industriales de elementos premoldeados existentes, mediante la aplicación de nuevos hormigones. De allí el estudio de la aplicación de hormigones autocompactantes con fibras (HACRF), estudiando dos niveles (el material en sí y prototipos).

El trabajo presenta parte de los resultados obtenidos relativos al material en sí. Como referencia se tomó un hormigón autocompactante (HAC) usado en premoldeados locales. En el programa experimental las variables analizadas fueron el tipo de fibras estructurales (dos; metálicas y sintéticas) y su cuantía (se emplearon dos cuantías diferentes para cada tipo de fibra). Se estudiaron propiedades de los hormigones en estado fresco y endurecido (resistencia a compresión, a tracción por flexión, tenacidad, módulo de elasticidad), y aspectos de durabilidad relativos a permeabilidad al aire por el método Torrent y resistencia a penetración de ión cloruro).

En estado fresco, la incorporación de fibras influye significativamente en la reología; dependiendo el comportamiento del contenido y tipo de fibras.

En estado endurecido el empleo de fibras influye significativamente en las propiedades relacionadas con la resistencia mecánica, mejorando la resistencia a compresión y a tracción, en relación al hormigón de referencia sin fibras (HAC).

En relación al módulo de elasticidad si bien se observa que la incorporación de fibras aumenta el valor del módulo de elasticidad del HAC, los resultados obtenidos no difieren significativamente entre sí.

En relación a los resultados de permeabilidad al aire por el método Torrent y resistencia a la penetración de cloruros todas las probetas dieron resultados similares perteneciendo a la misma categoría para el ensayo respectivo.

88. RESISTENCIA A CORTANTE DEL HORMIGÓN PROYECTADO

SHEAR STRENGTH OF SPRAYED CONCRETE

Tomás García Vicente. Universitat Politècnica de Catalunya. Director del Laboratorio. Ingeniero Industrial. tomas.garcia@upc.edu

Ana Blanco Álvarez. Universitat Politècnica de Catalunya. Investigadora posdoctoral. Doctora, Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ana.blanco@upc.edu

Sergio H. Pialarissi Cavalaro. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Doctor, Ingeniero Civil. sergio.pialarissi@upc.edu

Cortante, hormigón proyectado, ensayo Luong, corte directo.

Shear, sprayed concrete, Luong test, direct shear.

El hormigón proyectado es un material ampliamente extendido y aplicado en construcción subterránea, estabilización de taludes y construcción de cúpulas, fachadas y depósitos. No obstante, no se ha estudiado en detalle su comportamiento en condiciones controladas en laboratorio debido a la dificultad de simular en laboratorio las condiciones de producción en la práctica. Una de las propiedades del hormigón proyectado en las que es preciso ahondar es el comportamiento frente a cortante, especialmente en elementos sujetos a cargas sísmicas o en zonas con anclajes. En estos casos, el comportamiento frente a cortante del hormigón proyectado es clave para las verificaciones frente a estado límite último, así como frente a la fallo parcial o colapso de la estructura.

El presente estudio se centra en la evaluación del comportamiento frente a cortante del hormigón proyectado en condiciones controladas en laboratorio. Para ello, es necesario seleccionar el ensayo de cortante más adecuado entre los disponibles en la literatura técnica. Entre los diversos ensayos disponibles se selecciona el ensayo de corte directo Luong (fig. 1) concebido originalmente para hormigón convencional y rocas. Los principales motivos para su selección son la simplicidad en ejecución y su compatibilidad para ensayar testigos extraídos de elementos proyectados.

La validación del ensayo para su aplicación en hormigón proyectado se realiza en dos etapas. En primer lugar, se evalúan algunos parámetros



Figura 1. Configuración del ensayo y área resistente de la probeta

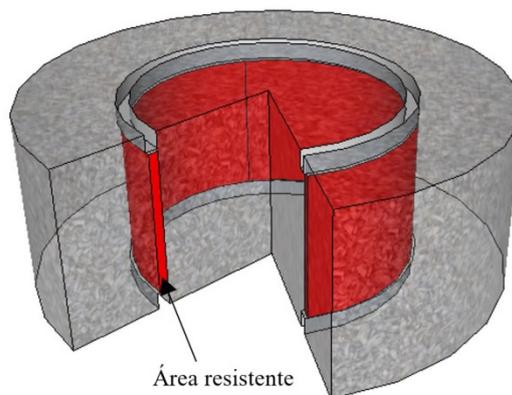




Figura 2. Proyectado durante la campaña experimental

propios del ensayo con hormigón convencional vertido. Posteriormente, se realiza una campaña experimental con hormigón proyectado y diferentes acelerantes de fraguado para analizar la influencia de la distancia desde el sustrato, la porosidad y la humedad (fig. 2).

Los resultados obtenidos en la campaña experimental validan el ensayo Luong para su aplicación a hormigón proyectado en términos de tipología de ensayo y dimensiones. Asimismo, durante el estudio se han identificado parámetros clave relativos a la configuración del ensayo como la distribución de la carga y el diámetro de la entalla. La comparación de los resultados de hormigón proyectado con los del hormigón convencional han permitido ahondar en las diferencias esperadas en el comportamiento frente a cortante.

114. CONCENTRACIÓN UMBRAL DE CLORUROS QUE PROVOCA LA DESPASIVACIÓN DE ARMADURAS DE ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO Y DÚPLEX

CHLORIDE THRESHOLD CONCENTRATION CAUSING DEPASSIVATION OF AUSTENITIC AND DUPLEX REINFORCEMENT STAINLESS STEEL

Alicia Pachón Montaño. IETcc-CSIC. Titulada Superior. Licenciada en Ciencias Químicas. apachon@ietcc.csic.es

Javier Sánchez Montero. IETcc-CSIC. Científico Titular. Dr. Ingeniero Químico. javier.sanchez@csic.es

Carmen Andrade Perdrix. IETcc-CSIC. Profesora de Investigación. Dra. Ingeniera Industrial. andrade@ietcc.csic.es

José Fullea García. IETcc-CSIC. Científico Titular. Dr. Ciencias Químicas. fullea@ietcc.csic.es

Victoria Matres Serrano. Acerinox Europa S.A.U. Departamento Técnico. Dra. Ciencias Químicas. victoria.matres@acerinox.com

Corrosión, límite de cloruros, acero inoxidable, armaduras.

Corrosion, chloride threshold, stainless steel, rebar.

Probability	Stainless Steel grades					Black carbon
	2001	AISI-304-L	2304	AISI-316-L	2205	
50%	0.65	1.66	1.45	3.86	9.5	0.6
10%	0.37	0.77	0.55	2.13	3.17	0.45

Valores de umbral de cloruros para diferentes grados de acero inoxidable

La elevada resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables ha dado lugar al interés por su utilización como acero corrugado de refuerzo. Existen distintos grados de aceros inoxidables con diferentes comportamientos frente a la corrosión por cloruros.

Los límites críticos para despasivar por cloruros las armaduras de los distintos grados de aceros inoxidables no se encuentran establecidos en ninguna normativa. Por otra parte los resultados de otras investigaciones proporcionan evaluaciones muy generales. En este trabajo se analizan cinco de los tipos de aceros inoxidables más utilizados en la actualidad: dos calidades clásicas de austenítico EN 1.4307 (AISI 304-L) y EN 1.4404 (AISI 316-L); y tres aceros dúplex EN 1.4362 (2304), EN 1.4482 (2001) y EN 1.4462 (2205).

Para determinar la resistencia a la corrosión de las armaduras inoxidables se aplica el método de integral acelerado según la norma UNE-EN 83992-2. Dicha norma se ha modificado para evitar la polarización de la barra de acero inoxidable. Los resultados proporcionan una relación entre la concentración de cloruros a la altura de la armadura y la velocidad de corrosión. A partir de estos resultados se puede obtener la concentración crítica de cloruros que produce la corrosión de la armadura para una probabilidad del 10 y del 50%, y también la ley que relaciona la velocidad de corrosión con la cantidad de cloruros.

117. EVALUACIÓN DE LOS MODELOS EXISTENTES PARA DETERMINAR LA CONTRIBUCIÓN DE LOS REFUERZOS EXTERNOS A CORTANTE CON LAMINADOS FRP

ASSESSMENT OF THE EXISTING MODELS TO EVALUATE THE SHEAR STRENGTH CONTRIBUTION OF EXTERNALLY BONDED FRP REINFORCEMENTS

Eva Oller Ibars. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesora Agregada. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. eva.oller@upc.edu

Renata Kotynia. Lodz University of Technology. Professor. Phd. Civil Engineering. renata.kotynia@p.lodz.pl

Antonio Marí Bernat. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.mari@upc.edu

Monika Kaszubska. Lodz University of Technology. PhD. student. Civil Engineer. monika.dymecka@p.lodz.pl

FRP, resistencia a cortante, modelos analíticos, refuerzo exterior, desprendimiento prematuro.

FRP, shear strength, analytical models, externally bonded reinforcement, debonding.



Figura 1. Desprendimiento prematuro del refuerzo externo a cortante con PRF

Actualmente, existe todavía una falta de consenso a nivel mundial sobre la evaluación de la contribución a la resistencia a cortante de los refuerzos externos con polímeros reforzados con fibras (PRF), en elementos reforzados a cortante mediante esta técnica. Esto es debido a la confluencia de varios factores: a) complejidad del fenómeno de cortante; b) desprendimiento del refuerzo externo para algunas configuraciones y su predicción (fig. 1); c) el comportamiento elástico lineal del PRF (no plastifica); y d) la interacción entre el hormigón, la armadura transversal interna si es que existe, la armadura longitudinal y el refuerzo exterior con PRF.

Las recomendaciones existentes proporcionan expresiones para evaluar la contribución del PRF a la resistencia a cortante (V_f) que son similares a la contribución de la armadura pasiva transversal (V_s), puesto que la mayor parte se basan en la analogía de la celosía. La principal diferencia con la armadura transversal radica en que el PRF no plastifica en rotura. Los distintos modelos definen la tensión en el PRF en rotura en función de su configuración, teniendo en cuenta el posible desprendimiento del refuerzo para configuraciones en forma de U o cuando el PRF está únicamente adherido en el alma o el fallo por rotura de las fibras en el canto redondeado de la sección para refuerzos que envuelven completamente la sección.

En este artículo se presenta un análisis comparativo de las formulaciones existentes para evaluar la contribución del FRP a la resistencia a cortante mediante el uso de una extensa base de datos de 275 ensayos experimentales con y sin armadura transversal y con diferentes configuraciones del refuerzo exterior con FRP.

124. EL USO DE LAS BARRAS ANCLADAS MEDIANTE PLACA EN LA CONSTRUCCIÓN

USE OF HEADED REINFORCEMENT BARS IN CONSTRUCTION

Francesco Marchetto. Universidad Politécnica de Madrid. Miembro Grupo Investigación Hormigón Estructural. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. francisco83pv@gmail.com

Alejandro Pérez Caldentey. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. apc@fhcor.es

Hugo Corres Peiretti. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hcp@fhcor.es

Barras ancladas mediante placa, modelos teóricos, detalles de armado, ensayos en ELU, nudos de esquina.

Plate anchored reinforcement, theoretical model, detailing, ULS testing, corner joints.

Con el objetivo de reducir costes, acortar plazos y mejorar la calidad y sostenibilidad de realizaciones en hormigón estructural, material de construcción por excelencia de nuestro tiempo, es preciso tener especial cuidado en fases cruciales del proyecto y de la ejecución, entre ellas la concepción de la estructura y su cálculo: otro aspecto no me-

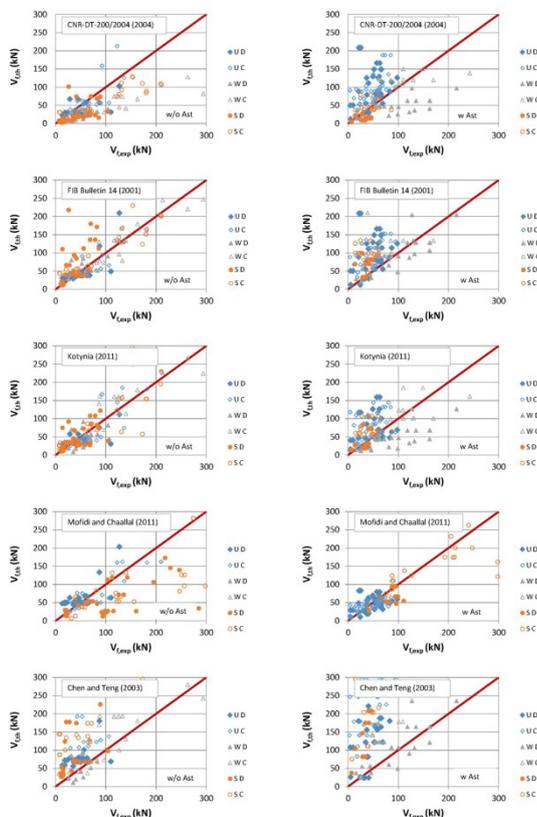
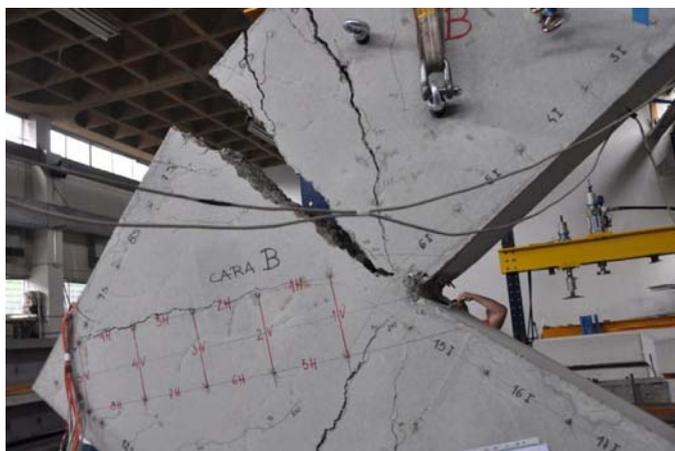


Figura 2. Cortante último experimental vs. Cortante último teórico para diferentes formulaciones



Barras ancladas mediante placas, soldadas por fricción: en segundo plano, las barras de cortante



Una de las probetas ensayadas en su configuración final, después de alcanzar la carga de rotura

nos importante por su trascendencia es el correcto diseño y ejecución de los planes de armado y de los detalles constructivos.

La ferralla, nombre con que el que se designa el conjunto de armaduras, montado y dispuesto según los planos, requiere un cierto grado de industrialización, y constituye alrededor de un tercio del precio del metro cúbico de hormigón armado colocado en obra. Las soluciones mejores suelen comportar un menor número de manipulaciones y conllevan un elevado grado de industrialización, sinónimo de calidad y seguridad en la obra.

En esta comunicación se analiza en detalle los anclajes mediante placa, que potencialmente pueden sustituir los comunes anclajes por gancho o patilla mejorando la limpieza de los detalles constructivos y permitiendo un montaje más rápido, más flexible y por ende más económico. Se presenta el estado del arte y una reseña de aplicaciones típicas en la que podría plantearse una solución de este tipo, seguida de algunos ejemplos de aplicaciones específicas surgidas en proyectos reales.

Dada la ausencia de una formulación teórica rigurosa que proporcione las dimensiones de la placa de diseño, se propone una ecuación para el cálculo de la capacidad del anclaje basada en la resistencia del hormigón frente a cargas concentradas, extendida a casos en los que no se haya dispuesto armadura de difusión, y se analiza su correlación con los resultados experimentales disponibles en literatura. Asimismo, el método propuesto puede extenderse a los casos en que se disponga de una cierta longitud de anclaje: para ello, se realizan ensayos numéricos con un programa para análisis no lineales de elementos finitos específico para el hormigón armado.

Se concluye con la descripción de ocho ensayos sobre nudos de esquina armados para momentos negativos, realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Escuela de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid, que tienen como objetivo comprobar si el diseño de placas tal como se ha establecido es adecuado y si un elemento armado con barras ancladas es equivalente a otro con un detalle de armado tradicional.

127. LFDY: RIESGOS ACEPTABLES PARA LAS PERSONAS EN CONDICIONES DE USO TEMPORAL

LFDY: ACCEPTABLE LIFE SAFETY RISK UNDER TEMPORARY USE CONDITIONS

Peter Tanner Furrer. IETcc-CSIC. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MSc ETH, Zürich; Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. tannerp@ietcc.csic.es

Ramon Hingorani Wollersheim. IETcc-CSIC. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MSc RWTH, Aachen; Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hingorani@ietcc.csic.es

Estructuras temporales, incertidumbres, colapso, tasa de mortalidad estadística, riesgo admisible.

Temporary structures, uncertainties, collapse, statistical fatality rate, acceptable risk.

En el presente estudio se aborda el reto de establecer riesgos admisibles e índices de fiabilidad requeridos para estructuras sometidas a unas condiciones de uso temporales. Los criterios de aceptación de los riesgos para las personas asociados con las estructuras de edificación, inferidos en estudios anteriores, se ajustan para las circunstancias específicas a las que se exponen los usuarios en edificios o instalaciones temporales. A estos efectos, se adopta el principio de mantener constante el nivel de riesgo por unidad de tiempo, asociado con las estructuras de los edificios permanentes. El ajuste está basado en la tasa de mortalidad estadística, una métrica de riesgo para las personas recientemente propuesta, que permite comparar de manera consistente los riesgos asociados con diferentes tecnologías y actividades sociales. Se deduce que, para un uso temporal de edificios o instalaciones, los índices de fiabilidad requeridos pueden superar considerablemente los obtenidos para estructuras permanentes.

132. DESARROLLO DE UN AMORTIGUADOR PARA TIRANTES DE PUENTE

DEVELOPMENT OF A DAMPER FOR STAY CABLES

Enrique Martí Bandrés. Mekano4, S.A. Responsable de Cálculo e Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. emarti@mekano4.com

Mariela Cordero Verge. Mekano4, S.A. Responsable de I+D. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. mcordero@mekano4.com

Raimon Rucabado Jiménez. Mekano4, S.A. Director de Proyectos Especiales. Ingeniero Civil. rucabado@mekano4.com

Rafael de la Sotilla Clarasó. Mekano4, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. rsotilla@mekano4.com

Tirante, amortiguador, puente atirantado, dinámica de estructuras, vibración.

Cable stay, damper, cable stayed bridge, structural dynamics, vibration.

Los tirantes de puente son elementos estructurales que por su gran esbeltez y su baja rigidez a flexión son propensos a experimentar vibraciones transversales. Estas vibraciones son provocadas por agentes externos, siendo el agente más problemático la combinación de lluvia y viento. La naturaleza cíclica de esta excitación externa junto con el bajo amortiguamiento intrínseco con el que los tirantes cuentan, hacen que estas vibraciones lleguen en ocasiones a entrar en resonancia. Una oscilación constante puede llegar a ser un problema si este movimiento llega a las cuñas del anclaje. Por este motivo, a partir de determinada longitud de tirante, se recomienda tomar medidas para aumentar el amortiguamiento de los tirantes y así mantener a raya a estas vibraciones potencialmente dañinas. Una solución muy adoptada es

incorporar un amortiguador externo anclado transversalmente al tirante.

En el artículo se presentan los últimos desarrollos y realizaciones que MK4 ha llevado a cabo en materia de sistemas de amortiguamiento para tirantes de puente.

En primer lugar, se presenta la metodología que se ha desarrollado para seleccionar las características del amortiguador que maximice el amortiguamiento del conjunto. Esta metodología cuenta de dos etapas: una primera etapa de pre-dimensionado mediante un modelo matemático simplificado y una segunda etapa exploratoria mediante un modelo en elementos finitos.

La etapa inicial de pre-dimensionado se basa en una solución analítica de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales planteadas en un modelo simplificado de un tirante con amortiguador. Esta solución analítica permite a partir de pocos parámetros decidir la posición del amortiguador, así como las características del mismo para que el conjunto tirante-amortiguador cumpla con los requisitos del proyecto. En la figura 1 se muestran las curvas de amortiguamiento modal calculadas con este modelo en las que se relaciona el coeficiente del amortiguador con el amortiguamiento modal del tirante con amortiguador.

Le segunda etapa de dimensionado de tirantes consiste en simulaciones mediante un programa de elementos finitos para modelizar el conjunto tirante-amortiguador. Este modelo permite tener en cuenta la geometría real y la no-uniformidad de la estructura, así como incorporar parámetros que en el modelo matemático se omiten, comportamientos no-lineales, etc.

Curva del Amortiguamiento Modal. Caso Particular
Puente Albertkanaal. Tirante 18. Modos 1-5

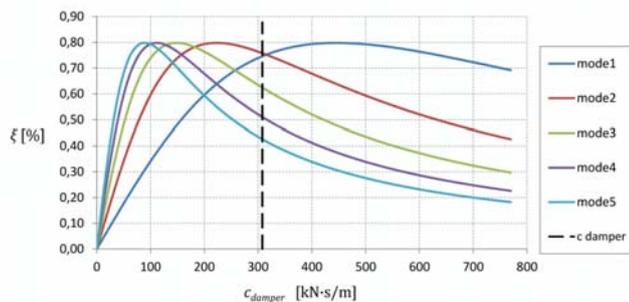


Figura 1. Curvas de amortiguamiento modal

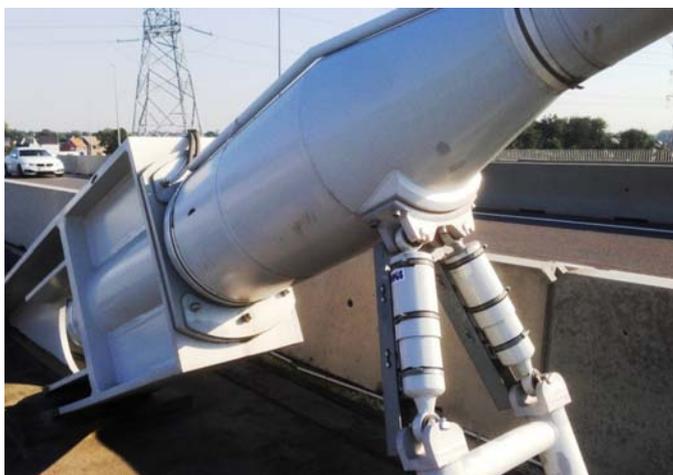


Figura 2. Amortiguador de tirante con sensor de desplazamiento

Finalmente se exponen las últimas realizaciones de MK4 de este campo. El último proyecto de puente atiranteado en el que se han instalado amortiguadores (fig. 2) y donde se ha podido observar su comportamiento con los resultados de la monitorización.

136. ANÁLISIS DE MÁSTILES ATIRANTADOS MEDIANTE LAS FUNCIONES DE ESTABILIDAD

ANALYSIS OF GUYED MAST BY THE STABILITY FUNCTIONS

Pablo Martín Páez Gus. Facultad de Ingeniería, UDELR, Uruguay. Profesor Asistente. Máster, Ingeniero Civil. ppaez@fing.edu.uy
Berardi Sensale Cozzano. Facultad de Ingeniería, UDELR, Uruguay. Profesor Titular. Dr. Ingeniero Civil. sensale@fing.edu.uy

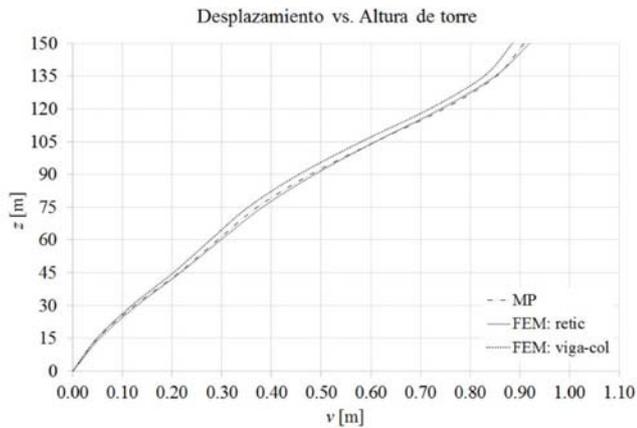
Mástiles atirantados, funciones de estabilidad, análisis de segundo orden, carga crítica de pandeo.

Guyed towers, stability functions, second order analysis, elastic critical buckling load, geometric nonlinearity.

En este trabajo se desarrolla una nueva formulación, basada en el método de la viga - columna, para el análisis de mástiles atirantados. El método propone el cálculo de las deformaciones producidas por los efectos de segundo orden a partir de las funciones de estabilidad. A tales efectos la torre se modela como una viga - columna equivalente, continua, sobre apoyos elásticos no - lineales, cuyas rigideces axial, flexional, de corte y torsional se calculan según sea el patrón de construcción de la torre. Los cables son reemplazados por apoyos elásticos no - lineales cuya constante elástica se obtiene a partir de la utilización de módulo de elasticidad secante de los cables. A los



Mástiles atirantados, funciones de estabilidad, análisis de segundo orden, carga crítica de pandeo



Curva desplazamiento lateral vs. altura de la torre para el MP y para los modelos mediante elementos

efectos de validar el método propuesto se realiza un estudio comparativo analizando un mástil atirantado de 150 metros de altura mediante el método de los elementos finitos con el programa comercial SAP 2000. Como principales conclusiones mencionaremos que se observan diferencias poco significativas entre los resultados obtenidos con el método propuesto y los obtenidos mediante el método de elementos finitos y como principales ventajas que el método es muy fácil de programar incluso a partir de la utilización de planillas electrónicas.

139. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE NORMAS: ACCIÓN DEL VIENTO LONGITUDINAL SOBRE LAS ESTRUCTURAS

COMPARATIVE STUDY AMONG STANDARDS: THE ALONG-WIND LOAD EFFECT ON STRUCTURES

Pablo Martín Páez Gus. Facultad de Ingeniería, UDELAR, Uruguay. Profesor Asistente. Máster, Ingeniero Civil. ppaez@fing.edu.uy
 Atilio Morquío Dovat. Facultad de Ingeniería, UDELAR, Uruguay. Profesor Titular. Dr. Ingeniero Civil. atilio@fing.edu.uy

Velocidad del viento, Carga de viento, Códigos de edificación, Dinámica.

Wind velocity, Wind load, Building codes, Dynamics.

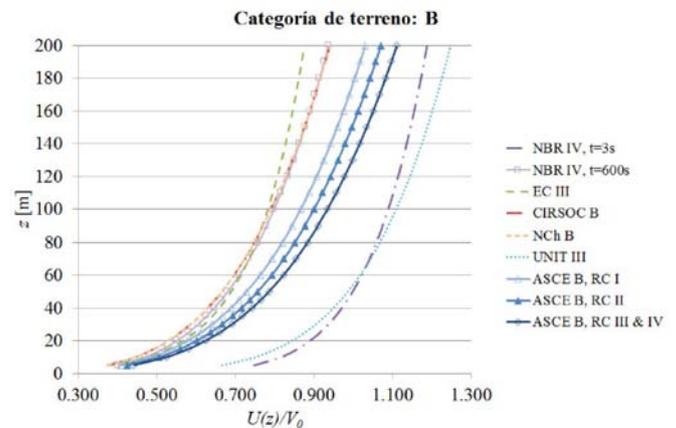
La tendencia a nivel mundial es la construcción de estructuras edilicias cada vez más altas, lo que sumado a las nuevas tecnologías de los materiales permiten construcciones más esbeltas y livianas. Muchos son los factores que deben ser tenidos en cuenta de forma de prever el comportamiento de estos edificios frente a las diferentes acciones que les pueden ser impuestas. Las acciones horizontales debidas a la acción del viento son fundamentales a la hora de realizar dicho análisis.

Las normas más importantes a nivel mundial utilizan el concepto de "factor de carga de ráfaga" para la evaluación de los efectos dinámicos del viento longitudinal en estructuras esbeltas. Dentro de las principales que utilizan este concepto se encuentran la norma Americana ASCE 7-10, "Minimum design loads for buildings and other structures" y el Eurocódigo, UNE-EN 1991-1-4:2005, "Acciones en estructuras - Parte 1-4: Acciones generales - Acciones de

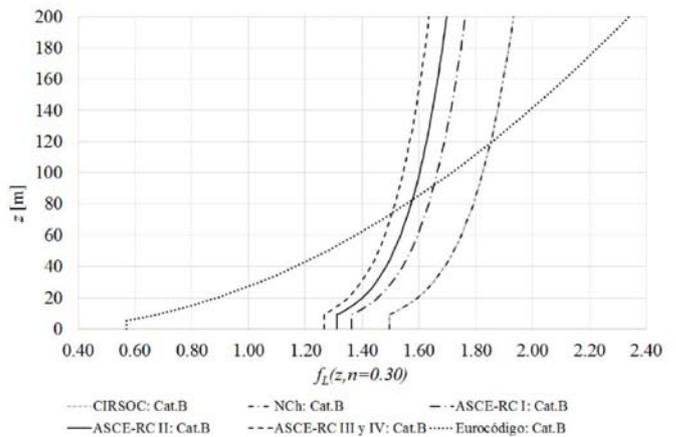
viento". En la región sur del continente americano la norma argentina CIRSOC 102-05, "Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones", toma como norma base para el desarrollo de su reglamento la norma ASCE 7-98. La norma chilena NCh 432-10, "Diseño estructural - cargas de viento" toma como norma base a la ASCE 7-05. Ambas normas toman los antecedentes estadísticos de sus respectivos países para la determinación de las velocidades características del viento. La norma brasilera NBR 6123-88, "Fuerzas debidas al viento en edificaciones" utiliza métodos estáticos para estructuras rígidas y métodos dinámicos para estructuras flexibles. La norma uruguaya UNIT 50-84, "Acción del viento sobre construcciones" tiene un único procedimiento aplicable solamente a estructuras rígidas.

Este artículo presenta un estudio comparativo entre las normas ASCE 7, UNE-EN 1991-1-4, CIRSOC 102, NBR 6123, NCh 432 y UNIT 50 en relación a la carga de viento longitudinal y sus efectos sobre estructuras edilicias. Este estudio abarca también las comparaciones entre las definiciones de velocidad característica y de velocidad de viento de proyecto, así como la comparación entre los principales parámetros que permiten caracterizar al viento. Dos estructuras edilicias serán analizadas para tal fin, una rígida, cuya frecuencia fundamental es mayor que 1 Hz y una flexible, cuya frecuencia fundamental es mucho menor que 1 Hz.

Este trabajo se propone mostrar las diferencias entre las distintas normas y presenta una evaluación completa de la fuente de las diferencias, así como algunas alternativas posibles para reducirlas.



Perfiles de velocidades de viento de proyecto adimensionales. Categoría de terreno B



Frecuencia adimensional en función de la altura

143. NUEVO MODELO PARA LA ESTIMACIÓN DE DEFORMACIONES TEMPRANAS COACCIONADAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EXPANSIVO

INNOVATIVE MODEL FOR EARLY AGE RESTRAINED STRAINS ESTIMATION IN EXPANSIVE STRUCTURAL CONCRETE MEMBERS

Volha S. Semianiuk. Brest State Technical University (Belarus). PhD student. M.Sc. Civil Engineering. olgasiemienuk@gmail.com
Manuel F. Herrador. Universidade da Coruña. Professor of Department of Construction Technology. PhD Civil Engineering. mherrador@udc.es

Victar V. Tur. Brest State Technical University (Belarus). Head of Department of Concrete Technology. Doctor of Science, Civil Engineering. profturvic@gmail.com

Hormigón expansivo, elementos autopretensados, deformación coaccionada, autopretensado, modelización del comportamiento.

Expansive concrete, self-stressed member, restrained strains, self-stress, behaviour model.

El pretensado físico-químico de estructuras de hormigón basado en el uso de hormigón expansivo con alta capacidad de energía de expansión puede ser considerado en algunos casos una alternativa al pretensado mecánico tradicional. La tecnología de pretensado físico químico se caracteriza por las siguientes ventajas, entre otras: no se requieren dispositivos especiales de pretensados (por ejemplo, gatos y anclajes), y los requerimientos de mano de obra son inferiores. Al mismo tiempo, el estado tensodeformacional inicial obtenido durante la expansión del hormigón tiene una influencia favorable sobre el comportamiento de la estructura autopretensada bajo acciones de servicios. Sin embargo, la aplicación práctica en elementos autopretensados es en ocasiones compleja debido a dificultades relacionadas con el diseño en la fase de servicio. Por lo tanto, el desarrollo de métodos de diseño para la predicción de deformaciones y tensiones a edad temprana en estructuras autopretensadas es de interés en la actualidad. En este estudio se presentan resultados de investigación teórica y experimental sobre elementos de hormigón con armadura de acero en disposiciones simétrica y asimétrica. Se formulan las hipótesis básicas del modelo modificado de desarrollo de deformaciones a edad temprana (Modified early-age Strains Development Model, MSDM) para elementos autopretensados. El modelo modificado propuesto se basa en el concepto de cálculo de deformaciones iniciales y constituye un proceso iterativo que tiene en cuenta el proceso de expansión en los intervalos de tiempo elementales. El rasgo diferenciador del MSDM consiste en tener en cuenta en cada paso de cálculo la fuerza acumulada inducida por la coacción al final de cada paso de cálculo. Esta fuerza acumulada se introduce como una restricción adicional del desarrollo de la expansión en el paso de tiempo considerado. Los datos a introducir en el modelo para el cálculo de expansión restringida incremental son la curva de desarrollo de expansiones libres con el tiempo, junto a la evolución de la fluencia y del módulo de Young del hormigón expansivo a edades tempranas, además de las condiciones de coacción.

La validez del MSDM propuesto se verifica mediante la comparación de resultados de cálculo con resultados experimentales realizados al efecto. La influencia favorable del estado tensodeformacional inicial alcanzado mediante expansión del hormigón se confirma en el análisis de elementos autopretensados sometidos a cargas estáticas.

149. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN SEGÚN EL MODELO DE RÓTULA PLÁSTICA

SEISMIC BEHAVIOUR OF CONCRETE STRUCTURES DEPENDING ON THE MODEL OF PLASTIC HINGE

Andrés T. López López. Universidad Politécnica de Cartagena. Investigador. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. atl10@alu.upct.es

Antonio Tomás Espín. Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.tomas@upct.es

Gregorio Sánchez Olivares. Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. gregorio.sanchez@upct.es

Hormigón armado, expresiones empíricas, análisis no lineal, rótula plástica, colapso.

Reinforced concrete, empirical expressions, nonlinear analysis, plastic hinge, collapse.

Conocer los efectos y las consecuencias causadas por un evento sísmico en las estructuras ha ocasionado que la predicción y simulación, mediante modelos numéricos, del comportamiento de estructuras de hormigón armado sometidas a la acción sísmica sea un tema de interés creciente en los últimos años.

El análisis sísmico es un análisis exigente desde el punto de vista computacional que requiere la implementación de modelos precisos y eficientes. Por tanto, resulta conveniente desarrollar modelos de comportamiento seccional que reduzcan la exigencia computacional, como por ejemplo los basados en expresiones calibradas con ensayos experimentales.

De entre los métodos de análisis sísmico comúnmente aceptados, el análisis estático no lineal o pushover y el análisis dinámico no lineal o nonlinear time-history analysis han demostrado ser los que reflejan la realidad sísmica de las estructuras con mayor precisión.

Este trabajo pretende evaluar la influencia de diferentes modelos de rótula plástica en el comportamiento no lineal de una estructura. Para ello, se han realizado varios análisis pushover para dos pórticos planos de hormigón armado, considerando los siguientes modelos de rótula plástica: (i) el modelo incluido en FEMA-356 (fig. 1), y (ii) dos modelos adicionales basados en expresiones empíricas calibradas con ensayos experimentales.

En el análisis pushover se evalúan los puntos de plastificación global y de colapso de la estructura, obteniendo los correspondientes

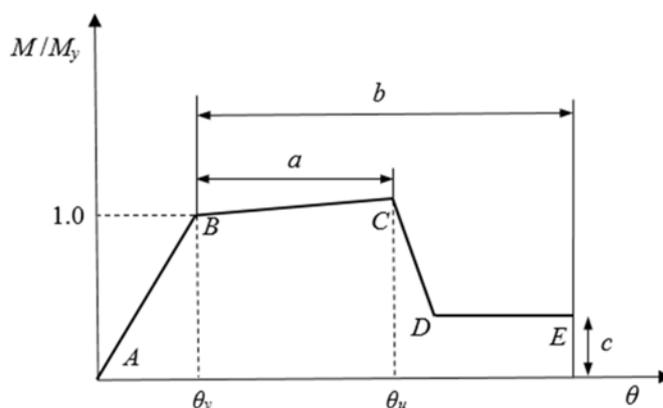


Figura 1. Relación momento-giro para una rótula plástica, FEMA-356

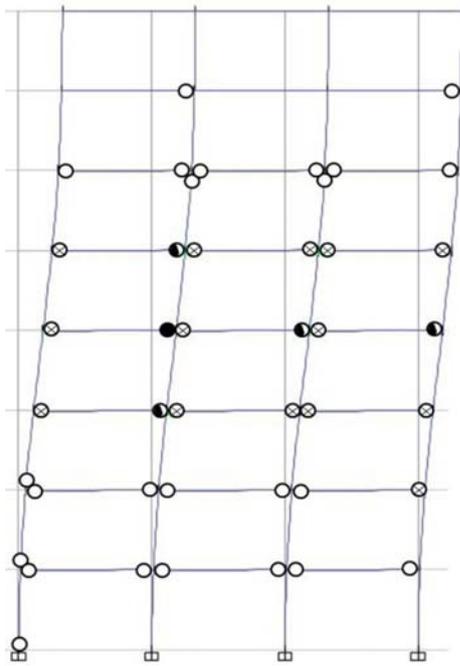


Figura 2. Distribución de rótulas plásticas en el punto de colapso de la estructura

parámetros para los diferentes modelos de rótula plástica y obteniendo además las curvas de capacidad F_b para cada análisis. En la figura 2 se muestra la distribución de rótulas plásticas generadas.

Finalmente, se aplica el método N2 incluido en el Eurocódigo 8 para estudiar la influencia del valor de cálculo de la aceleración a_g del suelo. Se realizan además varios análisis de tipo dinámico no lineal para validar los resultados obtenidos en el análisis pushover.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten al ingeniero estructural plantearse si las rótulas plásticas incluidas por defecto en los programas comerciales de cálculo, basadas en una norma específica, ofrecen resultados que pueden ser excesivamente conservadores. La disponibilidad de otras expresiones empíricas con las que modelizar el comportamiento seccional de los elementos estructurales, permite una definición alternativa de las rótulas plásticas a generar en el análisis sísmico. Estas expresiones constituyen una herramienta útil para el contraste de resultados en la práctica profesional de la ingeniería estructural.

150. DISEÑO CONCEPTUAL DE LOS PUENTES ARCO ESPACIALES COMPUESTOS POR UN TABLERO RECTO Y UN ARCO INCLINADO EXCÉNTRICO

CONCEPTUAL DESIGN OF SPATIAL ARCH BRIDGES COMPOSED OF A STRAIGHT DECK AND AN ECCENTRIC INCLINED ARCH

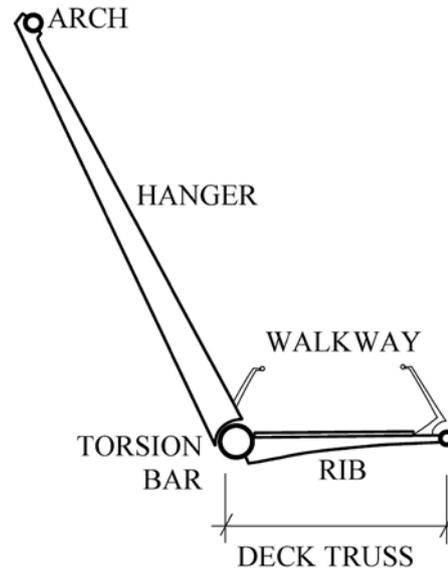
Juan José Jorquera Lucerga. Universidad Politécnica de Cartagena.
Profesor. Dr. Ingeniero de Caminos. jjorquera@gmail.com

Diseño conceptual, puente arco espacial, arco excéntrico, arco inclinado, Santiago Calatrava.

Conceptual design, spatial arch bridge, eccentric arch, inclined arch, Santiago Calatrava.



Pasarela de la Devesa



Pasarela de la Devesa: Sección transversal

En la moderna Ingeniería de puentes, la estética se puede convertir en un objetivo importante, cuando no en el principal. Esta comunicación se centra en comprender el complejo comportamiento resistente de uno de los tipos de puentes construidos más frecuentemente con la idea de convertirse en hitos arquitectónicos: el puente arco espacial formado por un tablero recto sostenido por un arco inclinado y excéntrico sujeto al borde del tablero. Este tipo de puentes fue introducido por el arquitecto e ingeniero Santiago Calatrava, que construyó, entre otros, la pasarela de la Devesa.

El estudio se lleva a cabo gradualmente. En primer lugar, se estudia el puente arco clásico (con un arco vertical unido al eje del tablero mediante un conjunto de péndolas verticales) y se establece como referencia. Después, se estudia el efecto de desplazar el arco lateralmente. Posteriormente, se estudia el efecto de rotar el arco alrededor de un eje longitudinal y el efecto de rigidizar las péndolas.

La ponencia también presenta algunas consideraciones acerca de la respuesta de este tipo de puentes y da recomendaciones acerca de su configuración estructural más adecuada.

151. PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PILOTES IN SITU MEDIANTE CONTROL DE TEMPERATURA DEL FRAGUADO DEL HORMIGÓN

INTEGRITY TESTING OF CAST-IN-PLACE PILES BY CONTROLLING THE TEMPERATURE OF CONCRETE SETTING

Martín J. Jáuregui Pajares. Autoridad Portuaria de Cartagena. Jefe de División Proyectos y Obras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. martinjp@apc.es

Antonio Tomás Espín. Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.tomas@upct.es
 Gregorio Sánchez Olivares. Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. gregorio.sanchez@upct.es

Integridad, pilotes in situ, ensayo, temperatura, fraguado del hormigón.

Integrity, cast-in-place piles, test, temperature, concrete setting.

Tras el proceso de hormigonado de cimentaciones profundas, al no poderse observar el resultado final de la ejecución, pueden surgir dudas sobre su estado de integridad, como posibles desmoronamientos locales de las paredes de la excavación, o la disgregación de la masa de hormigón en distintas zonas. Existen ensayos sobre pilotes ejecutados, bien para verificar su resistencia mediante costosas pruebas estáticas o dinámicas de carga, o bien para controlar su integridad mediante ensayos más económicos, como el ensayo de transparencia sónica o cross-hole y el ensayo de impedancia mecánica.

Respecto a estos últimos, el ensayo cross-hole presenta el inconveniente de no poder controlar el perímetro del pilote -precisamente donde suele aparecer la mayoría de patologías-, y el ensayo de impedancia mecánica presenta una viabilidad limitada por la relación longitud/diámetro y por el tipo de terreno.

Para obtener una información más precisa del estado de integridad de los pilotes, se requiere disponer de ensayos complementarios que

amplíen la información y el rango de aplicación. En los últimos años se están investigando sistemas de control basados en las temperaturas que alcanza el hormigón durante las primeras horas desde su vertido, estableciendo unas correlaciones entre el incremento de temperatura observado a lo largo del fuste y la geometría del pilote ejecutado. Puede detectarse una determinada patología -como la existencia de un bulbo- si la temperatura no se encuentra en el rango esperable, e incluso puede realizarse una estimación del recubrimiento real de las armaduras a lo largo del fuste.

Si se combinan ensayos se puede controlar el estado de gran parte de la sección transversal del pilote, pues mediante el cross-hole se controla la zona del núcleo entre armaduras y mediante el de temperatura de fraguado se controla la zona que circunda a cada armadura (fig. 1).

Durante la ejecución de una obra en el Puerto de Cartagena se han combinado ambos ensayos en dos pilotes, obteniendo resultados favorables para ambos, y siendo las mediciones de temperatura similares a las teóricas esperables para asegurar la integridad de los pilotes (fig. 2). Se puede concluir que el control de la temperatura de fraguado constituye un ensayo válido y económico para ampliar la información que proporciona el ensayo cross-hole, sobre todo si se emplea un sistema de adquisición de datos económico que controle un gran número de puntos.

157. TERREMOTO DE LORCA, ESPAÑA, DE 2011: ANÁLISIS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO Y LECCIONES APRENDIDAS

EARTHQUAKE OF LORCA (SPAIN) IN 2011: ANALYSIS OF DAMAGE TO RC BUILDING STRUCTURES AND LESSONS LEARNED

Joaquín Ruiz Pinilla. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jrpinnacle@hotmail.com

José Miguel Adam Martínez. ICITECH. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joadmar@upv.es

Antoni Cladera Bohigas. Universitat de les Illes Balears. Profesor Titular. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antoni.cladera@uib.es

Hormigón armado, terremoto, Lorca, daño.

Reinforced concrete, earthquake, Lorca, damage.

A pesar de que la magnitud del terremoto de Lorca (2011) no fue elevada, Mw = 5,1, éste ocasionó un gran número de daños dada la tipología estructural de sus edificaciones y la proximidad del hipocentro a la ciudad.

En este artículo se presentan los fallos más comunes que se produjeron en las estructuras de los edificios de hormigón armado, así como las lecciones más importantes aprendidas a partir del análisis de su comportamiento y de los errores de diseño más frecuentes que se detectaron, basados en las inspecciones in situ llevadas a cabo por los autores.

Muchos de los daños se produjeron por falta de ductilidad en los elementos de hormigón armado y de la calidad deficiente de los materiales. No obstante, existen otros factores que tuvieron gran influencia en la respuesta de las estructuras y que generalmente no se tienen en cuenta en el diseño por considerarlos elementos secundarios. Estos factores son: la rigidez de los cerramientos, la coacción de las escaleras y el impacto entre edificios colindantes, entre otros.

Estas cuestiones deberían ser tenidas en cuenta para el diseño de futuras construcciones, así como para la identificación de estructuras susceptibles de sufrir daños bajo la acción de un evento sísmico.

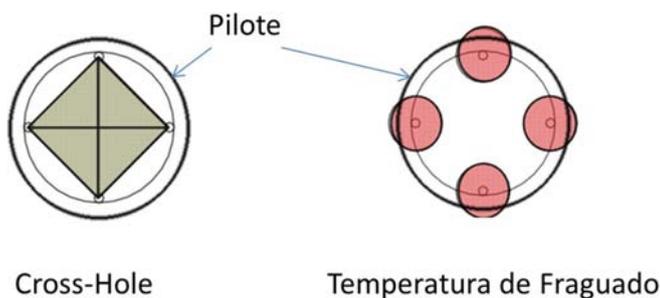


Figura 1. Zonas de control de la sección transversal del pilote

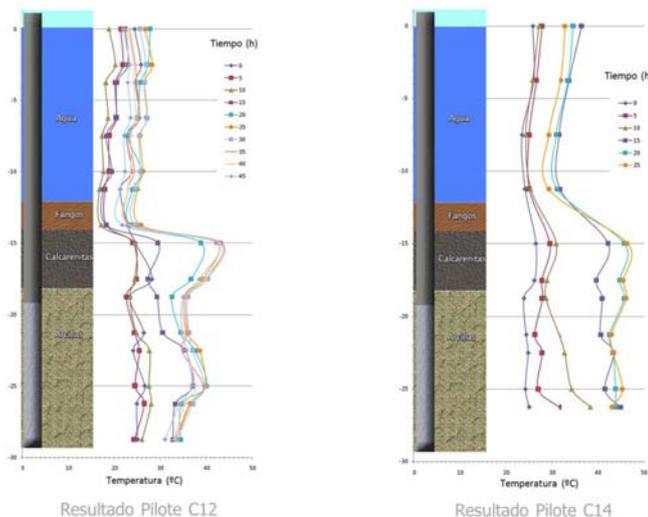
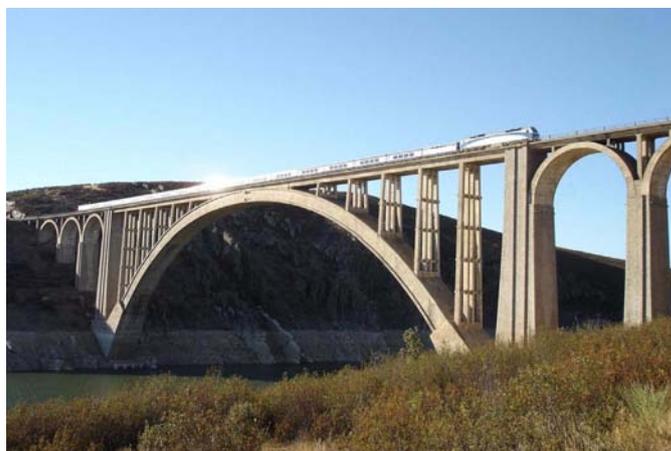


Figura 2. Resultados en pilotes C-12 y C-14



Fallo de columna corta



Viaducto de Martin Gil



Daño a cortante de una columna

158. EL VIADUCTO DE MARTÍN GIL: HISTORIA Y ANÁLISIS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

MARTIN GIL VIADUCT: HISTORY AND ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION PROCESS

María Ángeles Sancho Ferrando. IDOM. Ingeniera. Ingeniera de Caminos. msanchoferrando@gmail.com

Juan José Jorquera Lucerga. Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos. juanjo.jorquera@upct.es

Ignacio Javier Payá Zaforteza. Universidad Politécnica de Valencia-ICITECH. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos. igpaza@upvnet.upv.es

Viaducto Martín Gil, Eduardo Torroja, proceso constructivo, puente arco, sección evolutiva.

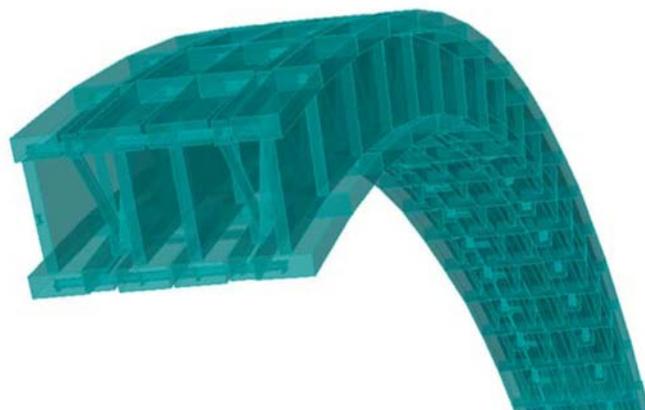
Martin Gil Viaduct, Eduardo Torroja, construction process, arch bridge, evolutive cross-section.

Reconocido como uno de los mejores ingenieros de estructuras del s.XX, Eduardo Torroja cuenta con un gran número de obras construidas que constituyen verdaderos hitos de la ingeniería del hormigón. Este es el caso del Viaducto Martín Gil -también conocido como via-

ducto del Esla- en Zamora, que en 1942 constituyó el puente arco de hormigón armado con mayor luz del mundo, con una luz de 210 m. Aunque no fue proyectado inicialmente por Torroja, probablemente no habría sido viable sin su aportación al proceso constructivo. La presente ponencia repasa la historia de este puente arco de ferrocarril, enmarcándolo en su contexto histórico, desde los primeros bocetos -anteriores a Martín Gil- hasta la geometría detallada de la estructura construida recogida de los planos y documentación originales. Asimismo, se hace hincapié en cómo Torroja adaptó la sección transversal mixta del viaducto para permitir una construcción evolutiva. En este proceso, el peso del hormigón fresco de cada fase es soportado por el hormigón endurecido colocado en las fases anteriores y por dos cuchillos rígidos autoportantes metálicos, colocados en la primera fase.

En la ponencia se comparan los datos de obra con los resultados del análisis de la estructura mediante un modelo de elementos finitos que reproduce todas las fases del proceso constructivo hasta la apertura en clave, teniendo en cuenta tanto la no linealidad del hormigón, como la no linealidad geométrica propia de la construcción por fases. Los resultados ponen en valor, una vez más, el buen criterio constructivo y de análisis de Torroja que, muy avanzado a su tiempo, fue capaz de predecir con suficiente fiabilidad el comportamiento de la estructura.

Claramente innovador para su época, este sistema constructivo sigue siendo la base de la construcción de muchos de los grandes puentes arco de hormigón armado y mixtos construidos recientemente.



Vista extruida del modelo de elementos finitos del arco del viaducto de Martín Gil

173. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN PARA EL CRAQUEO TEMPRANO EN CONCRETO DE ALTO RENDIMIENTO

COMPARISON OF SIMULATION RESULTS FOR EARLY-AGE CRACKING IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Yilmaz Akkaya. Istanbul Technical University. Faculty of Civil Engineering. akkayayil1@itu.edu.tr

Egemen Kesler. Istanbul Technical University. Faculty of Civil Engineering. egemen.kesler@gmail.com

Manuel Morras. OHL QA/QC Manager. manuelmorras@ohl.com.tr

Batuhan Güres. OHL QA/QC Chief Engineer. batuhangures@ohl.com.tr

Utkan Çorbacioğlu. Istanbul Technical University. Faculty of Civil Engineering. utkancor@gmail.com



Administrador de construcción estructural funciona con 100 años concretos del proyecto

Durabilidad, fundición de ensayo a gran escala, desarrollo de la temperatura, craqueo temprano de la edad.

Durability, full scale trial casting, temperature development, early age cracking.

Además de las propiedades básicas y las pruebas de rendimiento, algunas características específicas relacionadas con el proceso de construcción también deben tenerse en cuenta en la metodología de diseño de concreto de alto rendimiento/durabilidad. Los mecanismos de daño específicos tales como ataques químicos, ciclos de congelación/descongelación, reacciones álcali-sílice (ASR), corrosión inducida por cloruro o carbonatación pueden considerarse críticos. Por lo tanto, se evitarán los riesgos contra tales reacciones para realizar la vida útil de estructuras de hormigón armado, producidas con hormigón de alta durabilidad.

Para la vida útil requerida, se debe considerar un enfoque colectivo no sólo para los riesgos de ataque por congelación/descongelación, ASR y carbonatación, sino también por los riesgos de agrietamiento de edad temprana. Es bien sabido que la difusión de carbonatación es muy alta en un hormigón con una relación w/c más alta. Por lo tanto, la especificación del proyecto requería un w/c de máx. 0,40 y los constituyentes -agregados, cemento, aditivos- se seleccionaron

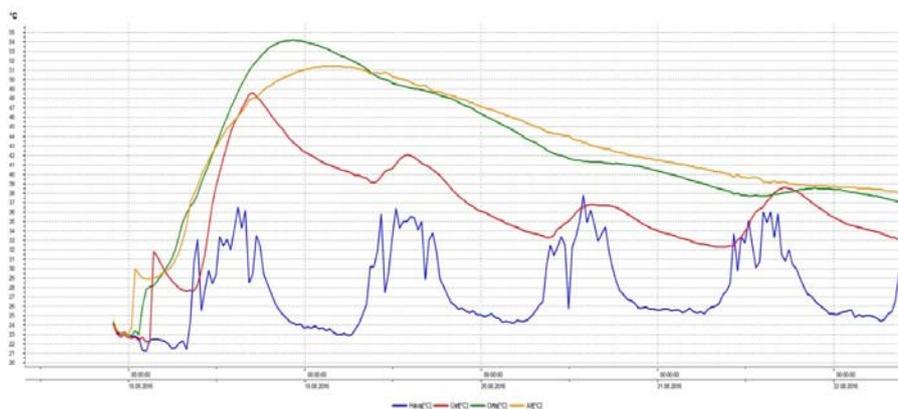
de acuerdo con los requisitos. Las actividades de pre-prueba del hormigón y sus componentes se realizaron para obtener trabajabilidad, densidad, tiempo de fraguado, contenido de aire, migración de cloruro, análisis petrográfico y endurecimiento de propiedades de hormigón tales como desarrollo de calor adiabático, desarrollo de resistencia a la tracción.

El diseño del proyecto requiere min. 100 años de vida útil y bajo riesgo de agrietamiento en edad temprana para lograr la durabilidad requerida del hormigón. Se utilizó un software de simulación para el desarrollo de tensiones y temperaturas en edades tempranas para el cálculo del riesgo de craqueo en edades tempranas. La monitorización de la temperatura del hormigón se realiza mediante pruebas in situ con registradores de datos de temperatura.

Como la estructura R/C para el ensayo a escala completa, se elige una pared de túnel de corte y cubierta. De especial interés es la temperatura máxima en el centro de la pared y la máxima diferencia de temperatura entre el medio y la superficie, es decir, la diferencia de temperatura interna.

Los resultados del software de simulación, las mediciones reales de temperatura de fundición de ensayo a escala completa y las inspecciones post-hormigón se comparan entre sí y se ha visto que la salida del programa de simulación cumple con el caso real.

Instrument name:		22.08.2016 10:48:39			Page	1/1
Start time: 17.08.2016 09:53:43		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values	
End time: 22.08.2016 10:23:43	Hava [°C]	21,20	37,80	27,622	-195,0/400,0	
Measurement channels: 4	Üst [°C]	22,20	48,60	36,203	-195,0/400,0	
Measured values: 242	Orta [°C]	22,90	54,20	42,353	-195,0/400,0	
SN 40713294	Air [°C]	22,90	51,40	42,712	-195,0/400,0	



Monitorización de temperatura concreto para la losa de hormigón de la estación

174. UN NUEVO MODELO DE RESISTENCIA A PUNZONAMIENTO DE PLACAS DE HORMIGÓN ARMADO CON Y SIN ARMADURA DE PUNZONAMIENTO

A NEW MODEL FOR THE PUNCHING SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH AND WITHOUT SHEAR REINFORCEMENT

Antonio Marí Bernat. Universidad Politécnica de Cataluña. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos. antonio.mari@upc.edu
 Jesús Miguel Bairán García. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos. jesus.miguel.bairan@upc.edu
 Antoni Cladera Bohigas. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos. antoni.cladera@uib.es
 Eva Oller Ibars. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesora Titular. Dra. Ingeniera de Caminos. eva.oller@upc.edu
 Carlos Rodrigo Ribas González. Universitat Illes Balears. Profesor Contratado Doctor. Dr. Arquitecto. carlos.ribas@uib.es

Punzonamiento, placas, hormigón armado, armadura.

Punching, slabs, reinforced concrete, shear reinforcement.

En esta ponencia se presenta un nuevo modelo mecánico para estimar la resistencia a punzonamiento de placas de hormigón armado con y sin armadura de punzonamiento, el cual se basa en un modelo de cortante previamente desarrollado por los autores que incorpora la contribución de los diversos mecanismos resistentes. Para ello en primer lugar se identifican los aspectos diferenciadores entre el comportamiento resistente a cortante y a punzonamiento y se introducen en las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y en el criterio de rotura, dando lugar a una formulación coherente con aquélla. Entre estos aspectos destacan: 1) la rotura se produce en una zona "D", lo cual condiciona la posición de la fisura crítica, que siempre se desarrolla desde el soporte, 2) se trata de un fenómeno tridimensional que da lugar a un estado triaxial de tensiones en el entorno del pilar, produciéndose fisuras radiales y longitudinales y variando la capacidad resistente de la zona comprimida y 3) La escasez de longitud de anclaje disponible

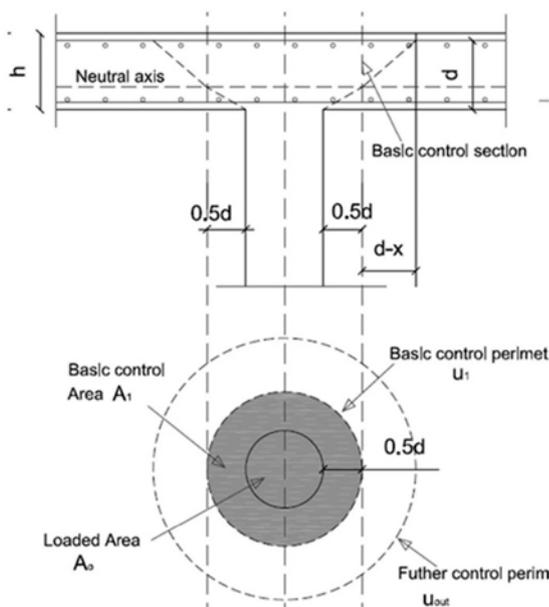


Figura 1. Perímetro crítico

Num	322	244
Media	1,288	1,071
Desv Est	0,173	0,160
COV	0,134	0,149
Max	1,796	1,806
Min	0,820	0,683
Perc. 5%	1,013	0,796
	$A_{sw}=0$	$A_{sw}>0$

Figura 2. Comparación con datos experimentales

para la armadura transversal y la necesidad de disponerla donde cosa la fisura crítica, lo que afecta a su eficacia.

El modelo, dado su carácter mecánico, proporciona explicaciones coherentes al comportamiento experimental y da significado físico a parámetros utilizados en el diseño. Por ejemplo el modelo da una interpretación física a la posición del perímetro crítico y del perímetro a partir del cual no hace falta disponer armadura de punzonamiento, permite estimar el valor de la tensión máxima de las armaduras cuando se produce la rotura (y por tanto incorpora la eficacia de distintos tipos de armado) y da una explicación a la influencia del momento transferido entre losa y columna (columnas interiores, de borde o de esquina) en la resistencia a punzonamiento. Se han utilizado dos bases de datos internacionalmente aceptadas de ensayos de punzonamiento, una de losas sin armadura transversal y otra con armadura transversal para comparar los resultados del modelo, habiendo obtenido buenos resultados en general. Finalmente se extraen conclusiones sobre la aplicabilidad práctica del modelo y sobre sus posibilidades de extensión a losas postensadas o a sistemas de refuerzo.

176. EFECTO DE LOS DE ERRORES ALEATORIOS EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS CABLES DE LOS PUENTES ATIRANTADOS

EFFECT OF RANDOM ERRORS IN THE CABLE INSTALLATION PROCESS OF CABLE-STAYED BRIDGES

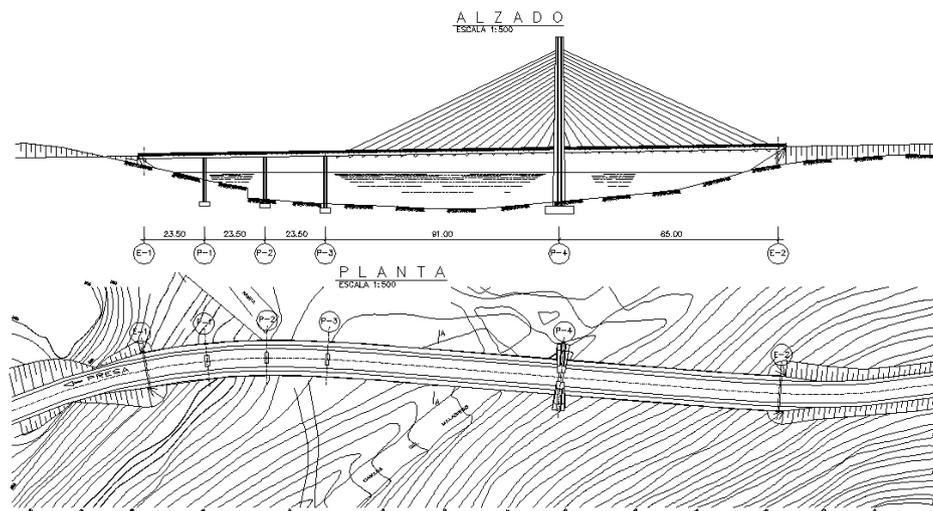
Luis Carrillo Alonso. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Asociado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. luis.alonso@upm.es

Miguel Ángel Astiz Suárez. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. miguel.a.astiz@upm.es

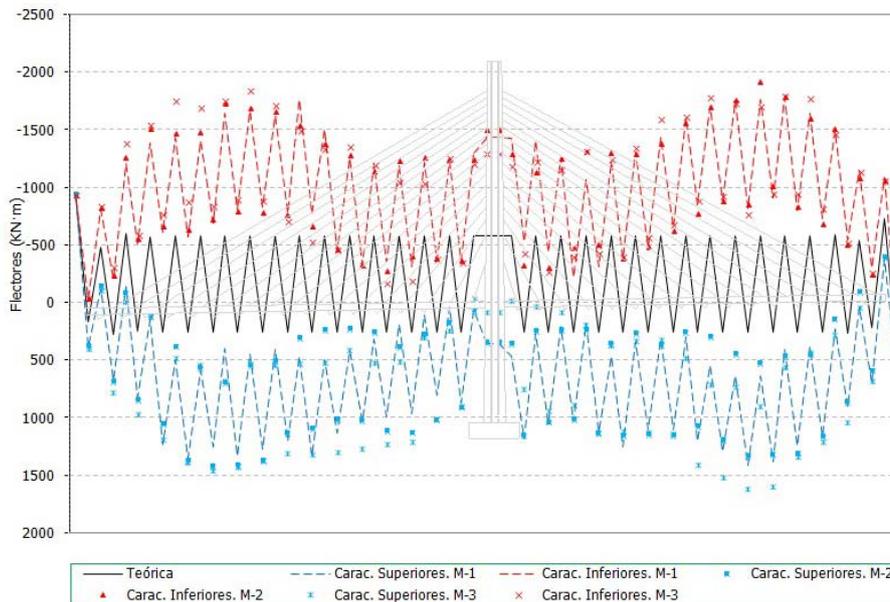
Puentes atirantados, cables, construcción por voladizos, fases de construcción, errores aleatorios.

Cable-stayed bridges, cables, balanced cantilever method, construction stages, random errors.

Se resume en esta ponencia la investigación realizada por los autores, como objeto del desarrollo de una tesis doctoral, en relación a los



Esquema estructura inicial



Flectores característicos del tablero

posibles errores aleatorios que se pueden producir durante el proceso constructivo de un puente atirantado, y más en concreto durante el proceso de instalación de los cables.

De esta forma, en esta investigación se ha procedido en primer lugar generar un procedimiento que permitiera la simulación de los errores aleatorios en la colocación de los cables, tanto si dicha instalación se realiza midiendo la fuerza aplicada a los gatos de tesado, como si este proceso se controla mediante la medición de los alargamientos de los cables. Incluso se ha procedido a simular también los posibles errores en el replanteo de los anclajes de los cables.

Una vez validado este procedimiento se ha procedido a aplicarlo sobre distintas configuraciones de puentes atirantados. En concreto se ha partido de una estructura real consistente en un puente atirantado 91 + 85 m de luz, con tablero de hormigón, con pilono central único y construido mediante el procedimiento de ejecución por dovelas mediante carros de avance desde el pilono central.

De esta primera estructura se calcularon los resultados teóricos, tanto en esfuerzos como en deformaciones, que resultarían de un proceso constructivo sin errores y que servirían de referencia al resto de cálculos. A continuación se procedió a aplicar los errores aleatorios debidos a un montaje erróneo comparándose los resultados obtenidos con los teóricos. Estos resultados se han analizado tanto durante las distintas fases del proceso constructivo como durante la fase final de este proceso y durante la situación de servicio del puente con las cargas aplicadas.

Para poder ampliar las conclusiones obtenidas sobre esta primera estructura, se procedió a aplicar este mismo procedimiento sobre una serie de estructuras derivadas la inicial en las que: en primer caso se reducía el número de cables a la mitad, en un segundo caso se ampliaba la luz del tablero al doble de la inicial manteniendo el mismo número de cables y por último se aplicaba a una estructura con un esquema igual al inicial pero con inercia modificada respecto de esa situación.

179. PROCEDIMIENTO PARA LA COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE SOPORTES DE H^ºA^º

PROCEDURE FOR THE FIRE RESISTANCE VERIFICATION OF RC COLUMNS

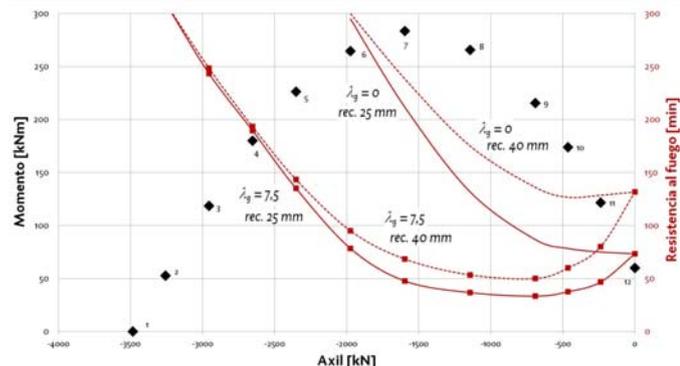
Freddy Ariñez Fernández. Fhecor Ingenieros Consultores. Ingeniero de Proyecto. Dr. Ingeniero Civil. faaf@fhecor.es

Hugo Corres Peiretti. Grupo de Hormigón Estructural. ETSICCP-UPM. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hcp@he-upm.com

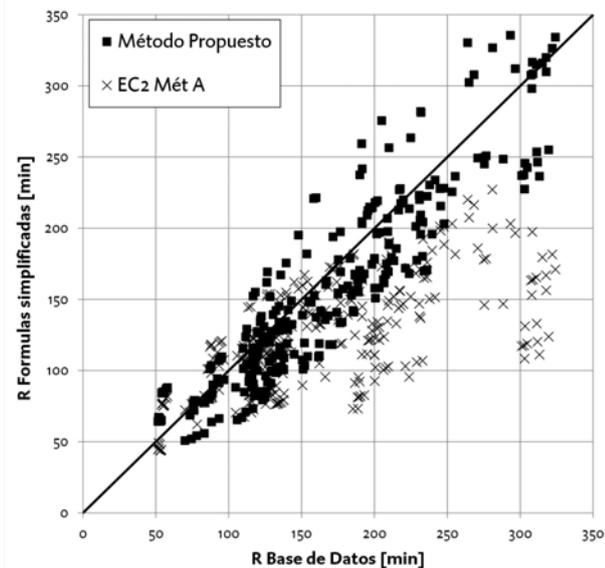
Fuego, pandeo, soportes de hormigón armado, criterios de proyecto.

Fire, buckling, reinforced concrete columns, design criteria.

Este trabajo presenta un nuevo procedimiento para comprobar la capacidad resistente frente al fuego estándar de soportes de hormigón estructural. Se han utilizado los resultados de un análisis paramétrico de estructuras típicas en edificios y un modelo de elementos finitos



Efecto de la interacción de los diferentes parámetros en la resistencia al fuego estándar



Ajuste de los resultados entre la base de datos y el met A EC2 y el método propuesto

para desarrollar una simple fórmula multivariable que produce valores que se adecuan bien a los resultados experimentales.

182. UNA REFLEXIÓN SOBRE LA RESISTENCIA A CORTANTE EN VIGAS DE HORMIGÓN CON SECCIÓN EN T

A REFLECTION ON THE SHEAR STRENGTH IN CONCRETE T-BEAMS

Carlos Rodrigo Ribas González. Universidad de las Islas Baleares. Profesor Contratado Doctor. Dr. Arquitecto. carlos.ribas@uib.es
 Antoni Cladera Bohigas. Universidad de las Islas Baleares. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antoni.cladera@uib.es

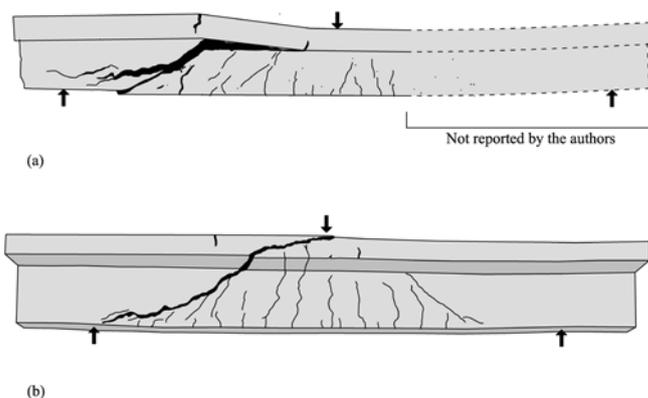
Juan María Rius Gibert. Consell Insular de Mallorca. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joan.rius@uib.es
 Benito Mas Gracia. Autónomo. Graduado de Edificación. benito.mas@gmail.com

Resistencia a cortante, vigas en T, mecanismos resistentes a cortante, alas sección.

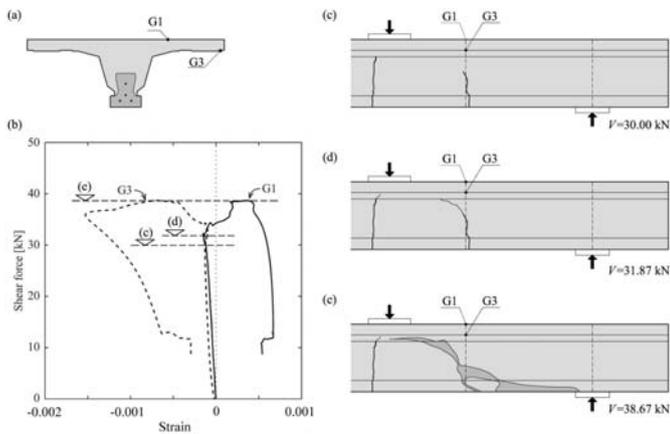
Shear strength, T-beams, shear transfer actions, flange.

La nueva coyuntura económica, iniciada probablemente a raíz de la crisis económica en el año 2007, ha afectado de forma notable a las partidas presupuestarias destinadas a infraestructuras y edificación. Por ello, se deben realizar grandes esfuerzos en alargar la vida útil de la obra civil y parque inmobiliario existente, por lo que es fundamental la correcta evaluación de la resistencia de las estructuras existentes antes de plantear la necesidad de cualquier tipo de refuerzo. En este sentido, la tipología vigas de hormigón con sección en T ha sido muy utilizada desde principios del siglo pasado debido al óptimo comportamiento tanto a flexión como a cortante, si bien la mayor parte de normativas no tienen en cuenta el efecto beneficioso de las alas de la sección en T en la resistencia a cortante.

En esta comunicación se presenta una reflexión, en base a la bibliografía existente y la experiencia propia de los autores, en donde se trata de evaluar y comprender cómo las alas de una viga con sección en T afectan a los mecanismos resistentes a cortante. Para ello se realiza un repaso de los diferentes enfoques al problema, evaluando sus pros y contras. Además en base a las mediciones experimentales y a la evolución de la fisuración en vigas encontradas en la literatura se plantean modelos de comportamiento de las vigas con sección en T.



Fisuras en vigas con sección en T (a) Swamy et al. 1970, (b) Placas 1969



Deformaciones en las alas. (a) Instrumentación en la viga, (b) Deformaciones, (c-e) fisuración

En esta comunicación se concluye que en referencia a los mecanismos resistentes, el efecto arco es más importante en una viga con sección en T que en una viga con sección rectangular, hasta tal punto que la resistencia a cortante para tipologías que llevan 80 años siendo ejecutadas podría dejar de ser un factor limitante si se evalúan correctamente los mecanismos resistentes y, por ende, la resistencia a cortante de las vigas de hormigón armado con sección en T.

183. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LA DUCTILIDAD EN LA RESISTENCIA A CORTANTE EN VIGAS CONTINUAS DE HORMIGÓN ARMADO

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF DUCTILITY IN SHEAR STRENGTH IN CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS

Pedro Francisco Miguel Sosa. Universidad Politécnica de Valencia. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pmiguel@cst.upv.es

José Luis Bonet Senach. Universidad Politécnica de Valencia. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jlbonet@cst.upv.es

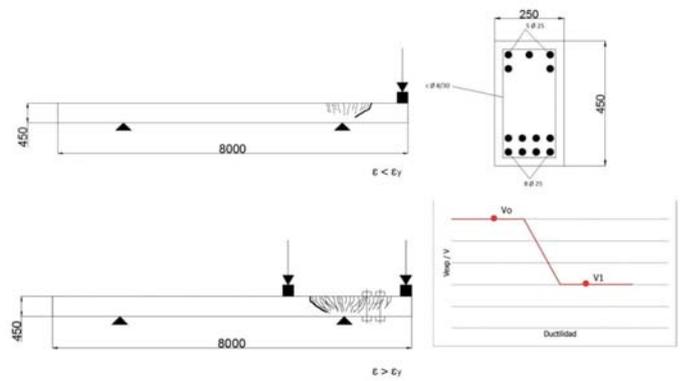
Andrea Monserrat López. Universidad Politécnica de Valencia. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. anmonlo6@cam.upv.es

Hormigón armado, resistencia a cortante, viga continua, rótula plástica, ductilidad.

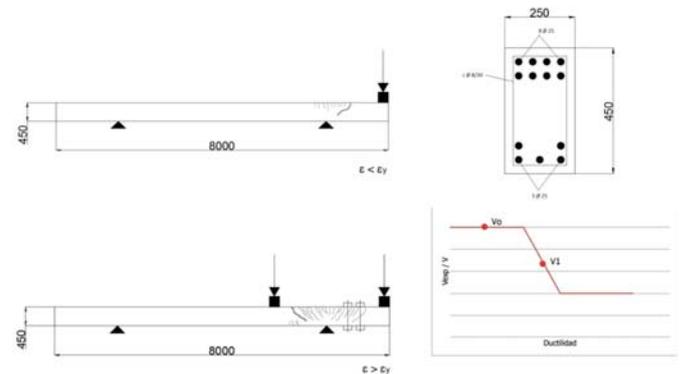
Reinforced concrete, shear strength, continuous beam, plastic hinge, ductility.

Los puentes de hormigón, claves para las infraestructuras de transporte, deben soportar cargas cada vez mayores, a la vez que se deterioran a lo largo de su vida útil. Por ello, durante la última década, algunos países (Canadá, EEUU, RU, Dinamarca y Suiza) han desarrollado normativas para la evaluación de puentes existentes y, en esta misma dirección, el futuro EC2, parte 1-1, contemplará la evaluación de estructuras existentes en su articulado.

De entre los diversos aspectos asociados a una correcta evaluación estructural de puentes existentes, la determinación de su resistencia frente a solicitaciones tangentes es un aspecto esencial que aún no



Esquema de ensayo de rotura a cortante con gran deformación plástica a flexión



Esquema de ensayo de rotura a cortante con reducida deformación plástica a flexión

está adecuadamente resuelto. De hecho, los códigos de diseño reflejan la complejidad de la temática. Mientras que códigos como el MC2010 emplean expresiones basadas en la "MCFT" para el cálculo de la resistencia a cortante, otros como el EC2 (04) y el ACI-318 (14) proporcionan expresiones semi-empíricas que resultan excesivamente conservadoras y dispersas.

A pesar de que existen evidencias experimentales de la reducción de la capacidad a resistencia cortante debido a la plastificación de la armadura longitudinal (formación de rótulas plásticas), ninguno de los métodos de cálculo simplificados existentes contemplan de forma rigurosa en su formulación este efecto.

En esta comunicación se presenta un programa experimental que permite estudiar cómo se ve afectada la resistencia a cortante de una viga continua de hormigón armado como consecuencia de la deformación en las rótulas plásticas.

Para conseguir el objetivo planteado, la metodología del ensayo permite producir fallos por cortante escalonados en distintas regiones de la viga. En la misma viga se producen roturas sin y con desarrollo de rótulas plásticas, lo que permite comparar cómo afecta la demanda de ductilidad a la resistencia a cortante. Para conseguir esta tipología de ensayo, las cargas se aplican en distintas etapas: (1) rotura a cortante en rama elástica, (2) formación de rótula plástica, (3) rotura a cortante en rama plástica. La rotura escalonada de la viga se consigue descargando tras cada etapa de aplicación de carga y realizando una reparación de la zona afectada. Los resultados de los ensayos permiten relacionar el cortante resistido con la ductilidad en curvaturas.

184. LA EJECUCIÓN DE CONTENCIÓNES Y LA AFECTACIÓN DEL PARQUE URBANO EDIFICADO, SENSIBILIDAD Y DAÑO

URBAN EXCAVATIONS AND THE NEIGHBOURING BUILDINGS AFFECTATION, SENSITIVITY AND DAMAGE

David García Carrera. BIS Structures. Socio Fundador y Director Técnico. Dr. Arquitecto. davidg@bisstructures.com
 Ariadna Grau Llinares. BIS Structures. Ingeniera Júnior. Arquitecta. agrau@bisstructures.com

Excavación urbana, daño, edificios vecinos, movimiento, contención.

Urban excavation, damage, neighboring buildings, movement, diaphragm wall.

El problema de la relación entre los movimientos del terreno y el edificio es una cuestión que se encuentra en continuo desarrollo dentro de nuestro sector.

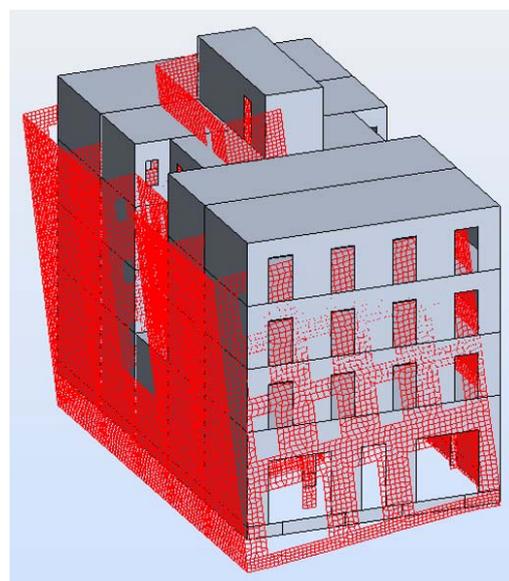
Actualmente la actuación en excavaciones urbanas es cada vez más importante. Los trabajos que se ejecutan tienen hoy en día una mayor dimensión, una mayor complejidad que requiere de más precisión y unas profundidades de excavación que se ven aumentadas día a día.

El aspecto más relevante dentro de las excavaciones urbanas es el de los desplazamientos horizontales de las pantallas y sus consecuentes asentamientos verticales del terreno del trasdós. Estos asentamientos afectan directamente a las estructuras vecinas, con lo que las posibles afectaciones en dichos edificios dependerá de la capacidad que tengan, tanto las estructuras como éstos, para adaptarse al cambio geométrico que se produzca.

La alta sensibilidad de los edificios vecinos a estos movimientos, se une a la falta de medios suficientes para realizar dichas excavaciones y quizá lo más importante, a la falta de criterios de cálculo de los profesionales que intervienen en el proyecto.

Estos factores producen, cada vez con más frecuencia, lesiones inaceptables en el parque urbano edificado, dañando severamente las estructuras de los edificios vecinos e incluso llevando al colapso a otras, como se viene viendo año tras año.

En el presente artículo se demuestra la sensibilidad de los edificios en función de su tipología estructural y edificatoria.



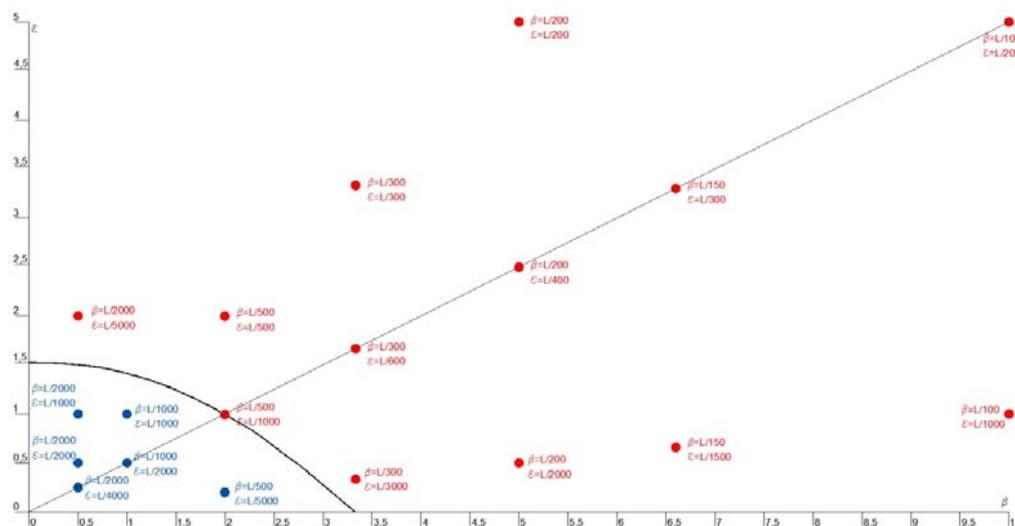
Deformaciones producidas en los edificios vecinos

Para ello se ha realizado un amplio estudio paramétrico de distintos arquetipos considerando la rigidez de la estructura, y la sensibilidad y fragilidad de los materiales de cada uno de ellos, así como las características derivadas de la época de construcción.

Estos modelos se ven inducidos por determinados movimientos en el trasdós de la contención vecina, alcanzando un gran abanico de posibilidades con casi un centenar de modelos distintos.

Aplicándoles movimientos de diferentes magnitudes y en las dos direcciones, horizontales y verticales, se consigue evaluar cómo el comportamiento de las pantallas puede llegar a afectarlos, qué lesiones aparecen y en qué grado de magnitud, así como determinar si las patologías que aparecen son o no aceptables para que el edificio siga cumpliendo con sus funciones.

Por otro lado, el estudio paramétrico ha servido para precisar nuevos criterios de sensibilidad y categorías de daño asociados a las diferentes tipologías edificatorias, creando nuevos diagramas de interacción que divergen de los actuales, quedando éstos un poco desfasados para la construcción actual.



Sensibilidad de los edificios al daño

189. INFLUENCIA DE LOS EDIFICIOS COLINDANTES EN LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE LAS EXCAVACIONES URBANAS

ADJACENT BUILDING INFLUENCE ON GROUND MOVEMENTS DUE TO URBAN EXCAVATIONS

David García Carrera. BIS Structures. Socio Fundador y Director Técnico. Dr. Arquitecto. davidg@bisstructures.com
Marta Solé Arbués. BIS Structures. Ingeniera Sénior. Arquitecta. msole@bisstructures.com

Excavación, pantalla, interacción terreno-edificio, biga superficial, movimientos del terreno.

Excavation, diaphragm wall, ground-building interaction, surface beam, ground movements.

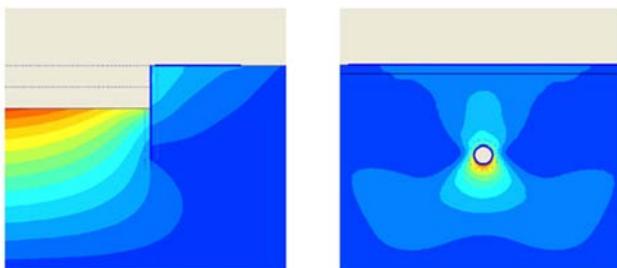
Hoy en día la actuación en excavaciones urbanas es cada vez más importante, con trabajos de mayor complejidad y mayor profundidad. La gran sensibilidad de los edificios vecinos a los movimientos y tensiones producidas en sus cimientos por los desplazamientos del terreno del trasdós de las pantallas, unido con la falta de medios suficientes y criterios de cálculo que sufren los profesionales que deben diseñar estos sistemas de contención producen, cada vez más, lesiones inaceptables en el parque urbano edificado.

Para estudiar los efectos de una excavación, ya sea superficial en el caso de pantallas o profunda en el caso de túneles en la edificación colindante, el proceso que se suele seguir consiste en determinar los movimientos del terreno en una situación de greenfield, en el que la edificación sería un elemento infinitamente flexible de tal forma que sus cimientos seguirían de forma exacta el perfil de asentamientos del terreno y, una vez conocidos estos movimientos, se aplicarían en el edificio para analizar los efectos sobre la estructura del mismo.

Algunos autores como Potts, Addenbrooke y Franzius, o Augarde, Burd y Houlsby han demostrado que este procedimiento es poco preciso y que la influencia de la rigidez de los edificios en el comportamiento del terreno modifica considerablemente los valores de deflexión y de las tensiones horizontales, lo que permite prever de una forma más exacta los efectos sobre los edificios, reduciéndolos de forma muy apreciable.

Estos autores han basado sus estudios en situaciones de excavación de túneles, principalmente por los problemas que sucedieron en los edificios del área afectada durante la ejecución de la Jubilee Line Extension en Londres.

Con esta intervención se pretende demostrar de forma análoga la interacción entre el edificio y el terreno del trasdós en el caso de una excavación. Se trata de verificar a nivel teórico la influencia del edificio colindante a la excavación tanto a nivel de movimientos de la pantalla como de los asentamientos verticales y desplazamientos horizontales del terreno.



Movimientos del terreno en una excavación urbana superficial y en una excavación profunda



Ejemplo de excavación urbana con edificaciones adyacentes

Para ello, se toma como base el artículo publicado el año 1997 por Potts y Addenbrooke "A structure's influence on tunnelling-induced ground movements" y el posterior artículo redactado por Franzius el año 2004 "The influence of building weight on tunnelling-induced ground and building deformation". En ambos artículos se realiza un estudio paramétrico exhaustivo sobre la influencia de la rigidez axial y rigidez a flexión (Potts y Addenbrooke) y del peso del edificio (Franzius).

194. BIM, DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTO E INERCIA TÉRMICA: 3 VÍAS PARA LA CONSOLIDACIÓN DE LAS SOLUCIONES EN PREFABRICADO DE HORMIGÓN

BIM, ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION AND THERMAL INERTIA: THREE WAYS FOR THE CONSOLIDATION OF PRECAST CONCRETE SOLUTIONS

Alejandro López Vidal. ANDECE. Director Técnico. Ingeniero Industrial. alopez@andece.org
Victor Yepes Piqueras. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. vyepesp@cst.upv.es

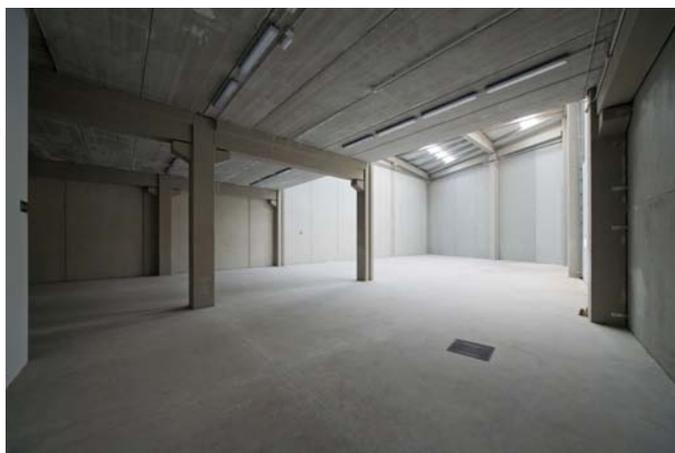
Prefabricado, BIM, DAPs, inercia térmica.

Precast, BIM, EPDs, thermal inertia.

En un contexto social y reglamentario cada vez más exigente, coexisten tres tendencias que se presentan como una inmejorable oportunidad para la consolidación definitiva de las soluciones prefabricadas de hormigón como la variante industrializada de la construcción de



Fachada en prefabricado de hormigón: del proyecto BIM a la realidad



Estructura prefabricada de hormigón

edificios e infraestructuras en hormigón, con todas las ventajas que ello proporciona en términos de rapidez de ejecución, control más exhaustivo en proyecto y obra, calidad, eficiencia y rentabilidad económica.

En primer lugar, la progresiva implantación de la metodología BIM en los proyectos de construcción impondrá una mayor rigurosidad y definición en proyecto de los elementos que conformarán la obra. El espaldarazo definitivo para su impulso vendrá a raíz del compromiso del Ministerio de Fomento, quien a través de su comisión BIM, ha establecido que a partir de diciembre de 2018 los edificios públicos y julio de 2019 las infraestructuras de titularidad pública, se proyecten conforme a la metodología BIM. Para cumplir con ello, ANDECE ha desarrollado una extensa galería de modelos BIM de elementos prefabricados de hormigón, con el objetivo de avanzar hacia la plena integración de esta metodología desde la fase de proyecto.

Por otro lado, la sociedad en general y la construcción en particular, está cambiando hacia un modelo mucho más sostenible que el realizado hasta ahora, y aspectos como la reducción de emisiones al medio ambiente, la eficiencia energética, el uso responsable de los recursos o los conceptos de ciclo de vida y economía circular, están cada vez más presentes en cualquier actividad o negocio. De esta forma, ANDECE ha promovido la publicación del informe UNE 127757:2016 IN "Reglas de categoría de producto para la obtención de declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón" que supone un hito a nivel nacional sobre la creación de una metodología de evaluación ambiental específica para los elementos prefabricados de hormigón.

Y por último, la inercia térmica constituye una de las propiedades inherentes a los materiales masivos, como es el caso del hormigón, que debidamente empleada contribuye a la mejora de la eficiencia energética de los edificios. En este sentido, esta característica deberá suponer un elemento clave para cumplir con el objetivo de los edificios de consumo de energía casi nula a partir de 2020.

196. EL FENÓMENO DE LA SEGREGACIÓN EN HORMIGONES LIGEROS. ÍNDICE DE SEGREGACIÓN Y ESTUDIO ULTRASÓNICO

SEGREGATION PHENOMENON IN LIGHTWEIGHT CONCRETES. SEGREGATION INDEX AND ULTRASONIC STUDY

Afonso Miguel Solak. Universidad de Alicante. Doctorando. Ingeniero Civil. afonosolak@gmail.com

Antonio José Tenza Abril. Universidad de Alicante. Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Civil. ajt.abril@ua.es
Francisco Baeza Brotons. Universidad de Alicante. Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero Civil. fbaeza.brotons@ua.es
Avelino Fernández Fanjul. Universidad de Alicante. Colaborador Honorífico. Ingeniero Civil. afjerfan@hotmail.com

Hormigón ligero, segregación, densidad, ultrasonidos, análisis de imagen.

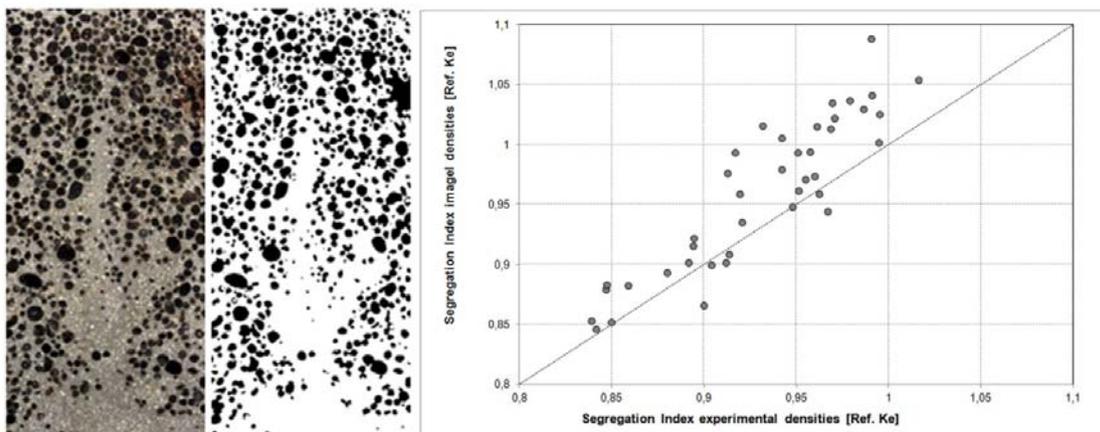
Lightweight concrete, segregation, density, ultrasonics, image analysis.

Los hormigones ligeros permiten una mayor flexibilidad en el diseño de estructuras y un ahorro de costes ya que se pueden disminuir de forma considerable las cargas muertas, costes de cimentación, etc. Además, mejora la eficiencia energética de los edificios debido a un incremento de la resistencia térmica. Sin embargo, estos hormigones son susceptibles a presentar segregación debido a las diferencias entre las densidades de sus componentes durante el proceso de vibrado. La segregación, a pesar de producirse de forma accidental, provoca una distribución no uniforme de los áridos en la mezcla de hormigón que puede afectar, fuertemente, las características globales consideradas como valores homogéneos durante el diseño. Estos aspectos justifican que se evalúe la segregación utilizando diferentes índices para su cuantificación. El objetivo principal del estudio fue evaluar la segregación de un hormigón ligero, fabricado en laboratorio, provocando su segregación con la aplicación de diferentes tiempos de vibrado interno en probetas cilíndricas (150 mm diámetro y 300 mm altura). Para estimar el índice de segregación del hormigón con cada tiempo de vibración, las probetas de hormigón ligero se seccionaron horizontalmente y se obtuvo la relación existente entre la densidad de la sección superior y la inferior. Así mismo, se procedió a estudiar, mediante la técnica de análisis de imagen, la cantidad de árido en cada una de las secciones del hormigón. Con el fin de estimar la calidad de cada una de las secciones de hormigón se realizaron ensayos ultrasónicos de cada una de las secciones. Los resultados muestran cómo evoluciona el índice de segregación para un hormigón ligero dependiendo del tiempo de vibración obteniéndose los tiempos óptimos cuando la distribución de los áridos es homogénea en la sección de la probeta de hormigón. Además, se puede observar como varía la cantidad de árido ligero en las distintas secciones del hormigón en función del tiempo de segregación. El estudio de velocidad de impulsos ultrasónicos en las distintas secciones también muestra los cambios en la calidad del hormigón debido a este fenómeno. A pesar de encontrar diferencias significativas entre las condiciones de obra y de laboratorio, donde es más sencillo controlar el procedimiento, este estudio preliminar puede ser de gran importancia a la hora de evaluar el fenómeno de la segregación en hormigones tan sensibles como los ligeros a la hora de su fabricación y puesta en obra.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido financiada por la Universidad de Alicante (GRE13-03).



a) Fabricación de las probetas, b) sección vertical: segregación, c) sección horizontal: densidad



Hormigón segregado y su imagen binarizada

200. INFLUENCIA DE LA ABSORCIÓN DE AGUA EN LOS HORMIGONES LIGEROS

INFLUENCE OF WATER ABSORPTION IN LIGHTWEIGHT CONCRETE

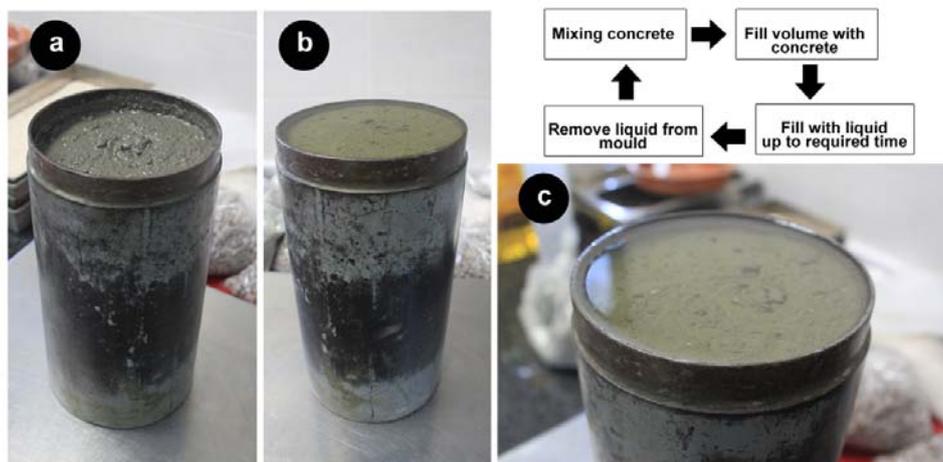
Avelino Fernández Fanjul. Universidad de Alicante. Colaborador Honorífico. Ingeniero Civil. afxfan@hotmail.com
 Antonio José Tenza Abril. Universidad de Alicante. Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Civil. ajt.abril@ua.es
 Francisco Baeza Brotons. Universidad de Alicante. Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero Civil. fbaeza.brotons@ua.es

Absorción acuosa, absorción viscosa, densidad, hormigón ligero, metodología.

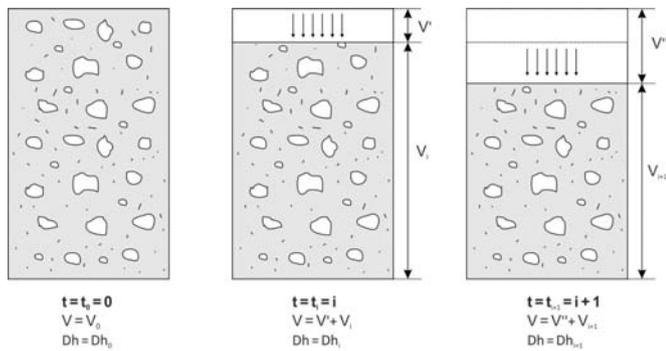
Aqueous absorption, viscous absorption, density, lightweight concrete, methodology.

La absorción de los áridos ligeros es probablemente una de las propiedades más importantes, sobre todo, en aquellos de fuerte porosidad. Esta fuerte absorción influencia la docilidad y las principales propiedades del hormigón endurecido, y es una de las principales dificultades que se presentan en la dosificación de los hormigones

ligeros. La absorción en este tipo de áridos es relativamente rápida en las primeras horas, produciéndose una parte notable de la misma en los primeros minutos. Cuanto menos contenido en agua tengan los áridos ligeros en el momento de la mezcla mayor será la absorción en el curso de la puesta en obra. La estimación del agua absorbida por los áridos ligeros es todavía uno de los retos más importantes en la producción de los hormigones ligeros estructurales ya que dificulta el control del agua efectiva que afecta al hormigón durante el mezclado. Para tratar de clarificar el problema de la absorción, existe otra forma de enfocar el problema en cuestión. En efecto, la determinación de la absorción de los áridos ligeros se realiza actualmente considerando un medio acuoso lo que conduce a una sobreestimación de la necesidad de agua de amasado que influye directamente en las propiedades físico-mecánicas del hormigón endurecido. Esta sobreestimación se produce como consecuencia, por una parte, de la inclusión de la absorción superficial, o parte de la misma, y por otra parte, por la incertidumbre de su cuantificación debido al procedimiento operatorio. Para ello, proponemos una nueva metodología para la determinación de la densidad de las partículas y de la absorción de agua en áridos ligeros, normales y pesados en un medio acuoso. Sin embargo, la absorción entre el momento de la mezcla y la puesta en obra, se realiza en un medio viscoso. Obviamente, la absorción en un medio viscoso debe ser inferior a la absorción en un medio acuoso. De ahí la necesidad de abordar el problema de dicha absorción mediante una nueva óptica. Para ello, proponemos una novedosa metodología para la



Nueva metodología para determinación de la absorción de agua en medio viscoso



Descenso del volumen de hormigón en el tiempo debido a la absorción del agua de amasado

determinación de la absorción de agua de áridos ligeros en un medio viscoso.

Agradecimientos: esta investigación ha sido financiada por la Universidad de Alicante (GRE13-03).

202. ¿TIENE SENTIDO MANTENER UN DOBLE CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN CON UN CONTROL DE RECEPCIÓN Y UN CONTROL DE PRODUCCIÓN?

DOES IT MAKE SENSE TO MAINTAIN A DOUBLE QUALITY CONTROL OF CONCRETE WITH A CONTROL RECEPTION AND PRODUCTION CONTROL?

Jorge del Pozo Martín. Universidad Politécnica de Cataluña. Doctorando. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jorgedel Pozo@gmail.com

Antonio Aguado de Cea. Universidad Politécnica de Cataluña. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.aguado@upc.edu

Sergio Piarissí Cavalero. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor. Dr. Ingeniero Civil. sergio.piarissí@upc.edu

María Jesús Abellán Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Profesora Asociada. Licenciada en Economía. mjabella@eco.uc3m.es

Hormigón, control de calidad, control de recepción, control de producción.

Concrete, quality control, reception control, production control.

La legislación española obliga en la actualidad a una duplicidad de ensayos en el sistema de control de calidad del hormigón que ha sido cuestionada en los últimos años. Por un lado se tiene que realizar un control de producción por parte del suministrador del hormigón mientras que, por otro lado, las obras deben hacer a su vez un control de recepción de ese mismo hormigón.

En trabajos anteriores el análisis de esta duplicidad fue realizado únicamente a nivel teórico, exponiendo que dicha duplicidad se debía a que originariamente solo se estableció en la normativa española el control de recepción, partiendo del primer documento de la Comisión Permanente de Hormigón del año 1972, documento en el que se basó la normativa técnica española. Las normativas internacionales actuales, como el EUROCÓDIGO, solo obligan a realizar un control de producción, que la normativa española ha incorporado pero sin eliminar el control de recepción, generando así la mencionada duplicidad en el control de calidad.

Esta comunicación analiza dicha cuestión de una forma empírica, mediante el análisis estadístico de los resultados de control de producción (fig. 1) y control de recepción (fig. 2) de un mismo hormigón durante 9 meses, comparando los resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a 28 días de 353 lotes en el control de producción y 2.444 lotes en el control de recepción. El objetivo es comprobar si los resultados demuestran que ambos muestreos provienen de una misma población y son estadísticamente equivalentes entre sí. El análisis estadístico ha consistido en aplicar a los resultados de los ensayos de control de recepción y producción un contraste de igualdad de medias y un contraste de igualdad de medianas para comprobar la hipótesis de que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias y medianas de ambas muestras.

Los análisis indican que las muestras provienen de una misma población lo que implicaría, en efecto, que los resultados de control de producción son estadísticamente asimilables a los arrojados por el de control de recepción. Ello sugiere que se podría estar duplicando de manera innecesaria el control de calidad de un mismo hormigón al aportar el segundo de los controles resultados estadísticamente asimilables a los arrojados por el primero de ellos.

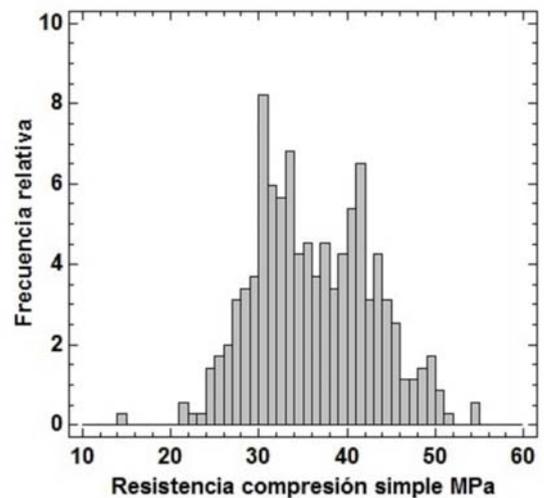


Figura 1. Control de producción frecuencia relativa % - Resistencia a compresión simple 28 días MPa

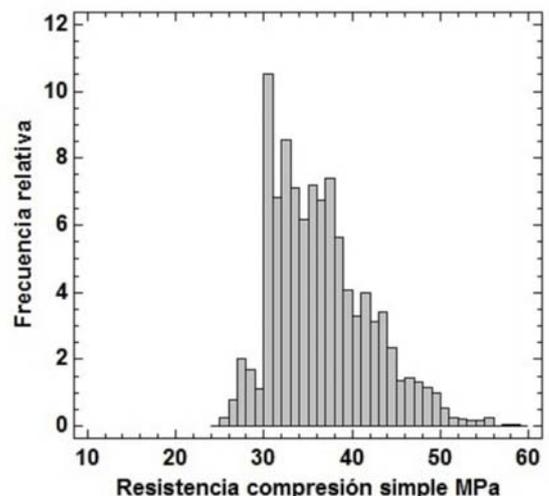


Figura 2. Control de recepción frecuencia relativa % - Resistencia a compresión simple 28 días MPa

205. RECOMENDACIONES PARA LA CONCEPCIÓN DE LOS DETALLES FRENTE A FATIGA EN PUENTES MIXTOS DE CARRETERA

GUIDELINES FOR THE DESIGN OF FATIGUE DETAILS IN COMPOSITE STEEL AND CONCRETE BOX GIRDER ROAD BRIDGES

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de aminos, Canales y Puertos. miguel.ortega@ideam.es
 Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. francisco.millanes@ideam.es

Fatiga, soldadura, estructura metálica, cajón mixto, celosía.

Fatigue, welding, steel structure, composite box girder, truss.

Tradicionalmente se han asociado los problemas de fatiga a los puentes metálicos o mixtos de ferrocarril, debido al importante número de ciclos a los que se ven sometidos durante su vida útil con el paso constante de los ejes de los trenes con cargas importantes.

Recientes experiencias han demostrado en España y países de nuestro entorno que, si no se presta atención a la concepción, el proyecto, la ejecución y el control de la ejecución de los detalles en los tableros metálicos o mixtos en puentes de carretera, la fatiga puede llegar a convertirse en un problema para la durabilidad de las estructuras.

En el artículo se hará una descripción de los principales detalles de fatiga más habituales que se dan en puentes con sección cajón mixta o bijácena mixta, en las soluciones más convencionales, remarcando

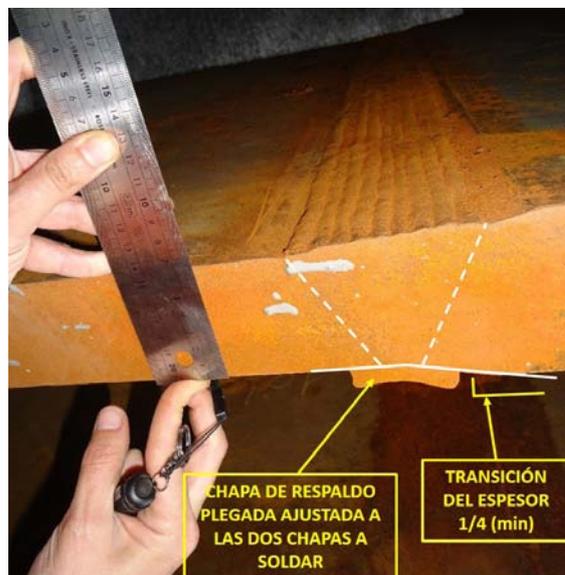


Figura 1. Detalle de soldadura a tope con chapa de respaldo

aquellos puntos que son más susceptibles de condicionar frente a fatiga. En cada caso se propondrán los detalles que permitan alcanzar la mayor categoría posible, acorde con el Eurocódigo 3 parte 1-9 (UNE-EN 1993-1-9).

Se analizarán, entre otros, los detalles de empalme de chapas a tope mediante soldadura con acceso por los dos lados (con categorías de fatiga variables entre 112, 90 y 80), los empalmes con chapa de respal-

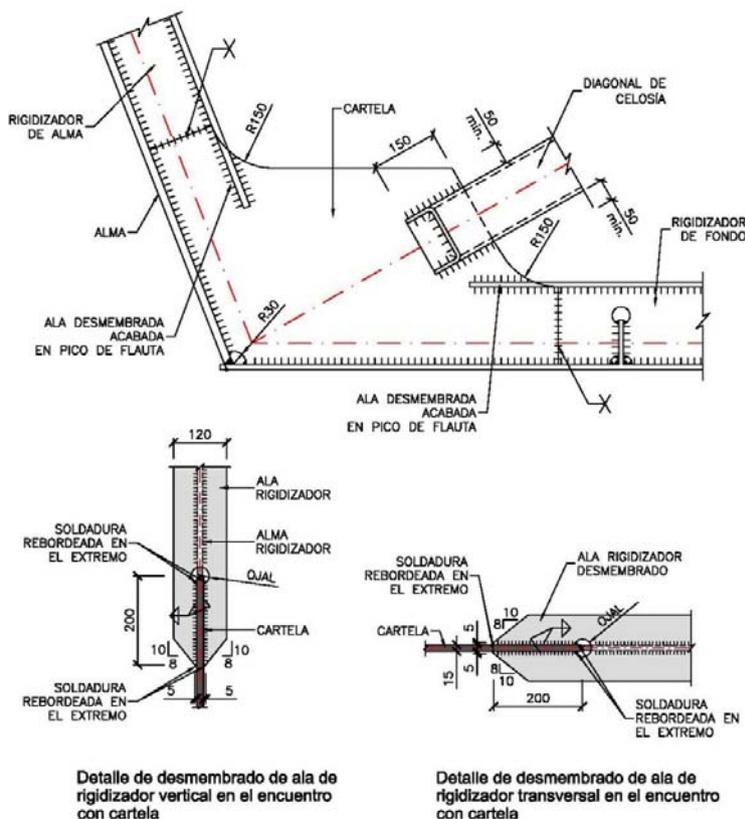


Figura 2. Ejemplo de nudo de una celosía transversal con detalles adecuados frente a fatiga

do (fig. 1), con categoría 71, exponiendo la problemática que el empleo de la chapa de respaldo puede llegar a generar en el caso de que su ajuste no sea el adecuado, y se expondrá con detalle la problemática de las soldaduras ejecutadas por un solo lado sin chapa de respaldo.

Así mismo se analizarán los detalles más habituales de rigidizadores transversales y longitudinales, así como los detalles específicos que se generan en las celosías transversales (fig. 2), con sus detalles e implicaciones frente a la fatiga.

207. MATERIALES DE BASE CEMENTO CON TiO₂: PROPIEDADES DE LA MATRIZ SEGÚN LA EFICACIA FOTOCATALÍTICA Y SU IMPLEMENTACIÓN A ESCALA REAL

TiO₂ CEMENT BASED MATERIALS: INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF THE MATRIX ON THE PHOTOCATALYTIC EFFICIENCY AND REAL SCALE IMPLEMENTATION

Eva Jiménez Relinque. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Contratada Predoctoral. Licenciada en Ciencias Ambientales. eva.jimenez@csic.es
 Ángel Castillo Talavera. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Científico Titular. Vicedirector IETcc. Dr. Ingeniero de Caminos. acastillo@ietcc.csic.es
 Marta Castellote Armero. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Investigador. Directora IETcc. Dra. Ciencias Químicas. martaca@ietcc.csic.es

Fotocatálisis, eficiencia, cemento, rugosidad, microestructura.

Photocatalysis, efficiency, cement, roughness, microstructure.

La necesidad de un ambiente más limpio lleva a pensar en la necesidad de un uso eco-compatible de los materiales de construcción. En este campo, la fotoquímica aplicada mediante la incorporación de nanocompuestos con características fotocatalíticas a los materiales de construcción, puede ser una solución interesante. La fotocatálisis es una tecnología basada en la absorción de energía radiante por un semiconductor, principalmente TiO₂, que actúa como fotocatalizador. Al aprovechar la energía lumínica, el catalizador induce la formación de especies altamente oxidantes que pueden reaccionar con las sustancias orgánicas e inorgánicas adsorbidas en su superficie, degradándolas o mineralizándolas por completo. La inclusión del TiO₂ en los materiales de construcción ha permitido obtener materiales con propiedades

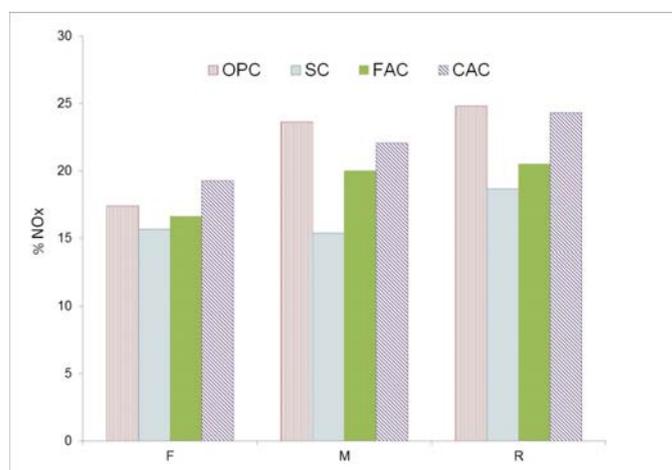


Figura 2. Degradación de NOx en función de diferentes aglutinantes

descontaminantes, auto-limpiantes y auto-desinfectantes. Sin embargo, hay algunas variables de estos materiales cuya influencia no se ha estudiado a fondo. Durante el proceso de fabricación de materiales de construcción fotocatalíticos, se pueden utilizar diferentes tipos de cemento y aglutinantes. Estos materiales pueden causar modificaciones significativas en las propiedades redox o capacidades fotoabsorción, que pueden influir de manera significativa en el comportamiento fotocatalítico. Por otro lado, es necesario conocer la influencia del acabado de la superficie del mortero cuando se utilizan estos productos en situaciones reales.

Teniendo en cuenta esta necesidad de estudio, el efecto de la adición de TiO₂ y la influencia del tipo de aglutinante, rugosidad de la superficie y micro/macro-estructura en la foto-actividad ha sido evaluado en morteros con cuatro tipos de cements y tres rugosidades. La eficiencia fotocatalítica en función de la composición de la mezcla fue evaluada en función de la degradación de NOx (fig. 1) y la auto-limpieza con las tintas azul de metileno y rodamina b (fig. 2). Estas diferencias se han atribuido al potencial redox de la fase acuosa de la red de poros y a las energías de fotoabsorción de los componentes de la matriz de cemento. En cuanto a la rugosidad y la estructura, se encontró que la superficie activa disponible es un parámetro necesario para evaluar la eficacia fotocatalítica. Adicionalmente, al aplicar esta tecnología a escala real, se ha observado que es complicado el monitorizar el sistema desde un punto de vista global y evaluar su funcionamiento. Para resolver esto, los autores desarrollan el

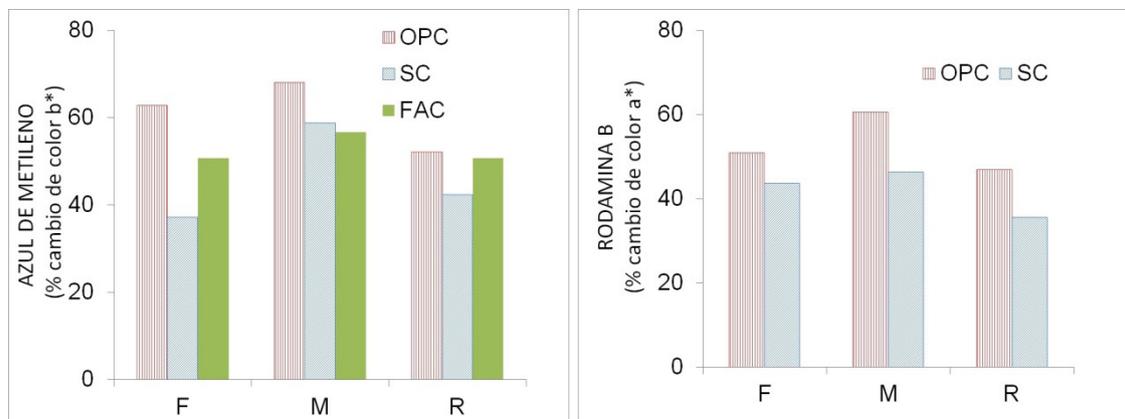


Figura 1. Degradación de Rodamina B y azul de metileno en función de diferentes aglutinantes

proyecto LIFE "Sustainability of photocatalytic technologies on urban pavements: From laboratory tests to in field compliance criteria", LIFE-PHOTOSCALING, cuyos resultados preliminares se presentarán en este artículo.

222. RECOMENDACIONES PARA LA CONCEPCIÓN DE LOS DETALLES FRENTE A FATIGA EN LOSAS ORTÓTROPAS DE CARRETERA

GUIDELINES FOR THE DESIGN OF FATIGUE DETAILS IN ORTHOTROPIC ROAD DECKS

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. miguel.ortega@ideam.es
Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. francisco.millanes@ideam.es

Fatiga, soldadura, estructura metálica, bñjácena mixta, conexión.

Fatigue, welding, steel structure, composite twin girder, connection.

Los tableros con losa ortótropa no suelen ser demasiado habituales en puentes de carretera ya que presentan una serie de inconvenientes frente a las soluciones clásicas mixtas con losa superior de hormigón:

- La losa ortótropa representa una cuantía importante de acero estructural, que tiene un coste relativo más elevado que la losa de hormigón armada conectada al tablero metálico (cajón o vigas).
- El acabado superficial de la losa ortótropa apenas permite ajustar la rasante y puede presentar ciertas deformaciones en la chapa superior del tablero inducidas por las soldaduras de los rigidizadores longitudinales y transversales. Este tipo de tableros además tiene normalmente espesores de pavimento muy reducidos y la regularidad del acabado de la chapa ortótropa superior puede llegar a afectar a la geometría de la superficie de la capa final de rodadura.

En general, las losas ortótropas se emplean en soluciones en las que estrictamente es necesario reducir mucho el peso propio de la estructura, como suele ser el caso de tableros de puentes levadizos, o basculantes, empleados habitualmente en puentes, o en tableros de puentes atirantados o colgantes con grandes luces que requieran reducir las cargas permanentes.

Las losas ortótropas más habituales son las que presentan rigidizadores longitudinales cerrados con forma de bulbo u omega (fig. 1).

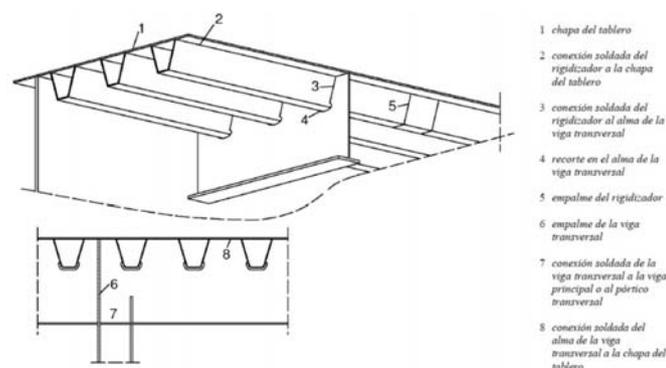


Figura 1. Detalles de fatiga en lasas ortótropas con rigidizadores longitudinales cerrados

Este tipo de tableros presenta unas particularidades frente a la respuesta a fatiga que condiciona la concepción, el proyecto, la ejecución y el control de la ejecución de sus detalles, y es en esta tipología donde se han detectado más patologías de fatiga con el progreso de fisuras por el paso repetitivo de los ejes de carga de los vehículos pesados.

En el artículo se describirán con detalle las particularidades de esta tipología, con recomendaciones para evitar problemas de fatiga, así como los puntos críticos de cruce de rigidizadores longitudinales y transversales, los detalles y precauciones que hay que adoptar a la hora de realizar el empalme de bulbos, junto con sus soldaduras a la chapa de piso.

223. DEFORMACIONES DIFERIDAS EN VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADAS CON LAMINADOS NSM CFRP

TIME-DEPENDENT DEFORMATIONS OF NSM CFRP STRENGTHENED RC BEAMS

Mohamed A. Moawad. Universitat de Girona. Investigador en formación. Ingeniero Civil. mohamed.moawad@udg.edu
Lluís Torres Llinás. Universitat de Girona. Profesor Titular. Dr. Ingeniero Industrial. lluis.torres@udg.edu
Cristina Barris Peña. Universitat de Girona. Profesora Lectora. Dra. Ingeniera Industrial. cristina.barris@udg.edu
Marta Baena Muñoz. Universitat de Girona. Profesora Lectora. Dra. Ingeniera Industrial. marta.baena@udg.edu
Mohamed R. Emara. Universitat de Girona. Investigador en formación. Ingeniero Civil. mohamed.emara@udg.edu
Ricardo Perera Velamazán. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Minas. ricardo.perera@upm.es

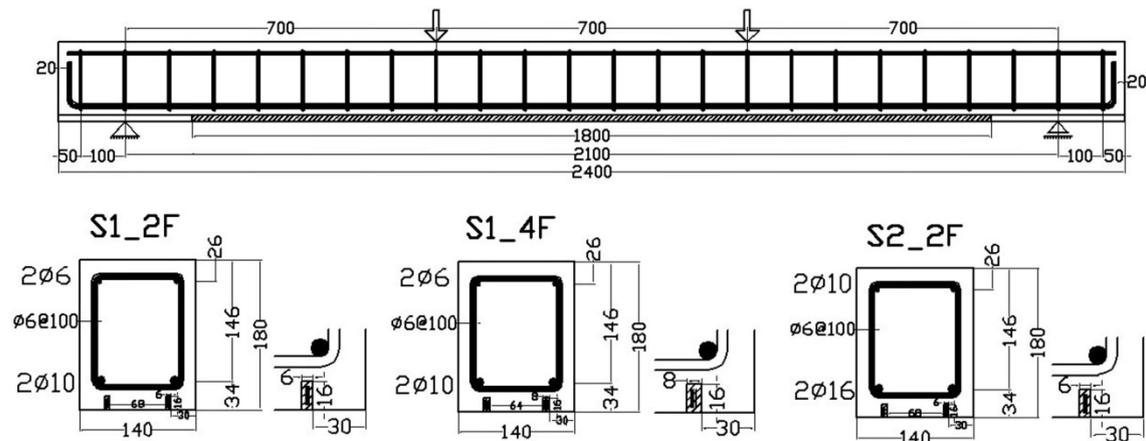
CFRP, flechas, comportamiento a flexión, NSM, carga mantenida.

CFRP, deflection, flexural behaviour, NSM, sustained load.

El uso de materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras (Fibre Reinforced Polymer, FRP) insertados en el recubrimiento de hormigón (Near-Surface Mounted, NSM) ha demostrado ser una interesante opción para el refuerzo de estructuras de hormigón armado. Dicha metodología consiste en insertar y adherir el refuerzo de FRP (laminado o barra) en una ranura realizada en el recubrimiento de hormigón.

A pesar del creciente número de estudios sobre el comportamiento instantáneo a flexión de estructuras reforzadas con NSM FRP, son muy pocos los trabajos relacionados con el comportamiento a largo plazo de dichas estructuras. Los efectos de las propiedades diferidas de los materiales, así como los derivados del sistema de refuerzo bajo diferentes condiciones, pueden afectar a la capacidad portante y adherente del conjunto con el tiempo, causando un incremento de deformación así como una redistribución de esfuerzos.

En esta comunicación se estudia el comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado reforzadas con laminados de carbono (CFRP), instalados con la técnica NSM, mediante una campaña experimental con aplicación de carga mantenida en el tiempo. El programa consistió en ensayar diez vigas a flexión en cuatro puntos, algunas de ellas sin refuerzo y otras reforzadas mediante NSM FRP. Cinco vigas se ensayaron para evaluar el comportamiento instantáneo hasta rotura, y otras cinco se sometieron inicialmente a carga de servicio y posteriormente a carga mantenida para estudiar los efectos diferidos.



Detalles del armado y refuerzo de las vigas



Disposición del ensayo con carga mantenida

Los dos parámetros estudiados fueron el área de refuerzo CFRP (dos y cuatro laminados) y la cuantía de acero a tracción (0,77% y 1,97%), para evaluar el efecto de la rigidez del refuerzo CFRP y de la armadura interna en el comportamiento diferido. La relación entre la armadura de acero a tracción y compresión se mantuvo constante en todas las vigas para eliminar su efecto en el comportamiento diferido. Las propiedades instantáneas y diferidas de los materiales se caracterizaron mediante ensayos normalizados.

En la comunicación se presentan y discuten los resultados a largo plazo referentes a la evolución de las flechas, deformaciones en la sección central y deformaciones en el refuerzo de CFRP. Los resultados reflejan los efectos de los diferentes parámetros estudiados en el comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado reforzadas con NSM CFRP.

228. FLUENCIA DE UN ADHESIVO EPOXI PARA EL REFUERZO DE VIGAS DE HORMIGÓN CON NSM FRP SOMETIDO A DISTINTAS CONDICIONES AMBIENTALES

CREEP OF AN EPOXY ADHESIVE FOR NSM FRP STRENGTHENING OF RC BEAMS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Mohamed R. Emara. Universitat de Girona. Investigador en formación. Ingeniero Civil. mohamed.emara@udg.edu

Lluís Torres Llinás. Universitat de Girona. Profesor Titular. Dr. Ingeniero Industrial. lluís.torres@udg.edu
 Marta Baena Muñoz. Universitat de Girona. Profesora Lectora. Dra. Ingeniera Industrial. marta.baena@udg.edu
 Cristina Barris Peña. Universitat de Girona. Profesora Lectora. Dra. Ingeniera Industrial. cristina.barris@udg.edu
 Mohamed A. Moawad. Universitat de Girona. Investigador en formación. Ingeniero Civil. mohamed.moawad@udg.edu
 Enrique Sevillano Bravo. Universidad Politécnica de Madrid. Investigador. Dr. Ingeniero Industrial. enrique.sevillano@upm.es

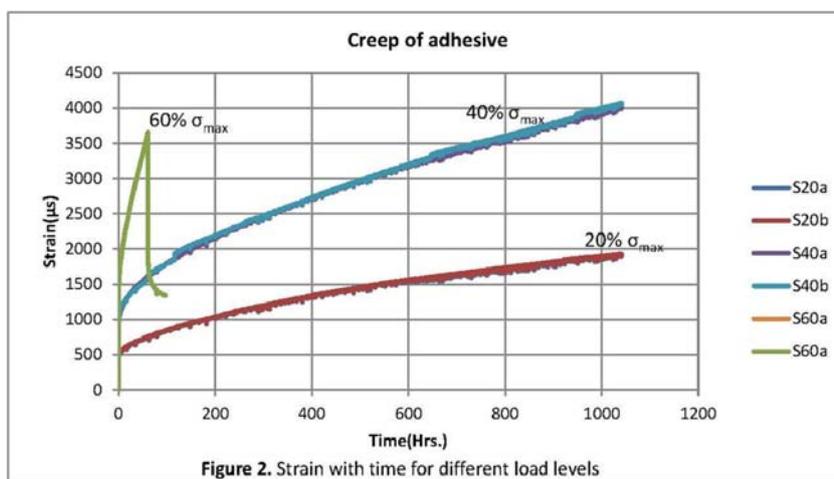
NSM, FRP, fluencia, epoxi, condiciones ambientales.

NSM, FRP, creep, epoxy, environmental conditions.

En las últimas décadas se ha generalizado el uso de polímeros reforzados con fibras (en inglés Fibre Reinforced Polymers, FRP) para el refuerzo de estructuras de hormigón armado. De entre las metodologías de refuerzo existentes, destacan la técnica de refuerzos insertados en el recubrimiento (en inglés Near Surface Mounted, NSM) y la de los refuerzos adheridos exteriormente (en inglés Externally Bonded, EB), en las que se utiliza un adhesivo estructural encargado de transferir las cargas entre hormigón y refuerzo FRP.



Ensayo de fluencia



Deformación unitaria en función del tiempo para distintos niveles de carga

A pesar de su importancia, son pocos los estudios existentes sobre el efecto de la temperatura y la humedad en la fluencia de estos adhesivos estructurales. En esta comunicación se presenta un estudio experimental sobre la fluencia de un adhesivo estructural, tipo epoxi, bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad. Este estudio se enmarca en un proyecto más amplio sobre el comportamiento de estructuras reforzadas con FRP mediante la técnica NSM.

Para el estudio experimental, se han llevado a cabo ensayos a tracción pura con carga mantenida dentro de una cámara climática, combinando dos temperaturas y humedades, así como diferentes niveles de carga mantenida. Se han realizado ensayos de tracción y de análisis dinamomecánico (en inglés Dynamic Mechanical Analysis, DMA) para obtener la resistencia y temperatura de transición vítrea del adhesivo. Como resultado de los ensayos se registró la evolución de las deformaciones en función del tiempo, mostrando que la fluencia de los adhesivos se ve claramente afectada por las condiciones de temperatura y humedad, que puede tener una influencia importante en el comportamiento del sistema reforzado.

231. MEDIDA DE LA HUMEDAD EN TABLEROS DE PUENTES EXISTENTES

MEASUREMENT OF MOISTURE IN EXISTING DECKS BRIDGES

Emilio Criado Moran. Ministerio de Fomento. Jefe de Sección. Ingeniero de Materiales. jecriado@fomento.es

Sensores, puente, humedad.

Sensors, bridge, moisture.

El valor de humedad relativa en el interior de una masa de hormigón en un elemento estructural es uno de los factores más importantes en el inicio y progresión de algunas patologías. La corrosión, la difusión de cloruros o el avance del frente de carbonatación se ven influenciados por la presencia de agua capilar en el hormigón.

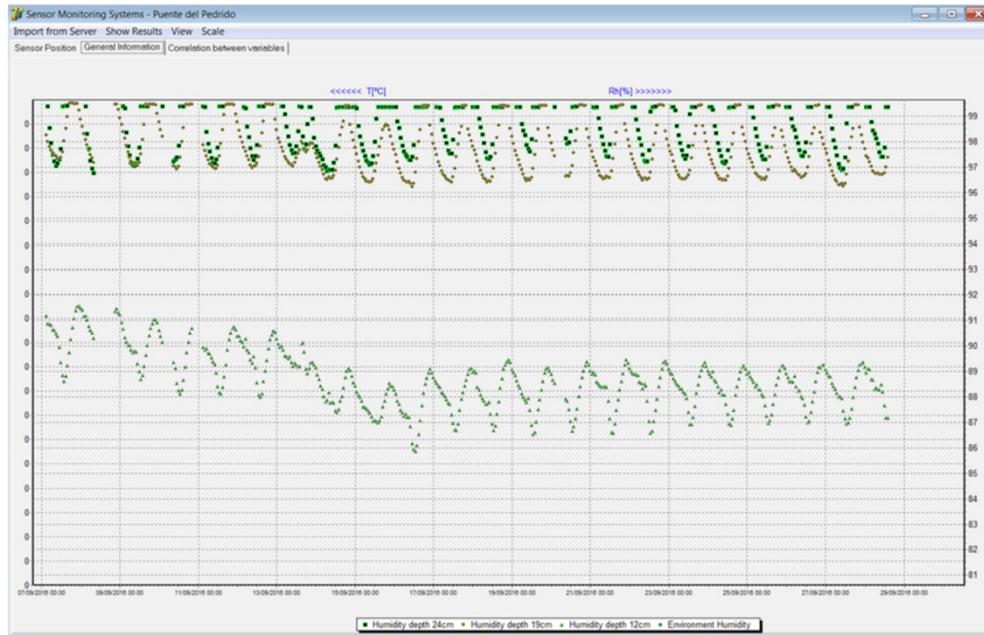
A pesar de ello en la bibliografía apenas se encuentran datos sobre el contenido de humedad del hormigón en estructuras en servicio.

La aparición de una patología tipo árido álcali, muy ligada a la existencia de altos grados de humedad como los existentes en presas, en una losa de un paso superior en un ambiente seco plantea la necesidad de estudiar el grado de humedad existente en esa losa y su evolución a lo largo del tiempo.

Para ello se instaló en la estructura un sistema desarrollado por el instituto Eduardo Torroja constituido por tres sensores vasiala de humedad relativa y temperatura dentro de la losa de hormigón, una estación meteorológica para medir la humedad relativa y temperatura exterior y una mota de transmisión.



Sensores instalados en el tablero



Evolución de la humedad relativa a diferentes profundidades

Los tres sensores se colocaron en el interior de la losa en tres taladros que se realizaron a profundidades de 12, 19 y 24 cm de profundidad. Una vez colocado el sensor dentro del orificio se cierra con una junta tórica que permite que se alcance el equilibrio en la HR del orificio con la que existe en el hormigón.

Todos los datos recogidos por estos sensores junto con los de la estación meteorológica exterior son recogidos y enviados por una mota a un servidor donde se almacenan y se analizan mediante una aplicación informática.

Estos sensores se instalaron en mayo de 2016 y de los datos obtenidos hasta la fecha se puede observar que en el momento de instalar los sensores la HR en el interior de la losa era próxima al 100% en todas las profundidades. Con la llegada del verano y la disminución de las precipitaciones y la humedad relativa exterior se ha producido una disminución de la humedad relativa en el interior de la losa pero muy pequeña porque los sensores situados a 19 y 24 cm están entre el 97 y 99% de humedad relativa y el más exterior está entre el 86% y el 90%.

233. SIMULACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE PUENTES ATIRANTADOS DE HORMIGÓN

SIMULATION OF THE CONSTRUCTION PROCESS OF CONCRETE CABLE-STAYED BRIDGES

José Antonio Lozano Galant. Universidad de Castilla-La Mancha.

Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joseantonio.lozano@uclm.es

José Turmo Coderque. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor

Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

jose.turmo@upc.edu

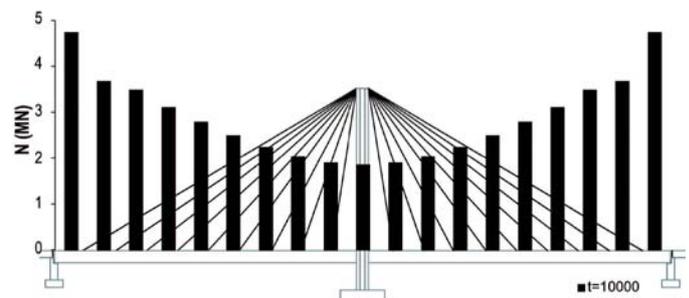
Puentes atirantados, simulación, apoyos provisionales, fluencia, retracción.

Cable-stayed bridges, simulation, temporary supports, creep, shrinkage.

Durante la construcción de los puentes de hormigón, los fenómenos diferidos, tales como la fluencia y la retracción, pueden afectar significativamente la geometría y los esfuerzos de este tipo de estructuras. De hecho, estos fenómenos modificarán la fuerza del tesado de los tirantes en fase de servicio. Para compensar estas pérdidas pueden ser necesarias operaciones de retesado, con el consiguiente incremento del coste de explotación.

En la literatura se han presentado un gran número de métodos para simular el proceso constructivo de los puentes atirantados. Todos estos métodos suelen asegurar que no se exceden los esfuerzos ni las deformaciones admisibles en los diferentes elementos. Sin embargo, algunos de estos métodos, concretamente aquellos basados en una simulación "hacia atrás", no permiten incluir directamente los efectos de la retracción ni la fluencia. Para recrear los efectos de estos fenómenos diferidos se suele utilizar una simulación "hacia delante". El principal problema de esta simulación es que tradicionalmente incluye complejos procesos iterativos que incrementan el coste computacional.

Para resolver estos problemas, en este artículo se propone un algoritmo, Forward-Direct Algorithm, que permite simular el proceso constructivo de los puentes atirantados de hormigón incluyendo los fenómenos de retracción y fluencia. La principal ventaja de este método es que permite compensar las pérdidas de los tirantes a lo largo



Fuerzas en los tirantes a los 10.000 días incluyendo los fenómenos diferidos

de la vida útil de la estructura por medio de las operaciones de tesado realizadas durante el proceso constructivo, permitiendo así evitar las operaciones de retesado en servicio. Para ilustrar la simulación de este método, se analiza una estructura basada en un puente real.

234. MODELIZACIÓN DE VIGAS MIXTAS CON INTERACCIÓN IMPERFECTA

MODELING COMPOSITE BEAMS WITH PARTIAL INTERACTION

José Antonio Lozano Galant. Universidad de Castilla-La Mancha. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joseantonio.lozano@uclm.es

Enrique Mirambell Arrizabalaga. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. enrique.mirambell@upc.edu

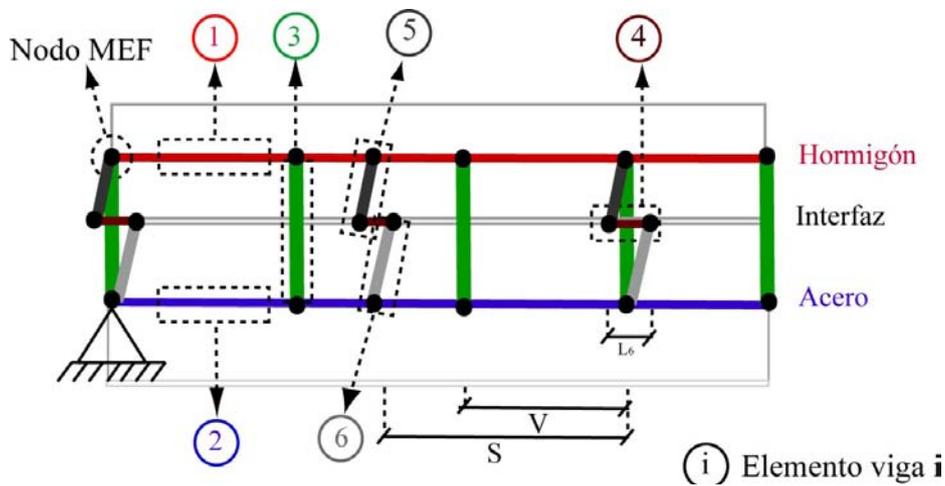
Dong XU. Tongji University. Full Professor. Civil Engineer. xu_dong@tongji.cn

José Turmo Coderque. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jose.turmo@upc.edu

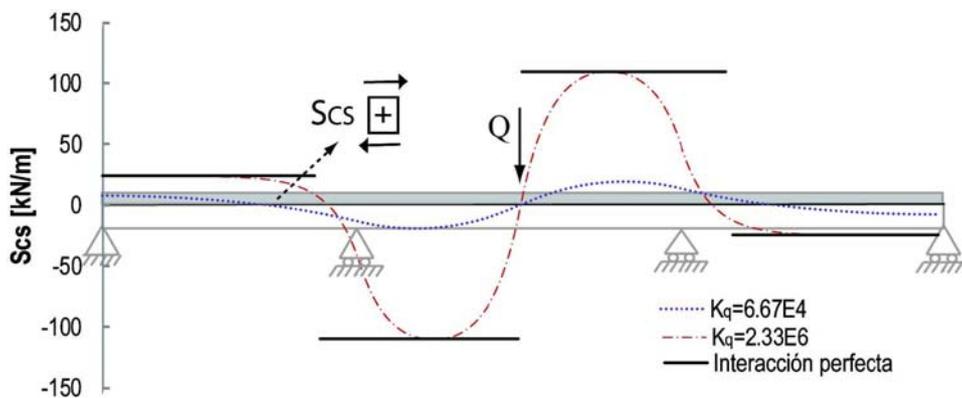
Interacción parcial, modelo de elementos finitos, viga mixta.

Partial Interaction, finite element model, composite beam.

La mayoría de normativa sobre vigas mixtas asume una conexión rígida entre el hormigón y el acero. Este tipo de conexión no produce ningún deslizamiento relativo entre ambos materiales y por tanto se puede aplicar la hipótesis de Navier. Sin embargo, las conexiones rígidas raramente se encuentran en la práctica, dado que la unión entre el hormigón y el acero cuenta con pernos conectores más o menos flexibles. Por este motivo, en estructuras reales siempre aparece un deslizamiento relativo entre ambos materiales. La simulación de este deslizamiento afecta tanto a las deformaciones como a los esfuerzos en el hormigón y el acero. Para simular este fenómeno, se han presentado un gran número de modelos numéricos y analíticos en la literatura. El mayor problema de la mayoría de estos modelos es que sus resultados no permiten un fácil diseño de sus elementos. Para evitar este problema, en este trabajo se propone un nuevo modelo de elementos finitos bidimensional. En este modelo cada uno de los componentes de la viga mixta se modela con elementos tipo viga, lo que facilita la interpretación de los resultados y por tanto su aplicación práctica. Para validar la precisión y eficiencia de este modelo, se presenta la comparación con las ecuaciones analíticas de diferentes casos de carga presentadas en la literatura.



Elementos del modelo de elementos finitos propuesto



Esfuerzos de rasante en la interfaz en función de la rigidez de los pernos conectores

235. APLICACIÓN DE MÉTODOS MATEMÁTICOS A LA IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR STRUCTURAL SYSTEM IDENTIFICATION

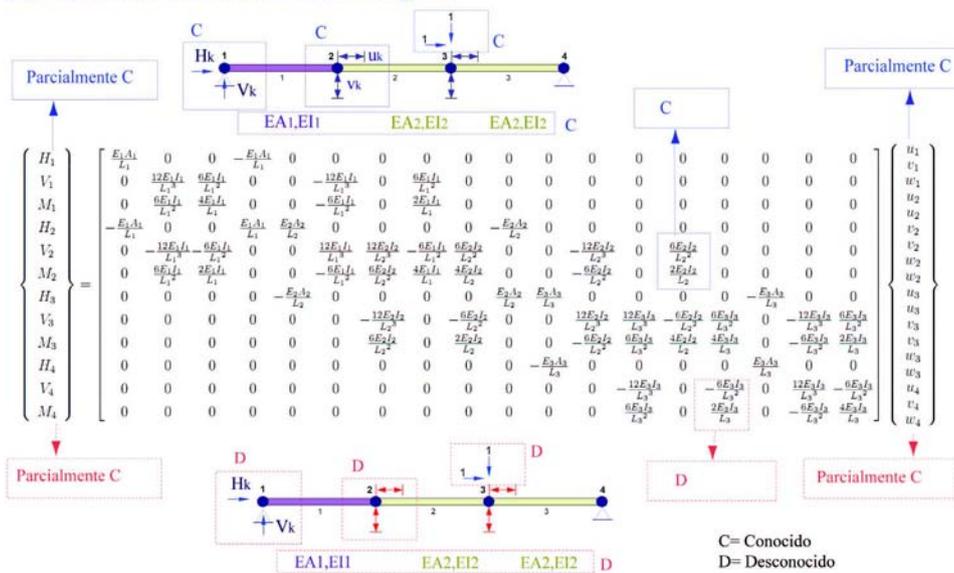
José Antonio Lozano Galant. Universidad de Castilla-La Mancha. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joseantonio.lozano@uclm.es
 María Nogal Macho. Trinity College Dublin. Research Assistant. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. nogalm@tcd.ie
 Enrique Castillo Ron. Universidad de Cantabria. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. enrique.castillo@unican.es
 José Turmo Coderque. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jose.turmo@upc.edu

Identificación de sistemas estructurales, observabilidad, método matemático.

Structural system identification, observability, mathematical method.

Tradicionalmente, el comportamiento de cualquier estructura se suele modelizar mediante modelos sencillos en los que las propiedades mecánicas y geométricas son deterministas. Sin embargo, en la mayoría de estructuras construidas los valores reales y teóricos de estas propiedades raramente coinciden debido a las incertidumbres en las propiedades de los materiales, procesos constructivos, dimensiones de las secciones, daño y estados tensionales. En estos casos es necesario realizar una calibración de los modelos para mejorar su precisión. Esta calibración es el objetivo principal de los métodos de Identificación de Sistemas Estructurales.

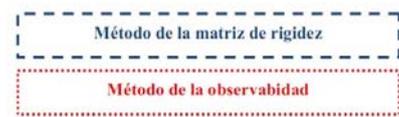
(A) Análisis directo de la Matriz de Rigidez



(B) Análisis Inverso de la Matriz de Rigidez

Comparación entre el enfoque directo e inverso de la matriz de rigidez

$$\begin{aligned}
 0 &= EI_1 w_1 - \frac{3}{8} EI_1 v_2 + \frac{1}{2} EI_1 w_2 \\
 0 &= \frac{1}{4} EA_1 u_2 + \frac{1}{4} EA_2 u_2 - \frac{1}{4} EA_2 u_3 \\
 0 &= -\frac{3}{8} EI_1 w_1 + \frac{3}{16} EI_1 v_2 - \frac{3}{8} EI_1 w_2 + \frac{3}{16} EI_2 v_2 + \frac{3}{8} EI_2 w_2 - \frac{3}{16} EI_2 v_3 + \frac{3}{8} EI_2 w_3 \\
 0 &= \frac{1}{2} EI_1 w_1 - \frac{3}{8} EI_1 v_2 + EI_1 w_2 + \frac{3}{8} EI_2 v_2 + EI_2 w_2 - \frac{3}{8} EI_2 v_3 + \frac{1}{2} EI_2 w_3 \\
 1 &= -\frac{1}{4} EA_2 u_2 + \frac{1}{2} EA_2 u_3 \\
 -1 &= -\frac{3}{16} EI_2 v_2 - \frac{3}{8} EI_2 w_2 + \frac{3}{8} EI_2 v_3 + \frac{3}{8} EI_2 w_4 \\
 0 &= \frac{3}{8} EI_2 v_2 + \frac{1}{2} EI_2 w_2 + 2EI_2 w_3 + \frac{1}{2} EI_2 w_4 \\
 0 &= \frac{3}{8} EI_2 v_3 + \frac{1}{2} EI_2 w_3 + EI_2 w_4 \\
 0 &= -\frac{1}{4} EA_1 u_2 - H_1 \\
 0 &= \frac{3}{8} EI_1 w_1 - \frac{3}{16} EI_1 v_2 + \frac{3}{8} EI_1 w_2 - V_1 \\
 0 &= -\frac{1}{4} EA_2 u_3 - H_4 \\
 0 &= -\frac{3}{16} EI_2 v_3 - \frac{3}{8} EI_2 w_3 - \frac{3}{8} EI_2 w_4 - V_4,
 \end{aligned}$$



Sistema de ecuaciones polinomiales de una viga obtenido mediante técnicas de observabilidad

En este artículo se presenta la aplicación de un método matemático, el método de la observabilidad, para calibrar modelos a partir de la respuesta estática de la estructura. Este método aplica las técnicas de observabilidad para poder resolver el sistema de ecuaciones que aparece cuando se consideran rigideces desconocidas dentro de la matriz de rigidez de la estructura.

237. IDENTIFICACIÓN ESTRUCTURAL NUMÉRICA MEDIANTE TÉCNICAS DE OBSERVABILIDAD

NUMERICAL STRUCTURAL IDENTIFICATION BY OBSERVABILITY TECHNIQUES

José Antonio Lozano Galant. Universidad de Castilla-La Mancha. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joseantonio.lozano@uclm.es

María Nogal Macho. Trinity College Dublin. Research Assistant. Civil Engineer. nogalm@tcd.ie

Lei Jun. Universitat Politècnica de Catalunya. FPI. Civil Engineer. littlex2lei@gmail.com

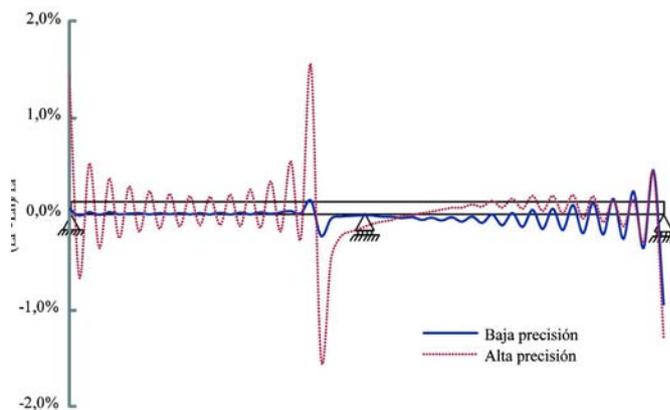
Dong Xu. Tongji University. Full Professor. Civil Engineer. xu_dong@tongji.cn

Gonzalo Ramos Schneider. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. gonzalo.ramos@upc.edu

José Turmo Coderque. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jose.turmo@upc.edu

Identificación de sistemas estructurales, observabilidad, caso de carga estático.

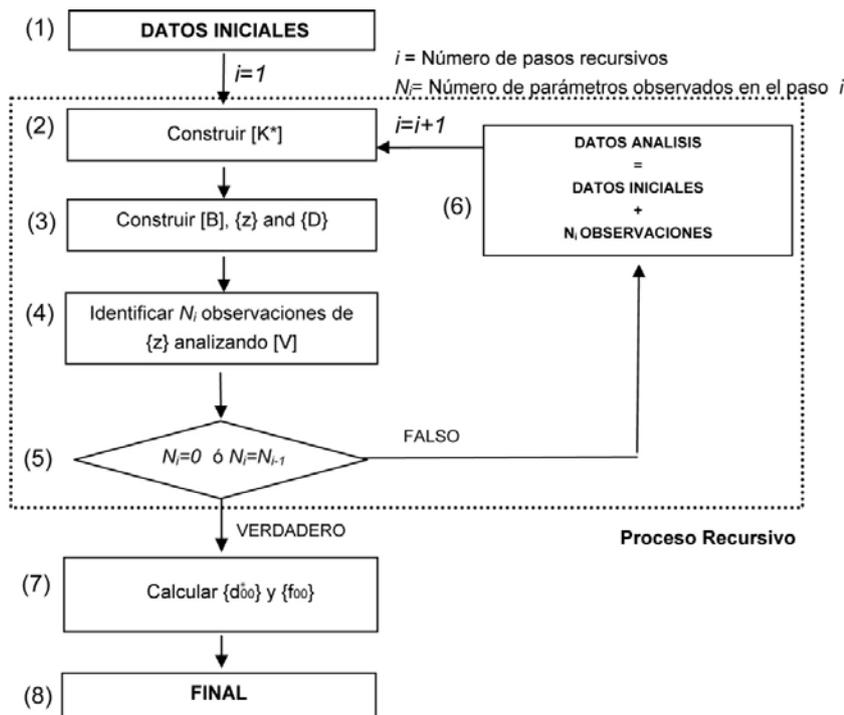
Structural system identification, observability, static loading case.



Estimación de inercias en una viga con diferentes precisiones de las medidas

En la literatura se han presentado las técnicas de observabilidad para la identificación de sistemas estructurales a partir de medidas en ensayos estáticos. Hasta la fecha este método sólo se ha analizado desde un punto de vista simbólico. A pesar de la elegancia de este enfoque, este análisis matemático no se puede aplicar directamente en estructuras reales. Para evitar este problema, en este artículo se propone una nueva técnica de observabilidad que combina dos enfoques: uno simbólico y uno numérico.

Para ilustrar el potencial de esta técnica, se comparan los resultados obtenidos con el método propuesto con los de dos métodos alternativos presentados en la literatura. Esta comparación muestra que, a diferencia de los otros métodos analizados, en las técnicas de observabilidad no son necesarias las mediciones en la estructura sin dañar. Además, el número de medidas requerido para detectar los daños es significativamente menor.



Algoritmo de identificación estructural mediante técnicas de observabilidad

253. REFUERZO DE PILARES CUADRADOS DE HORMIGÓN CON MATERIALES COMPUESTOS. INVESTIGACIÓN SOBRE LA DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL ENCAMISADO

STRENGTHENING OF SQUARE CONCRETE COLUMNS WITH COMPOSITE MATERIALS. INVESTIGATION ON THE JACKET EFFECTIVE ULTIMATE STRAIN

Ana de Diego Villalón. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Dra. Ingeniera de Caminos. adediego@ietcc.csic.es

Ángel Arteaga Iriarte. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Dr. Ingeniero de Caminos. arteaga@ietcc.csic.es

José Pedro Gutiérrez Jiménez. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Dr. Ingeniero de Caminos. jpgutierrez@ietcc.csic.es

Cecilio López Hombrados. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Ingeniero de Caminos. clhombrados@ietcc.csic.es

Jaime Fernández Gómez. UPM. Dr. Ingeniero de Caminos. jaime.fernandez.gomez@upm.es

FRP, refuerzo, pilares, hormigón.

FRP, strengthening, columns, concrete.

Los materiales compuestos, también conocidos como polímeros reforzados con fibras (FRP), se utilizan cada vez más en aplicaciones estructurales debido a sus excelentes propiedades. Una de las aplicaciones más atractivas es el refuerzo de pilares mediante confinamiento para incrementar su resistencia y ductilidad.

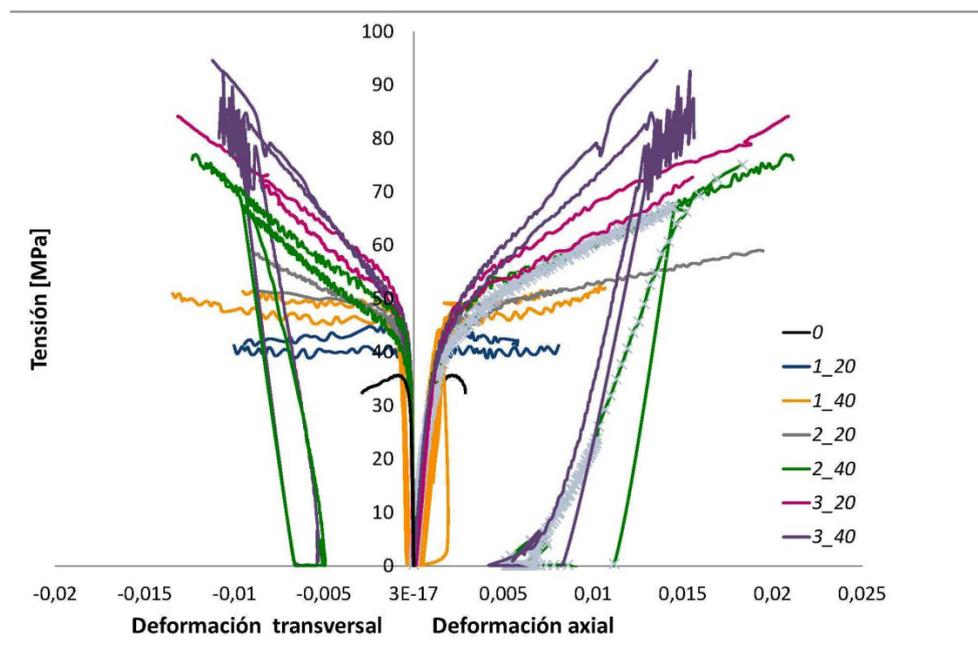
Hasta el momento se han realizado numerosos estudios experimentales en probetas cilíndricas de pequeñas dimensiones confinadas con encamisados de FRP y sometidas a compresión axial, proponiéndose, a partir de estos resultados, varios modelos sobre el hormigón confi-

nado con FRP. Es sabido que el confinamiento de secciones no circulares es menos eficiente. Hay dos parámetros críticos en el ajuste de los modelos: el factor de eficiencia de la deformación (la deformación de rotura de la camisa de FRP es menor que la que se obtiene en ensayos de tracción normalizados) y el efecto de confinamiento en secciones no circulares.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en un programa experimental sobre probetas de sección cuadrada. Las principales conclusiones del estudio son:

- El incremento de resistencia conseguido con el confinamiento es mayor cuanto menor es la resistencia del hormigón sin confinar, aumenta con la cuantía de refuerzo y, para una cuantía dada se incrementa notablemente con el radio de curvatura de las esquinas.
- Aunque una estimación adecuada de la deformación última efectiva del FRP es fundamental para determinar los valores de resistencia y deformación última del hormigón confinado, este es uno de los aspectos peor resueltos por los modelos. El factor de eficiencia de la deformación obtenido en ensayos con hormigones de resistencia media es aproximadamente 0,6, que coincide con el valor adoptado generalmente en las guías de cálculo. Sin embargo, en ensayos con hormigones de resistencia baja se han obtenido valores del coeficiente de eficiencia de 0,3 aproximadamente. Además, se ha detectado que la curvatura de las fibras es una de las causas de la reducción de la deformación última efectiva, lo que tiene especial incidencia en secciones rectangulares.
- Es importante llevar a cabo experimentación a escala real para verificar los valores obtenidos y contrastarlos con los propuestos en las guías de cálculo. Los autores están iniciando un nuevo proyecto de investigación que incluye un programa de ensayos sobre pilares a escala real.

Los trabajos forman parte de los proyectos BIA2013-49103-C2-1-R y BIA2016-80310-P, financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad, y PIE-201460E049 del CSIC. Los autores también agradecen a SIKA el suministro del FRP.



Comportamiento tensión-deformación de las probetas ensayadas



Modo de fallo típico

259. NUEVO MODELO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS

NEW MODEL FOR EVALUATING THE CONTRIBUTION OF STRUCTURES TO SUSTAINABILITY

Fernando Rodríguez García. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A.
 Director de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
 frg@fhecor.es
 Javier Martínez González. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A.
 Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
 jmg@fhecor.es

Sostenibilidad, indicador de sostenibilidad, modelo, estructuras.

Sustainability, sustainability index, model, structures.

Se presenta un nuevo modelo general para la estimación de la contribución de las estructuras a la sostenibilidad.

A partir de la necesidad de considerar estructuras con diferentes tipos de elementos y materiales, se plantea un modelo global que considera una serie de factores de influencia novedosos y que no habían sido tenidos en cuenta por los modelos existentes hasta ahora.

El nuevo modelo se basa en una metodología que tiene en cuenta diferentes tipos de elementos de cualquier material (hormigón, acero, etc.). Para cada tipo de elemento, se identifican y consideran todos los procesos desde la cuna (extracción de materias primas, en su caso) hasta el momento en el que se desee cerrar el análisis (puesta en servicio de la estructura, final de la vida útil o deconstrucción).

Adicionalmente, el modelo integra tanto la contribución de los procesos de fabricación de los materiales básicos (acero, cemento, áridos, etc.) como el de los materiales transformados (hormigón, ferralla, prefabricados, elementos de acero estructural, etc.), además del propio proyecto y la construcción.

Por otra parte, el modelo tiene en cuenta que hay factores que son específicos del producto concreto, pero hay otros que dependen de las características de la organización que lo produzca. Por ello, se definen índices específicos para cuantificar la contribución a la sostenibilidad del agente, entendido éste como la organización encargada de su producción.

Asimismo, se contemplan de forma exhaustiva mediante los correspondientes indicadores, todas las vertientes tradicionales de la sostenibilidad: aspectos medioambientales, económicos y sociales. Más de cien indicadores han sido identificados y desarrollados al objeto de que hacer factible en la práctica la aplicación del modelo.

Finalmente, al objeto de facilitar el uso del modelo, se plantea un posible sistema de certificación que permita la disponibilidad prácticamente inmediata de la información de sostenibilidad para cualquier usuario, propiedad o dirección facultativa.

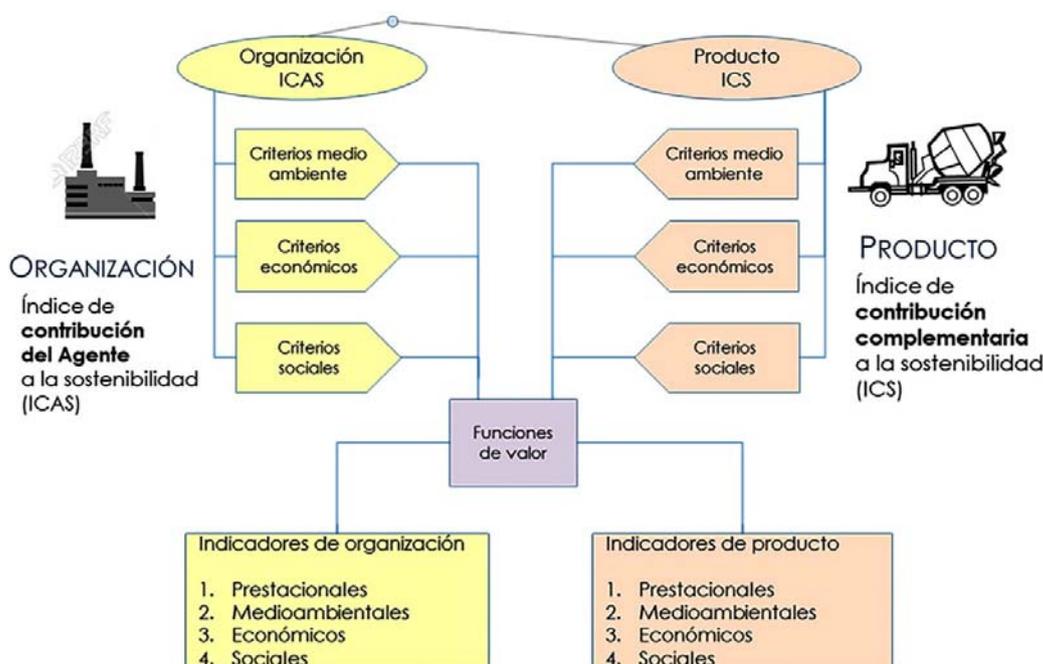


Figura 1. Planteamiento general del modelo

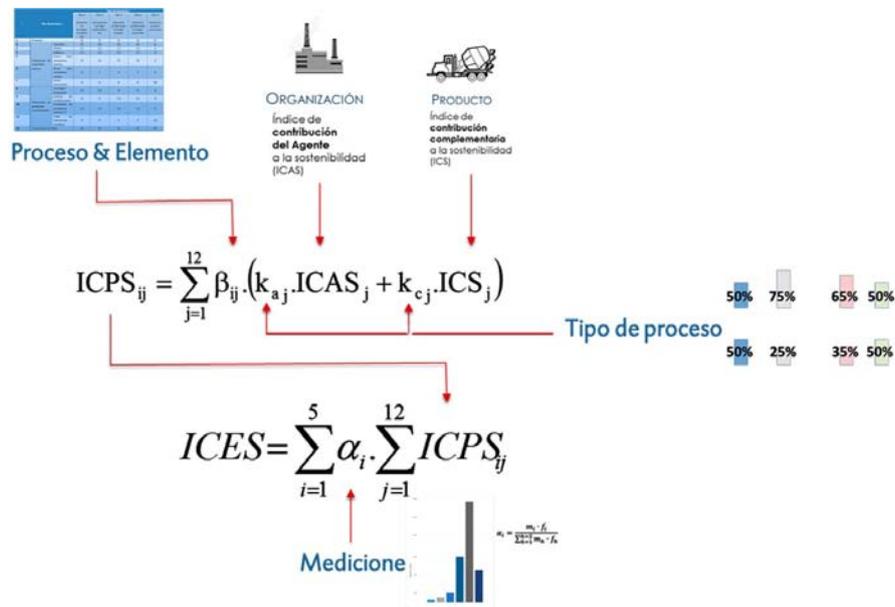


Figura 2. Obtención del índice de contribución a la sostenibilidad

277. ROBUSTEZ ESTRUCTURAL: LA CUALIDAD QUE ECHÓ DE MENOS RIBERA EN 1905

ROBUSTNESS: THE QUALITY THAT RIBERA MISSED IN 1905

Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma. INTEMAC. Jefe Sección Patología. Ingeniero de Caminos. ediazpavon@intemac.es
 Javier León González. ETSI Caminos, Canales y Puertos. Politécnica Madrid. Profesor Titular. Ingeniero de Caminos. jlg@fhcor.com
 Jorge Ley Urzáiz. INTEMAC. Director General. Ingeniero de Caminos. jley@intemac.es

Robustez, tercer depósito, bóvedas, hundimiento.

Robustness, third reservoir, vaults, collapse.

La robustez es una cualidad estructural que se acepta como buena pero que carece de concreción cuantitativa. Sucede algo parecido con

la ductilidad, y es que se supone de implícita satisfacción si se cumplen los requisitos normativos de los códigos modernos. Se entiende que una estructura es robusta cuando el fallo de un determinado componente no genera unas consecuencias desproporcionadas. Por ejemplo, el fallo de uno de los dos cables parabólicos del Golden Gate provocaría una catástrofe. El fallo de una péndola del mismo puente provocaría, sin embargo, daños de alcance limitado. En esta ponencia se trata de reivindicar la necesidad de que el proyectista y el ingeniero que se enfrenta al análisis de una construcción existente, sean conscientes de esta cualidad, que se expresa muy bien a través de los ejemplos.

En la tesis doctoral del primero de los autores se desarrolla el caso, relativamente olvidado, del colapso de la cubierta del 3^{er} Depósito del Canal de Isabel II, hecho terrible que provocó la muerte de 30 personas durante la construcción y dio pie a una polémica extraordinaria y de sorprendentemente bajo rigor técnico. A los efectos de esta ponencia, este episodio es un buen ejemplo de estructura proyectada con ausencia de análisis de robustez. El propio proyectista, el insigne y emprendedor José Eugenio Ribera, era consciente de la gran sensibilidad que tenía la estructura, especialmente durante la fase constructiva, a las asimetrías de cargas, pero no parece que llegase a valorar adecuada-



Vista general del hundimiento



Vista del depósito durante la construcción

mente hasta qué punto la falta de robustez podría desencadenar un fallo súbito de tan funestas consecuencias.

Sorprende también que no se haya detectado hasta ahora, a pesar del gran nivel técnico de los ingenieros de caminos de aquella época, con gran formación en matemáticas, geometría y mecánica, que proyectista y peritos no supieran identificar el modo de fallo asociado al mecanismo cinemático de colapso que se desencadena en bóvedas tan rebajadas apoyadas en pilares de gran altura (además de ser esbeltos), con detalles constructivos, además, no muy afortunados. Añádase que las experiencias previas y las pruebas de carga infundieron una engañosa sensación de validación y seguridad que, como puede verse, estaba infundada.

Valga como ejemplo para los ingenieros de hoy.

282. INFLUENCIA DE LOS DEFECTOS SUPERFICIALES EN LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

INFLUENCE OF SURFACE BLEMISHES IN LIFETIME OF PRECAST CONCRETE GIRDERS

Fernando Rodríguez García. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. frg@fhecor.es

Javier Martínez González. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jmg@fhecor.es

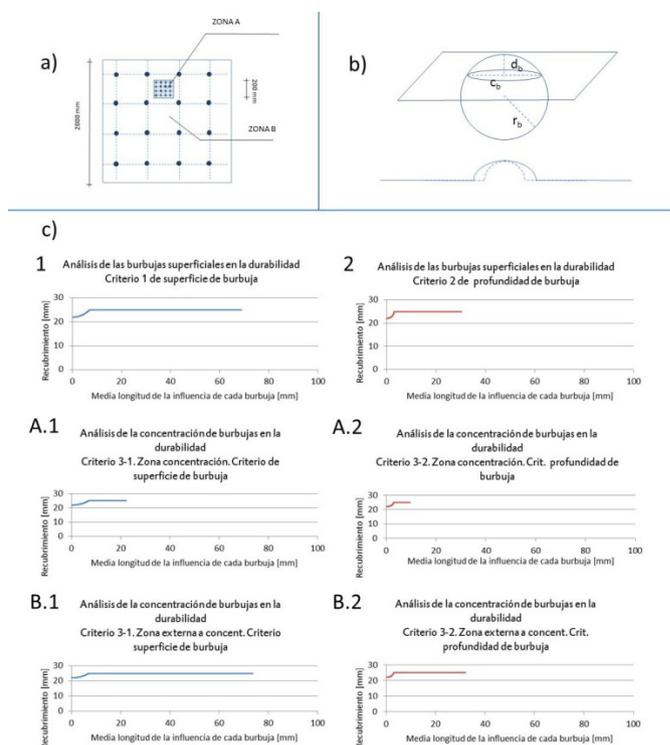
Defectos superficiales, durabilidad, vigas prefabricadas, fiabilidad.

Surface blemishes, durability, precast girders, reliability.

Con motivo de la realización por parte de FHECOR Ingenieros Consultores de varios proyectos de estructuras en el norte de África, se ha



Defecto superficial en viga prefabricada



Modelización geométrica de defectos admisibles en la normativa francesa

estudiado la influencia de algunos defectos superficiales en el hormigón que, si bien suelen considerarse como normales, en algunos casos han provocado que surgieran dudas a algunas propiedades en relación con su posible influencia en ciertos aspectos como, por ejemplo, la vida útil de la referidas vigas.

Esta comunicación presenta el estudio que se llevó a cabo en uno de estos casos en los que se desarrolló una metodología para evaluar el efecto de las burbujas superficiales sobre el recubrimiento y, por consiguiente, sobre la vida útil asociada.

A partir de las clases de acabado definidas en la norma francesa NF P 18-503, se han modelizado geoméricamente los defectos superficiales admisibles y para cada caso, se ha estimado la probabilidad de cumplimiento del estado límite de durabilidad mediante análisis probabilista.

Como resultado, se ha obtenido la sensibilidad expresada en variación del índice de fiabilidad para el estado límite de fisuración del recubrimiento como consecuencia de la corrosión de la armadura.

285. RESPUESTA SÍSMICA DEL COMPLEJO TOKAMAK DE ITER

SEISMIC REPONSE OF THE ITER TOKAMAK COMPLEX

Fernando Rueda Guglieri. ESTEYCO. Director Área Mecánica Estructural. Ingeniero de Caminos. fernando.rueda@esteyco.com
Luis Maqueda Sánchez. ESTEYCO. Responsable Análisis Área Mecánica Estructural. Dr. Ingeniero Industrial. luis.maqueda@esteyco.com
Jorge Olalde Iglesias. ESTEYCO. Ingeniero de Proyecto-Área Mecánica Estructural. Ingeniero Industrial. jorge.olalde@esteyco.com
Luis Moya Guindo. ESTEYCO. Ingeniero de Proyecto-Área Mecánica Estructural. Ingeniero de Caminos. luis.moya@esteyco.com
Didier Combescure. Fusion for Energy. Structural Dynamics Officer. Dr. Ingeniero. Didier.Combescure@f4e.europa.eu

ITER, análisis sísmico, espectro de piso, aislamiento de base.

ITER, seismic analysis, floor response spectra, base isolation.

ITER es uno de los mayores proyectos de investigación en curso a nivel mundial, cuya finalidad es demostrar la viabilidad de la fusión nuclear como fuente de energía limpia e inagotable en el futuro. ITER está actualmente en construcción en el sur de Francia, estando prevista su finalización antes del final de esta década para poder iniciar la actividad científica experimental a mediados de la década siguiente.

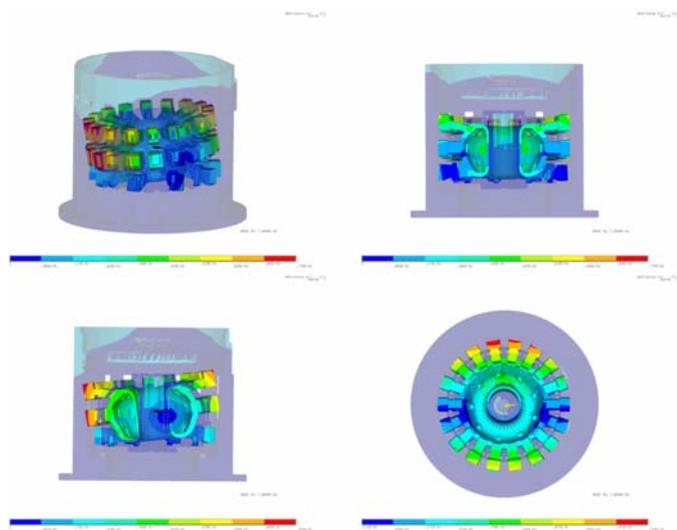
El complejo Tokamak es una infraestructura de hormigón armado que alberga la máquina Tokamak, el reactor de unas 23.000 toneladas donde se producirán las reacciones de fusión. El complejo Tokamak, de más de 70 m de altura, tiene las dimensiones en planta de un campo de fútbol y es una de las mayores estructuras aisladas sísmicamente del mundo.

Los requisitos sísmicos forman parte esencial de una instalación nuclear de esta envergadura, y son clave, tanto para el diseño de la estructura en sí, como para el diseño de los innumerables equipos que ésta alberga, incluyendo la máquina Tokamak.

Esta ponencia muestra una síntesis de los trabajos llevados a cabo para la definición de la acción sísmica en el interior del complejo Toka-



Vista aérea del emplazamiento de ITER (feb/2013) - ITER copyrightAerial



Acoplamiento dinámico edificio-reactor

mak de ITER mediante la obtención de los espectros de piso y la caracterización de las fuerzas sísmicas generadas en la interfaz entre la máquina Tokamak y el edificio, críticas para el correcto diseño de los elementos y estructuras de soporte.

287. CONSIDERACIÓN DE NIVELES BAJO RASANTE DE EDIFICIOS EN ZONAS SÍSMICAS

CONSIDERATION OF UNDERGROUND LEVELS OF BUILDINGS IN SEISMICITY AREAS

Ignacio López Picasso. EUROESTUDIOS S.L. Jefe Sección Estructuras Edificación. Ingeniero de Caminos. i.lopez@euroestudios.es

Roberto Marín Sampalo. EUROESTUDIOS.S.L. Ingeniero Estructural.

Máster Ingeniería Sísmica. r.marin@euroestudios.es

Ylenia Romero Cousillas. EUROESTUDIOS S.L. Ingeniera Estructural.

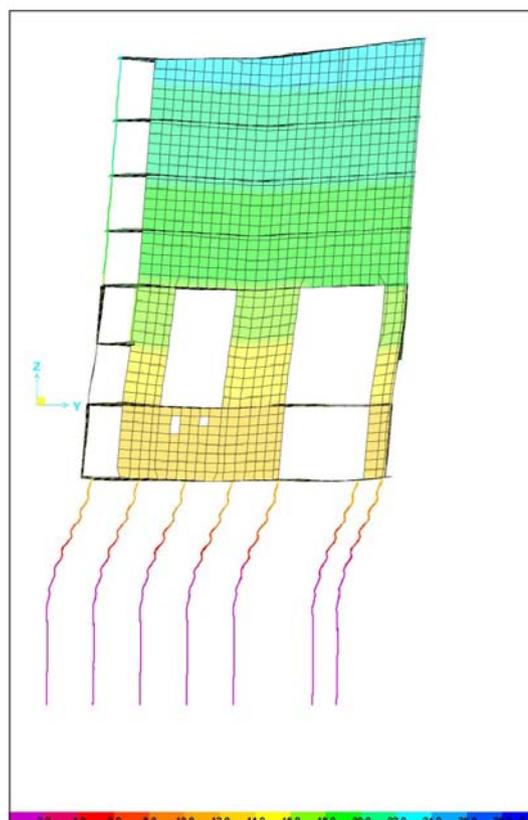
Máster Estructuras. ylenia.romero@euroestudios.es

Sismo, niveles bajo rasante, derivas, cimentación profunda.

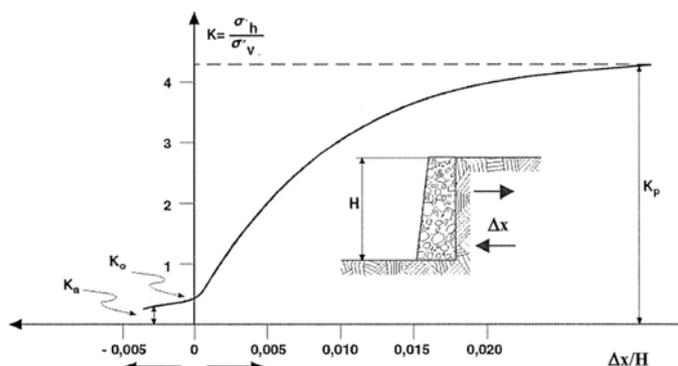
Earthquake, underground levels, drifts, deep foundation.

La consideración de los sótanos de una edificación en el cálculo de la respuesta ante acciones horizontales es un aspecto discutido y que habitualmente responde al criterio del diseñador.

Es habitual encontrar que para aquellos casos en los que no hay una clara compensación de empujes, estos sótanos se suelen considerar dentro del modelado, para tener en cuenta el sistema resistente que deberá soportar esta descompensación de cargas. Sin embargo, para el caso en el que los sótanos se encuentran bajo rasante en todo su



Deformada lateral por acción del sismo



Esquema de movilización de empujes por traslación

perímetro, la práctica habitual es considerar que no se producen movimientos horizontales en las plantas bajo rasante.

La justificación a esta consideración proviene de que se considera que los empujes son iguales en ambos márgenes de estos niveles, y de que en caso de deformación lateral por acciones horizontales diferentes a los empujes del terreno, el cambio de empujes al reposo a empujes pasivos en el margen desplazado es un margen suficiente para la mayoría de los casos.

Esta simplificación, para el caso de cargas horizontales reducidas, tal como el viento en zonas con sismicidad baja, puede considerarse adecuada. Sin embargo, una vez las cargas horizontales adquieren su relevancia (en especial para el caso de sismo), puede llevar a errores en la limitación de los desplazamientos horizontales por planta (especialmente importante en países de alta sismicidad) o reducción de las cargas horizontales transmitidas a cimentación (crítico para el caso de cimentaciones profundas).

Se expondrán experiencias en el diseño de estructuras en países de alta sismicidad en los que el cálculo sísmico no distingue, por tradición, entre unos niveles bajo y sobre rasante (sin considerar el número de sótanos existentes) y se presentarán diferentes modelos y estudios que permitirán discutir la motivación de este criterio.

También se presentará, como ejemplo, un proyecto en el que la no consideración de estos niveles conllevó deficiencias en el diseño de su cimentación.

293. TOLERANCIA AL DAÑO EN LOS CERRAMIENTOS Y PARTICIONES DE LOS EDIFICIOS

DAMAGE TOLERANCE IN FACADES AND PARTITIONS OF BUILDINGS

Ramón Álvarez Cabal. INTEMAC. Jefe de Departamento. Dr. Ingeniero Industrial. ralvarez@intemac.es

Elena Díaz Heredia. INTEMAC. Ingeniera. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ediaz@intemac.es

Enrique González Valle. UPM. Profesor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. egonzalezvalle@yahoo.es

Sismo, daño, norma, fábricas, respuesta.

Seismic, damage, code, masonry, response.

El terremoto de Alborán, el 25 de enero del presente año, alcanzó una magnitud de 6,3 y una intensidad en la ciudad de Melilla de VI, conforme a la información publicada por el Instituto Geográfico Nacional.

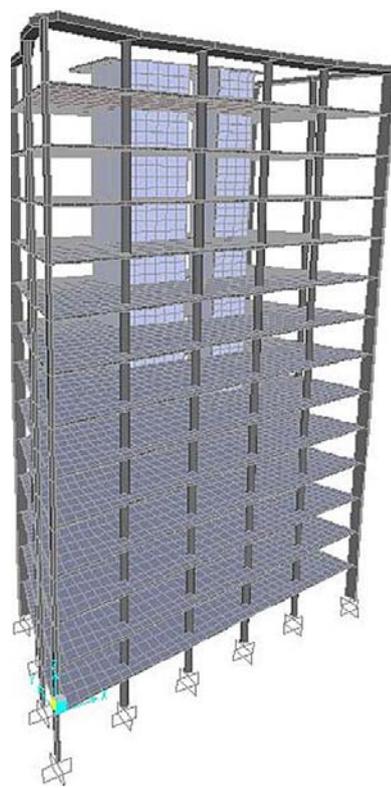


Figura 1

El terremoto causó daños en los elementos arquitectónicos (tabiquería, petos de cubierta, acabados de fachadas, etc.) de muchos de los edificios que forman el núcleo modernista de la ciudad, edificios construidos a principios del pasado siglo y muy sensibles a la acción sísmica, consecuencia de un sistema resistente inadecuado y, quizás en mayor medida, de la degradación previa de muchos elementos (tanto estructurales como arquitectónicos).

También se reclamaron algunos daños en las particiones de un reducido número de edificios convencionales, entendiéndose por tales los construidos a partir finales de siglo y de configuración estructural moderna: Pórticos de hormigón armado (en ocasiones con núcleos resistentes del mismo material) dimensionados conforme a normativas recientes.

En algún caso se tuvo la oportunidad de simular numéricamente (fig. 1) la respuesta del edificio a la sollicitación sísmica, lo que permitió compararla con los límites normativos (fig. 2) y con las curvas de comportamiento de las fábricas conforme a los modelos más reconocidos.

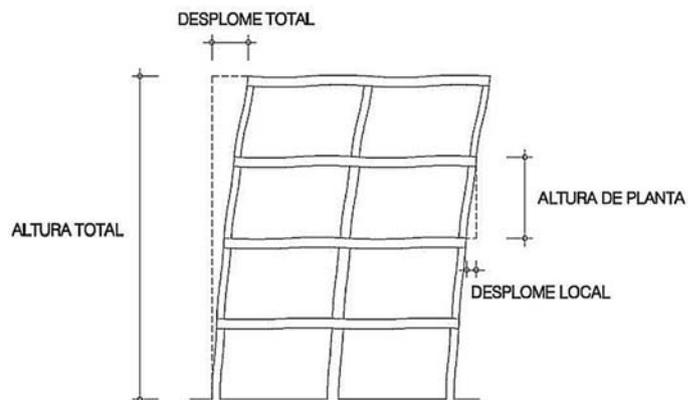


Figura 4.1 Desplomes

Figura 2. Desplomes

Como resultado más importante se observa una contradicción clara entre los límites normativos y resultados de los modelos de comportamiento: Conforme a estos últimos, los valores admisibles de desplazamiento conforme a las normativas vigentes introducirían ya daños de importancia en las fábricas de cerramientos y particiones, lo que cuestionaría lo adecuado de unos límites normativos poco realistas o bien de unos sistemas constructivos excesivamente sensibles al daño.

298. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA FRENTE AL FUEGO DE UN FALSO TÚNEL

ANALYSIS OF THE FIRE RESPONSE OF A CUT AND COVER TUNNEL

Juan José Pagán Martínez. ICITECH-Universitat Politècnica de València. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. juapagma@cam.upv.es

Ignacio Javier Payá Zaforteza. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Construcción.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. igpaza@cst.upv.es

Paula Rinaudo. ICITECH-Universitat Politècnica de València.

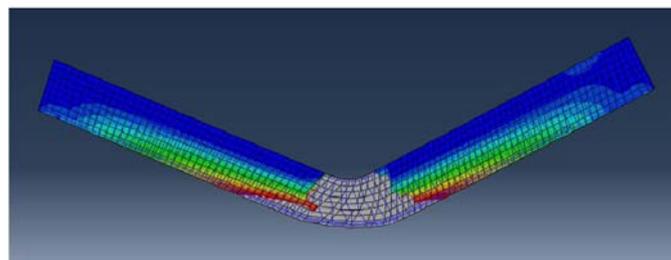
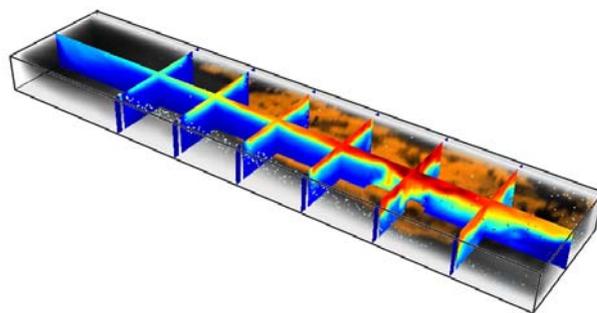
Investigadora. PhD MSc Structural & Civil Engineer. pauri@alumni.upv.es

Ingeniería del fuego, dinámica de fluidos computacional, análisis termoestructural, método de elementos finitos, hormigón armado.

Fire engineering, computational fluid dynamics, thermostructural analysis, finite element method, reinforced concrete.

En los incendios dentro de túneles confluyen una serie de factores que los hacen especialmente peligrosos tanto desde el punto de vista estructural como de pérdida de vidas humanas: el efecto horno, la alta radiación, el efecto cañón, las vías de escape reducidas, la menor visibilidad, mayor concentración de tóxicos y el posible comportamiento erróneo del usuario. Por ello, el estudio de la respuesta frente al fuego de un túnel es un tema relevante que requiere atención.

Este artículo analiza de forma pormenorizada el comportamiento estructural de un falso túnel con pantallas laterales y losa superior de hormigón armado de aproximadamente 500 m de longitud frente a accidentes provocados por la combustión de un vehículo de mercancías peligrosas en su interior. Para ello, se realiza una simulación de los escenarios de incendio empleando técnicas de dinámica de fluidos computacional. Los resultados de este modelo se emplean como datos de partida para un modelo termo-estructural de la sección de falso túnel más desfavorable empleando el método de los elementos finitos. Dicho análisis estructural se realiza empleando tanto el método sim-



Sup: temperaturas interior del túnel. Inf: deformaciones plásticas en la losa superior para $t = 139$ s

plicado de la Isoterma 500° como modelos avanzados de cálculo que realizan un análisis en el tiempo considerando las no-linealidades geométricas y del material.

Los cálculos realizados parten de los datos de geometría, tráfico, materiales, ventilación y sistema estructural del falso túnel. Se han considerado nueve hipótesis de incendio en función de la posición de la carga de fuego (inicio, zona central y final del túnel desde el punto de vista longitudinal, y con carga centrada o situada junto a las pantallas laterales desde el punto de vista transversal). Los resultados muestran que el elemento estructural crítico es la losa superior, que sufre grandes daños tras poco más de 2 minutos de incendio. El método simplificado de la Isoterma 500° queda del lado de la seguridad, pues estima la rotura de la losa superior en el entorno de los 100 s de incendio, mientras que el método de los elementos finitos prevé el colapso tras aproximadamente 140 segundos de incendio.

299. LA DOBLE CÉLULA TRIANGULAR: MEJORA SUSTANCIAL DE LA RESISTENCIA A CARGA CONCENTRADA TRANSVERSAL EN PUENTES EMPUJADOS

IMPROVEMENT IN PATCH LOADING RESISTANCE OF LAUNCHED BRIDGES WITH A TRIANGLE-SHAPED BOTTOM CELL DESIGN

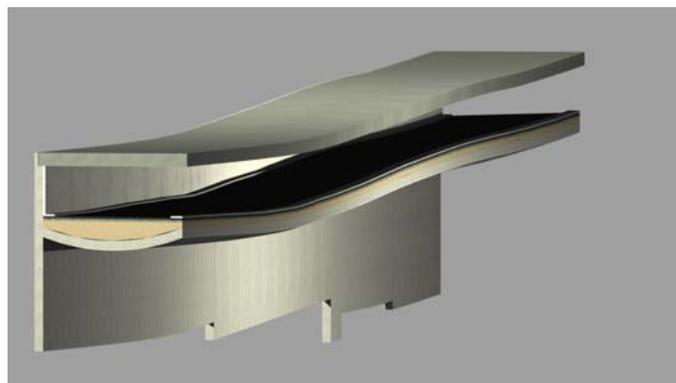
Tomás Ripa Alonso. LRA Infrastructures Consulting. Socio Director.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. tomasripa@lraingenieria.es

Resistencia a carga concentrada transversal, puentes metálicos empujados.

Patch loading resistance, launched steel bridges.

En este artículo se aborda el estudio de la resistencia a carga concentrada transversal del alma de vigas metálicas de puentes empujados cuando se dispone un nervio inferior de rigidez, que puede materializarse mediante una célula triangular soldada al ala inferior de la viga y sobre el que se aplica directamente la carga.



Modelo tridimensional del túnel de estudio

Se argumenta que esta solución tiene gran interés de cara al diseño y construcción de puentes empujados metálicos y mixtos, ya que, con una ejecución muy simple, puede mejorarse de forma sustancial la resistencia a carga concentrada transversal del alma sin recurrir a soluciones mucho más costosas como disponer rigidización longitudinal o, en última instancia, aumentar el espesor de alma por motivos resistentes en una fase constructiva.

A través de modelos numéricos de elementos finitos no lineales, se simula la resistencia última de secciones reales de puentes metálicos de tipo doble T a las que se añade un nervio de rigidez y se constata el incremento notable en la resistencia que aporta el nervio. Se identifican los mecanismos resistentes involucrados, comparando la resistencia calculada con la vigente formulación de EAE y EN1993 con la obtenida en vigas doble T y vigas con nervio de rigidez. Se concluye que tal formulación es insuficiente para evaluar la resistencia de estas últimas, ya que no reproduce el mecanismo de resistencia conjunta del nervio y rigidizadores, adicional a la simple contribución del alma a la resistencia.

A la vista de ello se plantea una formulación alternativa, que contempla de forma explícita los mecanismos resistentes complementarios identificados: flexión longitudinal del nervio, cuando los rigidizadores están más separados que la longitud de alma resistente, y contribución directa de los rigidizadores a la resistencia plástica cuando se aproximan a menor separación que la longitud de alma resistente.

Las conclusiones derivadas de todo el análisis anterior se aplican al diseño de un caso real de puente empujado, en el que se suprime toda la rigidización longitudinal y, sobre unas almas exentas de espesor suficiente por resistencia a cortante, se dispone un nervio de rigidez. La resistencia requerida puede ahora alcanzarse incrementando la rigidez del nervio manteniendo el espesor del alma, para potenciar el mecanismo de flexión longitudinal del nervio; o bien aproximar los rigidizadores verticales, más incluso que la longitud de alma resistente, contribuyendo éstos a la resistencia y superando así una insuficiencia de la vigente formulación ya detectada en diversas investigaciones recientes.

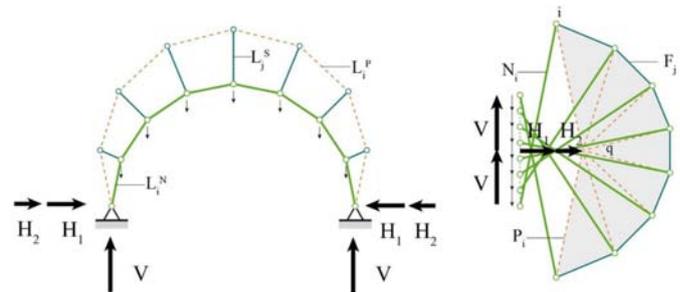
304. NUEVAS POSIBILIDADES EN EL DISEÑO CONCEPTUAL DE ESTRUCTURAS EFICIENTES

NEW OPPORTUNITIES FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF MATERIAL-EFFICIENT STRUCTURES

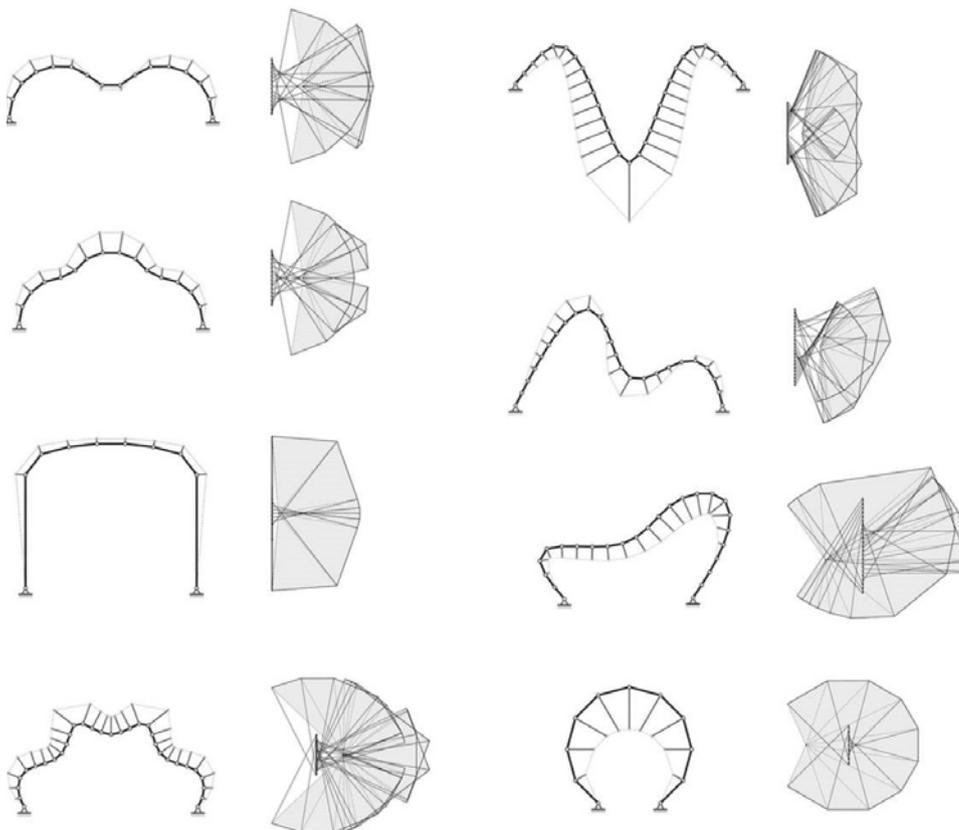
Leonardo Todisco. Departamento de Medios Continuos-UPM. Investigador. Dr. Ingeniero de Estructuras, Materiales y Cimentaciones. lt@he-upm.com
 Hugo Corres Peiretti. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hcp@he-upm.com

Equilibrio, estática gráfica, diseño conceptual, sistema post-tensado, estructuras.

Equilibrium, graphic statics, conceptual design, post-tensioning system, funicular structures.



Aplicación de la metodología a un arco de medio punto



Ejemplos realizados mediante el empleo de EXOEQUILIBRIUM

Las estructuras que trabajan por forma se caracterizan por la íntima e indisoluble relación entre geometría y comportamiento estructural. Por consiguiente, la elección de una apropiada geometría es el paso previo indispensable en el diseño conceptual de dichas estructuras.

En esa tarea, la selección de las posibles geometrías antifuniculares para las distribuciones de cargas permanentes más habituales son más bien limitadas y, muchas veces, son criterios no estructurales (adaptabilidad funcional, estética, proceso constructivo, etc.) los que no permiten la utilización de dichas geometrías que garantizarían el máximo aprovechamiento del material.

En este contexto, este artículo ilustra la posibilidad de obtener una estructura sin momentos flectores incluso si la geometría no es antifunicular para sus cargas permanentes.

En efecto, se presenta un procedimiento, basado en la estática gráfica, que demuestra cómo un conjunto de cargas adicionales, introducidas a través de un sistema de pretensado exterior con elementos post-tesos, puede eliminar los momentos flectores debidos a cargas permanentes en cualquier geometría plana. Esto se traduce en una estructura antifunicular que proporciona respuestas innovadoras a demandas conjuntas de versatilidad arquitectónica y optimización del material.

Dicha metodología gráfica ha sido implementada en un software distribuido libremente (EXOEQUILIBRIUM), donde el análisis estructural y la variación geométrica están incluidos en el mismo entorno interactivo y paramétrico. La utilización de estas herramientas permite más versatilidad en la búsqueda de nuevas formas eficientes, lo cual tiene gran importancia en el diseño conceptual de estructuras, liberando al ingeniero de la limitación del propio cálculo y de la incompreensión del comportamiento estructural, facilitando extraordinariamente el hecho creativo a la luz de una metodología de este estilo.

Este artículo incluye la aplicación de estos procedimientos a estructuras de cualquier geometría y distribución inicial de cargas, así como el estudio de diferentes posibles criterios de diseño para optimizar la posición del sistema de post-tesado. Además, la metodología ha sido empleada en el proyecto de maquetas a escala reducida y en la construcción de un pabellón hecho enteramente de cartón, lo que ha permitido obtener una validación física del procedimiento desarrollado.

En definitiva, este artículo presenta una metodología para expandir de manera relevante el rango de posibles geometrías antifuniculares y abre enormes posibilidades para el diseño de estructuras que combinan eficiencia estructural y flexibilidad arquitectónica.

310. PUENTES DE HORMIGÓN CON SECCIÓN CAJÓN: INTERACCIÓN EN LAS ALMAS ENTRE EL ESFUERZO CORTANTE Y LOS MOMENTOS DE FLEXIÓN TRANSVERSAL

CONCRETE BOX GIRDER: INTERACTION IN WEBS BETWEEN IN-PLANE SHEAR FORCES AND TRANSVERSE BENDING MOMENTS

Antonino Recupero Recupero. Università di Messina. Professore

Aggregato. Ingegnere, Ph.D. antonino.recupero@unime.it

Marcello Arici Arici. Università di Palermo. Professore Associato.

Ingegnere. marcello.arici@unipa.it

Hugo Corres Peiretti. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

hugoeduardo.corres@upm.es

Michele Fabio Granata Granata. Università di Palermo. Assegnata di Ricerca. Ingegnere, Ph.D. michelefabio.granata@unipa.it

Gabriele Freni Freni. Università di Messina. Professionista. Ingegnere. gabrielefreni@hotmail.it

Viga cajón, dominios de interacción, torsión, alabeo seccional, distorsión.

Box girder, interaction domains, torsion, warping, distortion.

En vigas cajón de hormigón, la cantidad y la distribución de armadura en las almas debe estimarse no sólo considerando el análisis longitudinal, cortante, torsión y flexión, sino que también deben considerarse efectos locales debidos a las cargas externas y la distorsión de sección transversal. Esta armadura, muy importante para asegurar el adecuado comportamiento del puente, debe determinarse teniendo en cuenta todos estos efectos.

Este trabajo presenta un modelo analítico que permite tener en cuenta la interacción de todos estos efectos, globales y locales, para la determinación de todas las armaduras necesarias. El modelo propuesto se basa en la teoría del campo de tensiones y permite la evaluación de las tensiones de compresión y las necesarias armaduras debidas a los distintos esfuerzos que actúan concomitantemente. El procedimiento es válido para hormigón armado y pretensado.

En el trabajo se muestran claramente los distintos efectos de interacción entre los distintos esfuerzos en juego en una sección cajón.

El método propuesto ha sido comparado con un análisis por elementos finitos que pone de manifiesto el grado de aproximación que se obtiene. Muestra además un ejemplo correspondiente a un puente de hormigón pretensado descrito en por (Fanti & Mancini). Los resultados muestran como el modelo propuesto permite realizar una evaluación muy rápida y da resultados muy optimizados para la armadura calculada.

312. EFECTO DE LAS CONDICIONES DE CONTACTO VAINA-HORMIGÓN EN LA FRACTURA POR EFECTO MULTICORDÓN EN TANQUES POSTENSADOS DE GRAN CURVATURA

CONTACT MODELING OF THE DUCT-CONCRETE INTERFACE IN THE EVALUATION OF MULTISTRAND EFFECT IN HIGH CURVATURE POST-TENSIONED TANKS

Fernando Medina Reguera. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Investigador del Grupo TEP-245. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fmedinar@us.es

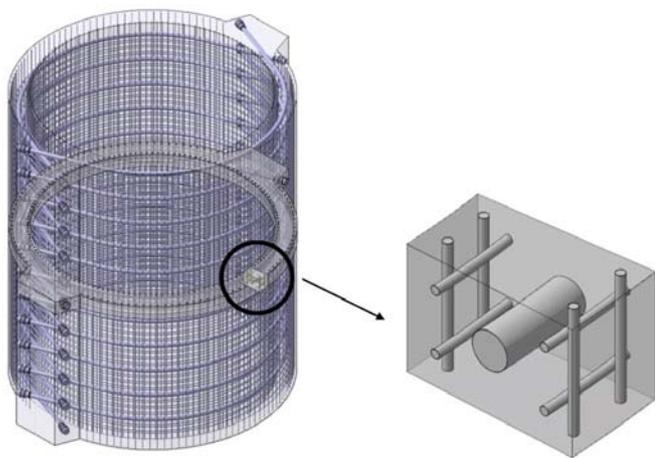
Héctor Cifuentes Bulté. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es

Fernando Medina Encina. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. medinaencina@us.es

Fractura, contacto, adherencia, tanque de hormigón postensado, efecto multicordón.

Fracture, bond-slip contact, post-tensioned concrete tank, multistrand effect.

La viabilidad de los tanques postensados para almacenamiento energético depende de la capacidad de alcanzar un diseño eficiente en coste, en el que el comportamiento estructural y material haya sido modelizado desde las etapas constructivas, en fase de servicio y en estado límite último para las altas cargas termomecánicas y de presión que la estructura debe soportar, de modo que la fiabilidad estructural pueda asegurarse en este tipo de estructuras singulares. Los métodos analíticos y las normas no incluyen específicamente este tipo de es-

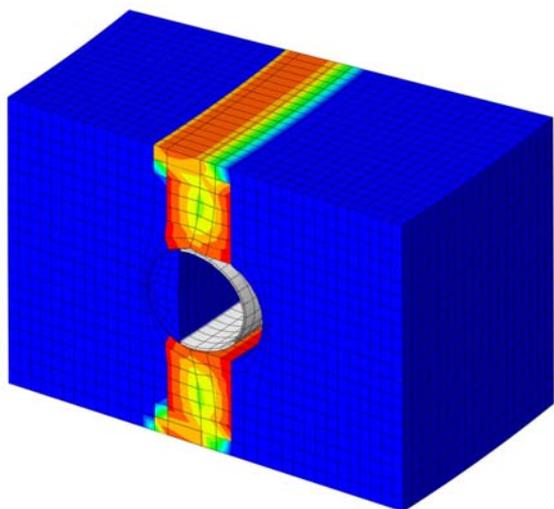


Proceso de simplificación conceptual del modelo

estructuras para almacenamiento ni las acciones extremas que genera su contenido.

Con el fin de asegurar la integridad estructural, se debe esperar de los códigos diseños conservadores, aunque la incapacidad de capturar la evolución del comportamiento de la estructura desde el postensado al servicio y hasta el colapso deja en todo caso lugar para hipótesis erróneas en los diseños basados en procedimientos más simples. Debido a ello, la estructura debe analizarse desde la mecánica de la fractura aplicada a un problema gobernado por el tendón de postensado.

El estudio realizado aquí muestra el crecimiento de la fisuración durante el tesado alrededor de la vaina. Por ello, profundizar en su modelización se hace necesario, en concreto, con el fin de analizar la influencia de las condiciones de contacto vaina-hormigón en este proceso. Este trabajo muestra las diferencias entre la condición de adherencia perfecta empleada anteriormente y la modelización de las propiedades de contacto friccional, cohesivo y de separación normal. Diversos modelos no-lineales han sido desarrollados en esta parte del trabajo para tener en cuenta diferentes mecanismos de transmisión de la fuerza del tendón a través de la interfaz de contacto vaina-hormigón, mostrando que esta modelización es crucial para evitar una sobreestimación de la capacidad de tesado de la sección de hormigón.



Evolución del daño en la sección transversal durante el postensado. Fallo de la sección

315. ANÁLISIS DE UN PUENTE DE TABLERO CONTINUO SUJETO A MÚLTIPLES EXCITACIONES SÍSMICAS

SEISMIC ANALYSIS OF A CONTINUOUS BRIDGE SUBJECTED TO MULTIPLE SUPPORT EXCITATION

Alexander Kagermanov. UME School. Investigador posdoctorado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

alexander.kagermanov@umeschool.it

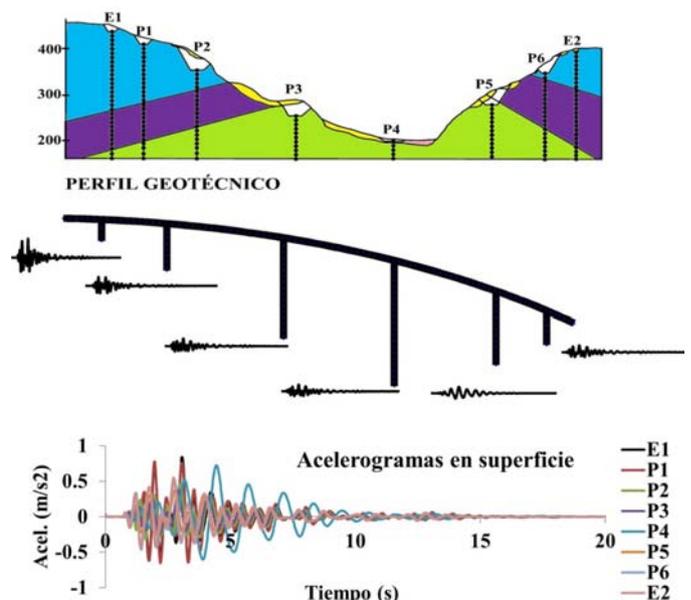
David Arribas Mazarracín. FCC. Jefe de Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. darribas@fcc.es

Sismo, puente continuo, excitación múltiple.

Earthquake, continuous bridge, multiple support excitation.

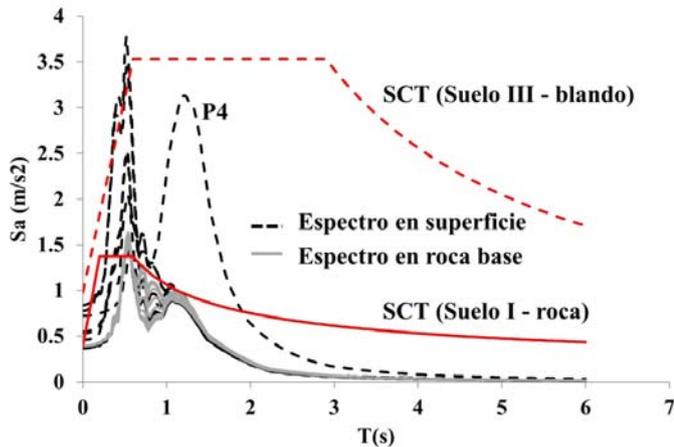
Los espectros de diseño que aparecen en las normativas proporcionan una forma simplificada de representar la acción sísmica. El objetivo es ajustarse de forma conservadora a la envolvente de varios terremotos de distinta magnitud y distancia. Un tema importante en la definición de los espectros concierne la incorporación de efectos locales de sitio, los cuales se tienen en cuenta mediante unos coeficientes que dependen de la velocidad de las ondas de corte en los 30 m superiores del estrato. Además, es habitual suponer en fase de proyecto que los desplazamientos del terreno son uniformes en todos los puntos de apoyo de la estructura. Esto último puede no ser el caso para grandes estructuras como viaductos o sistemas de tuberías, sobre todo cuando existen múltiples tipos de suelo o importantes variaciones topográficas a lo largo del eje de la estructura. Por el ejemplo, el Eurocódigo 8 recomienda considerar la variación espacial de la acción sísmica a lo largo del eje cuando la longitud de la estructura supera unos 300 m, dependiendo de las características del suelo. En estructuras hiperestáticas, dicha variación introduce unos esfuerzos adicionales a aquellos producidos por las fuerzas inerciales.

En el presente trabajo, se investigan dichos efectos sobre la respuesta de un viaducto de tablero continuo de 850 m de longitud, localizado en una zona con una aceleración sísmica de 0,1 g. Para ello se generan una serie de acelerogramas sintéticos en roca, que se propagan



Resumen conceptual: perfil geotécnico, puente con excitación múltiple y acelerogramas

Espectros de respuesta



Comparación de los espectros de cálculo en roca y superficie con los de la norma

hacia la superficie de los apoyos mediante la resolución de un problema de convolución. A continuación, se realizan una serie de análisis dinámicos paso a paso en el tiempo, con y sin variación espacial de la acción sísmica, con el objetivo de cuantificar su influencia sobre la respuesta del puente.

326. CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA REFORZADO CON MICROFIBRAS METÁLICAS

CHARACTERIZATION OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE REINFORCED WITH STEEL MICROFIBRES

Eduardo Galeote Moreno. Universidad Politécnica de Cataluña. Doctorando. Ingeniero de Caminos. eduardo.galeote@upc.edu
 Yineth García Díaz. Universidad de Cartagena. BSc. Ingeniero Civil. ygarciad1@unicartagena.edu.co
 Ana Blanco Álvarez. Universidad Politécnica de Cataluña. Investigadora posdoctoral. Dra. Ingeniera de Caminos. ana.blanco@upc.edu
 Albert de la Fuente Antequera. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Lector. Dr. Ingeniero de Caminos. albert.de.la.fuente@upc.edu

HPFRC, microfibras metálicas, resistencia residual, propiedades mecánicas.

HPFRC, steel microfibres, residual strength, mechanical properties.

El uso de hormigón de alta resistencia reforzado con fibras (HARF) resulta de gran interés en aplicaciones constructivas en las que sea necesario alcanzar altas prestaciones. Desde un punto de vista práctico, el elevado desempeño de este material permite una reducción del espesor y sección de los elementos. Adicionalmente, la incorporación de fibras mejora notablemente la ductilidad del material, proporcionando resistencia adicional tras la aparición de fisuras.

La fabricación de un HARF de buena calidad requiere una selección minuciosa de sus materiales y un adecuado proceso de fabricación.

Las elevadas cuantías de fibra habitualmente incorporadas suponen unos costes significativos en la producción, por lo que resulta necesario conocer en profundidad el comportamiento de este material para poder optimizar su uso según los requerimientos de la aplicación en la que se utilice. Asimismo, la reducción del espesor de los elementos influye en la resistencia afectando directamente a los resultados de caracterización en caso de utilizar tamaños y geometrías de probetas diferentes.

Con el fin de determinar el alcance de los factores que influyen en la caracterización del material se ha realizado una campaña experimental en la que se ha analizado el comportamiento de 6 hormigones reforzados con microfibras (fig. 1). Entre ellos, se ha considerado una dosificación patrón carente de fibras y 5 dosificaciones en las que se ha variado el contenido de fibra y la relación agua-cemento (a/c). De estas 5 dosificaciones, se ha fijado en 3 de ellas una relación a/c de 0,229 y en las otras 2 una relación a/c de 0,283. Las cuantías de fibra



Figura 1. Microfibras metálicas

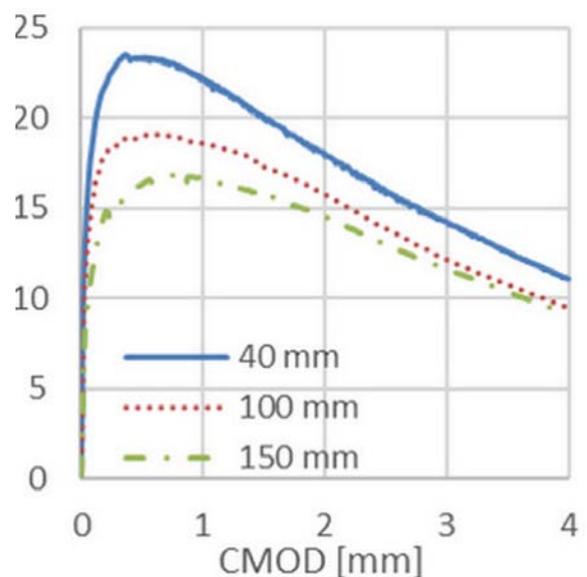


Figura 2. Resistencia residual a flexotracción en probetas con distinto tamaño de sección

añadidas fueron 90, 140 y 190 kg/m³ en las 3 primeras dosificaciones y 90 y 190 kg/m³ en las 2 segundas mezclas.

El objetivo de este documento consiste en presentar los resultados de caracterización del HARF analizando la influencia del contenido de fibras y la relación a/c en el comportamiento a compresión y flexotracción. Adicionalmente, se han ensayado probetas de diferentes dimensiones con las que se analiza el efecto de la reducción del tamaño sobre la caracterización de la compresión y la resistencia residual. De forma generalizada, se ha obtenido una tendencia en la que se ha podido observar que una disminución de la sección resistente genera mayores resistencias (fig. 2).

327. INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y LA DENSIDAD DE LAS FIBRAS EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN DE HORMIGONES

INFLUENCE OF FIBRE VOLUME FRACTION AND FIBRE ORIENTATION ON THE RESIDUAL FLEXURAL TENSILE STRENGTH OF FRC

Jesús Mínguez Algarra. Universidad de Burgos. Profesor Asociado.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jminguez@ubu.es

Dorys Carmen González Cabrera. Universidad de Burgos. Profesora

Contratada Dra. Fija. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

dgonzalez@ubu.es

Miguel Ángel Vicente Cabrera. Universidad de Burgos. Profesor Titular

de Universidad. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

mvicente@ubu.es

Hormigón reforzado con fibras, tomografía computarizada, orientación de fibras, densidad de fibras, ensayo de flexión en tres puntos.

Fibre reinforced concrete, computerized tomography, fibre orientation, fibre volume fraction, 3-point bending testing.

Los hormigones reforzados con fibras constituyen una solución estructural muy sugerente, especialmente en elementos sometidos a



Figura 1. Ensayo de flexión en tres puntos

flexión, por los ahorros en costes de fabricación que ello puede conllevar. Sin embargo, presenta un obstáculo no resuelto hasta la fecha, y es el hecho de que la orientación de las fibras en el interior de la masa y, en menor medida, su distribución no son controlables. Además, esta realidad se agrava con el hecho de que ambos parámetros son esenciales a la hora de determinar, con precisión, la capacidad mecánica estos hormigones.

Es bien conocido que existe una relación entre la orientación de las fibras, su densidad y la resistencia residual a tracción de estos hormigones. Existen algunos trabajos que correlacionan la densidad de fibras y su resistencia residual. Sin embargo, apenas existen trabajos de investigación que analicen, en profundidad, la relación entre la orientación real de las fibras y la resistencia a tracción, principalmente porque no se ha dispuesto de las herramientas tecnológicas adecuadas para medir la orientación de las mismas.

La aplicación de las modernas técnicas de tomografía computarizada permite determinar con precisión la orientación de las fibras en el interior de la masa de hormigón. Se abre la puerta, por tanto, a estudiar en profundidad cómo la orientación modifica la resistencia residual.

En esta investigación se estudia la relación que existe entre la orientación de las fibras y su densidad por un lado y la resistencia residual a tracción del hormigón reforzado por otro. Para ello se fabricó una viga pared de hormigón reforzado con fibras metálicas, del que se

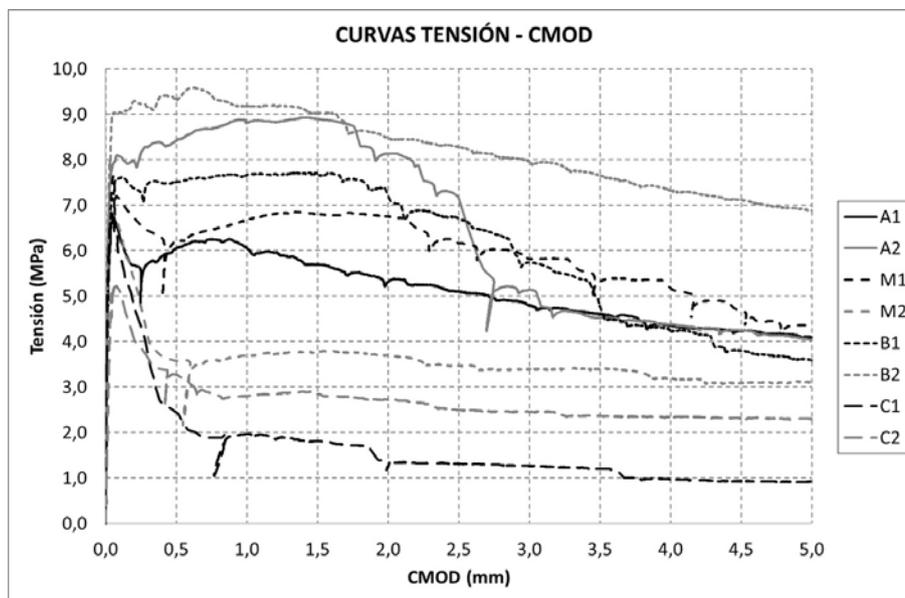


Figura 2. Curvas tensión CMOD

extrajeron una serie de probetas prismáticas, de diferentes zonas de la misma y en diferentes direcciones. En primer lugar, todas las probetas fueron sometidas a un ensayo de tomografía axial computarizada (en adelante TAC) para obtener, de forma individualizada, la posición y orientación de cada una de las fibras que la conforman. A continuación, dichas probetas fueron sometidas al ensayo de flexión en tres puntos, de acuerdo a la normativa vigente (fig. 1), y se obtuvieron los valores de resistencia residual a tracción del hormigón ($f_{R,i}$) (fig. 2).

Cruzando los datos de ambos ensayos ha sido posible establecer correlaciones empíricas entre la orientación y la densidad de fibras, por un lado, y la resistencia residual a tracción por otro.

Los resultados muestran una fuerte correlación con dos parámetros relacionados con la posición y orientación de las fibras, a saber, su densidad y su índice de eficacia.

335. ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD A SU PROPIA DEFORMACIÓN DE ESCORIAS DE ALTO HORNO REFORZADAS CON FIBRA DE CARBONO

SENSITIVITY STUDY OF STRAIN SELF-SENSING CAPACITY OF BLAST FURNACE SLAG REINFORCED WITH CARBON FIBERS

F. Javier Baeza de los Santos. Universidad de Alicante. Profesor Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fj.baeza@ua.es

Josep Lluís Vilaplana Abad. Universidad de Alicante. Doctorando. Máster en Ingeniería de Materiales, Agua y Terreno. joseplluisvilaplana@citop.es
Óscar Galao Malo. Universidad de Alicante. Profesor Asociado. Doctor. oscar.galao@ua.es

Pedro Garcés Terradillos. Universidad de Alicante. Catedrático de Universidad. Dr. en Ciencias Químicas. pedro.garces@ua.es

Fibras de carbono, percepción de deformación, activación alcalina, materiales compuestos multifuncionales, retracción por secado.

Carbon fibers, strain sensing, alkali activation, multifunctional composites, drying shrinkage.

El desarrollo de materiales compuestos de matriz cementicia de alta resistencia fue capaz de conseguir grandes prestaciones mecánicas sin necesidad de emplear cemento Portland. Para tal fin, la activación alcalina surgió como alternativa de producción de estos materiales, empleando residuos industriales como las escorias de alto horno, reduciendo así el impacto ambiental asociado a la producción del clínker. El principal problema que presenta este tipo de compuestos es su gran retracción por secado, que habitualmente requiere del empleo de aditivos reductores de retracción para garantizar su integridad. Paralelamente, el uso de fibras como adición en la fabricación también ha resultado útil como agente controlador de la retracción (fig. 1). En el caso particular de emplear fibras conductoras de la electricidad en la mezcla (como son las fibras de carbono), además de mejoras en las prestaciones mecánicas del compuesto, lo transforma en un material conductor estableciéndose así la posibilidad de realizar funciones distintas de su función estructural, por ejemplo su uso como ánodo en la extracción electroquímica de cloruros o la percepción de deformaciones. Dicha capacidad de ser sensibles a su propia deformación, que presentan estos materiales reforzados con fibras de carbono, ya ha sido extensamente estudiada en matrices de cemento Portland. Sin embargo el empleo de escorias de alto horno activadas alcalinamente puede generar materiales con mayor sensibilidad a su deformación. El objetivo principal del presente trabajo es comprobar la influencia del grado de saturación en la sensibilidad a su propia deformación de escorias de alto horno reforzadas con fibras de carbono. Además, previamente se ha planteado un estudio de caracterización mecánica de estos materiales, para seleccionar la dosificación que se probará como sensor de deformación. En el estudio de caracterización se comprobó que la adición de fibras de carbono es proporcional a la mejora de la resistencia a flexión (incrementos de hasta 5 veces respecto del material sin fibra), y la reducción de la retracción por secado (fig. 1). Por otra parte, se realizaron ensayos de compresión, con ciclos de carga y descarga, mientras se controlaba la variación de la resistencia eléctrica del material, para posteriormente correlacionarla con el nivel de deformación sufrido por las probetas (fig. 2). En este caso, la relación entre deformación y resistividad mejoró al reducir el contenido de humedad del material, encontrándose para un grado de saturación del 46% la sensibilidad máxima, que se reflejó en un factor de galga de 324.

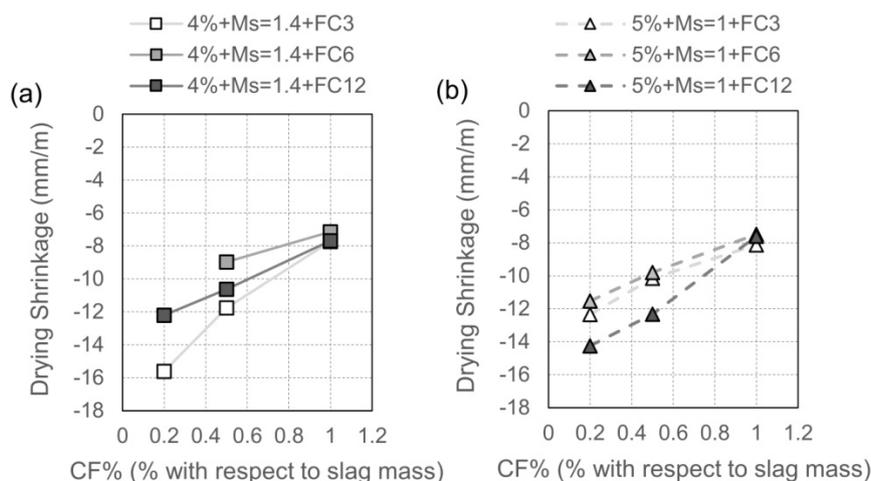


Figura 1. Retracción por secado en pastas de escoria de alto horno reforzadas con fibras de carbono

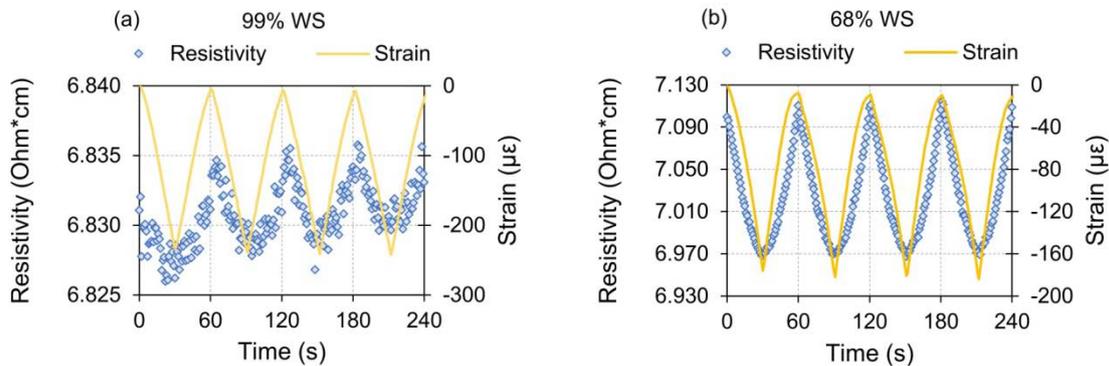


Figura 2. Ensayos de percepción de deformación, evolución de resistividad y deformación unitaria para un grado

336. SUSTITUCIÓN DE LA JUNTA DE UN VIADUCTO EN LA M-40. ESTUDIO DE DEFORMACIONES TÉRMICAS E INFLUENCIA EN LAS CONDICIONES DE INSTALACIÓN

REPLACEMENT OF THE EXPANSION JOINT OF THE VIADUCT ON M-40. STUDY OF THERMAL STRAINS AND IT'S INFLUENCE ON INSTALLATION CONDITIONS

Lucía López de Abajo López. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniera de Estructuras. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. lucialopezdeabajo@lraingenieria.es

Tomás Ripa Alonso. LRA Infrastructures Consulting. Socio Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. tomasripaalonso@gmail.com

Junta, deformaciones térmicas, holgura estructural.

Expansion joint, thermal strains, structural gap.

Durante los pasados meses de mayo y junio se llevó a cabo la sustitución de la junta modular existente en el viaducto situado en el P.K. 51+100 de la M-40. Dicha junta presentaba síntomas de agotamiento de su vida útil, mostrando un avanzado estado de deterioro, por lo que era necesario retirarla.

Aunque la solución más directa habría sido sustituir la junta existente por otra de características similares, se constató que se trataba de un modelo obsoleto; por lo que se estudió la posibilidad de sustituirla por una de menor movimiento, concretamente por una de elastómero armado, que simplificaría las futuras operaciones de mantenimiento.

La ejecución de este nuevo dispositivo, de menores dimensiones y movimientos, requería reducir la holgura estructural del puente, lo que se resolvió mediante la construcción de un recrado en toda la altura del estribo donde se ubicaba la junta. La incógnita de esta operación era precisamente la anchura del recrado, dado que debía ser tal que permitiese los movimientos de la nueva junta sin que en el momento de máxima dilatación de la estructura la culata del puente chocase contra el muro del estribo, ni que en el momento de máxima contracción del puente la holgura estructural fuese mayor que la admitida por la nueva junta.

Por todo ello, se realizó un estudio detallado de las deformaciones térmicas de la estructura, ya que los efectos diferidos del hormigón, dada la edad de la estructura, habían desaparecido; y las cargas de frenado y viento serían absorbidas por el punto fijo del puente.



Junta modular existente



Recrado del estribo para reducción de holgura estructural

Dicho estudio se realizó de dos maneras: por un lado, mediante estudio teórico de las normativas disponibles (en este caso, IAP-11); y por otro, mediante medición directa de los movimientos del puente en función de la temperatura ambiente.

Las conclusiones de estas mediciones y estudios tuvieron repercusión en dos momentos clave de la instalación de la nueva junta: el primero de ellos, como se comentaba anteriormente, era la definición de las dimensiones del recocado para la reducción de la holgura estructural; y el segundo, la posición del propio dispositivo de junta a la hora de colocarlo en la obra, ya que según la temperatura podría ser necesario realizar una operación de reglaje para colocarla pre-comprimida o pre-estirada.

339. ANÁLISIS DE MECANISMOS RESISTENTES A CORTANTE MEDIANTE OPTIMIZACIÓN DE MODELOS DE BIELAS Y TIRANTES CONSIDERANDO LOS PATRONES DE FISURACIÓN

ANALYSIS OF SHEAR RESISTING ACTIONS BY MEANS OF OPTIMIZATION OF STRUT AND TIE MODELS AND ACCOUNTING FOR OF CRACK PATTERNS

Jesús Miguel Bairán García. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jesus.miguel.bairan@upc.edu

Antonio Mari Bernat. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.mari@upc.edu

Antoni Cladera Bohigas. Universitat de les Illes Balears. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antoni.cladera@uib.es

Cortante, acciones resistentes, bielas y tirantes, tirantes de hormigón, engranamiento áridos.

Shear, resisting actions, strut and ties, concrete ties, aggregate interlock.

El cortante en estructuras de hormigón ha sido estudiado durante varias décadas sin alcanzar consenso sobre el modelo resistente para

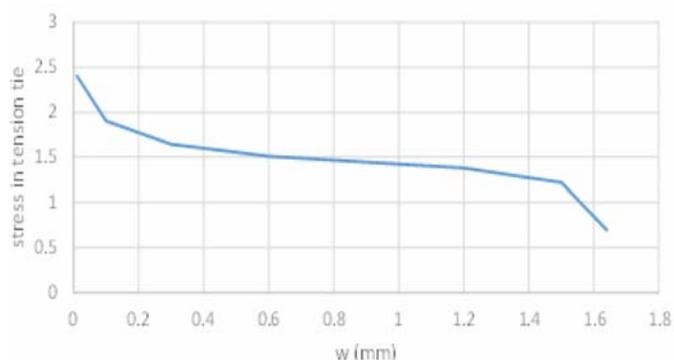


Figura 1. Tensión de tracción transferida a través de una fisura inclinada 78° en función del ancho de fisura

diseño. Aunque existe acuerdo en que la resistencia involucra, al menos, las componentes de la zona no fisurada, el engranamiento de áridos, la tensión residual de la zona fisurada, la armadura longitudinal y la transversal, la contribución de éstas es difícil de cuantificar y muchos modelos poseen componente empírica. Más aún, aparentemente, distintos modelos que consideran diferentes acciones como determinantes, producen resultados igualmente razonables. Históricamente, ello ha motivado debates que, lejos de acercar el consenso y complementariedad en las similitudes de cada método, presentan los modelos como incompatibles.

En esta comunicación, se trata esta problemática con un enfoque relativamente simple, mediante el análisis de esquemas de bielas y tirantes (ByT) de ensayos a cortante, evidenciando el equilibrio interno y externo. Schlaich (1987) sugirió que existencia de tirantes de hormigón. Estos pueden explicar la resistencia a cortante sin armadura transversal, el anclaje de las armaduras y la colaboración de zonas no fisuradas. Se analiza el desarrollo físico de las tensiones de tracción después de la fisuración, encontrando que la inclinación de las fisuras y su abertura controlan la resistencia de los tirantes de hormigón. Se

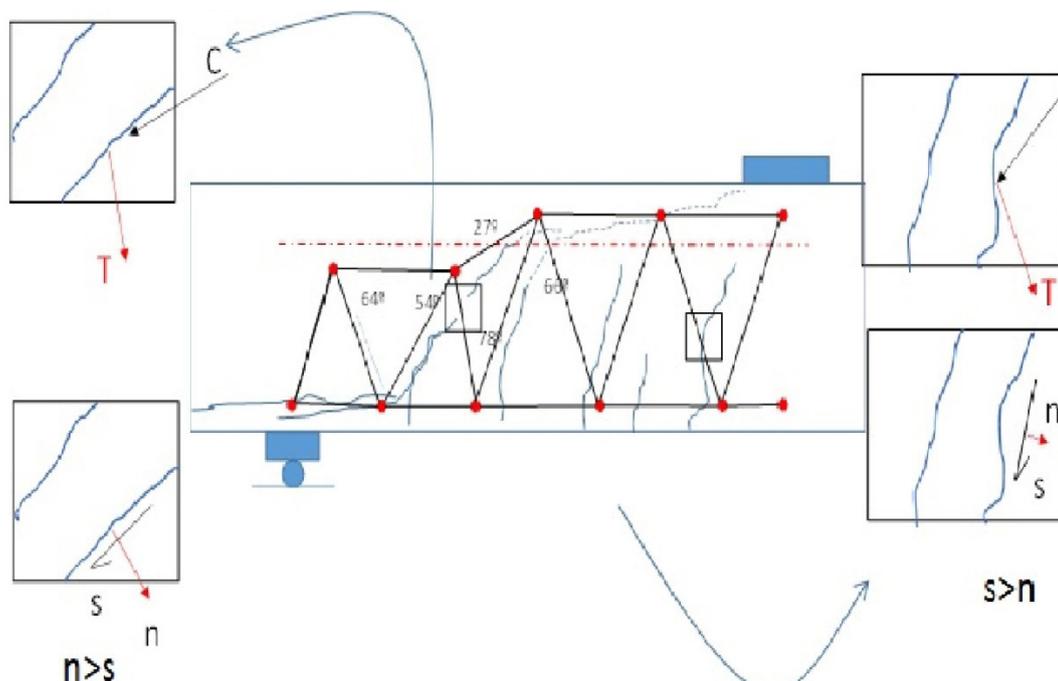


Figura 2. Desarrollo de tracción en los tirantes de hormigón en las diferentes zonas

proponen relaciones basadas en el modelo de Walraven (1980) para valorar este efecto.

Dada la capacidad variable de los tirantes (fig. 1), un mismo esquema de ByT no puede explicar todo el proceso hasta la rotura. En este estudio, se optimiza la geometría del sistema de ByT mediante el método de descenso por gradientes para encontrar una solución satisfactoria para la carga aplicada y la fisuración observada. La metodología se aplica a un caso experimental de elemento sin armadura transversal. Se encuentra que la relevancia de cada mecanismo resistente cambia en cada nivel de carga y en diferentes zonas de la viga. Existen zonas la que es posible resistir el cortante exclusivamente mediante engranamiento de áridos. Sin embargo, para la misma carga, en la zona de momentos flectores bajos, se produce una fisura crítica inclinada donde la acción resistente es mixta, involucrando una importante componente de la cabeza de compresión (fig. 2). La coexistencia temporal y espacial de las diferentes acciones explica, en parte, la diversidad de hipótesis en los modelos existentes. Sin embargo, también evidencia que algunos modelos son visiones parciales del mismo proceso y que, si se plantean con la visión adecuada, pueden complementarse.

350. PRINCIPIOS UNIVERSALES DE DISEÑO APLICADOS A LA CONCEPCIÓN DE PUENTES

UNIVERSAL PRINCIPLES OF DESIGN APPLIED TO BRIDGE CONCEPTION

Héctor Beade Pereda. Knight Architects. Bridge Designer. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. h.bead@knightarchitects.co.uk

Diseño de puentes, metodología proyectual, principios universales de diseño, diseño holístico.

Bridge design, methodological approach, universal principles of design, holistic design.

Existen innumerables definiciones para el término diseño, siendo una de ellas la siguiente: “el diseño es una actividad creativa cuyo propósito es, buscando una solución a un problema, establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos o servicios sin existencia previa, en su ciclo completo de vida”. Aunque el origen de los puentes es muy anterior a la aparición del término diseño, es indudable que el proyecto de puentes sigue, o debería seguir, un proceso similar al de otras familias del diseño (producto, gráfico, moda...).

Se pueden definir una serie de principios universales de diseño que son comunes a varias de estas disciplinas, siendo muchos de ellos de aplicación al diseño de puentes. El hecho de tomar conciencia de estos



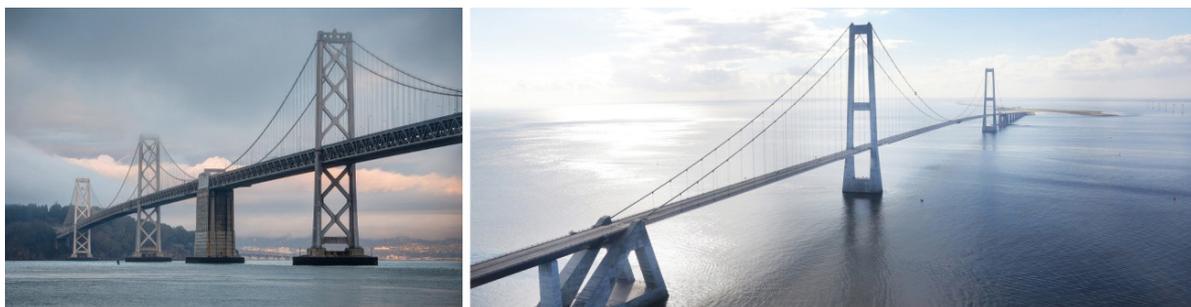
La navaja de Ockham. Violonchelo clásico (izquierda) frente a violonchelos eléctricos (centro y derecha)

principios puede permitir al diseñador de puentes afrontar el proceso añadiendo nuevas variables a las habitualmente consideradas (entre ellas el obvio problema estructural).

Este artículo pretende describir una serie de principios universales de diseño que son de aplicación también al diseño de puentes, ilustrándolos con distintos ejemplos. El objetivo es que el diseñador de puentes comprenda la importancia de conceptos como: la consistencia, la constancia, las connotaciones de líneas curvas, las líneas de deseo, la proporción aurea, la jerarquía, la modularidad, la navaja de Ockham, la similitud, la simetría, la conexión de lo uniforme, la visibilidad o el efecto Von Restorff, entre otros.

Todos los puentes importan, desde los que cruzan las desembocaduras de grandes ríos en entornos urbanos, hasta los más modestos pasos superiores o pasarelas de luz moderada. Todos han de tener una vida útil similar y todos se han de interrelacionar íntimamente con el territorio. Unos serán más visibles que otros en función de su localización, pero todos deberían ser resueltos con sensibilidad, profesionalidad y honestidad. La inclusión de estos principios de manera consciente en el proceso de diseño debería permitir proyectar buenos puentes, sin que eso signifique más caros o de más difícil construcción.

Las imágenes inferiores muestran dos ejemplos de la aplicación del principio de la navaja de Ockham, según el cual el más sencillo será el preferible de los diseños equivalentes. En el diseño de violonchelos, la aparición de instrumentos eléctricos permitió decidir reproducir las formas (centro) del instrumento clásico (derecha), o minimizar sus componentes. En el diseño de los puentes colgantes de la segunda imagen se observa la diferencia en apariencia al simplificar al máximo los distintos elementos estructurales.



La navaja de Ockham. Puentes colgantes, en el ejemplo de la derecha, diseño simple y elegante

357. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES QUE INCORPORAN CONCHA DE MEJILLÓN RECICLADA EN ESTRUCTURAS ARMADAS SUMERGIDAS EN AGUA MARINA

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF CONCRETE INCORPORATING RECYCLED MUSSEL SHELL, FOR ITS USE IN SEA-SUBMERGED REINFORCED STRUCTURES

M. Pilar de la Cruz. Universidade da Coruña. Profesora Titular de Universidad. Dra. Ingeniera Industrial. pilar.cruz1@udc.es
Santiago Fernández-Yuste. Proyfe. Ingeniero Industrial. Ingeniero Industrial. santiagofyuste@gmail.com
Alfredo del Caño. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. alfredo.cano@udc.es
Manuel F. Herrador. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos. manuel.herrador@udc.es

Hormigón armado, caracterización experimental, sustitución de árido natural por concha de mejillón reciclada, estructuras permanentemente sumergidas en agua marina.

Reinforced concrete, experimental characterization, replacement of natural aggregate by recycled mussel shell, structures permanently submerged in seawater.

Galicia (España) es el mayor productor y exportador europeo de conservas de mejillón. Esta actividad supone la generación de 60.000 a 90.000 toneladas de concha de mejillón por año, originando importantes problemas ambientales.

A lo largo de las últimas décadas diversos investigadores han tratado de sustituir (total o parcialmente) algunos de los componentes del hormigón por otros materiales que supongan una mayor sostenibilidad.

Esta comunicación parte de la base del Proyecto Biovalvo, abordado por un grupo de empresas españolas, junto con la Universidade da Coruña (España). En él se han desarrollado y ensayado diferentes materiales de construcción con sustitución parcial o total de concha de mejillón reciclada. Este reciclaje se realiza por medio de un corto tratamiento térmico a 123 °C, con objeto de eliminar la materia orgánica, junto con el oportuno lavado y trituración, para obtener diferentes granulometrías. La utilidad de estos materiales es variada. Habiéndose demostrado que tienen prestaciones cercanas a las de



Vista general del montaje para el ensayo de corrosión forzada de barras de acero



Probeta con sustitución parcial de concha de mejillón tras el ensayo de compresión

los materiales convencionales, podrían emplearse como sumidero ambiental en elementos constructivos que no supongan una gran responsabilidad.

Con vistas a futuros proyectos parecía interesante analizar, entre otras cosas, el comportamiento a largo plazo de estos materiales; en particular, en el caso de los hormigones, su uso en entornos marinos y, concretamente, en estructuras de hormigón armado permanentemente sumergidas en agua marina. Teniendo en cuenta los actuales problemas de sobrepesca y deterioro de fondos marinos, se consideran de especial interés y utilidad las que puedan facilitar el desarrollo de fauna y flora marina, impidiendo o dificultando determinados tipos de pesca en zonas concretas.

El presente trabajo supone un análisis preliminar para enfocar posibles proyectos futuros que analicen el comportamiento a largo plazo de estructuras de hormigón armado con sustitución parcial de árido convencional por concha de mejillón reciclada, permanentemente sumergidos en agua de mar.

Se han preparado hormigones convencionales y hormigones con concha de mejillón, que se han conservado durante cierto tiempo, de tres formas diferentes: al aire; sumergidos en agua salada; y sumergidos en dicho medio, pero con barras de acero sometidas a tensión eléctrica. El objeto de esta última situación es acelerar los procesos de corrosión de dichas armaduras.

Los ensayos de corrosión natural y forzada hicieron disminuir progresivamente la resistencia de las probetas. Este efecto ha sido más acusado en los hormigones con concha de mejillón. A pesar de ello se considera factible su uso para las aplicaciones que se han comentado aquí.

358. EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA HORMIGÓN-ARMADURA EN HORMIGONES PROYECTADOS

ASSESSMENT OF CONCRETE-STEEL BOND STRENGTH IN SPRAYED CONCRETE

Tomàs García Vicente. Universitat Politècnica de Catalunya. Director del Laboratorio. Ingeniero en Organización Industrial. tomas.garcia@upc.edu

Sergio H. Pialarissi Cavalero. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr., Ingeniero Civil. sergio.pialarissi@upc.edu

Ana Blanco Álvarez. Universitat Politècnica de Catalunya. Investigadora Posdoctoral. Dra., Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ana.blanco@upc.edu

Jorge Pérez Cacho. Industrias Químicas del Ebro. Responsable Investigación y Desarrollo. Dr., Ciencias Químicas. jperez@iqe.es

Hormigón proyectado, acero corrugado, adherencia, pull-out.

Sprayed concrete, rebar, bond, pull-out.

Los avances tecnológicos en el ámbito del hormigón proyectado, tanto en los materiales, especialmente en los acelerantes de fraguado, como en los equipos de proyección, han incrementado el interés por esta técnica de puesta en obra para hacerla extensible a nuevas aplicaciones donde el hormigón asuma un mayor protagonismo estructural. El hormigón proyectado se ha vinculado principalmente a aplicaciones como la construcción subterránea y estabilización de taludes, pero también ha sido utilizado en otras aplicaciones en las que se le exige un carácter estructural permanente.

Las restricciones y alteraciones por la puesta en obra sobre el material colocado son bien conocidas, su mayor porosidad o el uso de mezclas con elevado contenido de cemento y baja carga mineral, son aspectos a tener en cuenta en las prestaciones del material resultante. La dificultad a la hora de reproducir las condiciones constructivas en laboratorio ha sido una barrera en la realización de estudios, pero las nuevas expectativas de su uso, hace necesario una mayor profundidad en estudios relativos a los aspectos estructurales, como puede ser el módulo de elasticidad, la resistencia a cortante, etc.

Siguiendo esta línea, este estudio presenta una nueva propuesta de ensayo para la evaluación de la adherencia hormigón-armadura en hormigones proyectados. La propuesta se basa en el ensayo de pull-out para hormigón convencional, que ha sido adaptado a sus singularidades. Para ello, se ha definido un panel 400×800 mm en el que se ubican tres barras (fig. 1), que permite realizar 3 determinaciones por muestra, y caras frontal y opuesta perpendiculares a la dirección de la barra, para facilitar su extracción y medida de su deslizamiento (fig. 2).

Para analizar su viabilidad y validez de los resultados que se obtienen, se han realizado ensayos sobre probeta cúbica y placa con hormigón convencional, obteniéndose valores de resistencia de adherencia similares. Asimismo, se han realizado estudios para analizar la influencia del espesor del panel en los resultados de adherencia, dado el difícil control del espesor durante la proyección.

Las pruebas realizadas en hormigón proyectado muestran que la adherencia puede alcanzar valores muy cercanos a los que se obtienen en hormigón convencional, pero también que puede verse reducida

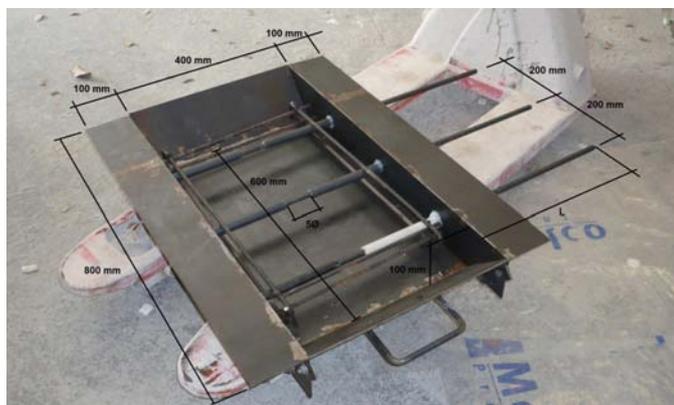


Figura 1. Artesa para fabricación de las muestras de ensayo



Figura 2. Configuración del ensayo

significativamente, como en aquellas aplicaciones en las que no hay un buen diseño de mezcla o dosificaciones altas de acelerante, dando lugar a discontinuidades en el flujo durante el proceso de bombeo y proyección, o en el caso de un denso refuerzo.

374. PUNZONAMIENTO EN LOSAS ARMADAS CON FRP SIN ARMADURA TRANSVERSAL. ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS ANALÍTICOS

PUNCHING IN CONCRETE SLABS REINFORCED WITH FRP REBARS WITHOUT TRANSVERSE REINFORCEMENT. COMPARATIVE STUDY OF ANALYTICAL MODELS

Eva Oller Ibars. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesora Agregada. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. eva.oller@upc.edu

Antonio Marí Bernat. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.mari@upc.edu

Josep Jaume González Rodríguez. Universitat Politècnica de Catalunya. Estudiante MECCP. Ingeniero Obras Públicas. jagoro9@gmail.com

Armadura pasiva PRF, punzonamiento, modelos analíticos, base de datos.

FRP rebars, punching, analytical models, database.

La aplicación práctica de armadura pasiva de polímeros reforzados con fibras (PRF) en losas o forjados bidireccionales o en tableros de puente en ambientes susceptibles a corrosión se encuentra muy limitada actualmente. Además del coste de este material, una de las razones es el insuficiente conocimiento del comportamiento a punzonamiento de estos elementos en la conexión losa-columna o bajo cargas puntuales.

El comportamiento a punzonamiento de losas armadas con barras de PRF con o sin armadura transversal es un fenómeno complejo que depende de diversos parámetros. La principal diferencia con el caso del hormigón armado convencional es que la armadura pasiva de PRF tiene un comportamiento elástico-lineal hasta rotura y no plastifica.

En la actualidad, existe un número limitado de estudios experimentales y analíticos sobre esta materia. De acuerdo con las campañas experimentales existentes (fig. 1), parece ser que el perímetro crítico

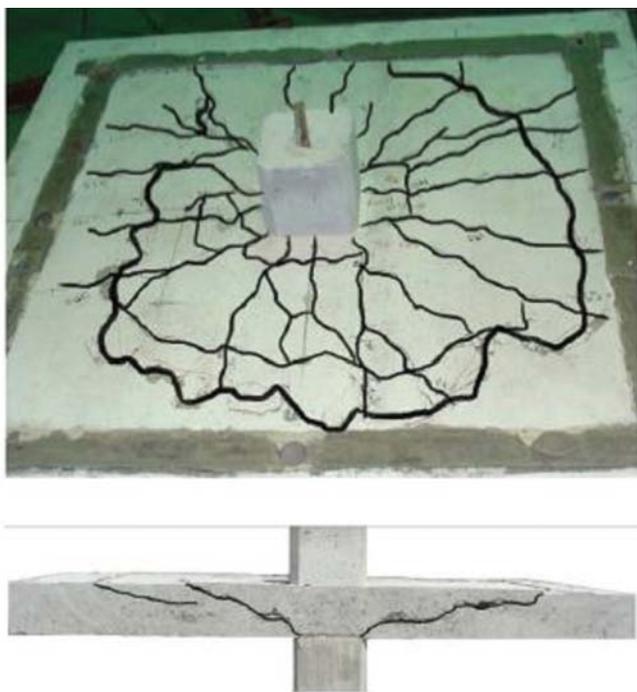


Figura 1. Rotura a punzonamiento de losa armada con barras PRF (Hassan et al. 2013)

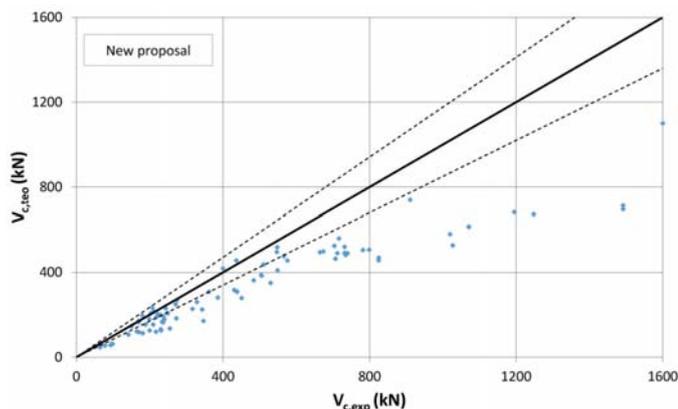


Figura 2. Cortante último experimental vs cortante último teórico para la nueva propuesta

en rotura es menor que en losas con armadura convencional. Se observa también como la carga última es menor en una losa armada con PRF, las deformaciones son mayores debido al menor módulo de elasticidad que tienen las barras PRF en relación a las de acero, y el ancho de fisura es mayor.

En este artículo se realiza un estudio comparativo de la fiabilidad de las formulaciones existentes para evaluar la resistencia a punzonamiento de losas armadas con PRF sin armadura transversal. Para ello se ha elaborado una base de datos de 88 ensayos recogidos en la literatura de 16 campañas experimentales existentes. No se han analizado las losas con armadura transversal, dado el reducido número de ensayos existentes (18 ensayos de 4 campañas).

La mayor parte de las formulaciones existentes que predicen la resistencia a punzonamiento de losas armadas con PRF sin armadura transversal son una modificación de las ecuaciones para losas armadas convencionales que tienen en cuenta una menor rigidez de las armaduras de PFR. En base al modelo unificado desarrollado por Marí et al.

(2014) para cortante y punzonamiento de elementos de hormigón armado convencional, se realiza una propuesta para losas de hormigón armadas con PRF sin armadura transversal (fig. 2).

381. ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LOS MODOS DE FALLO POR CORTANTE EN VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MODES OF FAILURE OF SHEAR-CRITICAL FIBER-REINFORCED CONCRETE BEAMS

Juan Navarro Gregori. Universitat Politècnica de València. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero de Caminos. Doctor. por la UPV. juanagre@cst.upv.es

Francisco Ortiz Navas. Universitat Politècnica de València. Estudiante Máster Ingeniería del Hormigón. Ingeniero Civil. francisco.ortiz.navas@gmail.com

Gabriel Leiva Herdocia. Universitat Politècnica de València. Estudiante Máster Ingeniería del Hormigón. Ingeniero Civil. galeivah@gmail.com

Pedro Serna Ros. Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos. pserna@cst.upv.es

Estefanía Cuenca Asensio. Politecnico di Milano. Becaria Posdoctoral. Ingeniera de Caminos. Dra. por la UPV. estefania.cuenca@polimi.it

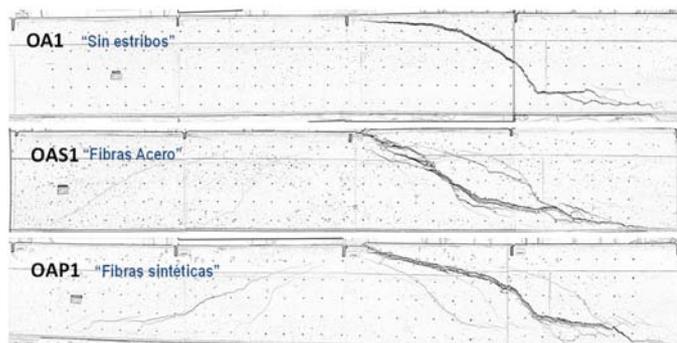
Hormigón, cortante, fallo, fibras acero, fibras sintéticas.

Concrete, shear, failure, steel fibres, synthetic fibres.

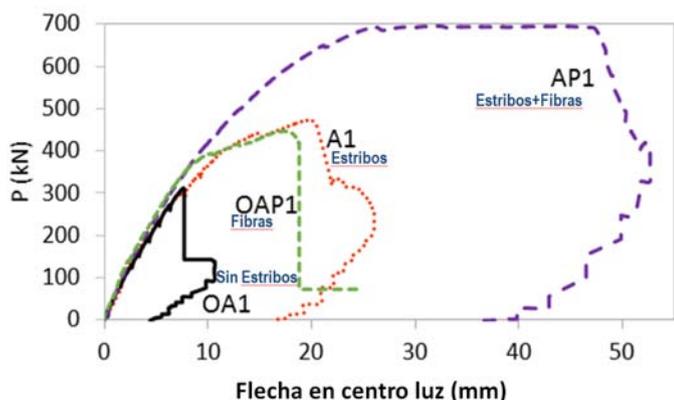
En esta investigación se realiza un trabajo experimental en el que se estudian los modos de fallo por cortante en vigas de hormigón armado y de hormigón reforzado con fibras. El estudio experimental está basado en una tradicional campaña experimental realizada por Bresler y Scordelis en la Universidad de Berkeley en los años 60 en las que se estudiaron los principales modos de fallo por cortante en vigas de hormigón armado. Es importante destacar que una serie de vigas de similares características se volvieron a ensayar en la Universidad de Toronto obteniéndose resultados similares unos cuarenta años después. En esta investigación buena parte de las 12 vigas originales se ha repetido y se ha extrapolado el estudio incluyendo vigas de hormigón reforzado con fibras.

El objetivo general que se persigue en este trabajo es el estudio de cómo se modifica el comportamiento a cortante de elementos tipo viga al incluir fibras. Concretamente se pretende estudiar con detalle los diferentes modos de fallo que se producen, la mejora de la capacidad de carga-flecha, la ductilidad y la sinergia a cortante entre las armaduras transversales y las fibras.

Los parámetros tenidos en cuenta en esta campaña experimental han sido, la presencia o no de armadura transversal, la esbeltez a cortante a/d , el ancho de la sección, así como la posible inclusión de fibras en la matriz de hormigón. Se ha optado por extender el estudio para un tipo de hormigón con fibras de acero y otro de macro fibras sintéticas de polipropileno de similares características resistentes. La campaña experimental consta de un total de 24 vigas (8 de hormigón armado, 8 de hormigón con fibras de acero y 8 de hormigón con fibras sintéticas). Para cada grupo de 8 vigas se han considerado 4 de ellas sin armadura de cortante. Se han estudiado dos anchos distintos y dos relaciones de esbeltez a cortante diferentes ($a/d = 4$ y 5).



Rotura a cortante de viga sin estribos. Influencia de las fibras



Efecto de los estribos y las fibras sintéticas en la respuesta carga-flecha

Se presenta una discusión crítica de los resultados experimentales obtenidos y se comparan los resultados de las cargas de rotura alcanzadas con las estimaciones que predice el Código Modelo 2010.

Como conclusión general del estudio se puede decir que las fibras, con una dosificación adecuada, son un eficaz mecanismo de resistencia a cortante, y pueden sustituir completamente la armadura de cortante.

387. MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO EN FRACTURA DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA SEGÚN SU CONTENIDO

NUMERICAL MODEL OF THE FRACTURE BEHAVIOR OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE REGARDING THE FIBRE CONTENT

Federico Palazón Garrido. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fedpalgar@alum.us.es

Fernando Medina Reguera. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Investigador del Grupo TEP-245. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fmedinar@us.es

Elisa Poveda Bautista. ETSICCP. Universidad de Castilla-La Mancha. Profesora Ayudante Dra. Dra. Ingeniera Industrial. elisa.poveda@uclm.es

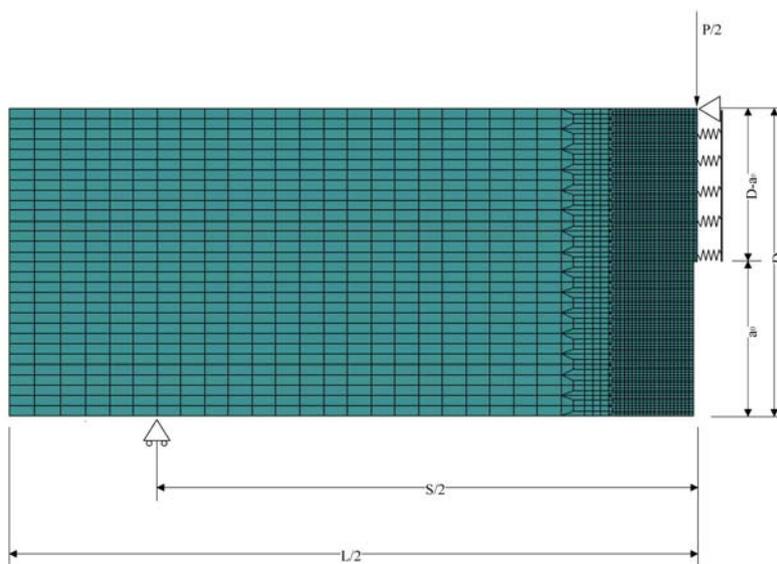
Héctor Cifuentes Bulté. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es

Fernando Medina Encina. Grupo de Estructuras-ETSI. Universidad de Sevilla. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. medinaencina@us.es

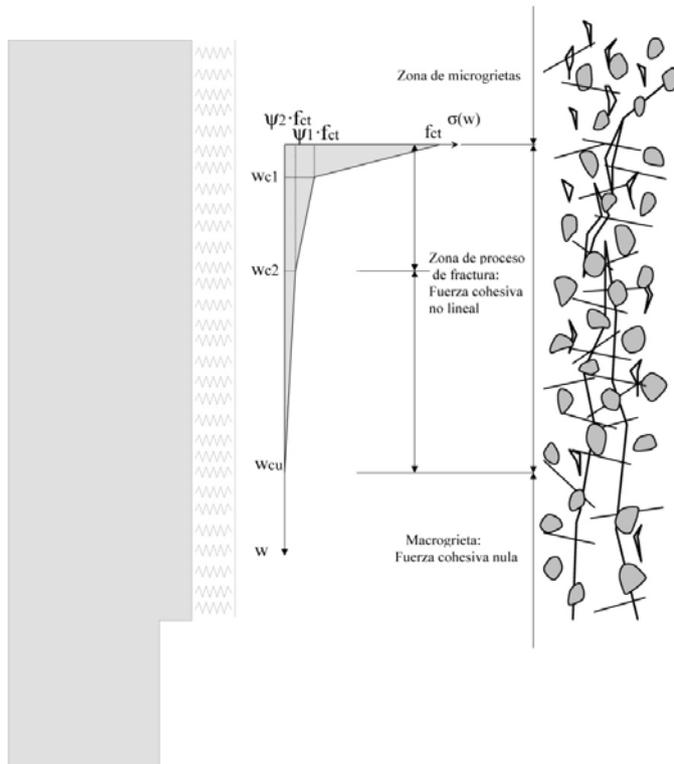
Fractura, fibra, ablandamiento, modelos numéricos, experimental.

Fracture, fiber, softening, numerical models, experimental.

El objeto de este estudio es el desarrollo de un modelo numérico para caracterizar el comportamiento en fractura de elementos de hormigón autocompactante reforzados con fibras de acero (SCFRC) y parametrizar dicho modelo en función del contenido en fibras. Se han simulado ensayos a flexión en tres puntos mediante modelos de grieta discreta, en los que se adopta la hipótesis de que una grieta única se propaga en la sección central de la probeta, con el fin de correlacionarlos con datos experimentales disponibles de ensayos realizados a series de probetas con la misma dosificación y diferente contenido en fibra tipo HE 55/35. Así, para modelizar el comportamiento cohesivo del hormigón en tracción se emplean elementos cohesivos unidireccionales con una ley de comportamiento no lineal para representar el ablandamiento.



Modelo de grieta discreta para probeta entallada sometida a flexión en tres puntos



Comportamiento no lineal del modelo de elementos cohesivos unidireccionales para modelo de grieta discreta

to en tracción. Las leyes de comportamiento se definen mediante la ley de ablandamiento Tensión-desplazamiento y el área de influencia de cada elemento. Con este modelo se consigue, mediante un proceso de análisis inverso a partir de los resultados experimentales, obtener unas leyes de ablandamiento analíticas y paramétricas. Los ensayos de flexión en tres puntos se llevan a cabo para obtener el valor de energía de fractura (GF) y la curva f-CMOD del hormigón reforzado con fibras. A partir de ésta se determinan los valores de resistencia residual a flexotracción (f_{Ri}). Para obtener la correspondencia con los ensayos, se han simulado los resultados correspondientes a un total de cuatro ensayos de energía de fractura sobre probetas prismáticas de $400 \times 100 \times 100$ mm para la amasada de hormigón autocompactante sin adición de fibras. Para las amasadas con adición de fibras, se han simulado los resultados correspondientes a 16 probetas para determinar los valores de resistencia residual a flexotracción, 4 para cada una de los 4 contenidos en fibra estudiados (15, 30, 45 y 60 kg/m³). El resultado de estas simulaciones es un modelo numérico, capaz de ajustarse a las curvas carga-desplazamiento experimentales, dependiente de los parámetros de fractura (resumidos en la ley de ablandamiento), y estando éstos a su vez relacionados con el contenido en fibras de acero en la probeta. El modelo obtenido puede aplicarse a diferentes geometrías de probeta y al estudio del efecto tamaño.

393. PROPIEDADES MECÁNICAS EN FATIGA DE UN HORMIGÓN DE MUY ALTAS PRESTACIONES MEDIANTE ENSAYOS DE FLEXIÓN EN 3 PUNTOS

FATIGUE MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE USING THREE-POINT BENDING TESTS

José David Ríos Jiménez. Universidad de Sevilla. PhD Student. Ingeniero Superior Industrial. jdrios@us.es

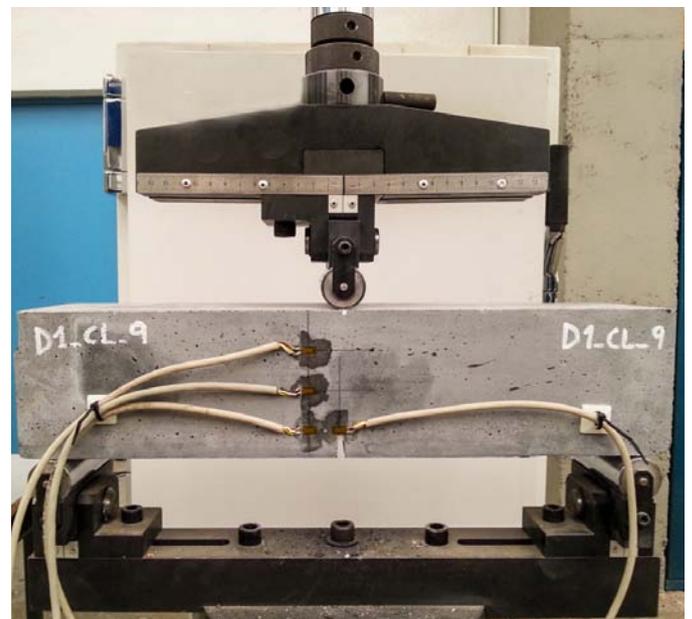
Héctor Cifuentes Bulté. Universidad de Sevilla. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es
Fernando Medina Encina. Universidad de Sevilla. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. medinaencina@us.es

Hormigón de muy altas prestaciones, propiedades de fatiga, desarrollo de grietas, ensayo de flexión en tres puntos.

Ultra-high performance concrete, fatigue properties, crack development, three-point bending tests.

Los hormigones de muy altas prestaciones se caracterizan por tener una significativa resistencia a compresión y tracción, no siendo esta última despreciable como sí ocurre en el caso de hormigones de resistencia normal. La aplicación de hormigones de muy altas prestaciones en estructuras civiles lleva a poder usar elementos más esbeltos en la práctica. Por ejemplo, esto es muy relevante en puentes donde las cargas de tráfico son significativamente elevadas, debido a una densidad de población importante, y es necesario construir estructuras más eficientes. Sin embargo, los efectos de fatiga en este tipo de estructuras juegan un papel muy importante. El mecanismo de rotura del hormigón es bastante complejo debido a su heterogénea naturaleza. El ablandamiento del material tras alcanzar su máxima carga generado por la aparición de micro grietas en la zona de proceso de fractura, así como el paso de micro a macro grietas, no es más que una breve presentación del complejo proceso de rotura. Todo ello unido a la variabilidad de resultados propia del comportamiento en fatiga lleva a que este sea un comportamiento bastante complejo para ser analizado.

En este trabajo se estudia el comportamiento en fatiga de hormigones de muy altas prestaciones mediante el cálculo de las propiedades mecánicas de dos tipos de hormigones donde la única diferencia se encuentra en su refuerzo. Uno de ellos, estaba reforzado con fibras de acero y el otro sin ningún tipo de refuerzo. Se realizaron dos grupos de probetas para posteriormente ser sometidas a ensayos de fatiga de flexión en tres puntos. A partir de estos resultados se calcularon y compararon las propiedades de fatiga y mecánicas de dichos hormigones.



Ensayo de fatiga en flexión en tres puntos



Hormigón de muy altas prestaciones

395. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN A TEMPERATURAS EN EL COMPORTAMIENTO EN FRACTURA DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES REFORZADOS CON FIBRAS DE PP

INFLUENCE OF EXPOSURE TIME OF TEMPERATURES ON FRACTURE BEHAVIOUR OF SELF-COMPACTING CONCRETE REINFORCED WITH PP FIBRES

José David Ríos Jiménez. Universidad de Sevilla. Investigador. Ingeniero Industrial. jdrios@us.es

Héctor Cifuentes Bulté. Universidad de Sevilla. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es

Carlos Leiva Fernández. Universidad de Sevilla. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. cleiva@us.es

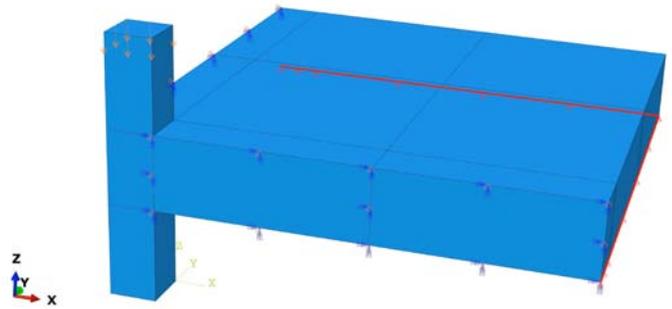
Fernando Medina Encina. Universidad de Sevilla. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. medinaencina@us.es

Hormigón reforzado con fibras, comportamiento en fractura, temperatura, fibras de polipropileno.

Fibre reinforced concrete, fracture behaviour, temperature, polypropylene fibres.

La tecnología del hormigón ha sido ampliamente desarrollada en los últimos tiempos llevando a mejorar los procesos de obtención de este tipo de materiales, así como su rendimiento. De este modo, el uso de hormigones de altas o muy altas prestaciones está siendo bastante habitual en aplicaciones donde hasta el momento solo eran utilizadas estructuras de acero. El uso de estos hormigones, con tan buenas propiedades mecánicas, en aplicaciones donde las cargas soportadas son muy elevadas y donde están sometidos a altas temperaturas simultáneamente es bastante habitual. Por ejemplo, en depósitos de almacenamiento de vapor o sarcófagos de plantas de energía nuclear. En estas aplicaciones el hormigón está sometido a temperaturas medias o altas durante un periodo de tiempo prolongado y no a muy altas temperaturas durante un muy corto espacio de tiempo, como ocurre durante un incendio.

En este trabajo se analiza la influencia que diferentes niveles de temperatura, medios y altos, tienen en el comportamiento mecánico de un hormigón de alta resistencia autocompactante. Con especial atención a su comportamiento en fractura. Para llevar a cabo esto, fueron realizados ensayos normalizados para la caracterización mecánica de los diferentes hormigones a sus respectivas temperaturas. Las propiedades mecánicas fueron medidas tanto para los casos de



Hormigón enfriado tras ser sometido a 700 °C

hormigón en caliente como para los mismos hormigones tras el proceso de enfriamiento. El uso de fibras de polipropileno reduce el daño que la temperatura genera en la matriz de hormigón.

399. PROBLEMÁTICA EN LA INSPECCIÓN DE PUENTES METÁLICOS ANTIGUOS

INSPECTION WORRY IN OLD METAL BRIDGES

Ismael Carpintero García. CEDEX-Laboratorio Central. Coordinador de Programa. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ismael.carpintero@cedex.es

Inspección, Fragilidad, Puente, Metálico, Ensayos.

Inspection, Brittle, Bridge, Metal, Test.

En general, los mecanismos de daño en el material de estructuras metálicas se producen como consecuencia del desarrollo de dos fenómenos: la corrosión y la susceptibilidad del metal a la rotura frágil.

Para controlar estos fenómenos se suelen establecer programas de mantenimiento que contemplan la realización de inspecciones periódicas (llamadas inspección básica y principal en el campo de las inspecciones de puentes).



Puente ferroviario metálico antiguo

El alcance de estas inspecciones es generalmente visual, empleando en ocasiones medios auxiliares de acceso. Normalmente este alcance es suficiente para controlar los daños por corrosión, daños que suelen ser bastante ostensibles y fáciles de detectar.

Sin embargo la inspección visual de la estructura puede no ser suficiente para la detección de posibles grietas en el metal, daños que no son infrecuentes en estructuras antiguas y pueden conducir a fallos con insuficiente capacidad de aviso.

Una opción en estos casos sería plantear de forma generalizada en estos puentes inspecciones periódicas muy intensivas, incrementando el tiempo de inspección y empleando medios auxiliares de acceso. Claramente esto encarecería en gran medida la inspección.

La solución de compromiso sería que el control periódico las estructuras susceptibles de desarrollar este tipo de daños se realizase con ese mayor alcance sólo en las zonas críticas de la estructura. La identificación de estas zonas críticas pasa por realizar un análisis previo que señale cuáles son los elementos cuyo fallo puede dar lugar a daños



Fisura en platabanda

desproporcionados en el conjunto de la estructura; y cuáles son las áreas en las que pueden producirse mayores concentraciones de tensiones.

Determinar en qué puentes es necesario que las inspecciones periódicas tengan ese mayor alcance puede realizarse conociendo la sensibilidad del material metálico a la rotura frágil. Como por lo general no se tiene dicho conocimiento, se puede realizar una primera caracterización del material mediante ensayos sobre muestras tomadas de la propia obra (por ejemplo mediante ensayos de impacto tipo Charpy, el análisis químico del metal, y la caracterización por microscopía de su estructura metalográfica).

A modo de ejemplo se muestra el caso de un puente de ferrocarril de un siglo de antigüedad en el que en una inspección visual se detectaron grietas en el metal que comprometían severamente su integridad estructural, por lo que fue inmediatamente puesto fuera de servicio. Posteriormente se realizaron ensayos que confirmaron la susceptibilidad del metal a la rotura frágil y justificaban la aparición de los daños.

402. LONGITUDES DE ANCLAJE DE ARMADURAS CON PROLONGACIÓN RECTA Y CON CABEZA PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE PILAS DE PUENTE

DEVELOPMENT LENGTHS OF STRAIGHT AND HEADED LONGITUDINAL REINFORCING BARS FOR SEISMIC DESIGN OF BRIDGE COLUMNS

Juan Murcia Delso. University of Texas at Austin. Assistant Professor. PhD. murcia@utexas.edu

Vasileios Papadopoulos. PhD. vassilpap@gmail.com

P. Benson Shing. University of California, San Diego. Professor. PhD. pshing@ucsd.edu

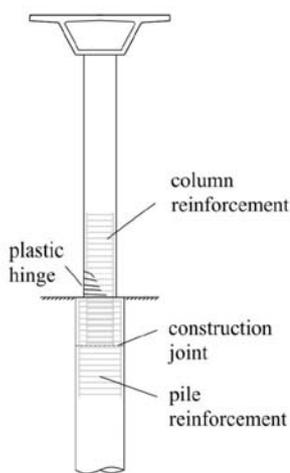
Longitud de anclaje, pilas de puente, diseño sismorresistente, barras con cabeza.

Development length, bridge columns, seismic design, headed bars.

Esta ponencia presenta las conclusiones de dos estudios realizados en la Universidad de California, San Diego sobre la longitud de anclaje de armaduras longitudinales en pilas de puente en zona sísmica.

El primer estudio se centra en la longitud de anclaje de la armadura longitudinal de la pila en una cimentación monopilote con sección ampliada respecto a la pila. Este tipo de cimentación impide la formación de una rótula plástica en el pilote en caso de terremoto, por lo que la inspección de daños resulta más sencilla. Sin embargo, debido a que los diámetros de la pila y el pilote son diferentes, no es posible disponer de una armadura continua para ambos elementos y la armadura longitudinal de la pila tiene que solaparse con la armadura longitudinal del pilote. Se han llevado a cabo 4 ensayos de laboratorio en elementos pila-pilote a escala real para estudiar la longitud de anclaje mínima de barras con prolongación recta en el pilote y la armadura transversal necesaria en el pilote para evitar el fallo del anclaje. Los resultados experimentales se han complementado con análisis no lineal por elementos finitos para establecer nuevas recomendaciones de diseño sismorresistente. Estas recomendaciones pueden reducir significativamente la longitud de anclaje de la armadura de la pila en el pilote en comparación con las normativas sismorresistentes actuales de puentes en Estados Unidos (Caltrans y AASHTO).

El segundo estudio se centra en el uso de barras con cabeza para minimizar la longitud de anclaje de la armadura de la pila en el table-



Pila sobre monopilete de sección ampliada y ensayo de laboratorio

ro de puentes losa y asegurar a su vez la formación de una rótula plástica en la pila. Se han ensayado tres elementos pila-losa en el laboratorio para determinar la longitud mínima de anclaje de estas barras, así como la armadura necesaria en la zona de unión entre la losa y la pila. El estudio también ha incluido análisis no lineal por elementos finitos de los elementos ensayados. Los resultados de esta investigación han demostrado que las barras con cabeza pueden alcanzar su resistencia última a tracción con longitudes menores a las especificadas en la normativa de hormigón estructural ACI 318 si se proporciona suficiente armadura en la zona de unión para evitar fallos del anclaje a tracción y por punzonamiento.



Ensayo pila-losa

405. EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN NUCLEAR MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS NO DESTRUCTIVAS

CORROSION EVALUATION IN THE NUCLEAR CONTENTION STRUCTURES USING NON-DESTRUCTIVE ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES

Isabel Martínez Sierra. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Científica Titular. Dra. Ciencias Químicas. isabelms@ietcc.csic.es
 Ángel Castillo Talavera. Instituto Eduardo Torroja. CSIC. Científico Titular. Vicedirector IETcc. Dr. Ingeniero de Caminos. acastillo@ietcc.csic.es

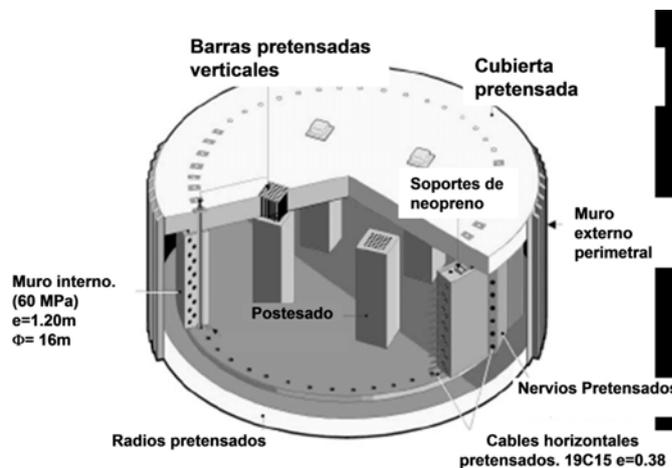
Corrosión, contención nuclear, liner metálico, técnicas electroquímicas, evaluación no destructiva.

Corrosion, nuclear containment, metal liner, electrochemical techniques, non-destructive evaluation.

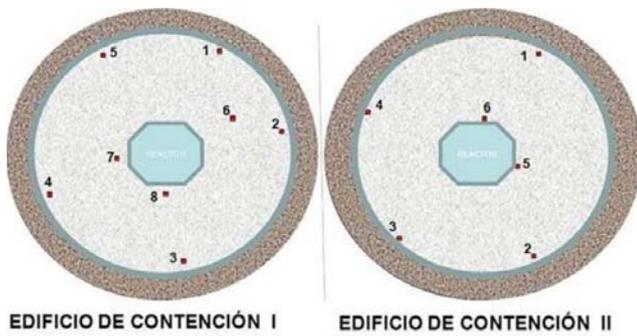
La durabilidad de las estructuras en Centrales Nucleares es un tema de gran importancia a nivel técnico y con un elevado impacto social en la actualidad. Son muchos los planteamientos que se realizan en relación al estado de estas estructuras nucleares y a la posibilidad de prorrogar su vida útil, siendo la corrosión uno de los problemas que más preocupa en la actualidad. Por ello, la evaluación y control de la corrosión en estructuras como los liners de los edificios de contención es extremadamente importante para que éste no sea el motivo que limite la vida de estas estructuras.

En el presente trabajo se muestran resultados de la aplicación de técnicas electroquímicas no destructivas en estructuras reales de contención nuclear para la evaluación de la corrosión de armaduras o elementos metálicos embebidos en el hormigón, como son los liners antes mencionados. Entre los parámetros evaluados se destacan la velocidad de corrosión, el potencial de corrosión del metal y la resistividad eléctrica del hormigón. Dichas técnicas se aplican de forma habitual para la detección de la corrosión en estructuras de hormigón armado, tanto en edificación como en obra civil y también han sido utilizadas para la evaluación de otras estructuras nucleares, pero nunca antes se habían utilizado para la evaluación de estas estructuras críticas de difícil acceso.

La principal ventaja que presenta este método de medida es que permiten que la evaluación se realice directamente sobre la cara de la losa



Esquema estructura interna del edificio de contención



Esquema de medidas

de hormigón accesible desde el propio edificio (opuesta a la cara en la que se encuentra embebido el liner). Esta zona del liner embebida en la losa inferior es la que presenta la mayor problemática de cara al riesgo de corrosión, especialmente en su unión con los muros verticales.

De este modo, se ha evaluado la evolución en el tiempo del comportamiento de dos estructuras de esta tipología en dos centrales nucleares diferentes. Se han detectado variaciones importantes en la resistividad eléctrica del hormigón, lo que implica una variación en la humedad presente en los poros del hormigón. Dichas variaciones se ven también traducidas de manera directa en el resto de parámetros electroquímicos evaluados, observándose un incremento del riesgo de corrosión con el descenso de la resistividad.

Con todo ello, estas técnicas se postulan como las más adecuadas para la detección de la corrosión de manera precoz en estas tipologías estructurales de difícil acceso.

406. INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LAS CORRELACIONES ENTRE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

INFLUENCE OF THE WATER/CEMENT RATIO ON THE CORRELATIONS BETWEEN NON-DESTRUCTIVE TESTS AND COMPRESSIVE STRENGTH ACCORDING TO THE TEMPERATURE

Miriam Velay Lizancos. Purdue University. Post-doctoral researcher. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. mvelayli@purdue.edu
Pablo Vázquez Burgo. Universidade da Coruña. Investigador. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pablo.vazquez.burgo@gmail.com
Isabel Martínez Lage. Universidade da Coruña. Profesora. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. isabel.martinez@udc.es

Relación agua/cemento, resistencia a compresión, velocidad de ultrasonidos, índice de rebote, temperatura de curado.

Water/cement ratio, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, rebound number, curing temperature.

Muchos ensayos no destructivos (NDT) son utilizados para la estimación de la resistencia a compresión, disminuyendo la cantidad de testigos necesarios. Sin embargo, cabe destacar que para cada hormigón es preciso calibrar la curva de correlación, ya en que estas correlaciones influyen gran cantidad de factores que pueden modificarla. Dos de los NDT más utilizados son la velocidad de pulso ultrasónico (UPV) y el índice de rebote (RN).

Si se pudiese observar y cuantificar cuanto influye cada uno de estos factores, se podría llegar a obtener una formulación de estimación de la resistencia a compresión en función de estos factores y de los resultados de los ensayos no destructivos.

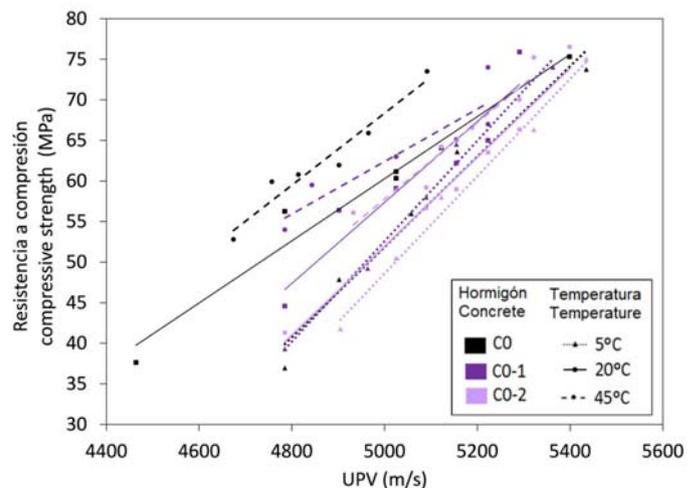
Uno de estos factores es la relación agua/cemento (a/c). Es sabido que la relación a/c influye en las correlaciones entre la UPV y la resistencia a compresión. En esta investigación se estudia la influencia de la relación a/c en las correlaciones entre ensayos NDT (UPV o RN) y la resistencia a compresión a distintas temperaturas de curado, con el fin de observar la influencia de la temperatura de curado en el efecto que tienen pequeñas variaciones de a/c.

Para ello, se utilizan tres hormigones vibrados de alta resistencia cuya única diferencia en sus dosificaciones es la relación agua/cemento. El hormigón denominado CO tiene una relación a/c de 0,45, el denominado CO-1 de 0,425 y el hormigón CO-2 de 0,40.

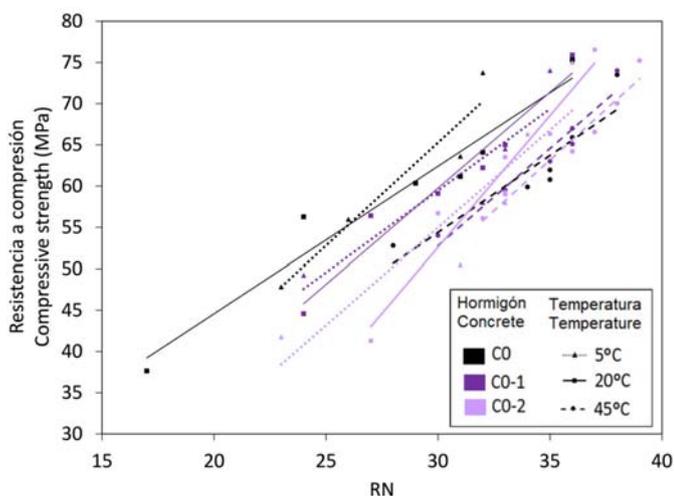
Se observa que la relación agua/cemento influye en las relaciones entre ensayos no destructivos y resistencia a compresión, tanto para la velocidad de ultrasonidos como para el índice de rebote.

Se aprecia que para temperaturas de curado medias/altas (20 °C y 45 °C) la relación a/c influye de forma considerable en las correlaciones entre UPV y resistencia a compresión. Mientras que, a bajas temperaturas (5 °C), las variaciones de a/c tienen un menor efecto en estas correlaciones.

Por otra parte, temperaturas medias/bajas (20 °C y 5 °C), las pequeñas variaciones de a/c afectan de forma considerable a las correlaciones entre índice de rebote y resistencia a compresión. Por el contrario, a 5 °C y a 20 °C de temperatura de curado, las pequeñas variaciones de a/c sí influyen en las correlaciones entre índice de rebote y resistencia a compresión.



Resistencia a compresión vs. velocidad de ultrasonidos



Resistencia a compresión vs. índice de rebote

Por ello, se concluye que la temperatura de curado puede ser un factor determinante en la influencia de la relación agua/cemento en las correlaciones estudiadas, y debe ser tenido en cuenta.

407. UTILIZACIÓN DE CENIZAS DE BIOMASA COMO FILLER DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES

UTILIZATION OF BIOMASS ASHES AS A FILLER FOR SELF-COMPACTING CONCRETES

Pablo Vázquez Burgo. Universidade da Coruña. Investigador.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

pablo.vazquez.burgo@gmail.com

Miriam Velay Lizancos. Universidade da Coruña. Investigadora.

Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

miriamvelay@gmail.com

Marcos Rivas Fernández. Universidade da Coruña. Estudiante.

Graduado en Tecnología de la Ingeniería Civil. marcos.rivas@udc.es

Isabel Martínez Lage. Universidade da Coruña. Profesora.

Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. isabel.martinez@udc.es

Antonio Ramírez Rodríguez. SACYR Construcción, S.A. Director I+D+i.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. aramirez@sacyr.com

Cenizas de biomasa, dregs, filler, hormigones autocompactantes, propiedades físico-mecánicas.

Biomass ash, dregs, filler, self-compacting concrete, physico-mechanical properties.

En las últimas décadas se ha visto la necesidad de proteger el medio ambiente por lo que se han puesto en marcha estrategias con el fin de no malgastar sus recursos naturales, disminuir las emisiones de CO₂ y gestionar los residuos adecuadamente.

La finalidad de esta investigación es el estudio de la utilización de dos residuos de la industria papelera, cenizas de biomasa y dregs, como filler de hormigones autocompactantes. Para ello, se ha dosificado un hormigón autocompactante con una relación agua/finos de 0,30 y una relación de agua/cemento de 0,38, de forma que el filler supone el 20% de los finos. Se han fabricado cuatro hormigones distintos, uno de referencia con filler convencional (HAC-0), otro en el

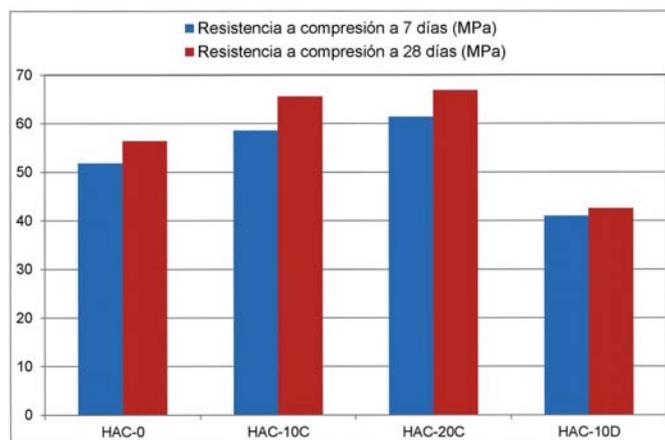
que la mitad del filler se ha sustituido por cenizas de biomasa (HAC-10C), un tercero en el que todo el filler ha sido sustituido por cenizas (HAC-20C) y un cuarto en el que la mitad del filler se ha sustituido por dregs (HAC-10D).

Los ensayos realizados a estos hormigones han sido resistencia a compresión, resistencia a tracción indirecta, módulo de deformación y profundidad de penetración de agua bajo presión. De los resultados obtenidos se puede concluir que cuando se sustituye filler por cenizas de biomasa, la resistencia a compresión y a tracción indirecta aumentan significativamente y el módulo de deformación también aumenta pero, en este caso, sólo ligeramente.

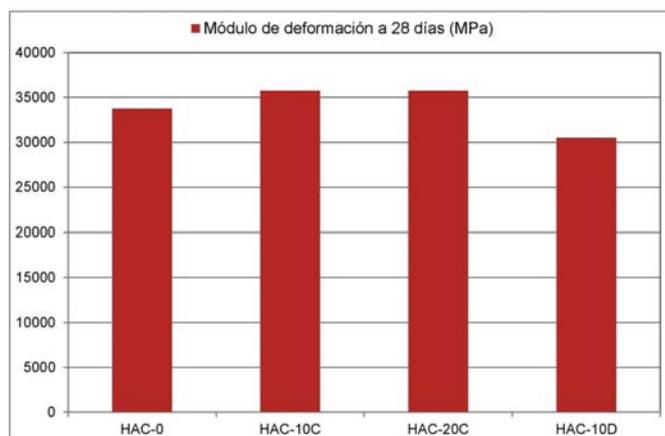
Para el hormigón en el que la mitad del filler se sustituye por dregs se comprueba que la resistencia a compresión y a tracción disminuye drásticamente. El módulo de deformación también disminuye aunque no en la misma medida que las anteriores.

Con respecto a la penetración de agua bajo presión se puede comprobar que la penetración máxima aumenta cuando se sustituye filler por cenizas de biomasa pero en todos los casos se cumplen las limitaciones de la EHE-08 para todas las clases de exposición ambiental. Para el caso de los dregs, aumenta tanto la penetración máxima como la media no cumpliendo la limitación de la EHE-08 para las clases IIIc, Qc y Qb pero sí todas las demás.

Como conclusión final se puede señalar que la sustitución de filler por estas cenizas de biomasa en hormigones autocompactantes puede ser viable. Si bien no se considera apropiado la sustitución de filler por dregs ya que las propiedades mecánicas disminuyen de manera importante.



Resistencia a compresión



Módulo de deformación

409. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS RESIDUALES DE HORMIGONES EXPUESTOS A ALTAS TEMPERATURAS

STUDY OF RESIDUAL MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETES AFTER HIGH TEMPERATURE EXPOSURE

Francisco de Borja Varona Moya. Universidad de Alicante. Profesor Colaborador. Dr. Ingeniero Industrial. borja.varona@ua.es
F. Javier Baeza de los Santos. Universidad de Alicante. Profesor Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fj.baeza@ua.es
Salvador Ivorra Chorro. Universidad de Alicante. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. sivorra@ua.es

Alta temperatura, hormigón de alta resistencia, propiedades residuales, resistencia mecánica, módulo de elasticidad dinámico.

High temperature, high strength concrete, residual properties, mechanical strength, dynamic elastic modulus.

El hormigón estructural presenta un comportamiento razonablemente bueno cuando se expone a altas temperaturas, bien de forma continuada en determinados procesos industriales o bien de forma extraordinaria en situación de incendio. A pesar de ello, la exposición a temperaturas elevadas produce una degradación físico-química que reduce las propiedades resistentes del hormigón. A lo largo del siglo XX se han llevado a cabo numerosas campañas de investigación que han logrado determinar cuantitativa y cualitativamente la degradación de diversas propiedades resistentes de diferentes tipos de hormigones. Uno de los principales problemas del hormigón sometido a altas temperaturas es el desconchamiento superficial (sloughing off) o la rotura explosiva (explosive spalling) del mismo. Estos tipos de fallo se relacionan con la incompatibilidad de deformaciones por dilatación diferencial, o incluso con el aumento de presión intersticial por los gases generados en distintas reacciones de descomposición al incrementar la temperatura. El presente trabajo presenta un estudio experimental sobre la evolución de las prestaciones mecánicas de hormigones de distinta resistencia al ser expuestos a altas temperaturas. Se prepararon dos hormigones, uno convencional y otro de alta resistencia, con resistencias a compresión simple a 28 días de 25,6 y 79,8 MPa, respectivamente. En ambos casos se incluyeron fibras de polipropileno para evitar la posible rotura explosiva de los mismos

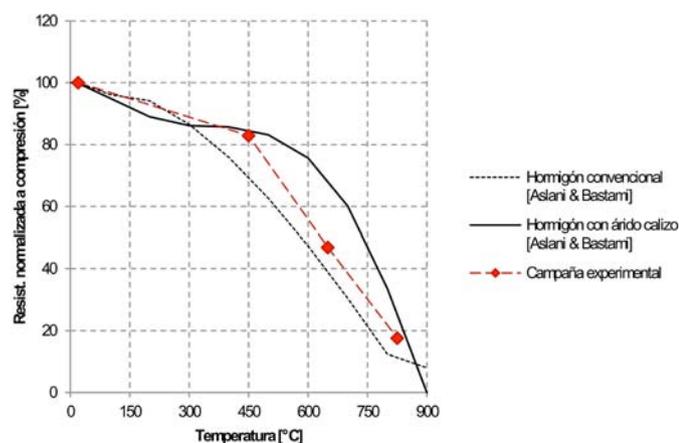


Figura 1. Rotura explosiva en un hormigón convencional sin fibras de polipropileno durante el calentamiento



Figura 2. Evolución de la resistencia residual a compresión en función de la temperatura máxima de exposición

durante las fases de calentamiento hasta 825 °C. En todos los casos los ensayos se han realizado en condiciones residuales, es decir, después de un enfriamiento natural tras una exposición continuada durante 75 minutos a la temperatura máxima de cada intervalo de estudio (450 °C, 650 °C y 825°C). Los resultados han sido contrastados con los de otras campañas experimentales y los valores incluidos en las normativas de diseño. Finalmente, se han propuesto ecuaciones para determinar la evolución de algunas propiedades mecánicas de hormigones convencionales y de alta resistencia tras ser expuestos a altas temperaturas. En el caso de los hormigones de alta resistencia fabricados con áridos calizos, estos resultados tratan de paliar la falta de datos empíricos manifestada en la normativa añadiendo nuevos datos experimentales.

410. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE LOSAS DE EDIFICACIÓN SOMETIDAS A PUNZONAMIENTO

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF PUNCHING OF REINFORCED CONCRETE SLABS

Miguel Navarro Menargues. Universidad de Alicante. Investigador en formación. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. miguel.navarro@ua.es

Salvador Ivorra Chorro. Universidad de Alicante. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. sivorra@ua.es

Francisco de Borja Varona Moya. Universidad de Alicante. Profesor Colaborador. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. borja.varona@ua.es

F. Javier Baeza de los Santos. Universidad de Alicante. Profesor Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fj.baeza@ua.es

Punzonamiento, hormigón armado, losas, no lineal, simulación numérica.

Punching, reinforced concrete, slab, nonlinear, numerical simulation.

Entre los sistemas constructivos más empleados para edificación convencional en todo el mundo se encuentra el de losas y pilares de hormigón armado. Uno de sus problemas que reviste mayor importancia es el del fenómeno del punzonamiento, en el encuentro losa-pilar. La losa punzona al producirse su rotura alrededor del pilar en el que se apoya, con una forma troncocónica o troncopiramidal, en función de la sección del pilar. Este fallo se origina por agotamiento

a tracción del hormigón, a causa de las tensiones tangenciales generadas a lo largo de la superficie crítica. La gravedad radica en que la rotura por punzonamiento se presenta de forma frágil y sin prácticamente avisar, por lo que las consecuencias desde el punto de vista humano pueden llegar a ser catastróficas. En el presente trabajo se expone un modelo numérico no lineal basado en método de los elementos finitos, y desarrollado en ABAQUS, para el análisis de la rotura por punzonamiento en losas de hormigón armado. El objeto es disponer de una herramienta de simulación que permita el estudio de forjados existentes, para la evaluación de su capacidad a punzonamiento y de un posible refuerzo. También el estudio de forjados de nueva construcción, donde se pueda optimizar la geometría y las cuantías. El modelo numérico se ha configurado con elementos hexaédricos 3D para el hormigón y elementos truss 2D para el acero. Se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad de distintos parámetros que intervienen en el cálculo, como el tamaño de malla y la viscosidad del hormigón. Los parámetros del modelo se han ajustado empleando los resultados experimentales extraídos de la Universidad de Waterloo por M.A. Polak. Las simulaciones ofrecen un ajuste satisfactoria, e informan desde una doble vertiente: a cuantitativo (carga-desplazamiento de rotura), así como a nivel cualitativo (evolución de la distribución de tensiones con el incremento de carga del ensayo). La primera de las figuras adjuntas muestra una visión general del modelo, incluyendo las simetrías aplicadas. La segunda de ellas representa una curva de comportamiento del modelo, donde se relaciona la carga sobre el pilar con el desplazamiento que sufre éste, hasta que se produce la rotura de la losa.

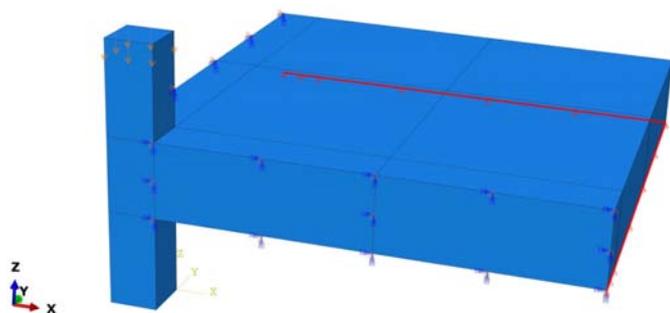


Figura 1. Visión general del modelo numérico

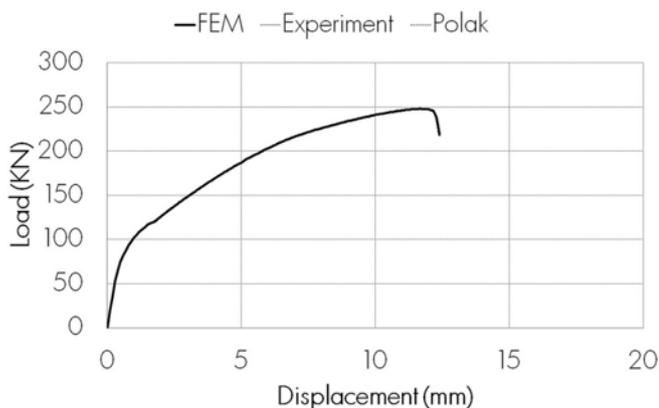


Figura 2. Curva carga-desplazamiento de comportamiento del modelo

426. HORMIGONES ESTRUCTURALES CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE LAS PLANTAS DE GESTIÓN DE RCD

STRUCTURAL CONCRETES BEARING RECYCLED AGGREGATE FROM C&DW MANAGEMENT PLANTS

Blas Cantero Chaparro. Universidad de Extremadura. Doctorando. Ingeniero de Caminos, Puertos y Canales. bcantero@alumnos.unex.es
 Isabel F. Sáez del Bosque. Universidad de Extremadura. Personal Científico Investigador. isa.f.saez@gmail.com
 Agustín Matías Sánchez. Universidad de Extremadura. Profesor Titular de Universidad. amatias@unex.es
 Pablo Plaza Caballero. Universidad de Extremadura. Estudiante. Grado de Ingeniería Civil. pplazaca@alumnos.unex.es
 M. Isabel Sánchez de Rojas Gómez. Instituto de Ciencias Construcción Eduardo Torroja. Investigador. srojas@ietcc.csic.es
 César Medina Martínez. Universidad de Extremadura. Profesor Contratado Doctor. cmedinam@unex.es

Hormigón reciclado, áridos reciclados, residuos, prestaciones mecánicas.

Recycled concrete, recycled aggregate, waste, mechanical properties.

El reciclado y la valorización de los residuos constituyen uno de los principales retos de las sociedades modernas. Los residuos procedentes de las actividades de construcción y demolición (RCD) representan un volumen superior al generado en otras actividades industriales. La actual Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08), solo contempla la incorporación de árido grueso reciclado de hormigón en un 20% de sustitución del árido grueso natural en el diseño y ejecución de hormigones estructurales.

Este trabajo de investigación estudia el efecto de la incorporación parcial de áridos reciclados mixtos y de hormigón (20%, 25% y 50%) en las prestaciones de los hormigones con fines estructurales ($f_{ck} = 30$ MPa). Para ello, en un primer lugar se realizó la caracterización física y mecánica de los áridos empleados en el presente trabajo. Posteriormente, se procedió al diseño y fabricación de las mezclas evaluando



Aspecto de una probeta de hormigón reciclado tras haber sido sometida al ensayo de compresión



Aspecto rotura de los hormigones en el ensayo a flexión a 3 puntos

en todos los casos la trabajabilidad de las mismas y las prestaciones mecánicas en estado endurecido. Resultado de estos ensayos, se observa que la incorporación de árido reciclado no afecta negativamente a la consistencia de los nuevos hormigones, presentando todos ellos una consistencia fluida (10-15 cm). Respecto a las prestaciones mecánicas analizadas, indicar que las mismas se mantienen prácticamente constantes respecto a los hormigones convencionales, independientemente del porcentaje de sustitución.

431. RESISTENCIA A CORTANTE DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN PARCIALMENTE PRETENSADO

SHEAR STRENGTH OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE ELEMENTS

Noemí Duarte Gómez. *Universitat Politècnica de Catalunya. Doctoranda. Máster Ingeniero Estructural.* noemi.duarte@upc.edu
 Jesús Miguel Bairán García. *Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* jesus.miguel.bairan@upc.edu

Eva Oller Ibars. *Universitat Politècnica de Catalunya. Profesora Agregada. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.* mgrosangel@hotmail.com

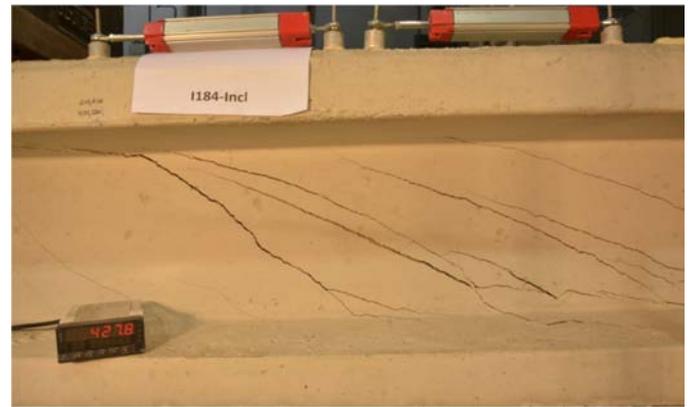
Antonio Marí Bernat. *Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* antonio.mari@upc.edu

Parcialmente pretensado, cortante, cabeza de compresión, campaña experimental, modelo multi-acción resistente a cortante.

Partially prestressed, shear, compression chord, experimental campaign, multi-action shear strength model.

En el artículo se presentará la campaña experimental de 12 elementos parcialmente pretensados sometidos a ensayos de flexión cortante y se compararan los resultados de carga última con los valores previstos con la nueva formulación para calcular la resistencia última a cortante propuesta por Mari et al. (2014).

Los elementos ensayados son vigas de hormigón parcialmente pretensado, con sección en doble T. Se ensayaron 8 vigas de 8 metros de longitud. Todas las piezas tienen un canto de 50 cm y un ancho en las



Viga con cuantía alta de armadura transversal

alas de 50 cm. La mitad de las piezas tienen un ancho de alma de 12 cm y el resto de 18. Además cada viga presenta una configuración diferente de armado longitudinal, transversal y activo. Cada viga se ensayó por ambos extremos, variando la luz de los ensayos. 12 de los ensayos fueron bajo carga puntual, sometiendo a la pieza a flexión cortante. En los otros 4 se usaron dos cargas para generar una zona de flexión pura.

El modelo analítico usado para hacer la predicción de carga máxima plantea una nueva metodología para el cálculo del cortante. Se trata de un modelo multi-acción, que considera 4 componentes resistentes: la contribución de la cabeza de compresión, la del alma fisurada, la de la armadura transversal y la longitudinal. El pretensado parcial incrementa la profundidad de la fibra neutra en rango elástico y aumenta la contribución de la cabeza de compresión. Las tensiones cortantes en la zona no fisurada se distribuyen por toda la cabeza de compresión y, en caso de secciones con anchuras variables, pueden suponer un importante aumento de la capacidad comparado con propuestas tradicionales que desprecian esta contribución.

En este artículo se comparan los resultados de la campaña experimental con las previsiones resistentes según las normativas EHE-08, el EC-2 y la formulación antes descrita.

433. DETECCIÓN DE FISURAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN A PARTIR DE IMÁGENES RGB MEDIANTE TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

CRACK DETECTION IN CONCRETE ELEMENTS FROM RGB IMAGES USING DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

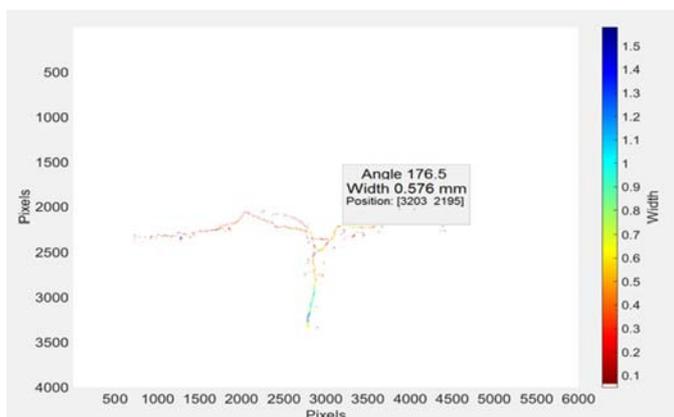
Luis Sánchez Calderón. *Universitat Politècnica de Catalunya. Doctorando. Máster Ingeniero Estructural y de la Construcción.* luis.sanchez.calderon@hotmail.com

Jesús Miguel Bairán García. *Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* jesus.miguel.bairan@upc.edu

Antonio Marí Bernat. *Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* antonio.mari@upc.edu

Detección de fisuras, detección de características, procesamiento de imágenes, fotogrametría, evolución fisuras.

Crack detection, feature detection, image processing, photogrammetry, crack pattern evolution.



Patrón de fisura identificado con ancho y ángulo

El control de fisuras en las estructuras de hormigón es determinante para el diseño para a servicio y durabilidad. Asimismo, el análisis de las características y patrones de fisuras en elementos es un indicador del tipo de cargas y distribución de tensiones, por lo que resulta muy útil en la evaluación de estructuras existentes.

Actualmente, existen modelos para el cálculo de anchos de fisuras frente flexión y axil, i.e. cuando las fisuras son paralelas a la sección transversal, y el patrón de fisuras se considera estabilizado. Sin embargo, existen muy pocos modelos para casos con fisuras inclinadas o patrones no estabilizados; más aún, las diferencias entre los modelos disponibles y las observaciones experimentales es grande. La complejidad de todos los fenómenos involucrados ha hecho difícil desarrollar modelos más precisos. Una dificultad práctica de los estudios experimentales es la evaluación detallada de la evolución de las fisuras durante los ensayos, ya que el ancho, orientación y separación de las fisuras pueden variar en cada punto y la aproximación del personal a los elementos cargados debe ajustarse a las normas de seguridad del laboratorio.

Se ha desarrollado un método de búsqueda y medición de fisuras en imágenes RGB en elementos de hormigón y se ha implementado en script de MATLAB, el cual se presenta en esta comunicación. El algoritmo combina varias técnicas de procesamiento digital de imágenes para detectar la existencia de una fisura en un punto, medir su ancho y su orientación, de forma automática. Un característica distintiva es el uso de filtros espaciales que han sido llamados "kernels de orientación", los cuales fueron desarrollados específicamente para detectar el ángulo y el ancho de la fisura. En esta comunicación, se analizan las capacidades del método desarrollado, aplicándolo al análisis de los patrones de fisuración en vigas de hormigón parcialmente pretensado.



Patrón de fisura en elemento físico

434. DISEÑO SÍSMICO BASADO EN PRESTACIONES DE ESTRUCTURAS IRREGULARES

SEISMIC PERFORMANCE-BASED-DESIGN OF IRREGULAR STRUCTURES

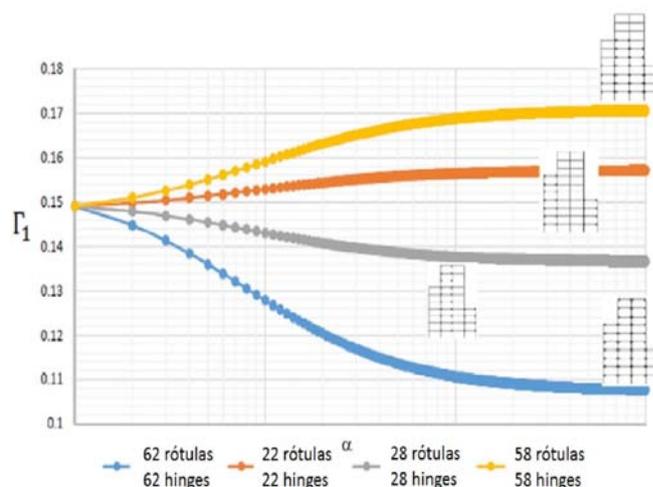
Jesús Miguel Bairán García. Universitat Politècnica de Catalunya.
Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
jesus.miguel.bairan@upc.edu

Luis Alberto Montoya Coronado. Universitat Politècnica de Catalunya.
Doctorando. Máster Ingeniería Estructural y de la Construcción.
luisal12@gmail.com

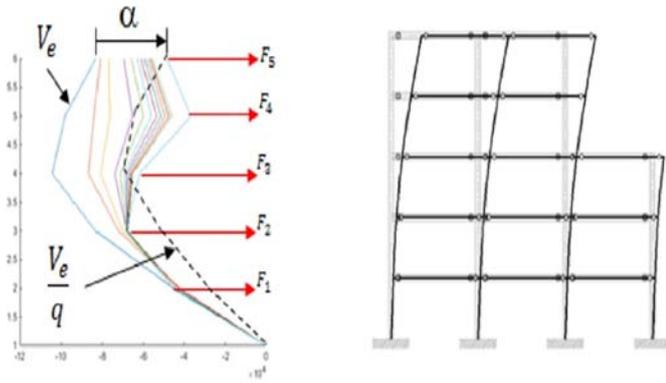
Diseño no lineal, diseño basado en prestaciones, sismo, demanda de ductilidad, daño.

Non-linear design, performance based design, seismic, ductility demand, damage.

El diseño sísmico basado en prestaciones persigue controlar el nivel de daño esperado y la capacidad de uso en estructuras frente a diferentes escenarios sísmicos, con determinadas probabilidades de ocurrencia. En general, esto implica utilizar el comportamiento no lineal de la estructura, ya sea explícitamente o no. Algunos métodos, el diseño-basado-en-desplazamientos, llevan varios años en uso y son aceptados por la comunidad científica e ingenieril. Sin embargo, se basan en un sistema de un grado de libertad equivalente, lo cual es aplicable para estructuras regulares. Si no se da el caso, es necesario realizar diferentes análisis no-lineales, por lo que el diseño es iterativo. En esta comunicación se presenta un método de diseño directo especialmente desarrollado para estructuras irregulares. Este método es extensión a cargas sísmicas de un método de diseño no lineal para cargas estáticas. Se utiliza un doble análisis no lineal, por lo que el método es rápido y robusto. Es posible elegir la demanda de ductilidad mediante un parámetro de control de daño (alfa). La variación de alfa permite estimar la evolución de la participación de cada modo de vibración, lo cual produce cambios en el patrón de fuerzas inerciales. En este artículo se presenta el método y se muestra un ejemplo de aplicación, el cual se compara con resultados de análisis no-lineal como validación de la bondad del método. Adicionalmente, se presentan conclusiones sobre las limitaciones de algunas estrategias de diseño en las normativas actuales.



Evolución del factor de participación del primer modo en función del factor de daño



Variación del patrón de fuerzas sísmicas en función del factor de daño

440. INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN DE LAS ALMAS EN EL COMPORTAMIENTO DE PUENTES CON SECCIÓN EN CAJÓN

INFLUENCE OF THE SLOPE OF THE WEBS IN THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF BOX CONCRETE BRIDGES

Antonio Martínez de la Concha. Universidad de Sevilla. Profesor Asociado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. delaconcha@us.es
 Héctor Cifuentes Bulté. Universidad de Sevilla. Profesor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es
 Fernando Medina Encina. Universidad de Sevilla. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. medinaencina@us.es

Inclinación almas, comportamiento estructural, puentes, distorsión, vigas cajón.

Web slope, structural behavior, bridges, distortion, box girder.

En el presente trabajo se ha realizado un estudio de sensibilidad a la inclinación de las almas en el comportamiento resistente de puentes con secciones tipo cajón de hormigón. Se realizan modelos de elementos finitos a base de elementos placa de varios tableros con distintas inclinaciones de las almas que abarcan desde la vertical hasta los 45° (fig. 1). De dichos modelos se han obtenido los desplazamientos, distorsiones, tensiones y esfuerzos para diferentes tipos de cargas. En base a ello, se ha procedido al estudio de la influencia de la inclinación

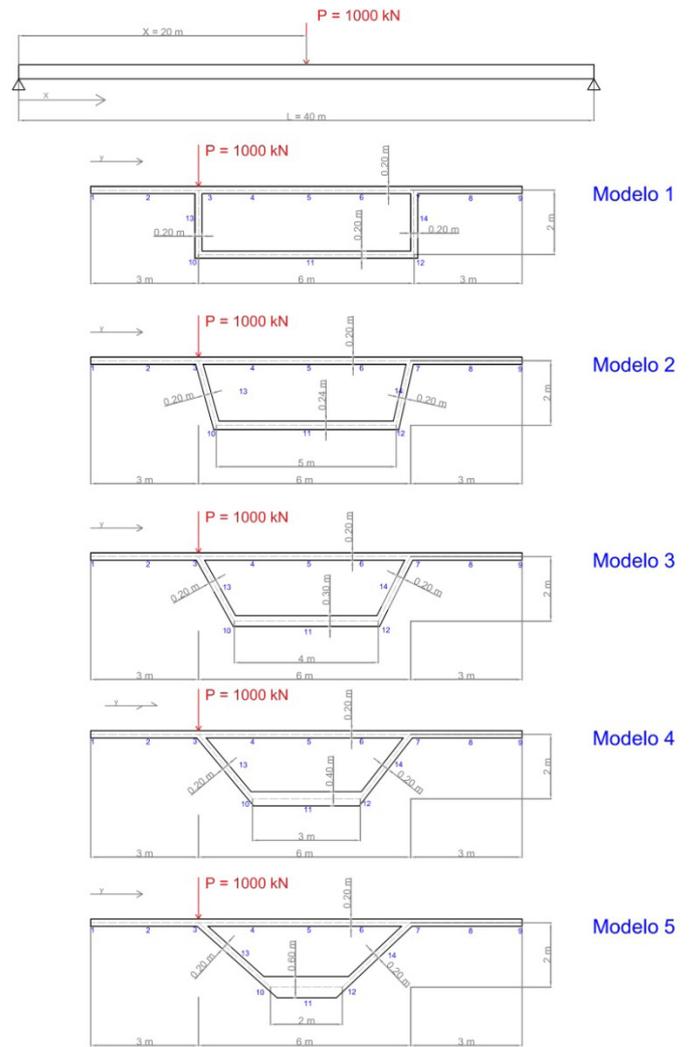


Figura 1. Secciones de los modelos de estudio

de las almas en los parámetros característicos estudiados (desplazamientos, distorsiones, tensiones y esfuerzos). Es especialmente significativa la evolución de la distorsión con la posición de las cargas en la sección transversal y la inclinación de las almas (fig. 2), que no sigue una pauta clara respecto a que se produzca una menor distorsión a

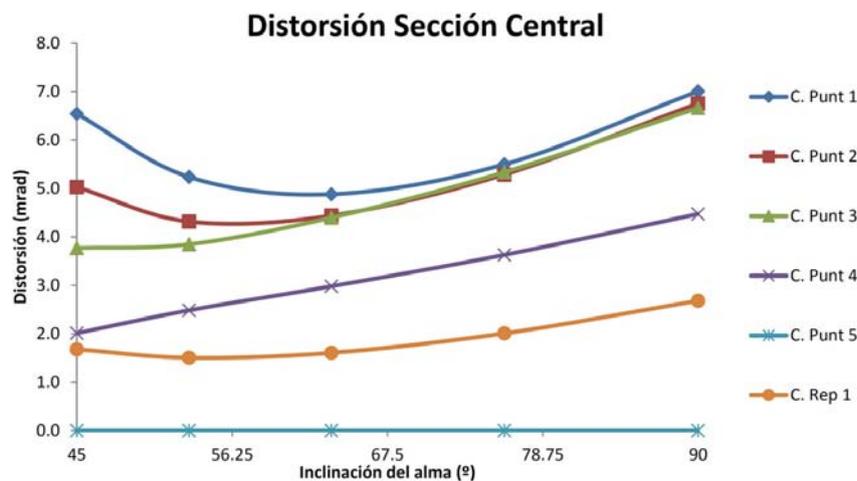
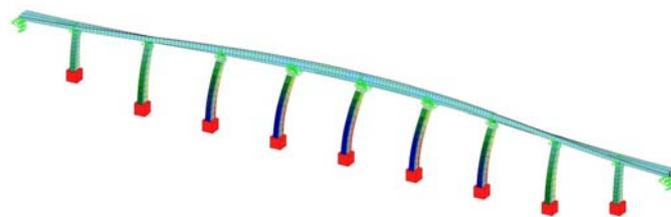


Figura 2. Distorsión de la sección central

medida que aumenta la inclinación de las almas, como podría intuirse, sino que depende de la posición de las cargas, de tal modo que para cargas muy excéntricas la menor distorsión se produce en secciones con inclinaciones de alma intermedias. Esta inclinación óptima es más vertical cuanto más excéntricas son las cargas aplicadas, de modo que para una carga en el extremo del vuelo la menor distorsión se produce con las almas más verticales que cuando se aplica la carga en el centro del vuelo.



Primer modo de vibración transversal del viaducto

449. ESTUDIO SÍSMICO DE PILAS ESBELTAS DE UN VIADUCTO DE FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD

SEISMIC ANALYSIS OF SLENDER PIERS OF A HIGH-SPEED RAILWAY VIADUCT

Diego Hernández Fraile. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. dhernandez@torroja.es
 José Manuel Simón-Talero Muñoz. Torroja Ingeniería S.L.P. CEO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jsimontalero@torroja.es
 Alberto Fernández Álvarez. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. afernandez@torroja.es

Viaducto, análisis sísmico, análisis modal espectral, método espectro-capacidad.

Viaduct, seismic analysis, response spectrum modal analysis, pushover analysis.

El objetivo de esta presentación es mostrar los resultados de la comparación entre distintos métodos de análisis estructural en situación sísmica que recoge la normativa española, aplicado a un viaducto de pilas esbeltas. También se establece como objetivo el estudio del comportamiento estructural del viaducto en función de la conexión entre las pilas y el tablero.

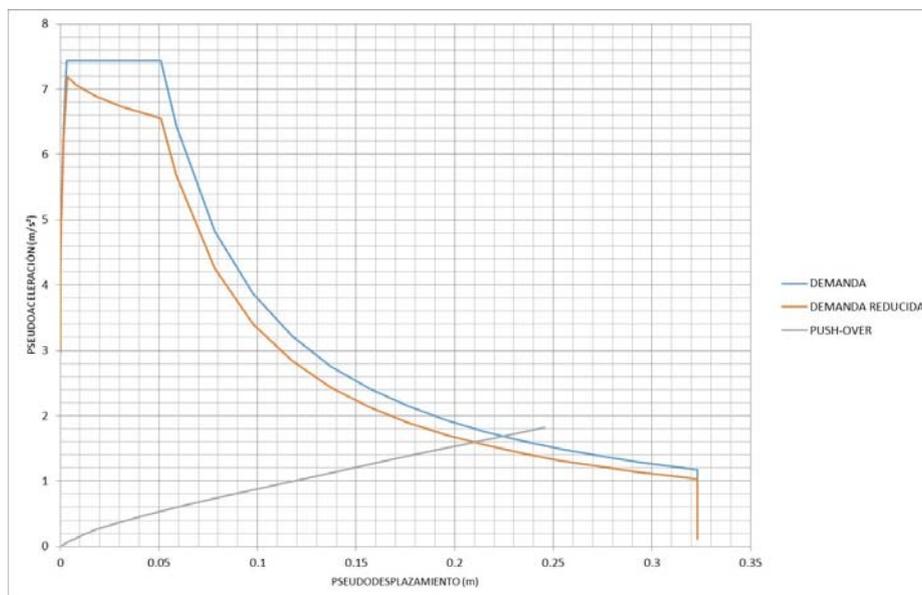
Se ha tomado para el análisis un viaducto recto de 620 m de longitud con juntas de dilatación en estribos, y 10 vanos de $50 + 65 \times 8 + 50$ m de luz. El tablero consta de un cajón continuo de hormigón pre-

tensado; las pilas son de hormigón armado y sección rectangular hueca, con alturas de 35 y 50 m. El análisis se ha centrado en la respuesta de las pilas a la acción sísmica.

En primer lugar se ha llevado a cabo el cálculo aplicando el análisis modal espectral para obtener un primer tanteo de esfuerzos. Además, este primer cálculo ha permitido observar cómo las propiedades oscilatorias de la estructura, así como los esfuerzos que aparecen en las pilas, varían en función de la conexión entre pilas y tablero.

Una vez se ha determinado la alternativa que presenta un comportamiento estructural más adecuado frente a la acción sísmica, se ha realizado un análisis más sofisticado recogido por la norma, que es el cálculo aplicando el método espectro-capacidad.

El método espectro-capacidad (MEC) permite analizar la respuesta estructural frente a una sollicitación sísmica de una manera mucho más realista que con el análisis modal espectral, ya que éste segundo método asume un comportamiento lineal de la estructura, mientras que el comportamiento real del viaducto tiene un marcado carácter no lineal, sobre todo frente a sollicitaciones sísmicas. Las propiedades oscilatorias de la estructura dependen de las características mecánicas de sus distintos elementos, y éstas se ven modificadas por la acción del sismo mediante mecanismos como la fisuración, las disipaciones por fricción y las plastificaciones de los materiales. Asimismo, los esfuerzos que aparecen en los elementos de la estructura dependen de las propiedades oscilatorias de la misma, y por tanto se ven modificados según sus propiedades mecánicas cambian. Los esfuerzos obtenidos mediante el MEC son sensiblemente inferiores a los obtenidos por el análisis modal espectral, y podrán emplearse para el diseño siempre y cuando el dimensionamiento permita que se desarrolle un comportamiento suficientemente dúctil.



Resultados del análisis espectro-capacidad en la dirección transversal

451. AUSCULTACIÓN DE ESTRUCTURAS INTEGRALES

AUSCULTATION OF INTEGRAL STRUCTURES

Javier Ezeberry Parrotta. IDOM. Ingeniero Consultor. Doctor. jezeberry@idom.com

Hugo Corres Peiretti. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM. Catedrático. Doctor. hcp@he-upm.com

Alejandro Pérez Caldentey. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM.

Profesor Titular. Doctor. apc@he-upm.com

Tobias Petschke. COWI North America. Ingeniero Senior. Doctor. topt@cowi.com

Estado Límite de Servicio (ELS), estructuras integrales, deformaciones impuestas, espesor ficticio, auscultación.

Serviceability Limit State (SLS), integral structures, imposed deformations, total height, monitoring.

En este trabajo se presentan conclusiones obtenidas de campañas experimentales realizadas en estructuras integrales reales tipo pórtico (edificación y puentes) por el Grupo Hormigón Estructural (HE) de la

Universidad Politécnica de Madrid. Las campañas, orientadas al estudio del comportamiento en servicio de estas estructuras se basan en la auscultación de las acciones climáticas (temperatura y humedad) y los movimientos, deformaciones y temperatura en diversos puntos de la estructura, lo cual, junto con mediciones en probetas de las acciones reológicas (retracción y fluencia), permiten analizar el comportamiento a lo largo del tiempo y el efecto de la escala. La contrastación de las mediciones con cálculos simples, similares a los realizados en oficinas de proyecto, ha permitido, además de validar las herramientas de cálculo, identificar carencias en la forma en la que la normativa trata el tema del espesor ficticio.

452. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS INTEGRALES

METHODOLOGY ANALYSIS INTEGRAL STRUCTURES

Javier Ezeberry Parrotta. IDOM. Ingeniero Consultor. Doctor. jezeberry@idom.com

Hugo Corres Peiretti. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM. Catedrático. Doctor. hcp@he-upm.com

Alejandro Pérez Caldentey. ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM.

Profesor Titular. Doctor. apc@he-upm.com



Puente integral instrumentado sobre la carretera de Ávila y Salamanca



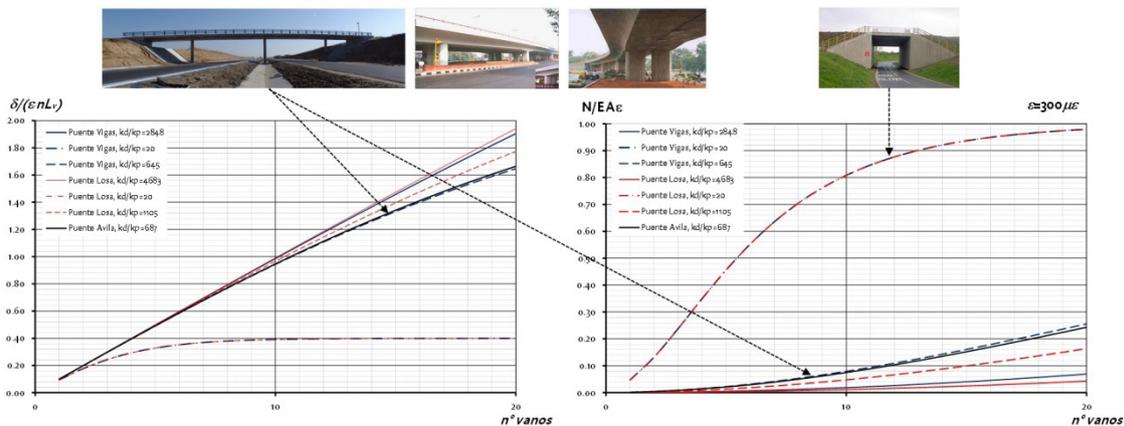
Estado del puente luego de cuatro años de servicio

Hormigón armado, Estado Límite de Servicio (ELS), estructuras integrales, deformaciones impuestas, pilares.

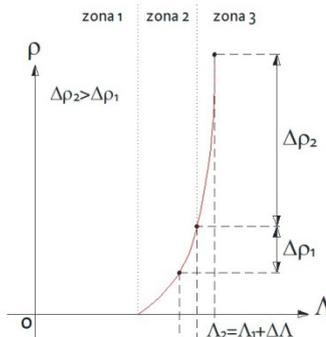
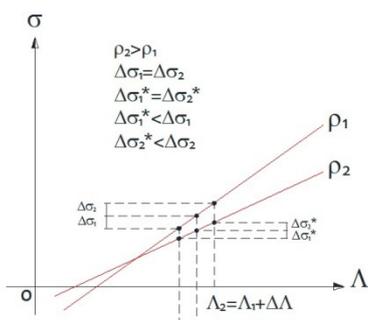
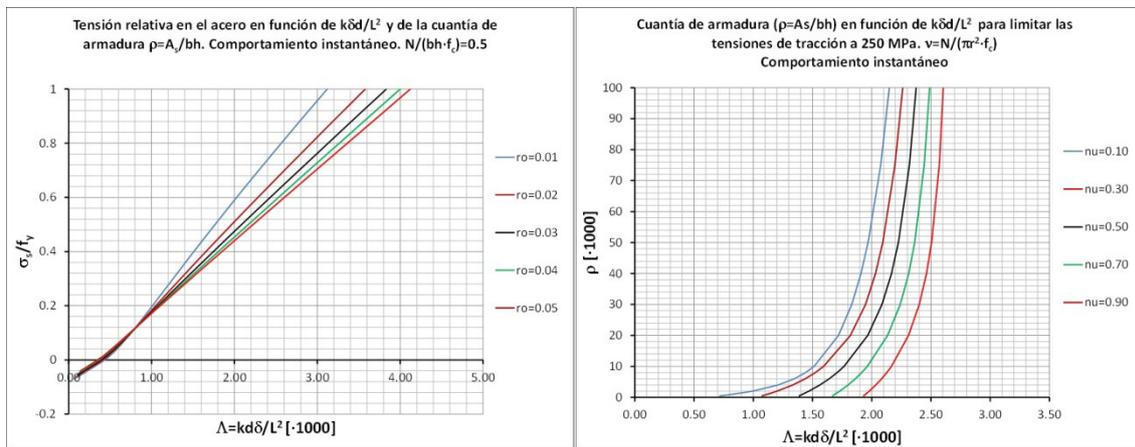
Reinforced concrete (RC), Serviceability Limit State (SLS), integral structures, imposed deformations, columns.

En este trabajo se presentan las principales conclusiones obtenidas de un extenso estudio teórico-experimental sobre estructuras integrales realizado en el seno del Grupo Hormigón Estructural (HE) de

la Universidad Politécnica de Madrid. El trabajo, orientado a la determinación de una metodología general de análisis, se basa en un estudio teórico del comportamiento de estructuras integrales tipo pórtico, sometidas a la concomitancia de cargas exteriores y deformaciones impuestas. A partir del estudio del comportamiento de elementos simples, vigas y pilares, que forman estructuras tipo pórtico, y la auscultación de estructuras reales (pórticos de edificación y pasos superiores de carretera) se proponen métodos prácticos de dimensionamiento que permiten determinar tanto la cuantía de armadura necesaria en pilares como la longitud máxima sin juntas de este tipo de estructuras.



Comportamiento de pasos superiores de carretera en desplazamientos y axil hiperestático



Gráficos de dimensionamiento propuestos y particularidades de los mismos

453. MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD Y EL COMPORTAMIENTO EN SERVICIO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL USO DE FIBRAS METÁLICAS RECICLADAS

IMPROVING SUSTAINABILITY AND SERVICEABILITY OF STRUCTURAL CONCRETE BY ADDING RECYCLED STEEL FIBRES

Giancarlo Grolí. Iberdrola Ingeniería. Ingeniero de Proyecto.
Dr. Ingeniero Civil. ggr@he-upm.com
Alejandro Pérez Caldentey. FHECOR Ingenieros Consultores, UPM.
Jefe del Departamento de I+D+i. Dr. Ingeniero de Caminos.
apc@fhecor.es

Hormigón con fibras recicladas, comportamiento en servicio, sostenibilidad, esbeltez, fisuración.

Recycled steel fibre-reinforced concrete, serviceability, sustainability, slenderness, cracking.

En este trabajo se presenta un estudio teórico y experimental relativo a la mejora del comportamiento en servicio del hormigón estructural mediante la adición de fibras metálicas recicladas obtenidas a partir de neumáticos usados (fig. 1).

Este trabajo recopila tres series de ensayos: una sobre elementos de tamaño reducido (en la que se compara la fibra reciclada con fibras comerciales), otra sobre vigas de gran tamaño sometidas a dos cargas puntuales, con una amplia zona de momento constante, y una última campaña relativa a soportes sometidos a desplazamientos impuestos en cabeza. En el caso de las vigas isostáticas de gran tamaño, se dispone de una serie de ensayos gemelos realizados con un hormigón convencional.

Se examinan los resultados experimentales incidiendo en la influencia de la adición de fibras en el comportamiento en servicio tanto a nivel de fisuración como a nivel de flechas. En particular, por lo que se refiere a la reducción del ancho de fisura, se han medido mejoras de hasta el 223% entre vigas de hormigón convencional y reforzadas con fibras recicladas. Los resultados experimentales se comparan con resultados teóricos obtenidos, incorporando a la ecuación constitutiva del hormigón (fig. 2) la rama de ablandamiento en tracción a la que contribuyen las fibras además del efecto de contribución entre fisuras propio del hormigón estructural convencional. Estos resultados se comparan también con los obte-



Figura 1. Fibras metálicas recicladas



Figura 2. Una posible aplicación en depuración de aguas

nidos mediante aplicación de los modelos propuestos por el MC 2010 y por el ACI.

Finalmente se introducen estudios que se están llevando a cabo en el marco del Proyecto de Investigación Anagenesi (renacimiento), que busca reciclar en aplicaciones relativas al hormigón estructural todos los componentes de hormigón. Estos estudios se centran en cómo se puede mejorar la sostenibilidad de las estructuras de hormigón mediante el uso de fibras metálicas recicladas buscando aplicaciones concretas en las que su influencia puede resultar determinante tanto a efectos de reducir los costes de construcción como de reducir el impacto medioambiental (huella de CO₂ y consumo de energía). Estos estudios se centran en el proyecto de estructuras de contención de aguas y en aumentar la esbeltez de losas en estructuras de edificación.

454. CÁLCULO DE FLECHAS DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE UN FACTOR CORRECTOR DEL RESULTADO DE UN CÁLCULO ELÁSTICO LINEAL

DEFLECTION CALCULATION BY CORRECTION OF LINEAR ELASTIC CALCULATIONS IN RC ELEMENTS

Alejandro Pérez Caldentey. FHECOR Consulting Engineers, UPM.
Jefe del Departamento de I+D+i. Dr. Ingeniero de Caminos.
apc@fhecor.es

Javier Mendoza Cembranos. FHECOR Consulting Engineers. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos. jmc@fhecor.es
Hugo Corres Peiretti. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de la UPM. Dr. Ingeniero de Caminos. hcp@fhecor.es

Flechas, facilidad de uso, Eurocódigo 2.

Deflections, ease-of-use, Eurocode 2.

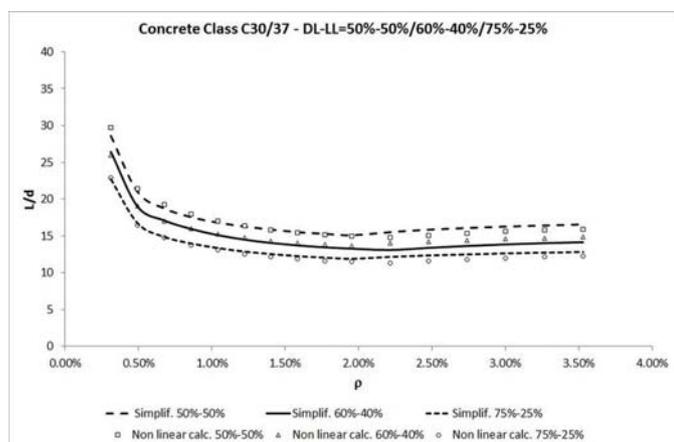
El cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado es complejo debido al comportamiento no lineal del hormigón que se fisura, pero contribuye a la rigidez del elemento entre fisuras, y presenta un comportamiento reológico complicado. Con objeto de tener en cuenta este comportamiento, algunas normas de proyecto para estructuras de hormigón, como el EN 1992-1-1, proponen calcular las flechas de los elementos de hormigón armado mediante una interpolación no lineal entre los estados fisurado y no fisurado (método zeta). La fluencia se tiene en cuenta mediante la consideración de un módulo de elasticidad efectivo mientras que resulta necesario un cálculo adicio-

nal para tener en cuenta el aumento de flecha debido a la retracción. En su versión más rigurosa, este método permite el cálculo de la curvatura equivalente en distintas secciones mientras que las flechas deben determinarse por doble integración de las curvaturas. La aplicación de este método se hace muy compleja en casos prácticos debido a la complejidad de las historias de carga y al hecho de que el método es no lineal y por tanto no es posible aplicar el principio de superposición. Además, las incertidumbres relativas a los tiempos de construcción ponen en duda si una aplicación rigurosa del método da lugar o no a mejores predicciones del valor de las flechas.

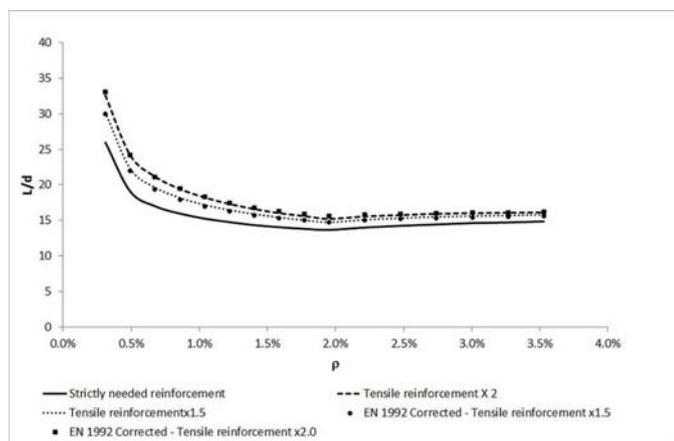
Otro inconveniente del método es que es muy complejo de aplicar a estructuras continuas, puesto que la complejidad se ve aumentada por la complejidad de la estructura (variación en la distribución de luces de los vanos, anchos variables, presencia de huecos, etc.).

En este trabajo se propone un método alternativo, basado en efectuar una corrección de cálculos elástico-lineales, efectuados con características brutas de las secciones, que tienen en cuenta la complejidad geométrica de la estructura real, y corregir este valor mediante un factor multiplicado basado en la física del problema y en un ajuste a los resultados de un estudio paramétrico, basado en el método zeta, que tiene en cuenta las siguientes variables: cuantía de armadura, relación entre sobrecarga y carga total, resistencia del hormigón y sobreamado.

Se desarrolla un ejemplo de aplicación con objeto de ilustrar la aplicación del método, cuya principal virtud es su facilidad de uso, a un caso práctico.



Comparación del método simplificado con un cálculo no lineal



Consideración del sobreamado

456. ESTUDIO DE PUENTES AFECTADOS POR REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE SITUADOS EN UN AMBIENTE SECO

STUDY ON BRIDGES AFFECTED BY ALKALI-SILICA REACTION

Pilar Alaejos Gutiérrez. CEDEX. Jefa del Área de Ciencia de Materiales. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. palaejos@cedex.es
 Víctor Lanza Fernández. CEDEX. Coordinador. Durabilidad de Hormigón. Dr. Ingeniero Químico. vlanza@cedex.es
 José Emilio Criado Morán. Dirección General de Carreteras. Jefe de Sección Técnica. Ingeniero de Materiales. jecriado@fomento.es

Reacción álcali-sílice, durabilidad.

Alkali-silica reaction, durability.

La reacción álcali sílice (RAS) tiene lugar cuando la disolución alcalina de los poros del hormigón y algunas formas de sílice reactiva contenidas en los áridos reaccionan para formar un gel que, al embeber agua, expande produciendo el deterioro del hormigón. Los casos detectados en España se asocian generalmente a rocas de la familia de las cuarcitas y los granitos, que en algunas ocasiones particulares han desencadenado la patología.

Para que la reacción álcali-sílice tenga lugar es necesario que el hormigón se encuentre expuesto a un ambiente húmedo, lo que explica que con frecuencia la patología sea detectada en obras hidráulicas: presas, canales, etc. Asimismo, la Instrucción EHE-08 establece que la reactividad del árido sólo debe ser controlada en estructuras expuestas en ambientes diferentes al I y IIb, ya que en estos ambientes secos la reacción no tendrá lugar por falta de agua.

Sin embargo, en el Laboratorio Central del CEDEX se han estudiado varios casos de tableros de puentes pretensados afectados por la reacción, todos ellos situados en la zona centro de España, muy seca, y por tanto expuestos a un ambiente IIb.

En la ponencia se presentarán los casos estudiados pertenecientes a tres estructuras diferentes detallando:

- Tipo de árido empleado.
- Componente reactivo que desencadenó la reacción.
- Sintomatología de la obra afectada

La trascendencia de la aparición de estas patologías es alta, ya que se trata en todos los casos de hormigones que cumplían con los requi-



Depósitos blancos y armadura con corrosión



Depósitos blancos en la superficie de fractura

sitos exigidos por la Instrucción EHE-08 y que sin embargo han dado lugar a un problema de reactividad.

En la ponencia se concluirá justificando la causa que ha ocasionado el desarrollo de la reacción, que debe servir de alerta en la construcción de futuras estructuras.

458. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA EXPUESTA A AMBIENTE MARINO A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN DE TESTIGOS EN LABORATORIO

APPRAISAL OF SERVICE LIFE OF A STRUCTURE EXPOSED TO CORROSION IN MARINE ENVIRONMENT BASED ON LABORATORY PROPERTIES OF CONCRETE CORES

Víctor D. Lanza Fernández. CEDEX. Coordinador de Programa Técnico Científico. Dr. Ingeniero Químico. vlanza@cedex.es
 Susana Fernández García. CEDEX. Doctorado. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. sfernandez22416@ciccp.es
 Pilar Alaejos Gutiérrez. CEDEX. Jefa de Área de Ciencia de Materiales. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. palaejos@cedex.es

Corrosión, vida útil, coeficiente difusión.

Corrosion, service life, apparent diffusion coefficient.

La corrosión por cloruros es la primera causa de deterioro de estructuras costeras de hormigón armado y pretensado. Para cada ambiente de exposición marina definido en la Instrucción EHE-08, se fijan las características que debe cumplir el hormigón para evitar la corrosión: tipo de cemento a utilizar y su contenido mínimo, relación agua-cemento, recubrimientos y permeabilidad, evaluada a través del ensayo de penetración de agua.

Además, en la Instrucción EHE-08 se introduce el Anejo 9, que permite conocer la vida útil de una estructura a partir de algunas características de diseño (diámetro de la armadura, recubrimiento, contenido de cemento) y un parámetro que engloba la resistencia que el hormigón opone a la penetración de cloruros: el coeficiente de difusión aparente del hormigón.

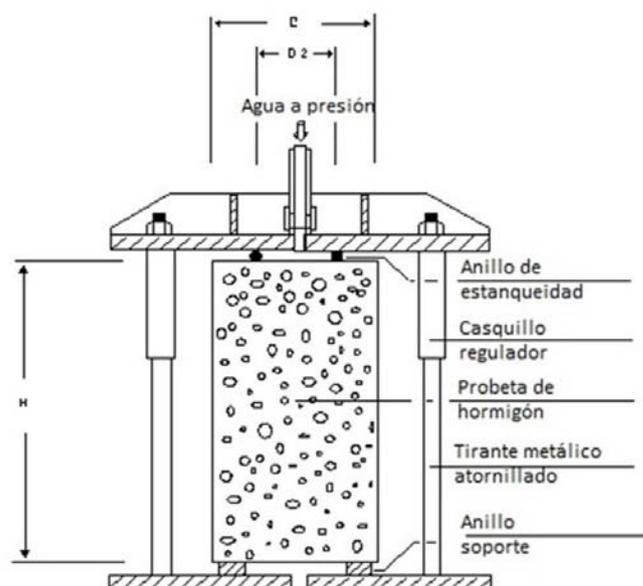
El coeficiente de difusión aparente depende de la porosidad del hormigón. Pero también otras propiedades del hormigón están asociadas a esta propiedad y pueden ser determinadas en ensayos de laboratorio.



Perfil de penetración de agua

En esta comunicación se recogen las relaciones obtenidas entre diferentes ensayos físicos de laboratorio de hormigones expuestos a ambiente IIIa y su coeficiente de difusión aparente. Los resultados muestran que el ensayo de penetración de agua es uno de los ensayos que mejores resultados ofrece. Además, este ensayo es el único que la normativa exige, por lo que sus resultados deben estar siempre disponibles.

A continuación se aplica la relación entre ensayos de laboratorio y difusión a un caso real de una estructura portuaria realizada en ambiente IIIa y cuyo hormigón no cumple con las exigencias que le marcaba su ambiente de exposición y que sí fijaba el proyecto. Se ha estimado cómo afectará este incumplimiento a la vida útil de la estructura. Para ello, se ha evaluado en el laboratorio la penetración de agua. Este ensayo se completa con la porosidad abierta (absorción a vacío). Esta caracterización ha permitido obtener el coeficiente de difusión aparente del hormigón en ambiente IIIa, y por tanto, ha permitido estimar la vida útil que tendrá la estructura estudiada, y así plantear si es necesario ejecutar medidas correctoras que garanticen la vida útil que se fijó en proyecto.



Montaje del ensayo de penetración de agua

460. INFLUENCIA DEL ACTIVADOR EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MORTEROS DE ESCORIA DE SIMN ACTIVADA ALCALINAMENTE

INFLUENCE OF THE ACTIVATOR IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALKALI ACTIVATED SIMN SLAG MORTARS

Rosa Navarro Martínez. Universidad de Alicante. Técnica Contratada Proyecto. Dra. Químicas. rosa.navarro@ua.es
 Emilio Zornoza Gómez. Universidad de Alicante. Titular de Universidad. Dr. Químicas. emilio.zornoza@ua.es
 Pedro Garcés Terradillos. Universidad de Alicante. Catedrático de Universidad. Dr. Químicas. pedro.garces@ua.es
 Isidro Sánchez Martín. Universidad de Alicante. Titular de Universidad. Dr. Físicas. isidro.sanchez@ua.es
 Eva García Alcocel. Universidad de Alicante. Titular de Universidad. Dra. Químicas. eva.garcia@ua.es

Escoria de SiMn, activación alcalina, morteros, propiedades mecánicas.

SiMn slag, alkali activation, mortar, mechanical properties.

El objetivo de este trabajo es estudiar la posibilidad de uso de escoria de SiMn activada alcalinamente como conglomerante para fabricar morteros. La escoria de SiMn es un residuo cuya valorización desde este punto de vista no está optimizada. La escoria se ha caracterizado química, mineralógica, física y microestructuralmente. Este estudio proporciona nueva información sobre la influencia en las propiedades de los morteros con ella fabricados del tipo de activador (hidróxido sódico y silicato sódico con relación $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 1$) y de su concentración (%Na₂O: 3, 3,5 y 4% para la activación con hidróxido sódico; y 4, 4,5 y 5% para la activación con silicato sódico). Con el objetivo de obtener una trabajabilidad adecuada, se ha dosificado la relación disolución activadora/escoria para valores de escurrimiento durante la primera media hora en el intervalo 175 ± 10 mm sin utilizar aditivos. La relación arena/escoria de los morteros ha sido 3/1 para todos los casos. Las propiedades evaluadas de los morteros han sido las siguientes: trabajabilidad; resistencia a compresión, porosidad y densidad a 7, 28 y 90 días de curado; y evolución de la retracción con el tiempo.



Figura 1. Fotografía de la escoria de SiMn antes de la molienda

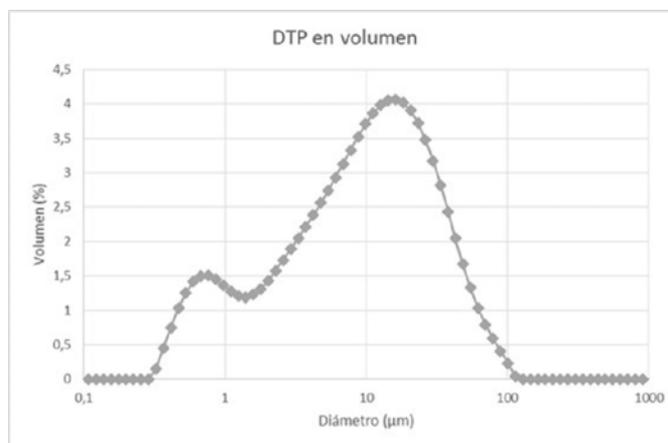


Figura 2. Distribución de tamaños de partículas de la escoria de SiMn molida

475. ANÁLISIS NUMÉRICO DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADAS EXTERNAMENTE A CORTANTE MEDIANTE LAMINADOS DE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS

NUMERICAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED IN SHEAR BY EXTERNALLY BONDED (EB) FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) SHEETS

Denise Ferreira. DIANA FEA BV. Consultant. Ph.D. Civil Engineering. denisecsferreira@gmail.com
 Eva Oller Ibars. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesora Agregada. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. eva.oller@upc.edu
 Antonio Marí Bernat. Universitat Politècnica de Catalunya. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antonio.mari@upc.edu
 Jesús Miguel Bairán García. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jesus.miguel.bairan@upc.edu

Refuerzo, cortante, PRF, desprendimiento prematuro, modelo de barras y filamentos.

Strengthening, shear, FRP, debonding, fiber beam model.

En este artículo se presenta la extensión de un modelo de barras que discretiza la sección en filamentos para el análisis no lineal de elementos reforzados externamente a cortante con laminado de polímeros reforzados con fibras (PRF). Este modelo se ha extendido no sólo para el caso de configuraciones que envuelven de forma completa a la sección con el PRF sino también para los casos en los que se puede producir el desprendimiento prematuro del laminado, permitiendo su aplicación para vigas reforzadas en U o con laminados adheridos en las almas.

La figura 1 presenta las características generales del modelo para los diferentes niveles de análisis: elemento, sección, fibra y material. A nivel elemento, el modelo se basa en la teoría de vigas de Timoshenko con una sección transversal discretizada en fibras, la armadura longitudinal simulada mediante filamentos y la armadura transversal distribuida en el hormigón. A nivel seccional, el modelo considera la interacción no lineal de esfuerzos (N-V-M). La teoría de sección plana, que permite determinar la deformación longitudinal de cada fibra en función

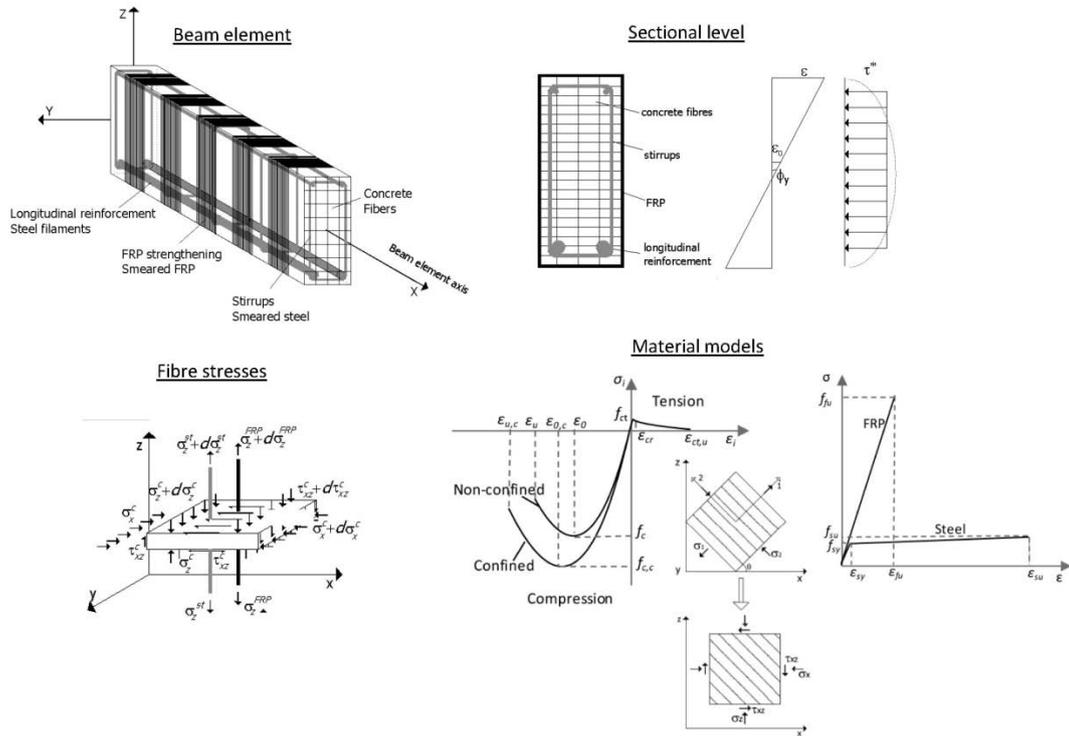


Figura 1. Principios del modelo de barras y filamentos para elementos reforzados con PRF

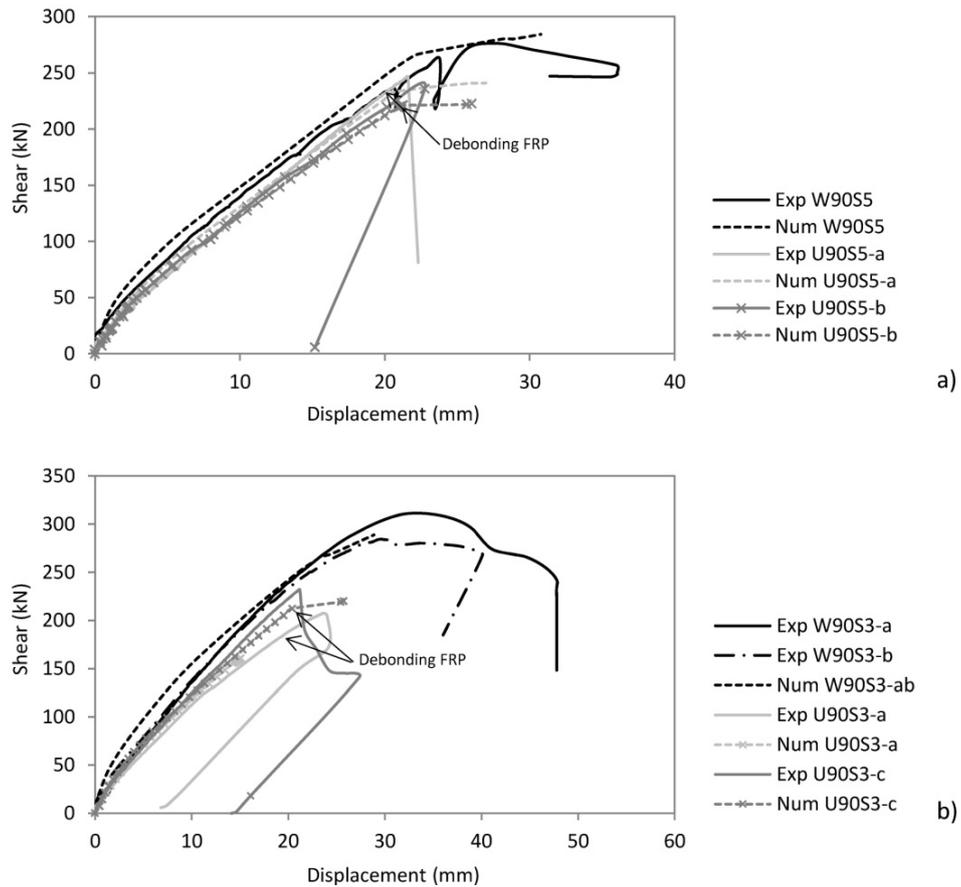


Figura 2. Cortante vs. desplazamiento en centro luz para las series S530 y S300 de Alzate (2012)

de las deformaciones generalizadas de la sección, está acoplada con la restricción de tensión tangencial constante a lo largo de la sección transversal. Los filamentos de la armadura longitudinal están únicamente sometidos a deformaciones y tensiones axiales. La armadura transversal (estribos y laminados PRF) se tiene en cuenta mediante su cuantía volumétrica y está únicamente solicitadas a tensiones axiales.

Se han simulado numéricamente ensayos experimentales existentes de vigas de hormigón armado reforzadas a cortante mediante laminados PRF con configuraciones completamente envueltas y en U. El modelo reproduce, con exactitud razonable, las cargas de rotura experimentales, el comportamiento carga-desplazamiento (fig. 2) y las deformaciones en la armadura transversal con carga monótona creciente. El modelo también refleja el reparto de esfuerzos entre la armadura transversal interna y el PRF externo antes y después del desprendimiento prematuro del PRF. El modelo captura la completa respuesta de la armadura transversal detectando el desprendimiento prematuro del PRF y el fallo de las vigas. Cuando se produce el desprendimiento del PRF cesa su contribución a la resistencia a cortante, si los cercos están plastificados, y no son capaces de absorber la redistribución de esfuerzos, se produce la rotura inmediatamente.

Las ventajas de esta propuesta están relacionadas con la simplicidad y velocidad computacional para el análisis estructural a escala real, haciendo que sea una herramienta atractiva para la ingeniería práctica.

487. INGENIERÍA MÁS ALLÁ DE LO ESTRICTAMENTE TÉCNICO: UN DEBATE ABIERTO

ENGINEERING BEYOND THE STRICTLY TECHNICAL. AN OPEN DEBATE

Ignacio Payá-Zaforteza. Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. igpaza@cst.upv.es

Esther Giménez Carbó. Universitat Politècnica de València. Profesora Titular de Universidad. Doctora por la UPV - Máster en Ética y Democracia. esgimen@cst.upv.es

Ingeniería y sociedad, pensamiento crítico, arte estructural.

Engineering and society, critical thinking, structural art.

La ingeniería estructural suele enseñarse y aprenderse como algo estrictamente técnico. Sin embargo, esta visión debe ampliarse, ya que la obra de ingeniería tiene un impacto social, económico y medioam-



Figura 1. Una de las estructuras analizadas, el Puente de Serrera de S. Calatrava. Imagen: D. Delso



Figura 2. Un momento del debate de los alumnos

biental muy importante, y estos aspectos no deben quedar supeditados bajo la excelencia técnica.

En esta comunicación se presenta una experiencia llevada a cabo con alumnos del Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de València, que tiene por finalidad que los alumnos reflexionen, entiendan, dialoguen y desarrollen un espíritu crítico acerca de la importancia y la necesidad de construcción de estructuras singulares.

Para ello se selecciona alguna de las estructuras singulares construidas en los últimos años y se analizan teniendo en cuenta su comportamiento estructural, las ideas proporcionadas por la filosofía del Arte estructural desarrollada por D.P. Billington y la adecuación de la construcción a alguno de los códigos éticos existentes (el código de la Asociación americana de ingenieros civiles o el código de conducta profesional del Consejo Europeo de ingenieros civiles).

Con ello se consigue dotar a los futuros profesionales de una amplia visión de la realidad que les permita proyectar soluciones técnicamente excelentes, que se adecuen al contexto de la obra, que satisfagan las necesidades de los usuarios y que no comprometan a las generaciones futuras en ningún aspecto (social, económico ni medioambiental).

488. TUBOS RELLENOS DE HORMIGÓN EXPANSIVO. ENSAYOS Y APLICACIONES

TUBES FILLED WITH EXPANSIVE CONCRETE. TESTS AND APPLICATIONS

José Pedro Gutiérrez Jiménez. IETcc-CSIC. Profesor de Investigación. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jpgutierrez@ietcc.csic.es

Francisco Javier Barroso Sánchez. IETcc-CSIC. Titulado Superior.

Actividades Técnicas y Prof. Dr. Ciencias Físicas. j.barroso@ietcc.csic.es

Luis Echevarría Giménez. IETcc-CSIC. Titulado Superior. Actividades

Técnicas y Prof. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Lechevarria@ietcc.csic.es

Sonia Martínez de Mingo. IETcc-CSIC. Titulada Superior. Actividades

Técnicas y Prof. Dra. Arquitecta. soniamdm@ietcc.csic.es

Juan José Sánchez Ramírez. Ferrovial Agroman, S.A. Jefe

de Departamento de Estructuras de Obra Civil. Dr. Ingeniero

de Caminos, Canales y Puertos. j.j.sanchez@ferrovial.com

Hormigón expansivo, estructura mixta hormigón-acero, cálculo estructural, puente tipo arco.

Expansive concrete, composite steel and concrete structure, structural analysis, arch bridge.

La utilización de hormigón expansivo para el relleno de tubos genera unas deformaciones en el mismo que dan origen a unas presiones de

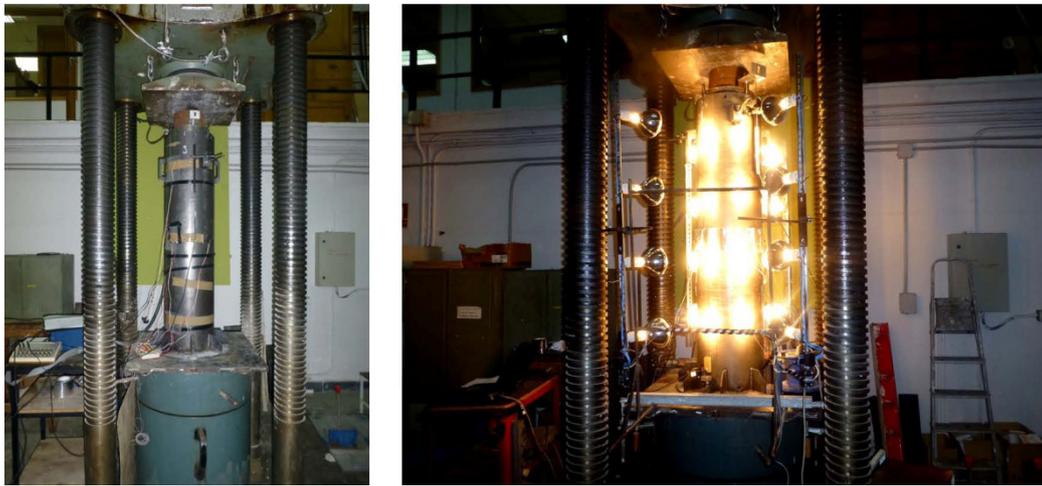


Figura 1. Ensayos de deslizamiento con temperatura ambiente y con calentamiento diferencial

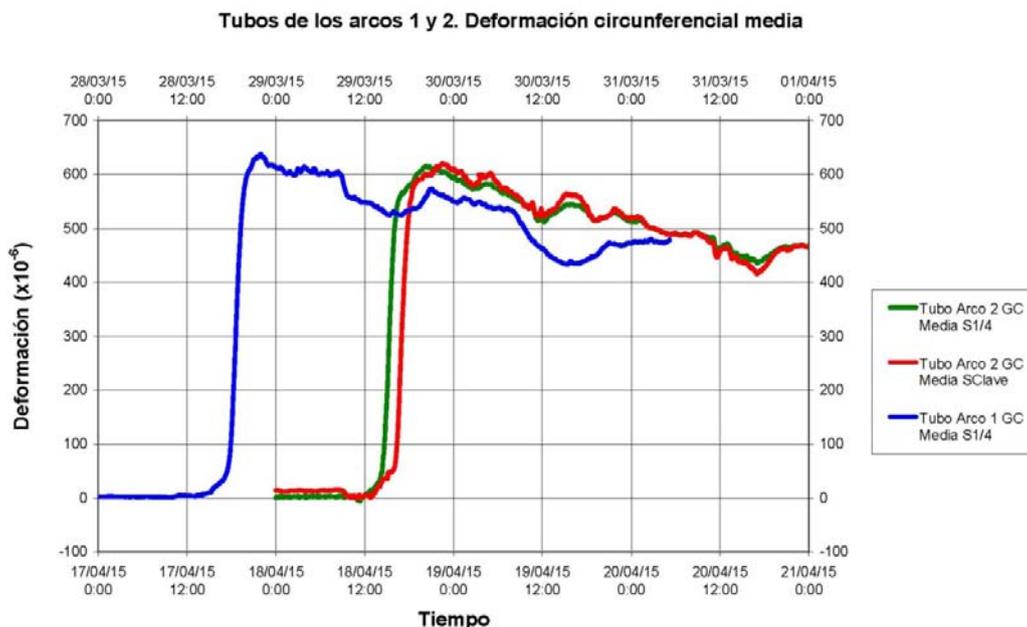


Figura 2. Deformación circunferencial media registrada

confinamiento, función de la capacidad de expansión del hormigón y de la rigidez del tubo. El criterio de dimensionamiento consistirá en determinar el valor de expansión que debe generarse en el hormigón para que el balance neto de las deformaciones radiales del sistema mixto hormigón-acero, para las solicitaciones y efectos que puedan actuar, sea positivo. Dicho estado es beneficioso para el elemento que incrementa su resistencia y desarrolla tensiones rasantes en la interfase que colaboran eficazmente para disminuir o eliminar la necesidad de conectores de transmisión de esfuerzos entre el hormigón confinado y el tubo de acero.

En el dimensionamiento de estos elementos es necesario, por un lado, elegir el tipo y dosis de aditivo expansivo que debe incorporarse al hormigón para conseguir una determinada expansión y por otro, dimensionar la rigidez del tubo que permita verificar los estados límites últimos del elemento.

La caracterización del hormigón expansivo para su aplicación en estructuras tubulares requiere la realización de ensayos de expansión libre y confinada del hormigón que permitan ajustar la deformación de expansión necesaria.

Estos ensayos se complementan con ensayos mecánicos para determinar la carga de deslizamiento del cilindro de hormigón dentro del tubo de acero que permiten estimar la capacidad resistente de la interfase. Los ensayos se realizan a temperatura ambiente y con calentamiento diferencial y uniforme del tubo (fig. 1).

Un hormigón expansivo diseñado con las directrices expuestas se ha utilizado en el viaducto sobre el barranco de Erques en la isla de Tenerife. Para salvar este barranco, se ha proyectado un puente tipo arco de 110 metros de luz con tablero intermedio. Cada uno de los dos arcos del puente está formado por dos tubos exteriores de acero, rellenos de hormigón expansivo. Los arcos fueron instrumentados para

conocer las deformaciones circunferenciales y longitudinales que se producían durante la fase de hormigonado de los tubos y posterior endurecimiento en los días posteriores. La figura 2 recoge la deformación circunferencial media registrada en varias secciones instrumentadas, en el centro de vano y a un cuarto de la luz, observándose una uniformidad de comportamiento, acordes con los resultados registrados en el laboratorio.

Agradecimientos: este trabajo forma parte del Proyecto BIA 2013-49103-C2-1-R concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad.

492. ALTERNATIVAS MIXTAS O DE HORMIGÓN EN PUENTES DE LUCES DE MEDIAS A ALTAS EN ZONAS SÍSMICAS

STEEL CONCRETE COMPOSITE OR PRESTRESSED CONCRETE ALTERNATIVES FOR BRIDGES WITH MEDIUM TO HIGH SPANS IN SEISMIC AREAS

Javier Pascual Santos. BRISSA SL. Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. javier.pascual@brissa.es

Diego Pajuelo Gallardo. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. diego.pajuelo@brissa.es

Borja Mendizábal del Arco. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. borja.mendizabal@brissa.es

Pablo Campos Acebo. BRISSA SL. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pablo.campos@brissa.es

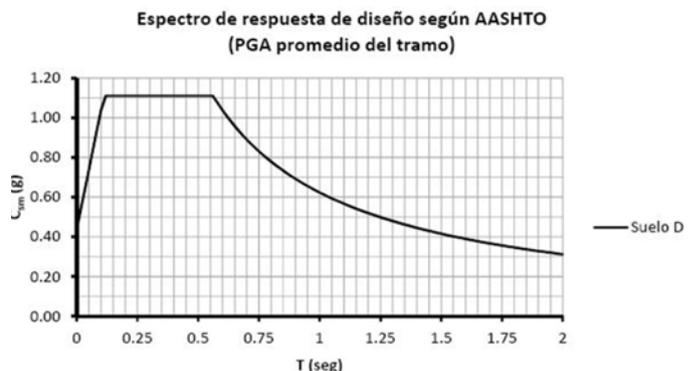
Alberto Fernández Eusebio. Ginprosa Ingeniería SL. Director de Producción. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. a.fernandez@ginprosa.es

Óscar Bartolomé Bartolomé. FCC Construcción. Jefe Dpto. Supervisión Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. obartolomeb@fcc.es

Espectro de respuesta, puentes mixtos, aislamiento sísmico, cimentaciones, sismo.

Response spectrum, steel concrete composite deck, seismic isolation system, foundations, earthquake.

Con motivo del análisis de alternativas estructurales desarrollado por Brissa para los puentes situados en la ampliación de la Carretera



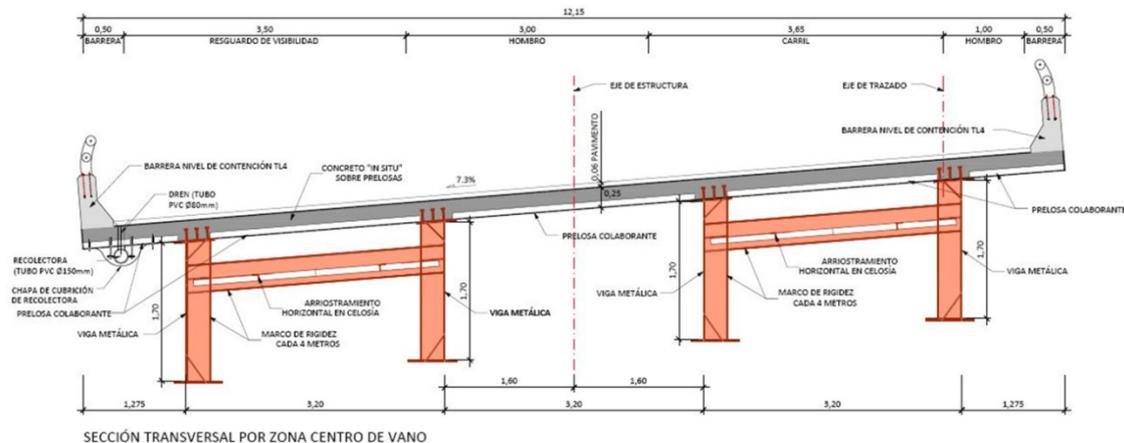
Espectro de respuesta sísmica tipo

Panamericama en el tramo entre Puesto de las Américas y Arraiján, en la República de Panamá, se ha analizado en detalle la incidencia de la acción sísmica en el diseño de las estructuras, y en particular las diferencias en el diseño de las cimentaciones entre los tableros de hormigón pretensado y las alternativas en solución mixta hormigón-acero.

Las acciones sísmicas en la zona de proyecto son muy relevantes, con aceleraciones PGA en el suelo variables entre 0,40 g y 0,82 g, que conducen a valores en la meseta del espectro de respuesta entre 2 y 2,50 veces superiores. Por este motivo, el diseño de la subestructura de los viaductos viene condicionado por la respuesta sísmica.

Dado que la mayor parte de las estructuras se ubican en suelos de baja capacidad portante que requieren cimentaciones profundas mediante pilotes, el análisis de alternativas se ha orientado a obtener una estimación correcta del coste final de las distintas tipologías técnicamente viables. El estudio ha cubierto un amplio abanico de configuraciones posibles, con o sin aislamiento sísmico, y tanto en estructura mixta como en hormigón pretensado. El rango de luces de los puentes estudiados varía entre las luces típicas de unos 30-35 metros en los pasos superiores convencionales de vigas prefabricadas, hasta los 65 metros de luz cuando las condiciones del cruce u otras causas las exigían.

Las conclusiones del estudio han puesto de manifiesto la bondad de las soluciones mixtas para dar la mejor respuesta a estos condicionantes cuando el rango de luces crece, y, en opinión de los autores, mucho más de lo que en un principio cabría prever. Las alternativas en tablero mixto hormigón-acero con aislamiento sísmico convencional por medio de apoyos de neopreno zunchado han permitido un diseño de



Sección transversal de un tablero mixto tipo analizado

cimentaciones para fuerzas entre 2 y 3 veces inferiores a las de diseños equivalentes en hormigón pretensado, y también sensiblemente más favorable que otros diseños por capacidad basados en la disipación plástica durante el sismo. En la comunicación se mostrarán en detalle los análisis realizados y las conclusiones obtenidas, con gran interés en relación al empleo de estructuras mixtas en casos como los estudiados. Asimismo, se mostrará el diseño finalmente previsto para los tableros, con estructura metálica realmente sencilla, y que permite superar también posibles dificultades para la aplicación de estas soluciones.

493. INSTRUMENTACIÓN DEL VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DE ERQUES DURANTE SU HORMIGONADO

ERQUES VIADUCT MONITORING DURING CONCRETING PHASE

Francisco Javier Barroso Sánchez. IETcc-CSIC. Titulado Superior. Actividades Técnicas y Profesionales. Dr. Ciencias Físicas. j.barroso@ietcc.csic.es

José Pedro Gutiérrez Jiménez. IETcc-CSIC. Profesor de Investigación. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jpgutierrez@ietcc.csic.es

Juan José Sánchez Ramírez. Ferrovial Agroman S.A. Jefe Departamento de Estructuras de Obra Civil II. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. j.j.sanchez@ferrovial.com

Luis Echevarría Giménez. IETcc-CSIC. Titulado Superior. Actividades Técnicas y Profesionales. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. l.echevarria@ietcc.csic.es

Gabriel Rentero Rodríguez. IETcc-CSIC. Técnico Superior Actividades Técnicas y Profesionales. grentero@ietcc.csic.es
Sonia Martínez de Mingo. IETcc-CSIC. Titulada Superior. Actividades Técnicas y Profesionales. Dra. Arquitecta. soniamdm@ietcc.csic.es

Puente arco, instrumentación, estructura mixta hormigón-acero, hormigón expansivo.

Arch bridge, monitoring, composite steel and concrete structure, expansive concrete.

El viaducto sobre el barranco de Erques (Tenerife) es un puente formado por dos arcos con tablero inferior de 110 m de longitud, 25 m de ancho y 17,7 m de altura de clave. Cada arco está compuesto por dos tubos de acero, de 1.020 mm de diámetro y espesor del orden de 13 mm, rellenos de hormigón expansivo. El tablero está suspendido de los arcos cada 8 m, mediante dos péndolas inclinadas, en 12 puntos en cada arco.

Se han instrumentado los arcos para registrar las deformaciones longitudinales y circunferenciales y las temperaturas en el exterior de los tubos durante el proceso de hormigonado y posterior endurecimiento.

En el tubo exterior del arco 1, se ha utilizado un acondicionador Quantumx mx1615 de HBM para medir tanto la deformación como la temperatura. La deformación se mide con bandas extensométricas conectadas en 1/4 de puente a 4 hilos (fig. 1). La medida de la temperatura se lleva a cabo con sensores PT100. En el tubo exterior del arco 2 se ha colocado otro Quantumx mx1615 que mide las deformaciones



Figura 1. Instrumentación de secciones de tubos

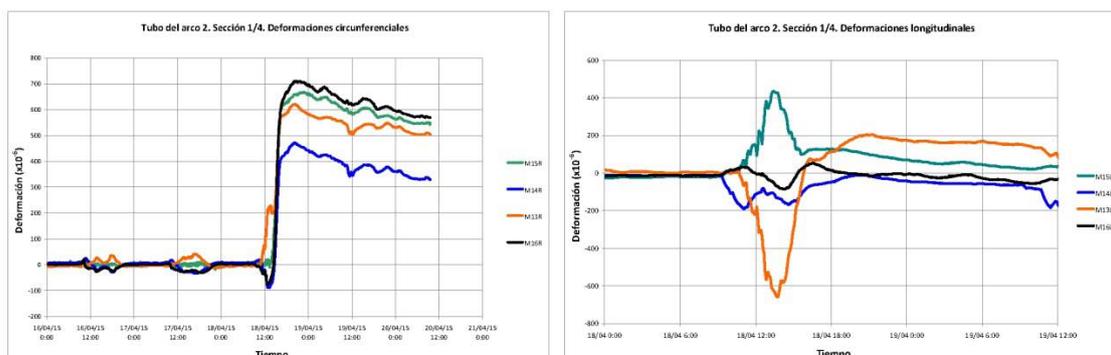


Figura 2. Deformaciones circunferenciales y longitudinales en sección de tubos

de las secciones de este tubo utilizando para ello los mismos sensores y siguiendo la misma configuración que en el caso anterior. La medida de temperatura de las secciones se realiza con un equipo de adquisición de datos HP34970A de Hewlett Packard provisto de un módulo de 20 canales 34901A.

Una sección del tubo del arco 2 se ha instrumentado con fibra óptica para tener, en caso necesario, una alternativa de las medidas registradas.

Para el registro de medidas se monta una pequeña red local para conectar los equipos quantum X y el interrogador fbg, con un ordenador portátil situado en la caseta de control. Todo el cableado, los equipos y los sensores se han instalado para trabajar a la intemperie. En la caseta de control, situada en un extremo del puente, se ha colocado un ordenador portátil conectado a todos los equipos de medida. Se ha desarrollado una aplicación en LabView para gestionar todas las medidas de forma unificada. Asimismo se ha instalado un modem 3G y el software teamviewer para poder controlar de forma remota todo el sistema durante el tiempo de monitorización.

En esta ponencia se presentan el sistema de instrumentación y los resultados obtenidos (fig. 2).

Agradecimientos: este trabajo forma parte del Proyecto BIA 2013-49103-C2-1-R concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad.

495. DOSIFICACIÓN, PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y REOLOGÍA DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE CON ÁRIDO RECICLADO FINO

PROPORTIONING, FRESH-STATE PROPERTIES AND RHEOLOGY OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH FINE RECYCLED AGGREGATES

Diego Carro López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. diego.carro@udc.es

Belén González Fontebo. Universidade da Coruña. Profesora Titular de Universidad. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfonteboa@udc.es

Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fmartinez@udc.es

Iris González Taboada. Universidade da Coruña. Investigadora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. iris.gonzalez@udc.es

Jorge de Brito. Instituto Superior Técnico-Lisboa. Professor. PhD Civil Engineering. jb@civil.ist.utl.pt

Fernando Varela Puga. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. f.varela.puga@udc.es

Hormigón autocompactante, mortero equivalente, dosificación, árido reciclado fino, reología.

Self-compacting concrete, equivalent mortar, mix design, fine recycled aggregate.

Los áridos reciclados pueden usarse como áridos en hormigón, sin embargo, es necesario establecer un máximo al porcentaje de sustitución. Este límite de uso se establece por la alta absorción del material que produce reducción en las propiedades mecánicas. En el caso de árido reciclado fino (ARF), esta limitación es más restrictiva debido a la elevada superficie específica de los finos que redundan en una mayor absorción.

El hormigón autocompactante (HAC) está creciendo rápidamente gracias a las ventajas de la puesta en obra y la calidad de los acabados. Este tipo de hormigón utiliza grandes cantidades de finos para asegurar su capacidad de flujo, por lo que podría incluir áridos reciclados finos. En este contexto, el objetivo de este trabajo es estudiar la dosificación y los efectos en la reología del estado fresco de la utilización de ARF para producir HAC. El interés se centra también en el efecto de la absorción de las propiedades en estado fresco de SCC durante el tiempo abierto.

Las mezclas de hormigón estudiadas incorporan arena reciclada (en porcentajes de 0%, 20%, 50% y 100%) y áridos gruesos naturales. La dosificación se apoya en un mortero equivalente, obteniendo un hormigón autocompactante, comparable entre tasas de sustitución diferentes y usable en aplicaciones reales.

En los morteros la trabajabilidad se midió a partir de 10 min hasta 90 min usando mini-cono y mini-embudo. Con las mejores mezclas se produjo hormigón, sobre el que se estudiaron todas las propiedades. Primero, la microestructura de la fase mortero. Segundo, las propiedades en estado fresco mediante ensayos empíricos (extensión de flujo, J-Ring, L-Box) y parámetros fundamentales en reómetro ICAR, todo a 15, 45 y 90 minutos. Por último, se determinó la resistencia a compresión.

El resultado más sorprendente fue que las mezclas con 50% y el 100% de arena reciclada perdieron sus características autocompactantes a los 90 minutos. Por el contrario, la mezcla con el reemplazo de 20% mantuvo capacidad de paso y de relleno adecuadas. Las causas de esta tendencia fueron un aumento inicial de la viscosidad plástica y después un aumento de la tensión de corte umbral. La resistencia a compresión de las mezclas con un 50% y 100% de ARF disminuyó significativamente y en el caso de sustitución del 20% la reducción fue menor del 10%. Por lo tanto, el porcentaje de sustitución recomendado sería hasta un 20% con una controlada disminución del rendimiento mecánico.



Ensayos empíricos en hormigón autocompactante con árido reciclado fino

496. DISEÑO SÍSMICO EN LAS ESTRUCTURAS DEL DESDOBLAMIENTO DE LA AUTOPISTA PANAMERICANA, EN PERÚ

SEISMIC DESIGN IN THE STRUCTURES OF THE ENLARGEMENT OF PANAMERICAN HIGHWAY, IN PERÚ

Javier Pascual Santos. BRISSA SL. Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. javier.pascual@brissa.es

Diego Pajuelo Gallardo. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. diego.pajuelo@brissa.es

Borja Mendizábal del Arco. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. borja.mendizabal@brissa.es

Pablo Campos Acebo. BRISSA SL. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pablo.campos@brissa.es

Manuel Pertejo Fernández. IPD Ingeniería S.L. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. manuelpf@ipd.bz

Sismo, análisis modal, aislamiento sísmico, fuerzas inerciales, espectro de respuesta.

Earthquake, modal analysis, isolating seismic system, inertial forces, seismic response spectrum.

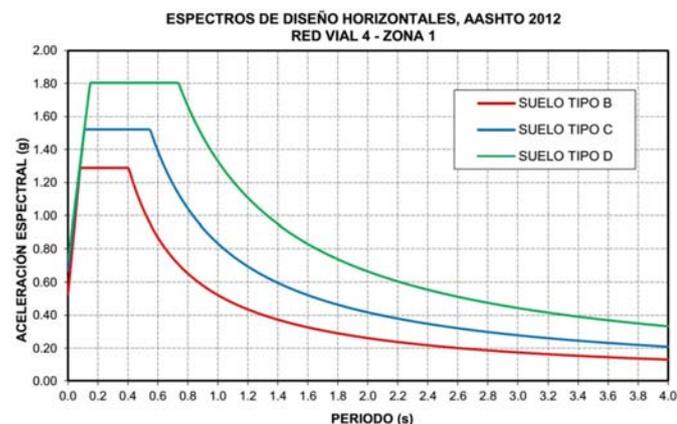
En esta comunicación se resumen los resultados más relevantes de los análisis sísmicos realizados con ocasión del proyecto de varias estructuras correspondientes al desdoblamiento de la Autopista Panamericana en Perú, ubicadas en zonas de muy alta peligrosidad sísmica.

Se trata, por un lado, de un conjunto de pasos superiores de carretera de 11,00 metros de anchura y luces variables entre 30,30 y 35,60 metros. Todos ellos tienen un solo vano apoyado en estribos cerrados.

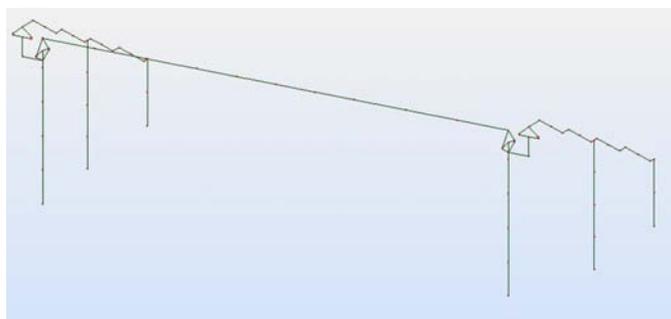
Por otro lado se analiza un conjunto de pasarelas peatonales de 2,80 metros de anchura y luces de variables entre 21,80 y 33,20 metros. En todas ellas el tablero se apoya sobre dos pilas en las que confluyen las escaleras de acceso.

Atendiendo a consideraciones constructivas, todas las estructuras se resolvieron mediante vigas doble T de hormigón pretensado.

La normativa técnica empleada fue la peruana, que sigue muy de cerca las prescripciones de la AASHTO 2012. El sismo de diseño corresponde a un período de retorno de 1.000 años. Los espectros de respuesta empleados para los emplazamientos de las diferentes estructuras parten de unas aceleraciones sísmicas de cálculo comprendidas entre 0,632 g y 0,668 g, que corresponden a aceleraciones en la meseta entre 1,428 g y 1,522 g. Se trata, por tanto, de aceleraciones sísmicas muy elevadas.



Espectro sísmico de respuesta empleado en los análisis



Modelo de cálculo de una de las pasarelas

Los aspectos que ofrecen mayor interés son el análisis del sistema de aislamiento sísmico del tablero y el dimensionamiento de los estribos.

En los estudios preliminares del proyecto se analizaron y compararon diferentes alternativas para el sistema de sustentación del tablero. La solución finalmente elegida fue la de permitir la oscilación longitudinal del tablero sobre apoyos elatoméricos, e impedir a la vez la oscilación en dirección transversal. Para ello se disponen apoyos elatoméricos de elevada capacidad de desplazamiento garantizada mediante ensayos, junto con un sistema de topes transversales guiados que impiden el movimiento en dicha dirección. En la comunicación se incluirán los análisis realizados, así como otras posibles alternativas basadas en disipaciones plásticas o en apoyos con núcleo de plomo.

Finalmente se comentarán también aspectos de interés en el diseño de los estribos conforme a AASHTO en relación a los sobreempujes dinámicos y las fuerzas inerciales de las tierras retenidas.

500. DESARROLLO DE UN NUEVO MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO DE LAS UNIONES DE ARMADURAS POR SOLAPE DE BARRAS

DEVELOPMENT OF A NEW TEST METHOD FOR REINFORCEMENT LAP SPLICES STUDIES

Ismael Vieito Raña. Universidade da Coruña. Investigador-Contrato Competitivo FPU. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ismael.vieito@udc.es

Javier Eiras López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jeiras@udc.es

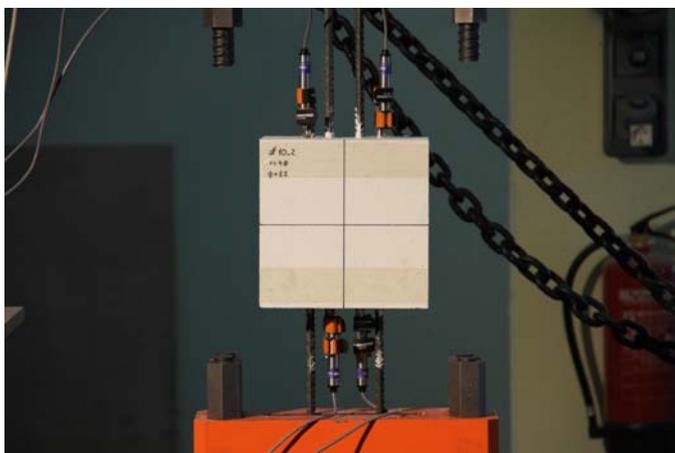
Manuel F. Herrador Barrios. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. manuel.herrador@udc.es

Manuel Paredes González. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. manuel.paredes@udc.es
Gumersinda Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gumersinda.spaz@udc.es

Hormigón, armaduras, adherencia, solapo, ensayo.

Concrete, reinforcement, bond, lap-splices, test.

La construcción de elementos y estructuras de hormigón armado exige con frecuencia disponer zonas de unión y empalme entre barras. Esta necesidad viene impuesta por limitaciones en la longitud comercial máxima de las barras y por la utilización de armaduras de espera. El empalme o solapo de barras por adherencia es la técnica más frecuente para dar continuidad a las armaduras, ya que es una forma



Probeta de un ensayo de arrancamiento múltiple (fuente: Universidade da Coruña)

rápida y económica. El funcionamiento del solape de barras por adherencia se fundamenta en la transmisión de esfuerzos de tracción y compresión a través del desarrollo de tensiones de adherencia entre la superficie de las armaduras y el hormigón que las rodea.

Un solape de barras constituye una singularidad en la estructura y es imprescindible garantizar su correcto funcionamiento, asegurando que la transmisión de tensiones entre las barras no provoque fisuración excesiva ni deslizamientos inadmisibles. Aún no existe consenso científico sobre el modelo mecánico que, incorporando todas las variables (geometría de la barra, recubrimientos y espaciado entre barras, tipo de hormigón y acero, número de solapes en la sección, existencia de armadura transversal...), describe correctamente el comportamiento de un solape. Igualmente, y a diferencia de lo que ocurre con el anclaje de una única barra de armadura, se carece de un ensayo único y ampliamente reconocido para el estudio experimental de los solapes de barras traccionadas. Los investigadores recurren a caros y complejos ensayos sobre vigas a escala, introduciendo solapes de armadura y analizando su influencia sobre el comportamiento tenso-deformativo. Por todo ello, el tratamiento de las diferentes corrientes normativas da lugar a longitudes de solape muy heterogéneas.

Para tratar de paliar esta situación, desde el Grupo de Construcción de la Universidade da Coruña se ha planteado y desarrollado un nuevo ensayo para el estudio de los solapes de armaduras. En él se aplica una carga de tracción creciente sobre dos familias de barras pasantes y solapadas dentro de una probeta ortoédrica, registrándose las fuerzas que se desarrollan en cada armadura y el deslizamiento del extre-



Rotura producida en una probeta de arrancamiento múltiple

mo libre de las mismas. En contraposición con las vigas a escala, el que denominamos ensayo de arrancamiento múltiple es mucho más rápido y económico, lo que permite hacer varias repeticiones de un mismo espécimen y aplicar técnicas estadísticas basadas en el diseño de experimentos, la regresión lineal y el análisis de la varianza. Finalmente, en este ensayo se obtienen de forma directa las curvas reales tensión/deslizamiento.

501. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS QUE DEFINEN UN SOLAPE DE BARRAS

STUDY ON THE INFLUENCE OF THE MAIN PARAMETERS DEFINING REINFORCEMENT LAP SPLICES

Ismael Vieito Raña. Universidade da Coruña. Investigador-Contrato Competitivo FPU. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ismael.vieito@udc.es

Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fmartinez@udc.es

Javier Eiras López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jeiras@udc.es
Manuel F. Herrador Barrios. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. manuel.herrador@udc.es

Juan Luís Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Adherencia, solapos, diseño de experimentos.

Bond, lap-spllices, design of experiments.

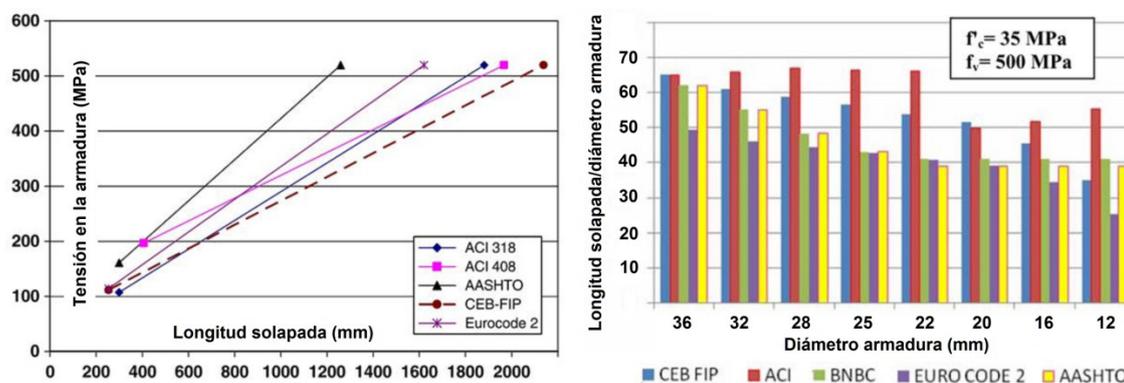
El diseño y construcción de un solape a tracción requiere definir, como principal variable, la longitud de solape; es decir, la distancia que ambas armaduras que se unen deben quedar superpuestas. Una longitud demasiado larga, pese a asegurar la transmisión de la tracción de la barra, dificultaría la ejecución de la unión y sería cara. Si es demasiado corta podría causar inseguridad estructural al no quedar las barras lo suficientemente ancladas como para transmitir su tensión de diseño.

No obstante, hay más variables a tener en cuenta a la hora de ejecutar un solape. Como clasificación general, se puede asumir la existencia de factores que dependen de la armadura (diámetro, características mecánicas, geometría de las corrugas), de factores que dependen del hormigón (características mecánicas, tipo y dosificación) y de un buen número de factores que dependen de la geometría y el confinamiento del solape. En este último grupo aparecen variables como el recubrimiento, la presencia y cuantía de armadura transversal, la separación de las armaduras solapadas, el número de solapos en una misma sección o la separación entre familias de barras. Finalmente, el estado tensional de la sección estudiada, el tipo de esfuerzo aplicado y su historia tienen también influencia sobre el comportamiento de un solape y la determinación de la longitud de solape.

Una comparación entre el Eurocódigo 2, el Código Modelo 2010 y la norma ACI-318, muestra que la longitud de solape puede diferir en más de un 50% según el código empleado, y la importancia que éstos atribuyen a los diferentes factores es muy heterogénea. En este contexto, aprovechando el nuevo ensayo desarrollado por el Grupo de Construcción de la Universidade da Coruña, se ha llevado a cabo una campaña experimental en la que se estudiaron las principales variables que definen un solape. Entre los factores analizados se encuentran el recubri-



Fallo de una chimenea en Japón, debido a una insuficiente longitud de solapo



miento de hormigón, el diámetro de las barras, la separación entre barras solapadas o la separación entre familias de barras solapadas.

Para realizar este estudio se ha planteado una metodología estadística basada en la elaboración de un modelo factorial mediante técnicas de diseño de experimentos, permitiendo analizar conjuntamente una gran cantidad de resultados obtenidos en probetas en las que se varían a la vez todos los parámetros estudiados. Con esta metodología, antagónica del tradicional método de bloqueo de variables, se puede analizar la influencia detallada de cada factor estudiado, así como la interacción de los mismos.

508. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE RECICLADO

RHEOLOGICAL BEHAVIOUR OF SELF-COMPACTING RECYCLED CONCRETE

Iris González Taboada. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. iris.gonzalez@udc.es

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Titular de Universidad. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfonteboa@udc.es

Nicolas Roussel. Institut Français des Sciences (IFSTAR). Research Director. MSc. Civil Engineering. nicolas.roussel@ifstar.fr

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gumersinda.spaz@udc.es

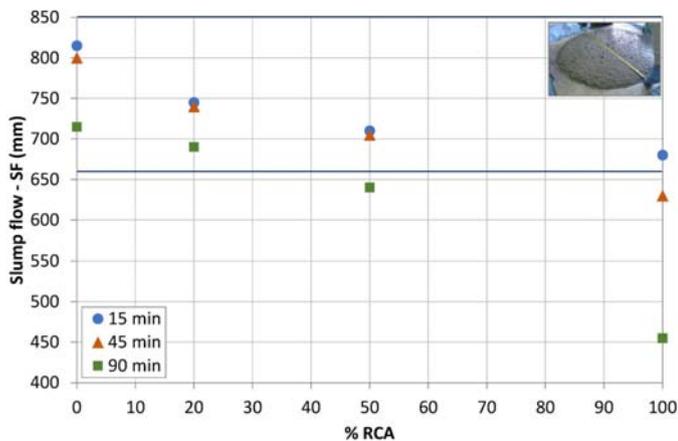
Gemma Rojo López. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gemma.rojo@udc.es

Hormigón reciclado, hormigón autocompactante, árido grueso reciclado de hormigón, comportamiento en fresco, reología.

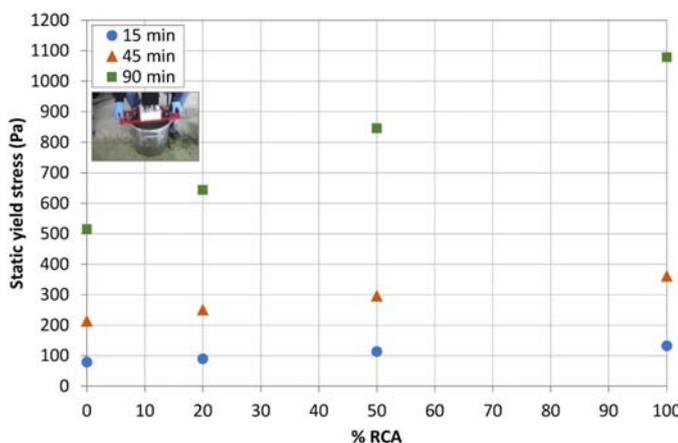
Recycled concrete, self-compacting concrete, recycled concrete coarse aggregate, fresh behaviour, rheology.

En este estudio se aborda el análisis de las propiedades en estado fresco del hormigón autocompactante reciclado mediante ensayos empíricos (escurrimiento, caja en L, embudo en V, anillo japonés y segregación por tamiz) y mediante reómetro (tensión de flujo umbral y viscosidad plástica).

El programa experimental ha consistido en la realización de cuatro tipos de hormigón autocompactante, un hormigón de referencia y sus homólogos reciclados sustituyendo en volumen el árido grueso natural por árido reciclado de hormigón. Los porcentajes de sustitución han sido 20%, 50% y 100%. Tanto los ensayos empíricos como reológicos se han realizado sobre todas las mezclas a 15, 45 y 90 minutos desde el contacto entre cemento y agua.



Evolución en el tiempo de asiento en ensayo de escurrimiento



Evolución en el tiempo de la tensión de flujo umbral estática

Los resultados obtenidos permiten concluir que las mismas leyes físicas que se aplican para describir el comportamiento reológico del hormigón autocompactante convencional (HAC) pueden utilizarse en el caso del hormigón autocompactante reciclado (HACR). Se demuestra que la especificidad de este nuevo hormigón radica en el procedimiento usado para compensar el agua de absorción del árido reciclado durante el protocolo de amasado, que influye en la relación agua/cemento efectiva y su evolución con el tiempo, y en las características morfológicas de este tipo de árido, su forma más irregular y su textura más rugosa.

509. ESTUDIO DE LA ROBUSTEZ DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE RECICLADO

STUDY OF SELF-COMPACTING RECYCLED CONCRETE ROBUSTNESS

Iris González Taboada. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. iris.gonzalez@udc.es
 Belén González Fontebao. Universidade da Coruña. Titular de Universidad. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfontebao@udc.es
 Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fmartinez@udc.es
 Nicolas Roussel. Institut Français des Sciences (IFSTTAR). Research Director. MSc Civil Engineering. nicolas.roussel@ifsttar.fr
 Gemma Rojo López. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gemma.rojo@udc.es

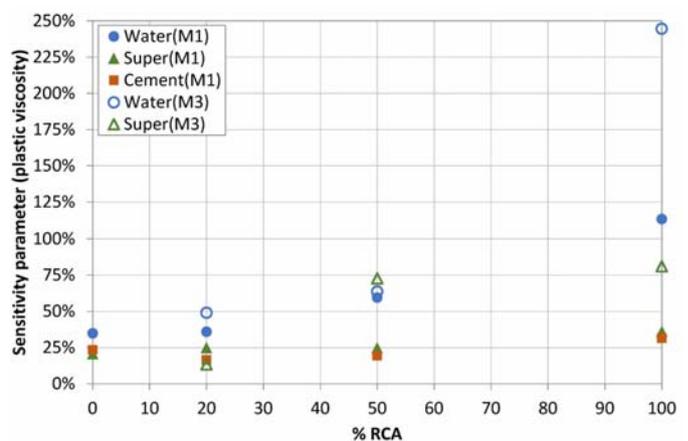
Árido grueso reciclado de hormigón, hormigón autocompactante, comportamiento en fresco, reología, robustez.

Recycled concrete coarse aggregate, self-compacting concrete, fresh behaviour, rheology, robustness.

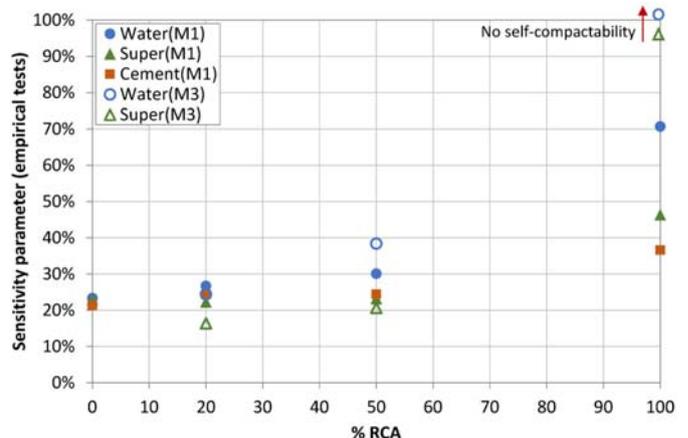
El hormigón autocompactante (HAC) es más sensible a pequeños cambios en los materiales constituyentes y en el método de producción que el hormigón vibrado, es decir, es menos robusto. En este trabajo se llevó a cabo un programa experimental para evaluar la robustez del HAC conteniendo áridos reciclados. Se estudiaron dos series de mezclas de HAC con diferentes porcentajes de árido grueso reciclado de hormigón (0%, 20%, 50% y 100%), una serie con el árido en condiciones secas y la otra incorporándolo en la amasadora con un 3% de humedad.

El análisis se centra en la capacidad del hormigón autocompactante reciclado (HACR) para mantener su trabajabilidad y sus propiedades reológicas a lo largo del tiempo cuando se introducen variaciones en el agua ($W = \pm 3\%$), en el superplastificante ($S = \pm 5\%$) y en el cemento ($C = \pm 3\%$). Para ello, se realizaron ensayos empíricos y reológicos a distintos tiempos desde el contacto cemento-agua.

En primer lugar, el análisis de la robustez del HACR se realizó a través del cálculo de parámetros de sensibilidad. Adicionalmente se efectuó una aproximación estadística para determinar qué ensayos proporcionan mayor sensibilidad cuando se evalúa la robustez del HACR.



Parámetros de sensibilidad de la viscosidad plástica (media de 15 y 45 minutos)



Parámetros de sensibilidad de ensayos empíricos (media de 15 y 45 minutos)

Ambos análisis mostraron que el principal parámetro que afecta a la robustez del HACR es el agua. Por otro lado, dado que el control del agua resulta más difícil en este hormigón debido a la mayor absorción del árido reciclado, su control debe ser más importante que en el HAC convencional y más importante que en el hormigón vibrado tradicional.

510. ESTUDIO DE LA TIXOTROPÍA Y LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE RECICLADO

STUDY OF THIXOTROPY AND INTERLAYER BOND STRENGTH OF SELF-COMPACTING RECYCLED CONCRETE

Iris González Taboada. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. iris.gonzalez@udc.es

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Titular de Universidad. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfonteboa@udc.es

Juan Luis Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gumersinda.spaz@udc.es

Gemma Rojo López. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gemma.rojo@udc.es

Árido grueso reciclado de hormigón, hormigón autocompactante, reología, thixotropy, adherencia entre capas.

Recycled concrete coarse aggregate, self-compacting concrete, rheology, thixotropy, interlayer bond strength.

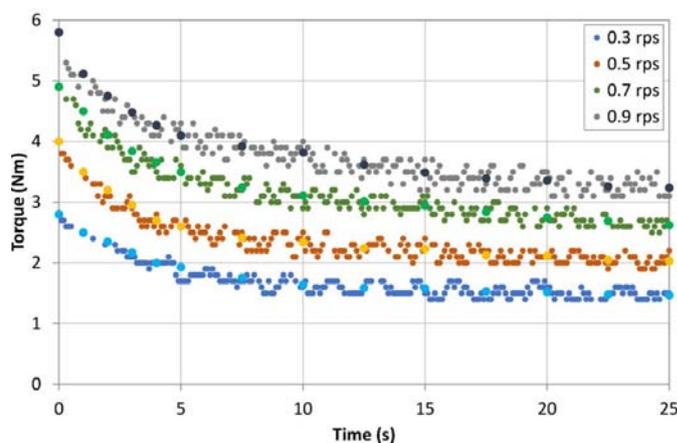
Este estudio se centra en el análisis del comportamiento tixotrópico del hormigón autocompactante (SCC) cuando se utiliza árido grueso reciclado de hormigón como sustituto de la misma fracción granulométrica de árido natural. Además, se evalúan la adherencia y permeabilidad al agua que pueden desarrollarse entre tongadas sucesivas de hormigón autocompactante reciclado (HACR) tras un cierto período de reposo.

Para este propósito, se estudiaron cuatro mezclas de HACR con 0%, 20%, 50% y 100% de árido grueso reciclado. Este árido se utilizó seco y se añadió una cantidad extra de agua durante el amasado para compensar su absorción a los 10 minutos (es decir, el 80% de su absorción a las 24 horas).

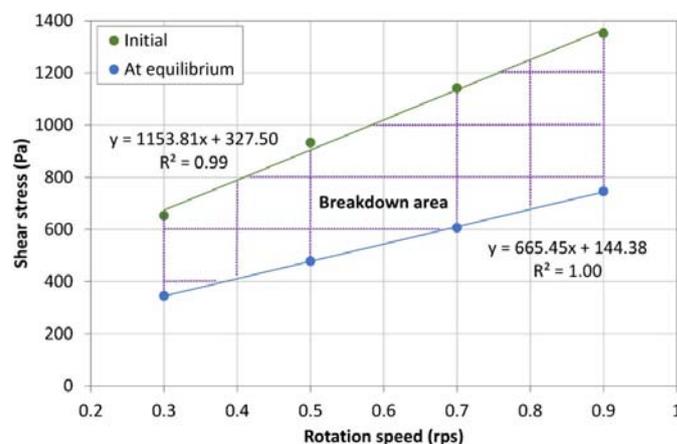
El estudio del grado de tixotropía del HACR se abordó utilizando varios métodos de ensayo y protocolos: curvas de ruptura estructural a diferentes velocidades de rotación, curvas de flujo de histéresis y tensión de flujo en reposo (también llamada tensión de flujo estática).

Adicionalmente se evaluó la influencia de la tixotropía en el comportamiento mecánico del HACR y el efecto de la reestructuración en reposo en la adherencia entre capas lo que permite conocer el riesgo del desarrollo de juntas frías en los HACRs. Se utilizaron los dos siguientes métodos: ensayos a flexión y ensayos de permeabilidad al agua. Los tiempos entre dos tongadas sucesivas de HACR fueron de 0, 15, 30 y 60 minutos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la incorporación de árido grueso reciclado de hormigón no provoca, cuando se tiene en cuenta su capacidad de absorción de agua en el protocolo de amasado, un incremento significativo de la velocidad de reestructuración y del grado de tixotropía en las mezclas de HACR. El HAC de referencia y las mezclas de HACR tienen similar tixotropía con tendencia a incrementarse ligeramente a medida que el porcentaje de sustitución aumenta. Esto se debe a las características particulares del árido reciclado (la evolución a lo largo del tiempo de su absorción de agua no compen-



Curvas de ruptura estructural de la mezcla SCRC100



Área de ruptura estructural de la mezcla SCRC100

sada y su contenido de finos, y su forma irregular y textura rugosa en menor medida). Este ligero incremento no tiene consecuencias significativas en la adherencia entre capas, tal y como revelan los resultados de los ensayos mecánicos. En este caso, se puede observar un comportamiento similar en todos los HACRs.

511. CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO EXPERIMENTAL CON HORMIGÓN EN MASA Y ÁRIDOS DE CONCHA DE MEJILLÓN

EXPERIMENTAL BUILDING FOUNDATION WITH MUSSEL SHELL AGGREGATE IN PLAIN CONCRETE

Carolina Martínez García. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Graduada en Arquitectura Técnica. carolinamargar@gmail.com

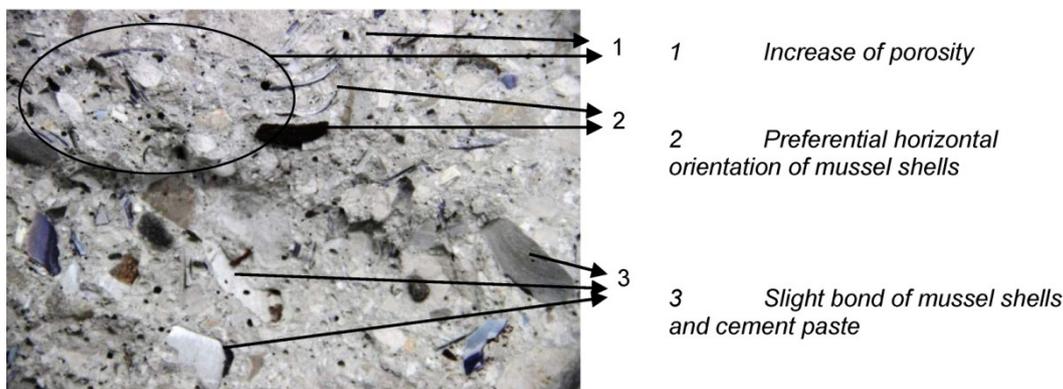
Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Titular de Universidad. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfonteboa@udc.es

Diego Carro López. Universidade da Coruña. Profesora Contratada Doctora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. dcarro@udc.es

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gumersinda.spaz@udc.es

Juan Luis Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Javier Prego Martínez. Extraco, SA. I+D Extraco, S.A. y Misturas, S.A. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. javiprego@gmail.com



Probeta de hormigón con concha de mejillón tras ensayo a tracción indirecta

Hormigón en masa, hormigón de limpieza, concha de mejillón, áridos de conchas marinas, edificio experimental.

Non-structural concrete, plain structural concrete, mussel shell, seashell aggregates, experimental building.

Galicia es uno de los principales productores de mejillones en conserva a nivel mundial. La concha supone un 33% del peso bruto del residuo, de tal manera que se puede afirmar que la industria conservera genera en Galicia unas 25.000 t de residuo de concha cada año. Estos residuos acaban en vertederos o se utilizan como fertilizante agrícola. El problema ambiental que esto genera es común a otros países, ya que son más de 40 países productores de moluscos bivalvos. Esto ha llevado en los últimos años al desarrollo de algunas investigaciones utilizando residuos de conchas marinas como material de construcción.

En el marco del proyecto de investigación "Valoración de las conchas de bivalvos gallegos en el ámbito de la construcción (BIOVALVO)", financiado por el programa FEDER Interconecta y desarrollado por la Universidad de A Coruña en colaboración con distintas empresas del sector de la construcción (EXTRACO SL, GALAICONTROL SL y SERUMANO SL), se plantea el uso de la concha de mejillón como sustitutivo del árido en hormigones.

En este estudio se trabajó con un hormigón de limpieza (HL) y un hormigón en masa estructural (HM) orientados a la construcción de la cimentación de un edificio experimental. Se diseñó la dosificación patrón de cada uno de ellos con material convencional y, a continuación, los correspondientes hormigones sustituyendo la arena convencional por arena de concha de mejillón triturada, en dos series: una primera remplazando la fracción fina del árido y una segunda remplazando la fracción gruesa. Se elaboraron un total de 15 mezclas.



Cimentación de hormigón con concha de mejillón

Tras la caracterización de los diferentes hormigones mediante los ensayos estandarizados de laboratorio, se puede concluir que, limitado por la consistencia y la resistencia a compresión el porcentaje de sustitución máximo de árido natural por árido de mejillón debería establecerse en el 25%.

Bajo dicha premisa se elaboró una dosificación viable, mezcla de las dos fracciones (arena y gravilla en un porcentaje de 12,5%), para la aplicación en la cimentación y solera de un edificio experimental construido con criterios de eficiencia energética y bajo impacto ambiental. Con el control de calidad de los hormigones ejecutados en el edificio, se confirma la viabilidad técnica de este material para su aplicación en la construcción.

512. REVESTIMIENTO EXTERIOR A BASE DE MORTEROS CON ÁRIDOS DE MEJILLÓN. APLICACIÓN EN UN EDIFICIO EXPERIMENTAL

COATING MORTARS WITH MUSSEL SHELL AS AGGREGATE. APPLICATION IN AN EXPERIMENTAL BUILDING

Carolina Martínez García. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Graduada en Arquitectura Técnica. carolinamargar@gmail.com

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Titular de Universidad. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. bfonteboa@udc.es

Diego Carro López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. dcarro@udc.es

Juan Luis Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Roberto Rodríguez Álvaro. Universidade da Coruña. Estudiante de Doctorado. Graduated in Architecture Técnica. roroal3@hotmail.com

José Millán Pérez. GALAICONTROL SL. Director del Laboratorio. Licenciado en Ciencias Químicas. jmillan@galaicontrol.com

Revestimiento, mortero de conchas marinas, mortero de cemento, mortero de cal aérea, concha de mejillón.

Coatings, seashell mortar, cement mortar, aerial lime mortar, mussel shell.

En Galicia, la acuicultura y la industria conservera son sectores de gran relevancia que generan cada año importantes beneficios económicos y mantienen miles de puestos de trabajo. Sin embargo el sector produce una gran cantidad de residuos, de entre los cuales destacan, por su volumen, las conchas de bivalvos. Galicia genera anualmente miles



Arena con concha de mejillón gruesa y fina



de toneladas de residuo de concha que, en su mayoría, acaban depositadas en vertedero provocando un importante impacto ambiental.

En los últimos años se han llevado a cabo estudios científicos que avalan la posibilidad de utilización de las conchas en diversos sectores, entre ellos el de la construcción. En algunos de estos estudios se analizan las posibilidades de utilización de las conchas de diferentes bivalvos y moluscos en la fabricación de morteros de cemento. Los áridos resultantes de machacar estas conchas se han utilizado sustituyendo a la arena natural en distintos porcentajes, concluyéndose que la fluidez, la densidad y la resistencia a compresión disminuyen cuando aumenta el porcentaje de árido de concha empleado.

En este estudio se analiza el comportamiento de morteros de revestimiento con sustitución de arena natural por arena de concha de mejillón en porcentajes del 25%, 50%, 75% y 100%. Para ello se diseñan morteros patrón (0% de concha de mejillón) con dos ligantes, cemento, por tratarse de uno de los materiales más extendidos en la construcción convencional y la cal aérea, por ser un material de menor impacto ambiental.

En el estudio se analiza el comportamiento de los morteros a través de diversas propiedades, densidad, consistencia y resistencia a com-



Mortero de revestimiento con arena de mejillón

presión a diferentes edades, concluyéndose que la forma plana y acicular de las partículas, la composición y la absorción de agua de las mismas, son las responsables de las variaciones en las propiedades de la mezclas.

Las mezclas estudiadas se aplican con viabilidad técnica en un edificio experimental construido con criterios de bajo consumo energético y bajo impacto ambiental.

513. RECUPERACIÓN DE DEFORMACIÓN DE LOS HORMIGONES RECICLADOS TRAS CARGA AXIAL SOSTENIDA

RECOVERY STRAIN OF RECYCLED CONCRETES AFTER SUSTAINED AXIAL LOAD

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Profesora Titular.

Ingeniera de Caminos. bfonteboa@udc.es

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora.

Ingeniera de Caminos. gumersinda.spaz@udc.es

Julia Vidal Suárez. Universidade da Coruña. Ingeniera de Caminos.

j.vidal@udc.es

Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático

de Universidad. Ingeniero de Caminos. fmartinez@udc.es

Iris González Taboada. Universidade da Coruña. Investigadora

Predocctoral Xunta de Galicia. Ingeniera de Caminos.

iris.gonzalez@udc.es

Hormigón reciclado, recuperación de deformación instantánea, recuperación de deformación diferida, recuperación de fluencia, coeficiente de fluencia.

Recycled concrete, short-term recovery strain, long-term recovery strain, recovery creep, creep coefficient.

En este estudio se aborda el análisis de la recuperación de deformaciones en los hormigones reciclados tras 1.300 días de carga axial sostenida ($\leq 0,4$ fc). Con el objetivo de evaluar la recuperación de deformaciones instantáneas y diferidas en hormigones fabricados con diferentes porcentajes de sustitución de árido grueso natural por reciclado, se empleó un hormigón con relación a/c 0.65 y cuatro porcentajes de sustitución: 0% (hormigón de control), 20%, 50% y 100%. De esta forma, se analizaron cuatro hormigones diferentes denominados H65-0, H65-20, H65-50 y H65-100.

El desarrollo de este trabajo se lleva a cabo como continuación de estudios previos sobre hormigón reciclado donde se analizaron las

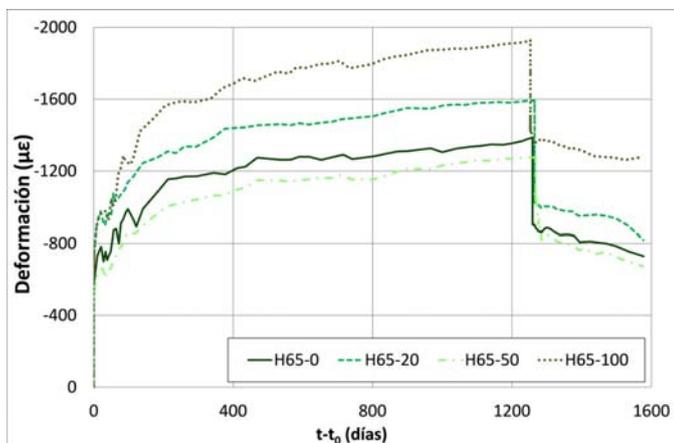


Probetas de hormigón tras descarga

deformaciones instantáneas y diferidas sobre probetas fabricadas con distintos porcentajes de sustitución y sometidas a niveles de tensión dentro del rango de fluencia lineal. Tras 1.300 días de carga sostenida se realizó la descarga, que permitió registrar las deformaciones de recuperación en los hormigones de estudio y evaluar los coeficientes de fluencia en recuperación de los hormigones de estudio.

El registro de las deformaciones tras la descarga se llevó a cabo mediante galgas de hormigón colocadas en las probetas. Se obtuvieron, en primer lugar, las deformaciones de recuperación instantánea registradas inmediatamente después de la descarga. A continuación, durante 300 días, se registraron medidas correspondientes a las deformaciones de recuperación diferidas con las que se realizó el análisis de recuperación de fluencia y coeficientes de fluencia en recuperación.

Los resultados obtenidos permiten evaluar las diferencias entre hormigones reciclados y convencionales en cuanto a la capacidad de recuperación de deformaciones instantáneas y diferidas. Se analizaron además, los coeficientes de fluencia en recuperación de estos hormigones.



Historia de deformaciones en las probetas de hormigón

514. RECUPERACIÓN DE FLECHAS EN HORMIGONES RECICLADOS ESTRUCTURALES

RECOVERY DEFLECTIONS OF STRUCTURAL RECYCLED CONCRETES

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Ingeniera de Caminos. gumersinda.spaz@udc.es

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Profesora Titular. Ingeniera de Caminos. bfonteboa@udc.es

Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Ingeniero de Caminos. fmartinez@udc.es

Juan Luis Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Javier Eiras López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero de Caminos. jeiras@udc.es

Hormigón reciclado, viga armada, proceso de descarga, recuperación de flecha instantánea, recuperación de flecha diferida.

Recycled concrete, reinforced beam, unloading process, short-term recovery deflection, long-term recovery deflection.

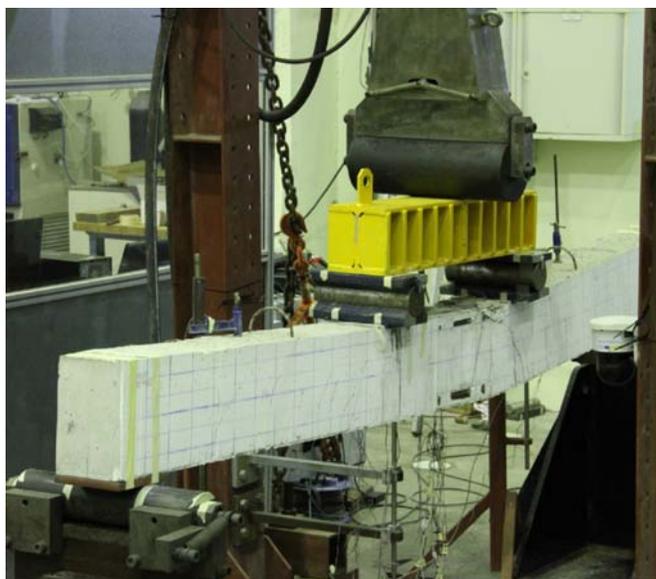
Este estudio aborda el análisis de la recuperación de flechas instantáneas y diferidas en hormigones reciclados fabricados con diferentes porcentajes de sustitución de árido grueso natural por reciclado. Para ello, se emplearon cuatro hormigones diferentes: uno con el 0% de árido reciclado como hormigón de control y tres hormigones reciclados con porcentajes de sustitución del 20%, 50% y 100%. Todos ellos se diseñaron con una relación a/c de 0,65. Con estos hormigones, denominadas H65-0, H65-20, H65-50 y H65-100, se fabricaron cuatro vigas armadas para su análisis a flexión.

Durante la fase de carga, las vigas se sometieron a carga sostenida mediante un sistema de flexión en cuatro puntos que generaba un vano central de flexión constante donde se realizó el registro de flechas. La carga aplicada producía una tensión máxima en la fibra más comprimida de la sección central de la viga dentro del rango elástico del hormigón ($\leq 40\%$ fc). Tras 1300 días de carga sostenida se llevó a cabo la descarga de las vigas.

Durante el proceso de descarga se realiza el registro de recuperación de flechas instantáneas, y posteriormente se llevan a cabo las medidas de recuperación de flecha diferida durante 300 días. Finalmente, las



Vigas tras descarga. Registro de recuperación de flechas



Ensayo a flexión de vigas pre-fisuradas tras recuperación de deformación

vigas se someten a rotura mediante un ensayo de flexión en cuatro puntos con un sistema de carga similar al aplicado durante la fase de carga sostenida. De nuevo, se realiza el registro de flechas durante la rotura de las vigas pre-fisuradas. En todas las fases de ensayo, el registro de flechas se realiza mediante un transductor de desplazamiento situado en la sección central de la viga.

Los resultados obtenidos permiten evaluar las diferencias entre hormigones reciclados y convencionales en lo referente a recuperación de flechas, capacidad de recuperación de flechas instantáneas y diferidas tras 300 días de recuperación, y análisis de flechas bajo cargas incrementales hasta rotura de las vigas pre-fisuradas.

515. ESTUDIO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO RECICLADO. ANÁLISIS DE FISURACIÓN

FLEXURAL STUDY OF REINFORCED RECYCLED CONCRETE BEAMS. CRACKING ANALYSIS

Sindy Seara Paz. Universidade da Coruña. Profesora Ayudante Doctora. Ingeniera de Caminos. gumersinda.spaz@udc.es

Belén González Fonteboa. Universidade da Coruña. Profesora Titular. Ingeniera de Caminos. bfonteboa@udc.es

Javier Eiras López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero de Caminos. jeiras@udc.es

Juan Luis Pérez Ordóñez. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero Informático. jlper@udc.es

Diego Carro López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Ingeniero de Caminos. dcarro@udc.es

Hormigón reciclado, vigas armadas, ensayo a flexión, fisuración, adherencia.

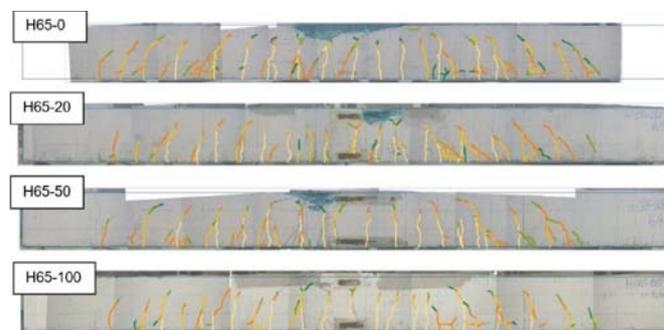
Recycled concrete, reinforced beams, flexural test, cracking, bond behaviour.

Este trabajo aborda el análisis de la fisuración en vigas armadas de hormigón reciclado estructural ensayadas a flexión hasta rotura. Para ello se diseñaron hormigones con una relación a/c de 0,65 y cuatro porcentajes de sustitución de árido grueso natural por reciclado: 0% (hormigón de control), 20%, 50% y 100%. Se obtienen de esta forma, cuatro vigas denominadas V0, V20, V50 y V100 y sus correspondientes probetas para la caracterización del hormigón.

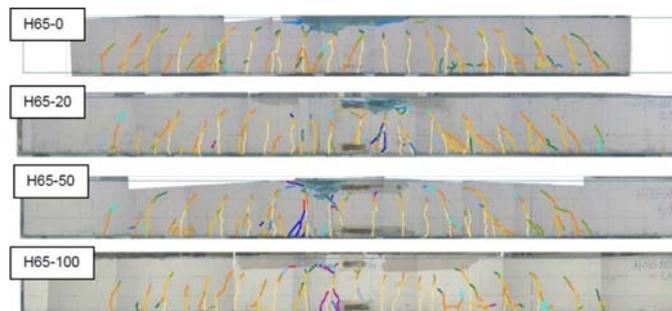
Las vigas se sometieron a cargas incrementales hasta rotura en control por desplazamiento mediante un ensayo a flexión en cuatro puntos que generó un vano central de flexión constante. Para el desarrollo del ensayo, se dispusieron galgas de acero en la armadura y de hormigón en el vano central de la viga que permitieron determinar los momentos y deformaciones en fisuración, servicio, plastificación y rotura. Por último, se realizó un mapa de fisuras sobre las vigas en los diferentes escalones de carga aplicados durante el ensayo.

Mediante los mapas de fisuras se obtuvieron experimentalmente las separaciones máximas entre fisuras. Debido a la configuración del ensayo, el ancho de fisura se obtuvo empleando la separación máxima entre fisuras y las deformaciones registradas experimentalmente por las galgas situadas en el hormigón y acero en la sección central de cada viga. Los resultados experimentales fueron analizados y comparados con sus valores teóricos calculados con las expresiones normativas actuales para hormigones convencionales. Por último, se obtuvieron los ratios "valor teórico/valor experimental" de la separación entre fisuras y ancho de fisura con el fin de evaluar la bondad de las expresiones normativas para el cálculo de fisuración en hormigones reciclados.

Las diferencias obtenidas en este estudio se analizaron teniendo en cuenta las singularidades del hormigón reciclado, evaluando la influencia de su peor comportamiento adherente y su mayor deformabilidad en comparación con los hormigones convencionales.



Mapa de fisuras de las vigas al 50% del momento último



Mapa de fisuras de las vigas en rotura

525. RELAJACIÓN TENSIONAL EN CABLES DE ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA NI-TI-NB

STRESS RELAXATION OF NI-TI-NB SHAPE MEMORY ALLOY WIRES

Fernando Varela Puga. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. f.varela.puga@udc.es

Joan Maria Rius Gibert. Universitat de les Illes Balears. Doctorando. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. joan.rius@uib.es

Manuel F. Herrador. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mherrador@udc.es
 Antoni Cladera Bohigas. Universitat de les Illes Balears. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. antoni.cladera@uib.es

Fernando Martínez Abella. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. Ingeniero de Caminos. fmartinez@udc.es

Carlos Ribas González. Universitat de les Illes Balears. Profesor Colaborador. carlos.ribas@uib.es

Aleaciones con memoria de forma, relajación, ensayos, ley de comportamiento, Ni-Ti-Nb.

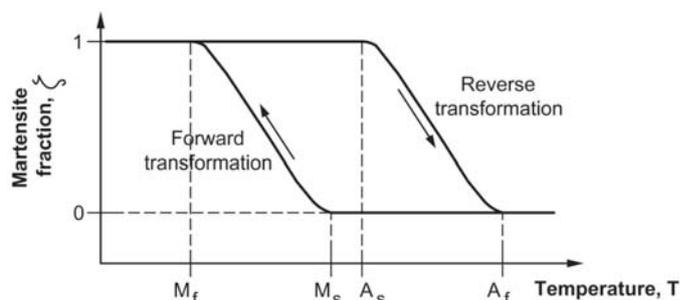
Shape memory alloys, relaxation, tests, behavior law, Ni-Ti-Nb.

En la actualidad se está abriendo una prometedora línea de investigación y desarrollo en la rama de la ingeniería civil basada en la utilización de aleaciones con memoria de forma (AMF). Estas investigaciones están especialmente dirigidas a la consecución de técnicas de refuerzo de estructuras de hormigón para aumentar su vida útil.

Las propiedades que hacen especiales a este tipo de aleaciones (memoria de forma, superelasticidad y capacidad de amortiguación) se rigen por el fenómeno de transformación martensítica (reestructuración molecular sin difusión). Resulta de especial interés para la reparación de estructuras la propiedad de memoria de forma: a través de un aporte de energía (calor) el material puede volver a una forma predeterminada (activación), lo que le confiere capacidad para pretensar un elemento. En este contexto resulta imprescindible conocer el comportamiento macroscópico de estos materiales, alzándose como uno de los puntos clave el análisis macroscópico de pérdida de tensiones tras la activación de un elemento de AMF. Hasta la fecha este comportamiento únicamente ha sido estudiado a nivel atómico.



Montaje de los ensayos de relajación sobre cables de Ni-Ti-Nb



Curva de histéresis térmica en AMF

Se debe destacar que no todas las aleaciones con memoria de forma se comportan de la misma manera. Su curva de histéresis resulta de gran importancia para una aplicación viable de las AMF, pues condiciona el rango térmico de actuación, resultando más favorables las aleaciones con una curva más amplia. Debido a esto no es casualidad la utilización de una aleación de Ni-Ti-Nb, cuya curva de histéresis térmica permite que tras la transformación martensítica debida a la aplicación de calor el fenómeno no se revierta al volver a bajas temperaturas (entre $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

El trabajo presentado en este documento pretende, mediante sus resultados acerca del comportamiento tensional en elementos de Ni-Ti-Nb, dar un paso firme hacia la utilización de aleaciones de materiales con memoria de forma. Se aportan para ello datos empíricos acerca de la relajación de tensiones de estos materiales, comportamiento de vital importancia a la hora de reforzar una estructura, concluyéndose que refuerzos resultan viables con este tipo de materiales.

527. APLICABILIDAD DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA CIVIL

APPLICABILITY OF GLASS-FIBER-REINFORCED HIGH DENSITY POLYETHYLENE IN CIVIL ENGINEERING STRUCTURES

Manuel F. Herrador. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mherrador@udc.es
 J. Antonio González Mejjide. TEMHA, S. L.-Universidade da Coruña. Ingeniero/Profesor Asociado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mejjide@temha.com

Francisco Saavedra Calo. Construcciones López Cao, S.L. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fsaavedra@lopezcao.com

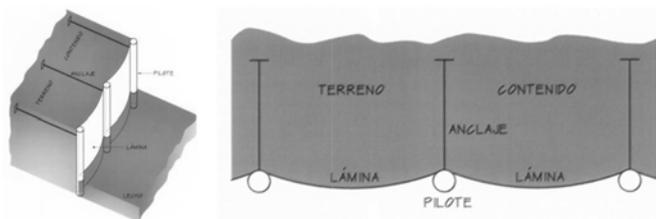
Ismael Vieito Raña. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ismael.vieito@udc.es

Gemma Rojo López. Universidade da Coruña. Investigadora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gemma.rojo@udc.es

Durabilidad, PEAD, PRFV, estructura portuaria.

Durability, HDPE, GFRP, port infrastructure.

La evolución y desarrollo realizados sobre los materiales poliméricos reforzados con fibra a base de matriz termoendurecida ha permitido su progresiva implantación tanto en la ingeniería civil como en la edificación, siendo de especial utilidad en aquellas aplicaciones en las que presentan una buena competitividad con respecto al precio, así como una especial adaptación por sus propiedades en las que destacan, fundamentalmente, su reducido peso y su elevada durabilidad en am-



Vista general y planta del modelo conceptual de un dique

bientes agresivos. Un campo de actuación en el que su implantación presenta una serie de ventajas es en instalaciones marítimo-portuarias, en las que tanto el hormigón como el acero empleado están sometidos a un ambiente agresivo que pueden comprometer la durabilidad de estos materiales. El agua salada es un ambiente especialmente agresivo con el acero, obligando a utilizar mayores recubrimientos de hormigón y con ello un mayor coste. Por otro lado, el hormigón es atacado químicamente por otros componentes presentes en el agua salada, así como biológicamente por organismos. Asimismo, la posibilidad de emplear productos prefabricados facilita su construcción así como también se reducen los plazos de ejecución.

En el presente documento se estudia el uso de un PRF con matriz de polietileno de alta densidad y refuerzo de fibra corta de vidrio para su uso como material estructural en elementos sometidos a tracciones a lo largo de su directriz (funicular de cargas). Se estudian dos configuraciones de refuerzo diferentes según su porcentaje: contenido del 20% de fibras y del 40% de fibras. Con el fin de reproducir las diferentes condiciones a las que se sometería el material en una instalación portuaria, se realizan ensayos a tracción a una velocidad base de 2 mm/min ($1,7 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) según norma, y también a 1/10, 1/100 y 1/1000 de dicha velocidad, y a temperatura ambiente, 40 °C y 60 °C. También se realizan ensayos de absorción de agua tras inmersión en agua potable y en agua marina sintética, con el fin de caracterizar la posible pérdida de resistencia tras diferentes períodos de inmersión. Se realizaron también ensayos de fluencia (alargamiento bajo carga constante) a temperatura ambiente y 40 °C.

Como conclusión del estudio, se presenta un resumen de las condiciones bajo las cuales el material propuesto se consideraría apto para su aplicación a una estructura portuaria, como la construcción de láminas de contención de tierras arriostadas por otros elementos convencionales.



Probetas de polietileno reforzado con fibra de vidrio ensayadas a diferentes velocidades

528. ESTUDIO DEL POLÍMERO REFORZADO DE FIBRA DE VIDRIO (PRFV) COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDOS A TRACCIÓN

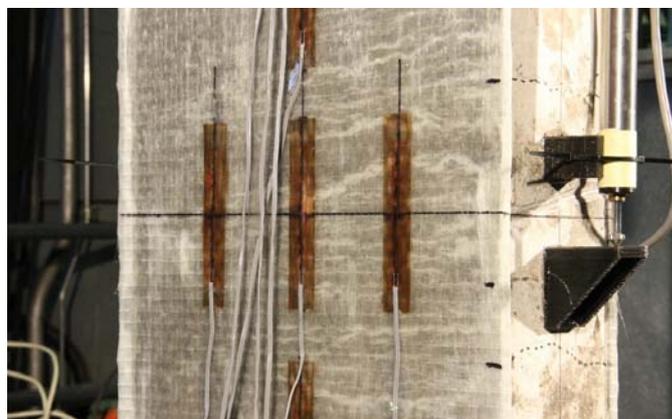
STUDY OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP) AS A STRUCTURAL MATERIAL IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS SUBJECTED TO PURE TENSILE EFFORTS

Manuel Paredes G. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. manuel.paredes@udc.es
 Manuel F. Herrador. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mherrador@udc.es
 Ismael Vieito Raña. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ismael.vieito@udc.es
 Javier Eiras-López. Universidade da Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jeiras@udc.es
 Fernando Varela Puga. Universidade da Coruña. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. f.varela.puga@udc.es

Resistencia a tracción, hormigón armado, depósitos de agua, PRFV.

Tensile strength, reinforced concrete, water tanks, GFRP.

A lo largo de los últimos años los materiales compuestos han ido ganando terreno en diferentes sectores tecnológicos debido, fundamentalmente, a las propiedades que ellos presentan, entre las que se pueden destacar su elevada resistencia, tanto mecánica como química, y su reducido peso. Su uso en sectores como la aeronáutica o la automoción ya es común desde hace años, sectores en los que las prestaciones mecánicas que presenta un material llegan a priorizar por encima de su coste. Por contra, en el sector de la construcción se está abriendo camino a un ritmo mucho menor. Los procesos de reparación o de ampliación de antiguas infraestructuras actualmente en servicio permitieron en gran medida la incursión de los materiales compuestos en la obra civil, mientras que no se ha tenido en cuenta como material estructural en el diseño de obra nueva. Su uso en el sector de la construcción se ha centrado en los últimos años principalmente en dos campos, el refuerzo de elementos estructurales de hormigón armado sometidos a sollicitaciones de flexión y frente a sollicitaciones de compresión. Se han realizado numerosos estudios sobre la utilización de los materiales compuestos como refuerzo de elementos de hormigón ante sollicitaciones de flexión y de compresión, habiendo incluso normativa al respecto (ACI 440.2R-02). En cambio, no se le ha presta-



Fisuración de una probeta de hormigón revestida de PRFV en ensayo de tracción

do el mismo interés a la utilización de los materiales compuestos como refuerzo de elementos estructurales de hormigón armado sometidos a esfuerzos de tracción pura.

En el presente documento se analiza detalladamente la influencia de un refuerzo exterior de materiales compuestos, en este caso PRFV, sobre elementos estructurales de hormigón armado sometidos a solicitaciones de tracción pura. Se estudia la utilización del refuerzo exterior de PRFV en estructuras ya existente con el fin de realizar posibles reparaciones o ampliaciones del servicio prestado, así como material estructural en el diseño de nuevos elementos. De esta forma se obtiene una reducción de las cuantías de hormigón y acero empleado, materiales más susceptibles al ataque de agentes químicos y biológicos. Finalmente, se analiza su uso en depósitos de agua de planta circular, estructura en la que se generan tensiones de tracción en dirección circunferencial, y cuya utilización favorece, además, a la impermeabilización del mismo.

534. MITIGACIÓN DE LA VIBRACIÓN DE UNA ESTRUCTURA FOTOVOLTAICA DEBIDA A LA ACCIÓN DEL VIENTO MEDIANTE AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA

VIBRATION MITIGATION OF A PHOTOVOLTAIC STRUCTURE DUE TO THE WIND EFFECT BY TUNED MASS DAMPERS

José Manuel López Collantes. Oritia & Boreas. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. lopezcollantes@oritaiyboreas.com
 José María Terrés Nicolás. Universidad de Granada/Oritia & Boreas. CEO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jterres@ugr.es
 Christian Mans. Oritia & Boreas. COO. PhD, Civil Engineering. mans@oritaiyboreas.com

Amortiguador de masa sintonizada, parques solares, vibración de placas.

Tuned mass dampers, solar parks, plate vibration.

La profundización en el conocimiento de ingeniería de estructuras, el avance tecnológico y la optimización de los recursos impulsa el desarrollo de estructuras cada vez más ligeras, flexibles y esbeltas. Este hecho las hace más susceptibles de sufrir fenómenos de vibraciones excesivas ante cargas dinámicas.

En relación a los sistemas de energía solar fotovoltaica, recientemente se ha asociado la pérdida de su rendimiento a la micro-fisuración de las células que componen los módulos. Su más probable causa es la tensión mecánica debida a las vibraciones del sistema por efecto de la acción del viento. Ante la necesidad de solucionar esta problemática, el presente estudio se centra en atenuar la respuesta estructural ante la acción del viento para minimizar la tensión mecánica en las células. Con este objetivo, se propone una metodología de cálculo dinámico de la respuesta del sistema, fundamentada en el análisis modal realizado mediante elementos finitos. La carga dinámica debida a la acción del viento se introduce a través de los ensayos de un modelo a escala en un túnel del viento de capa límite. La atenuación de la vibración estructural requiere amortiguar la vibración de los modos excitados por la acción del viento. Para identificar estos modos es necesario resolver el sistema de ecuaciones diferenciales de equilibrio dinámico. Para ello se emplean las coordenadas normales, ya que el valor de la coordenada modal asociada con cada modo de vibración proporciona la magnitud de su contribución a la respuesta del sistema. A partir de la consideración de la respuesta obtenida, se procede el cálculo de un sistema de disipación de la respuesta mediante amortiguadores de masa sintonizada.

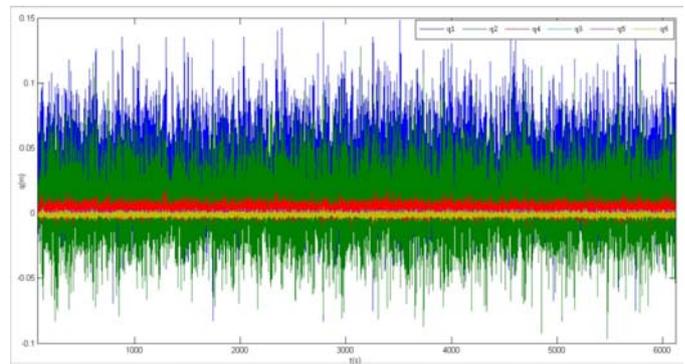


Figura 1. Series temporales de la respuesta del sistema en función de la configuración del TMD

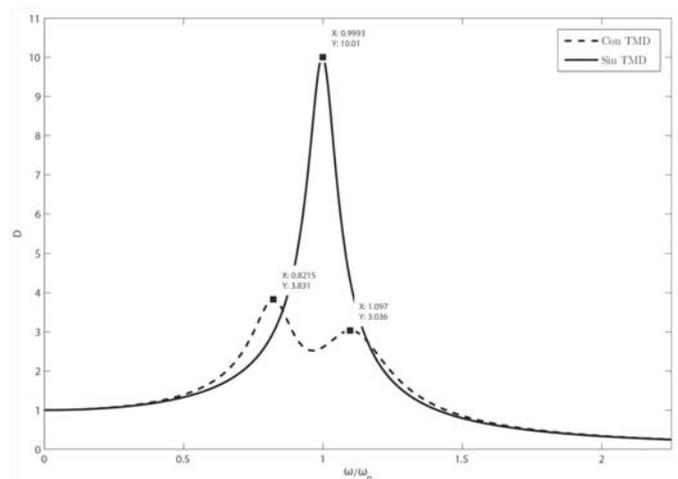


Figura 2. Función de transferencia mecánica del sistema con y sin amortiguamiento con TMD

La metodología propuesta se aplicó a una estructura real, una planta fotovoltaica con seguimiento de eje horizontal, para la cual se acometió la reducción de su respuesta actuando sobre los modos de vibración más significativos. En la figura 1 se representa la contribución de los seis primeros modos de vibración a la respuesta dinámica de la estructura.

Resolviendo el sistema de ecuaciones diferenciales del movimiento para el conjunto estructura principal-TMD y optimizando los parámetros de diseño de los TMDs, se obtuvo la atenuación mostrada en la figura 2.

La metodología propuesta para la identificación y atenuación de vibraciones a causa del viento puede ser aplicada a cualquier otra tipología estructural.

540. NUEVA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

NEW METHODOLOGY TO DESIGN SELF-COMPACTING STEEL-FIBRE REINFORCED CONCRETE

Ángel de la Rosa Velasco. Universidad de Castilla-La Mancha. Investigador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Angell.Rosa@alu.uclm.es

Elisa Poveda Bautista. Universidad de Castilla-La Mancha. Profesora Ayudante Doctora. Dra. Ingeniera Industrial. elisa.poveda@uclm.es
 Héctor Cifuentes Bulté. Universidad de Sevilla. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero Industrial. bulte@us.es

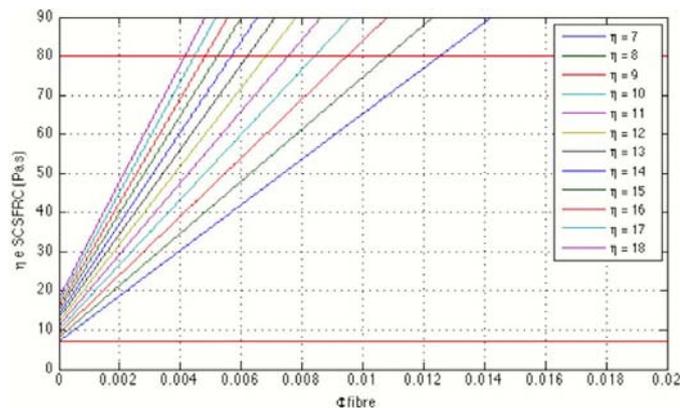
Gonzalo Ruiz López. Universidad de Castilla-La Mancha. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gonzalo.Ruiz@uclm.es

Hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero, metodología de diseño, reología, viscosidad plástica, resistencia a compresión.

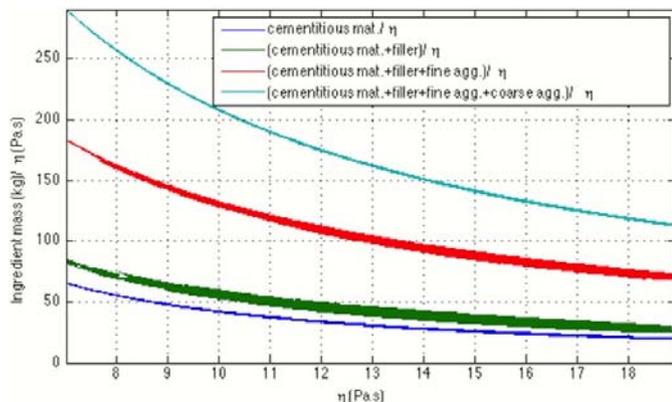
Self-compacting steel-fibre reinforced concrete, mix design, rheology, plastic viscosity, compressive strength.

Se presenta una metodología de diseño de hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero (HACRFA) basada en la resistencia a compresión y en la viscosidad plástica efectiva buscadas para dicho hormigón. Además, se incorporan los valores de la fracción en volumen de fibra y esbeltez como datos necesarios para implementar el método. Se trata de un procedimiento sencillo y útil ya que mediante unas cartas de diseño se calculan las proporciones de los diferentes componentes del HACRFA.

Su fundamento parte de la propuesta de diseño para hormigón autocompactante (HAC) desarrollada y validada experimentalmente por Abo Dhaheer et al. (Journal of Sustainable Cement-Based Materials 5(4): 199-216, 217-232, 2016), basada en los valores de resistencia a compresión y viscosidad plástica deseados, y se adapta para la incorporación de fibra de acero por medio de la ecuación obtenida por Ghanbari y Karihaloo (Cement and Concrete Research 39: 1209-1216,



Volumen d Carta de diseño para calcular la viscosidad plástica del HAC base según la fracción



Carta de diseño para calcular las cantidades de materiales constituyentes del HAC base según su viscosidad

2009), que aproxima con precisión el valor de la viscosidad plástica efectiva del HACRFA.

A partir de modelos constitutivos micromecánicos se puede estimar el valor de la viscosidad plástica efectiva del HACRFA por medio de la viscosidad plástica de la pasta de cemento. Ésta se puede medir fácilmente utilizando instrumentos de bajo coste, como un viscosímetro capilar, aunque aquí la presentamos tabulada para diferentes tipologías de cemento, adiciones y relaciones agua-materiales cementíceos.

Las ecuaciones implicadas en el procedimiento conducen a unas cartas de diseño de fácil interpretación y uso que permiten establecer las cantidades de componentes del hormigón. Así, una vez seleccionada la tipología de fibra de acero, a cada resistencia a compresión buscada le corresponden dos cartas: en la primera (fig. 1) se calcula la viscosidad plástica de un HAC base, al que se añadirán las fibras, con el dato de la viscosidad plástica efectiva objetivo del HACRFA y la fracción en volumen de fibra a emplear; a través de la segunda carta (fig. 2) y con el valor obtenido previamente de viscosidad plástica del HAC base, se calculan las cantidades de sus componentes. Las cartas de diseño son específicas para cada resistencia a compresión objetivo. Las mostradas en las figuras corresponden a un hormigón de 60 MPa. Además, esta metodología asume que la resistencia a compresión en un hormigón reforzado con fibras no cambia significativamente para cuantías bajas de fibra, lo cual es cierto, según el tipo de fibra, hasta aproximadamente un 1% en volumen.

541. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A CORTANTE DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

ASSESSMENT OF THE SHEAR STRENGTH OF STEEL FIBRE-REINFORCED CONCRETE

Marcos García Alberti. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Ayudante Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. marcos.garcia@upm.es

Alejandro Enfadaque Díaz. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. alejandro.enfadaque@upm.es

Jaime C. Gálvez Ruiz. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jaime.galvez@upm.es

Álvaro Picazo Irazo. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular de Escuela Universitaria. Máster Edificación. a.picazo@upm.es

Hormigón reforzado con fibras de acero, cortante, resistencia residual a flexión, ensayos push-off, vídeo-extensometría.

Steel fiber reinforced concrete, shear strength, flexural strength, uniaxial tests, digital image correlation.

El hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) es un material empleado habitualmente en elementos constructivos como pueden ser soleras, losas, dovelas o revestimientos de túneles. El refuerzo con fibras mejora las características resistentes del hormigón, especialmente bajo solicitaciones de tracción y flexión. Además, su comportamiento tras la aparición de fisuras, proporciona mejoras en cuanto a la durabilidad y permite controlar la fisuración por retracción. Estas características permiten el uso del HRFA en aplicaciones de carácter estructural, donde muestra un elevado rendimiento bajo esfuerzos de tracción y flexión. Los ensayos más comúnmente realizados para evaluar la aptitud estructural de un HRFA son los de resistencia a la flexión por tracción. Los resultados de resistencia residual en dichos ensayos son los que evalúan si la contribución de las fibras puede ser tenida en cuenta en el cálculo estructural siguiendo la normativa existente,

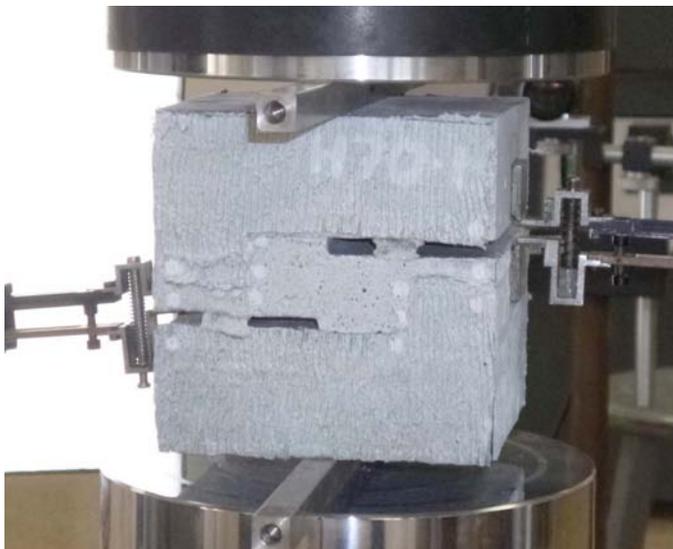


Figura 1. Probeta de hormigón reforzado con fibras dispuesta para el ensayo tipo "push-off"

EHE-08 o Model Code 2010. Sin embargo, debido a los diferentes tipos de esfuerzos a los que tiene que hacer frente un material estructural, resulta necesario conocer su comportamiento no solo bajo solicitaciones tracción y flexión, sino incluir también otras solicitaciones como el cortante. Esta comunicación presenta los resultados experimentales de distintos tipos de HRFA sometidos a cortante en ensayos realizados con probetas PRISMÁTICAS con doble entalla y sujetos a carga tipo "push-off", como la que muestra la figura 1. La instrumentación tradicional de los ensayos se complementó con técnicas de video-extensometría mediante cámaras de alta definición para estudiar la fisuración de las probetas desde su inicio hasta su propagación final. Para reforzar el hormigón se emplearon fibras de acero con extremos conformados en patillas de dos longitudes, 35 y 50 mm. Las cuantías de fibras utilizadas fueron de 26 y 70 kg/m³. Para evaluar la posible mejora que puede producirse en los HRFA, debido a la mejor orientación de las fibras que tiene lugar en hormigones autocompactantes (HAC), se fabricaron dos tipos de HAC con las dosificaciones de fibras anteriormente citadas. Los ensayos mostraron cómo un mayor contenido de fibras produce una mejora en las resistencias pico de los ensayos realizados, así como curvas de descarga residuales como se muestran en la figura 2. El análisis de video-extensometría permitió analizar la fi-

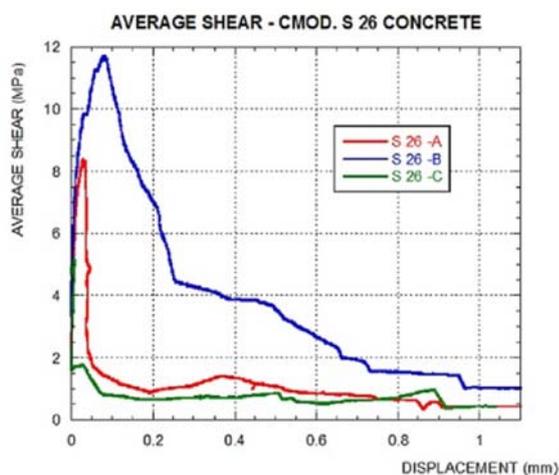


Figura 2. Curvas cortante. Desplazamiento de tres probetas de hormigón reforzado con fibras de acero

suración de las probetas e identificar las cargas y deformaciones a las cuales ésta se inicia.

550. DISEÑO DURABLE DEL HORMIGÓN. ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN DE LA REACCIÓN ÁRIDO-ÁLCALI

DURABLE DESIGN OF THE CONCRETE. STRATEGY TO PREVENT THE ALKALI-AGGREGATE REACTION

Esperanza Menéndez Méndez. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja. Responsable Unidad Ensayos Químicos y Físico-Químicos. Dra. Ingeniera Industrial. emm@ietcc.csic.es

Beatriz Aldea Ballano. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja. Ingeniera Técnica Industrial. Ingeniera Técnica Industrial. beaaldea@ietcc.csic.es

Ricardo García-Roves Loza. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja. Ingeniero. Ingeniero de Minas. ricardo@ietcc.csic.es

Reacción árido-álcali, prevención, ensayos, durabilidad, hormigón.

Alkali-aggregate reaction, prevention, tests, durability, concrete.

Las alteraciones en estructuras de hormigón, debido a reacciones expansivas tipo reacción árido-álcali, afecta aproximadamente al 10-15% de éstas. En España los áridos son generalmente de reacción lenta, pudiendo aparecer las alteraciones transcurridos más de 20 años, desde la ejecución del hormigón.

Una adecuada estrategia de diseño de hormigones permite prevenir la aparición de este fenómeno, obteniendo hormigones durables. Esta estrategia se basa en analizar los componentes, teniendo en cuenta todos los aspectos que inciden en el desarrollo de la reacción árido-álcali. En cuanto a los componentes, los cementos influyen fundamentalmente en lo relativo a su contenido en álcalis, pero también depende de la cantidad y el tipo de adiciones, que permiten estabilizar álcalis libres del hormigón. Por su parte, la petrología y mineralogía de los áridos tienen una influencia directa en que se produzca la reacción y la velocidad con la que éste se produce. La implementación del análisis petrográfico permite no solo identificar la presencia de partículas reactivas, sino cuantificar el grado de reactividad de éstas partículas. Además de la composición mineralógica y la potencial expansión que produce, en los áridos hay que tener en cuenta la potencial extracción de álcalis que puede producirse con el tiempo, en los áridos con sodio y potasio en su composición. La potencial influencia de los componentes se evalúa mediante análisis directos, como análisis químico o microscopía, pero también se puede realizar mediante análisis indirectos, como estudios de expansión potencial mediante ensayos de expansión acelerada y semi-acelerada.

El diseño de hormigones resistentes a la reacción árido-álcali según las características de sus componentes puede no ser suficientemente adecuado. Si bien la caracterización de los componentes del hormigón constituye una información útil, sería especialmente interesante evaluar el comportamiento de las mezclas a utilizar en las estructuras. Por tanto, es importante disponer de ensayos que permitan evaluar el comportamiento de los hormigones con la dosificación real de áridos, cementos, adiciones, etc.; siempre que se obtengan resultados en un tiempo razonable. Si bien los ensayos de dosificaciones de hormigón son más representativos, precisan de un mayor espacio de tiempo para obtener resultados. En las figuras se recogen resultados de dos ensayos de hormigón, con distintas condiciones y duración. En el presente trabajo se describe la estrategia para obtener hormigones durables, frente a la reacción árido-álcali, mediante la integración de ensayos de sus componentes y de mezclas de hormigón con métodos semi-acelerados.

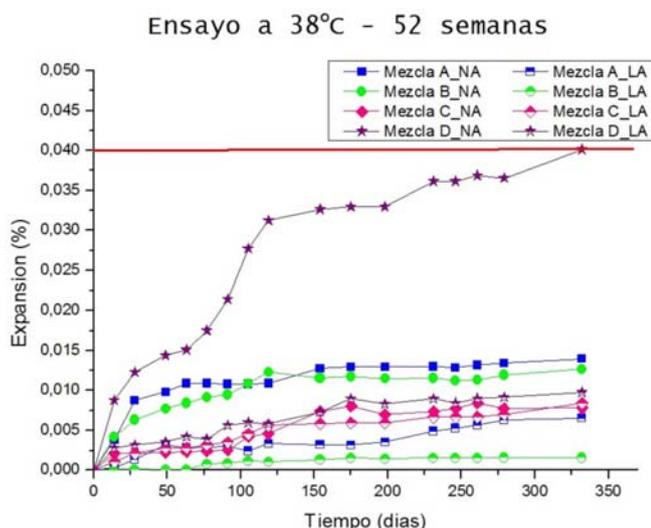


Figura 1. Expansión potencial de mezclas de hormigón mediante ensayo de 52 semanas

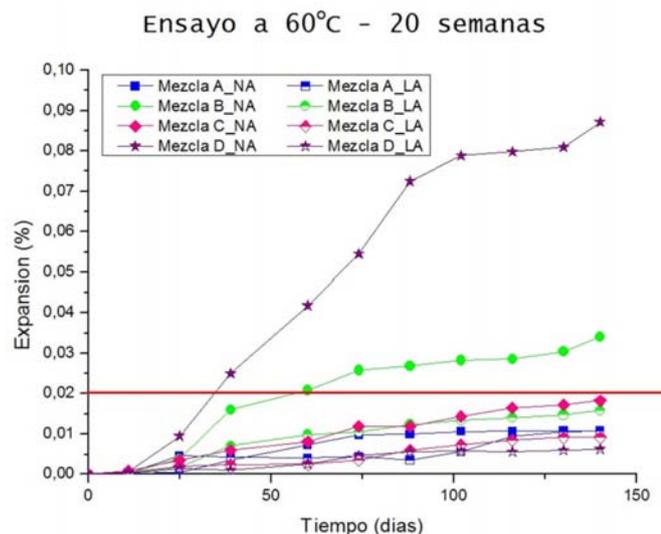


Figura 2. Expansión potencial de mezclas de hormigón mediante ensayo de 20 semanas

551. INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE CORROSIÓN EN LA FISURACIÓN INDUCIDA EN EL HORMIGÓN ARMADO A EDADES TEMPRANAS

INFLUENCE OF THE CORROSION INTENSITY IN THE CRACK PATTERN OF THE REINFORCED CONCRETE AT EARLY AGES

Ángela Moreno Bazán. Universidad Politécnica de Madrid. Becaria Doctoral FPU. Máster. angela.moreno@upm.es

Jaime Gálvez Ruiz. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jaime.galvez@upm.es

Encarnación Reyes Pozo. Universidad Politécnica de Madrid. Profesora Titular Universidad. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. encarnacion.reyes@upm.es

Natalia Soriano Franco. Universidad Politécnica de Madrid. Estudiante. Grado Ingeniero Materiales. nataliasoriano10@gmail.com

Corrosión, fisuración, hormigón armado, durabilidad.

Corrosion, crack pattern, concrete, rust, durability.

La corrosión del acero es uno de los mecanismos de deterioro más comunes en estructuras de hormigón armado. Es imprescindible disponer de modelos que predigan el fisuramiento del hormigón en función del tiempo y la vida útil restante de la estructura. Por lo tanto, se requiere de una cierta comprensión del comportamiento mecánico del hormigón y del desarrollo de la corrosión. Estos modelos de rotura definen tres etapas de propagación de los productos corrosivos. La primera etapa, la fase inicial de corrosión, representa la penetración de los productos de corrosión en la red porosa alrededor de la barra de acero. La segunda etapa se caracteriza por el inicio de la tensión, cuando los productos de corrosión han colmatado la interfase hormigón-acero. Por último, la tercera etapa se identifica por la formación de grietas que hacen que la resistencia a la tracción del hormigón llegue a estar por debajo de lo permitido.

Muchas investigaciones se han llevado a cabo utilizando galgas extensométricas, colocadas en la superficie de hormigón para evaluar las primeras etapas en el desarrollo de la corrosión. Mientras que otros investigadores han preferido usar técnicas de microscopía para estudiar la interfaz hormigón-acero. En la primera parte del ensayo experimental, probetas prismáticas con una barra de acero en el centro fueron corroídas aceleradamente utilizando diferentes intensidades a fin de ver el efecto que dicha intensidad podía tener en los resultados. A tres de las probetas se les introdujeron galgas extensométricas, colocadas lo más cerca posible y rodeando por completo la barra de acero, midiendo la deformación durante todo el experimento. Mientras tanto el resto de probetas se fueron desconectando a diferentes edades, para su análisis en microscopía SEM.

La combinación de los análisis en microscopía SEM de la interfaz hormigón-acero y el desplazamiento radial de las galgas se ha podido utilizar para predecir el ancho de la fisura en una segunda etapa. También la penetración de los productos de corrosión a través de la red porosa en función del tiempo se puede calcular al correlacionar las medidas de la deformación obtenidos de las galgas en función de la resistencia a la tracción del hormigón.

Se ha comprobado la buena relación entre ambos métodos para determinar el ancho de la fisura mediante la introducción de un factor de rendimiento. Se ha comprobado también que dicho factor está influenciado por la intensidad de corriente dada.

553. APLICACIÓN DE MÉTODOS COMPUTACIONALES EN LA CARACTERIZACIÓN AERODINÁMICA Y AEROELÁSTICA DE TABLEROS DE PUENTES DE GRAN VANO Y PRISMAS RECTANGULARES

APPLICATION OF CFD TECHNIQUES IN THE AERODYNAMIC AND AEROELASTIC ANALYSIS OF LONG SPAN BRIDGE DECKS AND RECTANGULAR CYLINDERS

Félix Nieto Mouronte. Universidad de A Coruña. Profesor Titular. ICCP. fnieto@udc.es

Santiago Hernández Ibáñez. Universidad de A Coruña. Catedrático de Universidad. ICCP. hernandez@udc.es

Antonio José Álvarez Naveira. Universidad de A Coruña. Investigador. ICCP. antonio.jose.alvarez@udc.es

José Ángel Jurado Albarracín. Universidad de A Coruña. Profesor Titular. Ingeniero Industrial. jjurado@udc.es

CFD, coeficientes aerodinámicos, funciones de flameo, vibración inducida por torbellinos.

CFD, force coefficients, flutter derivatives, vortex induced vibration.

La aplicación de métodos computacionales en el estudio del comportamiento aerodinámico y aeroelástico de ciertas estructuras debe entenderse como un complemento a las campañas experimentales que habitualmente vienen realizándose en este ámbito. De esta manera, la comprensión de los fenómenos aerodinámicos que tienen lugar es mejor y, además, estas técnicas computacionales pueden aportar una rápida evaluación del efecto que ciertos cambios en el diseño pueden producir en una determinada respuesta aerodinámica o aeroelástica.

Las técnicas computacionales, a pesar de las innegables mejoras que se han producido en los últimos 20 años, no pueden considerarse a día de hoy como un sustituto absolutamente general y fiable de los ensayos en túnel de viento en el ámbito de la ingeniería civil. Las altas demandas de tipo computacional son una barrera importante, particularmente cuando se emplean modelos de turbulencia de mayor sofisticación. Además es necesaria la validación de los resultados computacionales, comparándolos con resultados experimentales, con el fin de poder valorar el grado de precisión ofrecido por la estrategia de modelización empleada.

En el presente trabajo se describe una herramienta desarrollada para la definición semiautomática de los modelos computacionales que permiten evaluar respuestas como los coeficientes aerodinámicos, las funciones de flameo y las vibraciones inducidas por torbellinos en tableros de puentes y prismas rectangulares. La herramienta ha sido desarrollada para emplear el software libre OpenFOAM como solver del problema de mecánica de fluidos. Esta herramienta es de gran utilidad para usuarios poco familiarizados con el sistema de

definición de archivos de texto característico de OpenFOAM. Por otro lado, el programa está especialmente desarrollado para poder ser empleado en problemas de diseño paramétrico y de optimización de forma.

Como casos de aplicación se presentan resultados, tanto de prismas rectangulares, como de secciones de tableros de puentes en cajón aerodinámico. Se muestran los resultados obtenidos para los coeficientes aerodinámicos, las funciones de flameo, que permiten determinar la velocidad crítica de flameo, y la componente fuera de fase del coeficiente de levantamiento que permite identificar el rango de velocidades reducidas en el que existe riesgo de excitación por desprendimiento de torbellinos. Los resultados numéricos obtenidos son validados con los resultados experimentales, permitiendo así valorar la precisión de las simulaciones realizadas.

554. INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS AVANZADAS EN EL DISEÑO AEROELÁSTICO DE PUENTES DE GRAN VANO

INTEGRATION OF ADVANCED METHODOLOGIES IN THE AEROELASTIC DESIGN OF LONG SPAN BRIDGES

Santiago Hernández Ibáñez. Universidad de Coruña. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hernandez@udc.es

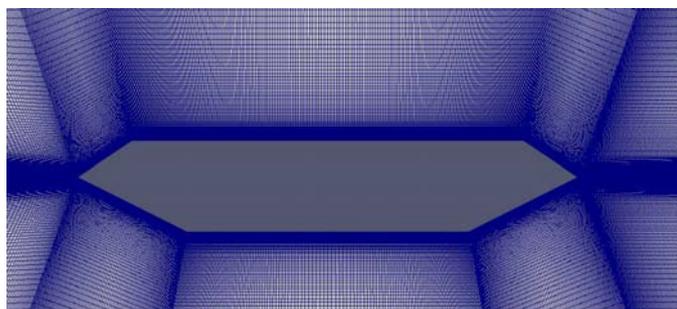
José Ángel Jurado Albarracín. Universidad de Coruña. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero Industrial. jjurado@udc.es

Félix Nieto Mouronte. Universidad de Coruña. Profesor Titular de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. fnieto@udc.es

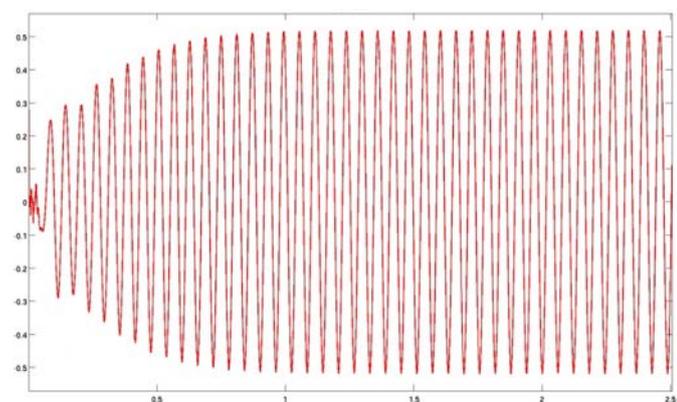
Aitor Baldomir García. Universidad de Coruña. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. abaldomir@udc.es

Ibuki Kusano. Universidad de Coruña. Investigadora posdoctoral. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ikusano@udc.es

Miguel Cid Montoya. Universidad de Coruña. Investigador predoctoral. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. miguel.cid.montoya@udc.es



Malla sección en cajón. Detalle



Coficiente de levantamiento. Evolución temporal

Puentes de gran vano, velocidad de viento de diseño, análisis probabilista, flameo de puentes, métodos de optimización.

Long span bridges, definition of design wind speed, reliability analysis, flutter phenomenon, optimization techniques.

El diseño de puentes de gran vano es un tema de gran actualidad y tanto en la modalidad de puentes atirantados como colgantes se están construyendo o planificando estructuras de gran complejidad. Los puentes atirantados de Stonecutters, Sutong o Russky han sobrepasado los 1.000 m de vano central y en el caso de puentes colgantes el puente de Osman Gazi en Estambul será el record del mundo de tráfico combinado de carretera y ferrocarril con un vano central de 1.550 m y el puente de Taizhou en China cuenta como novedad con dos vanos centrales de vano superior al kilómetro. Este diseño es el previsto para el puente de Chacao en Chile, cuya construcción está próxima a iniciarse.

En estos tipos de puente las exigencias mayores vienen de los efectos producidos por los terremotos y el flujo de viento. En este trabajo se abordará únicamente el tema de los fenómenos aeroelásticos que deben considerarse en puentes de gran vano. A este respecto se analizará el proceso de diseño desde dos puntos de vista.

1. La cuantificación de la velocidad del viento. Es habitual en estos casos llevar a cabo con antelación al proyecto un estudio de carac-

terización del viento en el emplazamiento del puente para establecer a partir de él la velocidad del viento frente a la que tiene que estar protegido el viento, por ejemplo frente al fenómeno de flameo. Para ello, teniendo en cuenta la caracterización del viento como variable aleatoria se establece la velocidad de viento para un periodo de retorno definido y se le aplica un coeficiente de seguridad. En esta presentación se demostrará que esta formulación es inadecuada y que en su lugar es mucho más adecuado llevar a cabo un planteamiento probabilista del problema. Como ejemplo de aplicación se utilizará el caso del estudio del viento del puente del estrecho de Messina en Italia.

2. La aplicación de métodos de optimización al diseño de puentes de gran vano. Estas técnicas ya se están utilizando de forma habitual en la ingeniería aeronáutica y en ingeniería mecánica y han demostrado su eficacia sobradamente. En esta presentación se mostrará una metodología para llevar a cabo la optimización del tablero en puentes de gran vano teniendo en cuenta exigencias derivadas de la respuesta estructural del puente, como movimientos o tensiones, y requerimientos aeroelásticos como la velocidad de flameo.

555. ESTRUCTURAS RECÍPROCAS PARAMÉTRICAS

PARAMETRIC RECIPROCAL STRUCTURES

Cruz Paulo. Universidade do Minho. Professor Catedrático.

Arquitectura. pcruz@arquitectura.uminho.pt

Bruno Figueiredo. Universidade do Minho. Professor Auxiliar.

Arquitectura. bfigueiredo@arquitectura.uminho.pt

Estructuras recíprocas, estructuras de madera, diseño paramétrico, fabricación digital.

Reciprocal structures, timber structures, parametrical drawing, digital fabrication.

Uno de los principales desafíos que debe ser mantenido a lo largo nueva pedagogía del diseño estructural y constructivo es la forma de impartir conocimientos sobre los conceptos estructurales y constructivos de una manera que mejore la capacidad de comprender y aplicarlos en el diseño.

El artículo presenta una estructura recíproca paramétrica recientemente edificada en Guimarães bajo los auspicios de ICESA2016 - La Tercera Conferencia Internacional de Estructuras y Arquitectura. El



Vista aérea de la estructura



Detalle de la estructura

taller tuvo origen en las propuestas desarrolladas por los alumnos de la asignatura de Estructuras especiales del Máster en Arquitectura de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Minho.

La iniciativa tuvo por objetivo explorar los conceptos de diseño arquitectónico y estructural, que abarca la investigación de: métodos y procesos de diseño de pensamiento; de simulación y de procesamiento de herramientas; y los conceptos y materiales de fabricación. Se produjeron aproximadamente 300 barras y se utilizaron más de 500 uniones atornilladas.

El modelo computacional Reciprocalizer, desarrollado por el Prof. Darío Parigi de la Universidad de Aalborg, fue utilizado para la exploración de diseño morfológico. Este modelo permite: generar redes recíprocas tridimensionales, que se caracteriza por un alto grado de libertad y experimentación formal; definir el patrón geométrico de la malla; la adaptación al contexto; y el diseño de los componentes de la estructura.

556. ESTRUCTURAS DE HIELO REFORZADO

REINFORCED ICE STRUCTURES

Paulo Cruz. Universidade do Minho. Professor. Engineer.

pcruz@arquitectura.uminho.pt

Jan Belis. LMO, Ghent University, Ghent, Belgium. Professor. Engineer.

Jan.Belis@ugent.be

Estructuras de hielo, hielo reforzado, celulosa-hielo.

Ice structures, reinforced ice, cellulose-ice composite.

Es bien sabido que la exposición del hormigón a varios ciclos de hielo-deshielo disminuye su resistencia. Por esa razón hay una gran demanda de materiales de construcción adecuados a los ambientes criogénicos.

Varios aditivos se han utilizado y estudiado para hacer el hielo más fuerte y más duro. Aparas de madera, arena, fibra de vidrio, telas y otros materiales geotécnicos, entre otros materiales, se han utilizado como soluciones de refuerzo de hielo. Las mezclas que pueden ser moldeadas en cualquier forma y congeladas, suelen ser extremadamente resistente y duraderas, siempre y cuando se mantengan por debajo de una temperatura de congelación. Por otro lado, la mayoría de los tipos de materiales compuestos de hielo tienen un comportamiento más dúctil si se compara con hielo normal. La conductividad



Vista general de la estructura



El molde hinchable

de materiales compuestos de hielo es más baja que la del el hielo tradicional, resultando en una tasa de fusión más baja.

Las estructuras construidas con estos materiales compuestos de hielo son más fuertes y capaces de soportar cargas más elevadas, por lo que será posible la construcción de estructuras más ligeras. Esto se traduce en un menor consumo y manejo de materiales, lo que implica que el tiempo de fabricación de una estructura se reduzca.

En 2016 un consorcio de profesores y estudiantes de varias universidades europeas, en estrecha cooperación con la comunidad local de Juuka (Finlandia), utilizó un material compuesto de celulosa con hielo para construir modelos de gran escala de dos estructuras impresionantes: un puente de arco inspirado en un dibujo de

Leonardo Da Vinci y una cáscara hiperboloide inspirada en el Restaurant los Manantiales, diseñada por Félix Candela. Ambas estructuras fueron construidas utilizando un método rápido y económico: (1) la construcción de un encofrado 3D mediante el inflado de una membrana 2D anclada al suelo; (2) el revestimiento de la membrana por sucesivas capas de material compuesto de celulosa-hielo. Este artículo describe el proceso de diseño y construcción de la cáscara hiperboloide.

561. NUEVO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD EN INFRAESTRUCTURAS DE PUENTES DE CARRETERA. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DECISIÓN MULTICRITERIO

A NOVEL SUSTAINABILITY INDICATOR FOR HIGHWAY BRIDGE INFRASTRUCTURE BY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD

Rosalía Pacheco Torres. Universidad Politécnica de Madrid. Doctora. Arquitecta Técnica. Doctora. rosalia.pacheco@upm.es

José Ramón Sánchez Lavín. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular. Doctor. Ingeniero Civil. joseramon.sanchez@upm.es

Elena Cerro Parada. Universidad Politécnica de Madrid. Profesora Titular. Doctora. elena.cerro@upm.es

Félix Escolano Sánchez. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular. Doctor. felix.escolano@upm.es

Sostenibilidad, infraestructuras puentes, método multicriteria, MIVES, medioambiente.

Environment, bridge infrastructure, MIVES, multi-criteria decision making method, sustainability.

Los nuevos retos de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático marcan la necesidad de reducir el impacto ambiental de la actividad humana. Las infraestructuras civiles presentan unas características que los hacen elementos muy singulares. Son elementos con una larga vida útil, suponen un importante impacto ambiental en el entorno a la par que sirven de vía de comunicación y vía de desarrollo, pudiendo representar un cambio sustancial tanto económico como social en la zona.

En el desarrollo de proyectos de ingeniería de obras civiles, los ingenieros deben contar con métodos que les permitan evaluar de forma fehaciente y estandarizada la sostenibilidad de las infraestructuras, a fin de incluir en el proyecto mecanismos para reducir las consecuencias medioambientales y considerar el impacto en el entorno que estas suponen. Los métodos de evaluación de la sostenibilidad han sido muy desarrollados en el ámbito de la edificación con herramientas como LEED, BREEAM, etc. Sin embargo, es aún un desafío en el ámbi-



Figura 1. Etapas del ciclo de vida

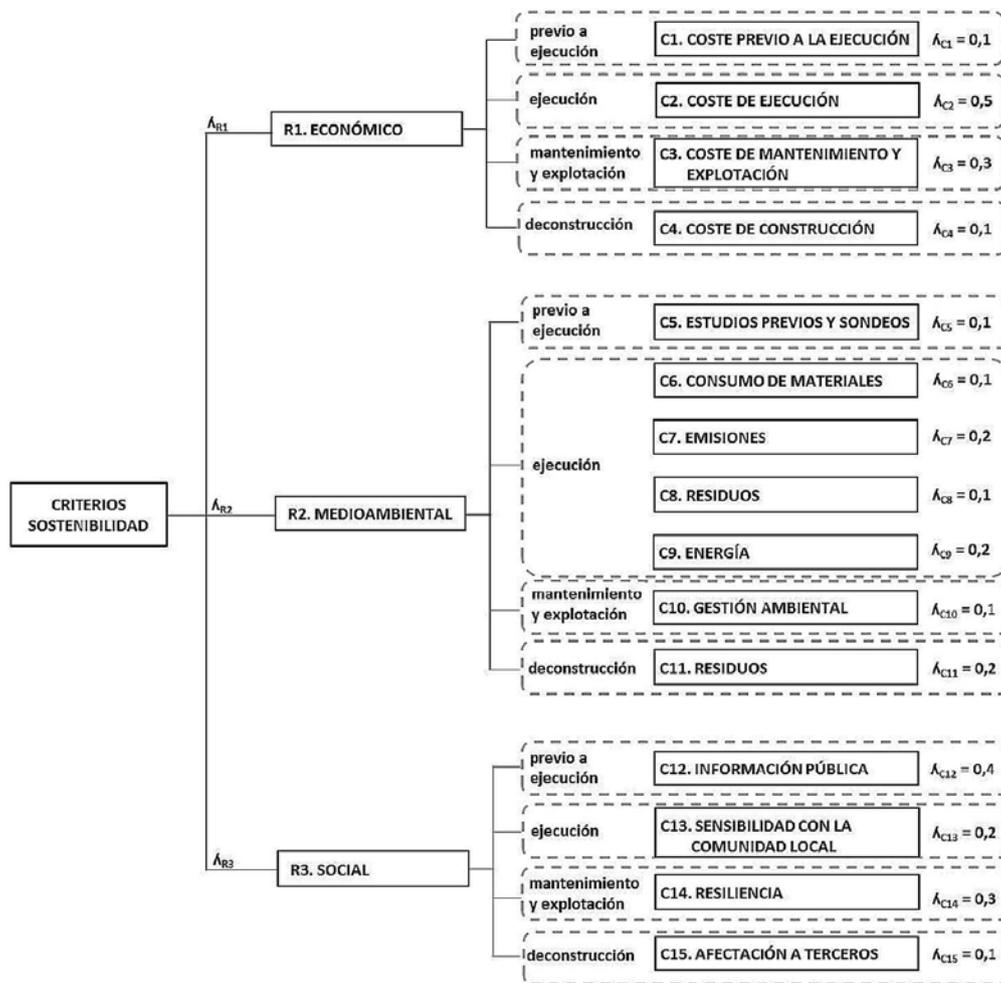


Figura 2. Árbol de decisión

to de la ingeniería civil. La propuesta de un indicador de sostenibilidad para puentes de carretera constituye un desafío, ya que precisa de un enfoque basado en el ciclo de vida a la par que mantiene criterios de facilidad de uso tanto por ingenieros como por administraciones públicas.

Se propone un índice de evaluación de la sostenibilidad ambiental para infraestructuras de puentes de carretera. El indicador propuesto abarca todas las etapas de ciclo de vida de la infraestructura, desde diseño, ejecución, mantenimiento y demolición. Este enfoque integra

factores de durabilidad en el proyecto pero también en la fase de mantenimiento de las infraestructuras.

Basado en la metodología de análisis multicriterio MIVES, en este artículo se explican los criterios y parámetros que constituyen el indicador, definidos en los conocidos pilares del desarrollo sostenible: económico, ambiental y social. El indicador propuesto permite comparar proyectos entre sí e introducir criterios de sostenibilidad más exigentes a lo largo de todas las etapas de vida útil de la infraestructura.