



**POLITÉCNICA**



Grupo de Ingeniería Estructural  
Group of Structural Engineering  
**Boletín de Información. Newsletter**

**IngStruct Newsletter**  
**Issue 2, April 2012**

<http://ingstruct.mecanica.upm.es>

El Grupo de Ingeniería Estructural es un grupo de investigación oficialmente reconocido de la Universidad Politécnica de Madrid. Sus miembros pertenecen mayoritariamente al departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

*The Group of Structural Engineering is an official research group of the Technical University of Madrid, Spain. Most of its members belong to the department of continuum mechanics and structures of the school of civil engineering.*

#### Contenidos. Contents

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Message from the Chair..... | 1 |
| Research highlights.....    | 1 |
| Cooperation.....            | 5 |
| Events.....                 | 6 |
| Recent phd defenses.....    | 6 |
| The Group.....              | 6 |

#### Carta del director del grupo

Con el objetivo que nos propusimos hace un año, en cuanto a dar publicidad a nuestras actividades, ve la luz este segundo boletín del Grupo de Investigación.

En primer lugar debo informar que hemos cambiado el nombre del grupo, cuya denominación actual es Grupo de Ingeniería Estructural, por entender que refleja mejor nuestro conjunto de actividades en los diversos campos en los que trabajamos.

Hemos continuado desarrollando las líneas de investigación iniciadas, en el campo de de la fatiga de elementos estructurales de hormigón y en el campo de la dinámica de estructuras, con especial incidencia, en este último campo, en estudios en los que se aplican técnicas de análisis modal experimental. La mayor parte de estas investigaciones han sido financiadas por el Plan Nacional I+D+i. Asimismo, ha tenido continuidad, en una segunda fase, el estudio experimental de uniones roscadas, utilizadas en la armadura tubular de micropilotes.

En el marco de un proyecto de innovación educativa hemos puesto en marcha unas prácticas de análisis modal experimental para los alumnos de Análisis Experimental de Estructuras.

Finalmente, es grato señalar que se han incorporado dos nuevos doctorandos, cuya contribución supone un indudable fortalecimiento del Grupo.

Pablo de la Fuente Martín  
Profesor Titular de Universidad  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

#### Message from the Chair

*According to the aim proposed one year ago to regularly provide an insight of our activities, the second bulletin of our research group comes into light. Firstly I would like to inform about the change of our group's name. The current name (Group of Structural Engineering) reflects better the activities and fields on which we are working.*

*We have further developed the research lines already initiated, in the fields of fatigue of structural concrete and dynamics of structures, with special mention to the application of experimental modal analysis techniques. Most of these investigations have been funded by the Spanish ministry for science and innovation. Likewise, a second step of the experimental study of pin-box threaded connections, used in steel tubes for micropiles, has been carried out.*

*In the frame of an educational innovation project we have started laboratory classes of experimental modal analysis for the students of the subject Experimental Analysis of Structures. Finally, it is worth noting that we have joined two new research assistants-PhD students, whose contribution supposes a clear strengthening of the Group.*

Pablo de la Fuente Martín  
Profesor Titular de Universidad  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

#### INVESTIGACIONES. RESEARCH HIGHLIGHTS

##### Fatiga por cortante de elementos de hormigón armado sin armadura transversal

La fatiga es siempre un modo de fallo indeseable en las estructuras por su naturaleza frágil. En elementos de hormigón armado, la rotura por fatiga puede producirse en la armadura (que es lo típicamente considerado) o por el hormigón. Dentro de la línea de investigación del grupo dedicada a la fatiga de estructuras de hormigón, se está estudiando el fallo

por fatiga por cortante. Este tipo de fallo se ha encontrado por parte de varios investigadores (también en nuestro grupo) en ensayos de vigas sin cercos. Los modelos existentes para predecir esta rotura presentan grandes deficiencias. Normalmente se presentan en la forma de curvas S-N puramente empíricas, y cuando se comparan con los datos experimentales, las conclusiones no son satisfactorias. En el trabajo desarrollado en el grupo se está trabajando en un modelo mecánico que tenga en cuenta el proceso de fatiga por cortante de una forma realista. Para ello se tiene en cuenta el estado tensional en las fisuras de flexión a partir de las cuales se forma la fisura diagonal crítica, así como la evolución de los mecanismos resistentes a cortante con el número de ciclos de carga.



#### ***Shear fatigue of reinforced concrete elements without shear reinforcement***

*Fatigue is always undesirable in structures due to its brittle nature. In reinforced concrete, fatigue failure may occur at the reinforcement (which has been typically studied so far) or at the concrete. Within the research line devoted to fatigue of concrete structures, the group is now studying shear fatigue behaviour. This failure mode has been found by researchers (in our group too) in tests of reinforced concrete beams without stirrups. Existing models to predict fatigue shear strength present significant drawbacks. They are usually presented in the form of empirical S-N curves that do not provide satisfactory results. The on-going project includes the development of a mechanical model to realistically consider the shear fatigue process. The model accounts for the stress state at the tip of flexural cracks from which the critical fatigue diagonal crack forms at the shear span, as well as the evolution of shear resisting mechanisms with number of load cycles.*

#### **Technical data**

**Title:** Shear fatigue behaviour of reinforced concrete elements without stirrups

**Participants:** L. Albajar, C. Zanuy, J.M. Gallego

**Period:** Since 2010.

#### **Análisis dinámico de la interacción suelo-estructura**

La respuesta de una estructura frente a una acción dinámica puede llegar a estar muy influenciada por los efectos de la interacción suelo-estructura, particularmente en terrenos muy deformables. Las características dinámicas, frecuencias y modos, del conjunto suelo-estructura difieren de las que tendría la estructura cimentada mediante apoyos rígidos. La interacción suelo-estructura depende, además de la deformabilidad del suelo, de la rigidez de la estructura y de la distribución de masas.

Los modelos más simples sustituyen el terreno por muelles y amortiguadores. El M.E.F. proporciona modelos más complejos para abordar el problema, el cual se puede resolver en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. El uso de técnicas de desacoplamiento presenta el inconveniente de que la matriz de amortiguamiento no es proporcional. El análisis mediante técnicas de subestructuras se suele realizar en el dominio de la frecuencia.

Es posible tratar el suelo como un semiespacio elástico. El suelo se sustituye por un conjunto de apoyos elásticos (para cada movimiento), cuya rigidez depende de la frecuencia. Si el suelo se discretiza mediante elementos finitos, el principal problema supone la definición de contornos transmisores, que no reflejen las vibraciones.

Algunos de los problemas expuestos se están analizando para distintos tipos de estructuras, tratando de encontrar alternativas a los contornos transmisores, y, comparando los resultados con los que se obtienen al sustituir el suelo por apoyos elásticos.

#### **Dynamic analysis of soil-structure interaction**

*The structural response under dynamic loading can be significantly influenced by soil-structure interaction effects, in particular when the soil is very deformable. Dynamic properties, such as frequencies and modes, of the soil-structure as a whole differ from those of the single structure founded on rigid supports. Soil-structure interaction depends of the stiffness of the structure and the mass distribution, besides on the soil stiffness.*

*The simplest available models consider the influence of the soil by substituting it by a set of springs and dampers. Finite element models provide a more complex approach to the problem, which can be solved in the time domain or in the frequency domain. The use of uncoupled techniques presents the disadvantage that the damping matrix is not proportional. In turn, substructure analysis techniques are usually done in the frequency domain.*

*It is also possible to consider the soil as an elastic half-space. The soil is replaced by a set of elastic supports, whose stiffness depends on the frequency. If the soil is discretized by finite elements, the mean*

problem arises from the definition of absorbent boundaries, which are not able to reflect vibrations. Some of the abovementioned problems are being analyzed for different types of structures, trying to find alternative solutions to absorbent boundaries and comparing the results with those obtained by replacing the soil by elastic supports.

#### **Technical data**

**Title:** Study of the dynamic soil-structure interaction in the frequency domain

**Participants:** P. de la Fuente, A. de Miguel.

**Period:** Since 2009.

conform the whole micropile. Pin-box threaded connections have clear advantages related to their easy assemblage and lightweight (no additional couplings are needed). The project includes a wide experimental campaign to deeply study the bending behaviour of this connection type.

#### **Technical data**

**Title:** Experimental study of threaded joints for micropile tubes

**Participants:** P. de la Fuente, C. Zanuy.

**Funding:** Keller Terra-Spain.

**Period:** 2010-2011.

### **Ensayos en uniones roscadas de micropilotes**

El grupo de investigación y Keller Terra están estudiando la resistencia de las uniones roscadas que se emplean en micropilotes. Dichos elementos consisten en una camisa o tubo de acero que se rellena con una lechada de cemento. Las aplicaciones geotécnicas de los micropilotes son muy variadas (cimentaciones profundas, muros pantalla, etc). La profundidad a la que tienen que penetrar en el terreno es habitualmente mayor a la longitud de los tubos que permite su transporte y manipulación, por lo que se requieren uniones entre elementos más cortos. Las uniones roscadas macho-hembra presentan grandes ventajas en cuanto a la facilidad de montaje e instalación. El trabajo realizado incluye una ambiciosa campaña experimental para mejorar el conocimiento del comportamiento de este tipo de uniones para micropilotes.



#### **Tests of threaded joints for micropiles**

The strength of threaded joints for micropiles is being studied in collaboration with the technical department of Keller Terra-Spain. Micropiles usually consist of a steel tube filled with a cement-based mortar. Their use for geotechnical applications (deep foundations, earth-retaining walls, etc) is widely extended due to the ease of installation and the good structural behaviour. Since the depth at which micropiles are drilled is normally higher than the maximum tube length that can be manipulated and transported, connections are needed to joint shorter sections to

### **Fatiga transversal y corrosión previa de tableros de puentes de hormigón**

Como continuación al estudio iniciado en años anteriores sobre el comportamiento frente a fatiga transversal de puentes de hormigón, se han llevado a cabo ensayos con el mismo esquema que los anteriores añadiendo una fase de corrosión previa. El objetivo de esta nueva serie de ensayos es analizar la influencia de una corrosión moderada de la armadura localizada en una parte del tablero. Para ello, en las probetas que reproducen la losa superior de puentes con sección cajón, se provocó la penetración acelerada de cloruros en uno de los voladizos laterales hasta conseguir la aparición de fisuras en el recubrimiento. Posteriormente, los elementos se sometieron a carga repetida hasta la rotura por fatiga de la armadura. Para la elaboración e implementación del ensayo de corrosión se contó con la colaboración del grupo de C. Andrade del Instituto Eduardo Torroja. El análisis de los resultados se centra en la comparación de los resultados obtenidos en los elementos sin y con corrosión.



#### **Transverse fatigue and corrosion of concrete bridge deck slabs**

As a further step of the study of the transverse fatigue behaviour of concrete bridge decks, new tests have been carried out including a previous stage of corrosion of the reinforcement. The objective of this new experimental series is the analysis of the

*influence of a small level of localized corrosion of the reinforcement on the fatigue behaviour. The specimens reproducing the top slab of box-girder concrete bridges were subjected to corrosion of the reinforcing bars at one of the lateral cantilevers. The corrosion process was designed to produce concrete cover cracking before the application of fatigue loading. The specimens were then subjected to repeated loading to fatigue fracture of the reinforcement. The corrosion procedure was implemented with the help of the team of Dr. Andrade, from the Eduardo Torroja Institute. The analysis of results is focusing on the comparison between the response of specimens with and without previous corrosion.*

**Technical data**

**Title:** Intelligent railway viaducts (VIADINTEL) and Monitoring techniques to detect structural damage of railway bridges (VIADINTEGRA)

**Participants:** L. Albajar, C. Zanuy, P. de la Fuente, L.F. Maya, J.M. Gallego.

**Collaboration:** C. Andrade and M. Prieto (Eduardo Torroja Institut)

**Funding:** Spanish ministry for science and innovation

**Period:** 2009-2013.

**Estimación del daño estructural de puentes de hormigón por el cambio de las propiedades dinámicas**

Dentro de los proyectos Viadintel y Viadintegra, el grupo está investigando experimentalmente la evolución de las propiedades dinámicas de los elementos ensayados conforme se produce el daño debido a las cargas repetidas. La fatiga da lugar a la progresiva reducción del efecto tension stiffening, es decir, la contribución del hormigón en tracción entre fisuras. Ello implica una progresiva disminución de la rigidez del elemento. A ello hay que añadir la influencia de la rotura frágil por fatiga de alguna barra de la armadura de acero. Para poder desarrollar herramientas que detecten el daño por fatiga en puentes de hormigón, el uso de técnicas dinámicas no destructivas requiere establecer previamente la relación entre el daño estructural y el cambio de las propiedades dinámicas, fundamentalmente la reducción de las frecuencias propias y el crecimiento del coeficiente de amortiguamiento. En los ensayos de fatiga realizados, se han utilizado cuatro acelerómetros para, en instantes determinados a lo largo del ensayo, extraer las propiedades dinámicas. Para ello, es necesario detener la carga del gato y realizar ensayos de excitación dinámica mediante impacto. Después, a partir de las aceleraciones medidas en la fase de vibraciones libres de la estructura, se determinan las frecuencias propias, modos de vibración y coeficientes de

amortiguamiento mediante técnicas de análisis modal experimental basadas sólo en la respuesta.



**Structural damage of concrete Bridges through change of dynamic properties**

*Within the framework of Viadintel and Viadintegra projects, the group is investigating the evolution of the dynamic properties of the elements tested in order to correlate it with the structural damage caused by fatigue. Repeated loading leads to the progressive decrease of tension stiffening, that is, the contribution of concrete in tension between cracks. This fact results in the progressive reduction of the member stiffness. In addition, the brittle fatigue fracture of the reinforcing bars also results in sudden stiffness decrease. In order to develop monitoring techniques to detect fatigue damage in concrete bridges, the correlation between structural damage and change of dynamic properties (mainly decrease of natural frequencies and increase of damping ratios) has to be firstly established. During the tests performed, the evolution of dynamic properties was evaluated from the accelerations measured at regular impact excitation tests. To carry out the dynamic tests, the fatigue test was stopped and the dead loads were removed. Accelerations were measured during the free vibration stage after dropping a 3 kg steel ball on the top surface of the specimen. Natural frequencies, damping ratios and modal shapes were estimated with output-only experimental modal techniques.*

**Technical data**

**Title:** Intelligent railway viaducts (VIADINTEL) and Monitoring techniques to detect structural damage of railway bridges (VIADINTEGRA)

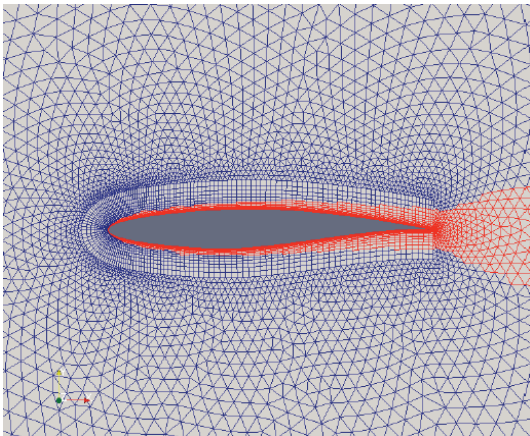
**Participants:** L. Albajar, C. Zanuy, P. de la Fuente, L.F. Maya, J.M. Gallego.

**Funding:** Spanish ministry for science and innovation

**Period:** 2009-2013.

## Modelización zonal

Una herramienta útil en la simulación de problemas de fluidos complejos es la descomposición zonal que consiste en realizar una partición del dominio computacional en subdominios donde las ecuaciones se resuelven en paralelo, con el fin de mejorar el tiempo de computación manteniendo la precisión. La idea fundamental es realizar esta división zonal de manera que puedan usarse modelos simplificados en algunas subregiones y resolver los modelos complejos sólo en las subregiones donde la física del problema lo requiera. En simulación aerodinámica el cálculo del flujo de aire alrededor de un obstáculo con alto número de Reynolds se puede reducir con el acoplamiento de las ecuaciones de Euler en las subregiones en las que los efectos viscosos no son relevantes y Navier-Stokes cerca de la pared o la estela (la Figura 1 ilustra un ejemplo de partición). Otra posibilidad es tomar modelos multiorden, es decir, resolver modelos de menor orden, y por tanto menos costosos, en algunos subdominios donde el error suele ser menor para obtener más rapidez sin incrementar el error. La principal dificultad que afrontamos en este proyecto es encontrar las mejores condiciones de transmisión entre subdominios.



### Zonal modeling

*Zonal solvers are used to simulate Computational Fluid Dynamics (CFD) processes by physically partitioning a domain into several regions with the aim of improving the computational overhead while maintaining accuracy. The main idea is to use a simpler model in particular regions in order to speed up the solver and use the full model, which is computationally expensive, only where it is essential to capture the appropriate physics. In aerodynamic simulations, the computation of the fluid flow around an obstacle with a high Reynolds number can be reduced to the coupling of a simpler model, the Euler equations, in the region where viscous effects are not significant and the Navier-Stokes equations for the boundary layer near the obstacle and in the*

*downstream wake, see the attached figure for common domain partitions. Another kind of zonal modeling relies on the multi-order approach, where the zones that require a more accurate solution are approximated with a high-order solver while a lower-order numerical method is used for the rest. The essential point in this type of approximation consists of finding the correct conditions on the interface separating the different sub-domains.*

#### Technical data

**Title:** Zonal modeling for aerodynamic simulation

**Participants:** C. Castro and E. Casoni

**Funding:** AIRBUS Operations

**Period:** 2011-2012.

## Ensayos dinámicos de bajo coste para el mantenimiento de puentes sometidos a cargas ambientales no controladas, utilizando sensores inalámbricos

Durante el desarrollo del proyecto "Ensayos dinámicos de bajo coste para el mantenimiento de puentes sometidos a cargas ambientales no controladas, utilizando sensores inalámbricos" dentro del Programa Nacional de Cooperación público-privada. Orden FOM/3864/2008 con referencia P8/08 que finalizará el 20 de Diciembre de 2012 se han cumplido diferentes objetivos, de los cuales se resaltan los más importantes: (1) Consolidación de un sistema de adquisición de datos basado en tecnología inalámbrica para el análisis modal operacional en puentes de carretera, escalable y sincronizado; (2) Publicaciones en congresos y revistas de relevancia de los resultados prácticos alcanzados en el proyecto y de la investigación científica desarrollada por el equipo; (3) Validación exitosa del sistema propuesto, con diversos ensayos dinámicos para la obtención de parámetros modales en puentes de carreteras y ferrocarril, (4) Cooperación bilateral con las empresa grandes y medianas que forman el consorcio de participación en este proyecto, (5) Organización de una Jornada Técnica para la difusión de los avances del proyecto con participación de diferentes entidades del ámbito privado y público.

#### Technical data

**Title:** Low-cost ambient vibration dynamic testing for bridge maintenance, using wireless sensors

**Participants:** A. Samartin, J. García Palacios

**Funding:** Spanish ministry for public works

**Period:** 2009-2012.

## COOPERACIÓN. COOPERATION

El Profesor Pablo de la Fuente ha continuado trabajando con el Grupo de Cooperación, Infraestructuras básicas para el desarrollo y la sostenibilidad, de la UPM. En colaboración con el

Profesor Alberto Camarero, del departamento de Ingeniería Civil: Transportes, ha proyectado la rehabilitación de las infraestructuras de defensa costera de las playas de Beira, capital de la Provincia de Sofala, en Mozambique, así como la rehabilitación de los canales de la ciudad. Las obras del pantalán que ambos profesores proyectaron y dirigieron en la isla de Ibo, en la Provincia de Cabo Delgado, de dicho país, finalizaron en junio de 2011 y fueron inauguradas en agosto pasado.



*Professor Pablo de la Fuente has been going on with the works within the group of cooperation of basic Infrastructures for development and sustainability at UPM. In collaboration with Professor Alberto Camarero (department of civil engineering: transport), they have designed the rehabilitation of the coastal defence infrastructures at Beira's beaches, capital of the province of Sofala, Mozambique, as well as the urban channels. The works of the wooden pier that both professors designed and supervised at Ibo's island, province of Cabo Delgado, Mozambique, finished in June, 2011 and were inaugurated in last August.*

## EVENTOS. EVENTS

**Prácticas de análisis modal experimental, 5º curso ICCP**

En el curso 2010-2011 se pusieron en marcha las prácticas de análisis modal experimental para los alumnos de la asignatura Análisis Experimental de Estructuras (5º). Con ello, los alumnos pueden obtener experimentalmente la frecuencia fundamental de vibración de un elemento estructural sencillo. La actividad se enmarca dentro de un proyecto de innovación educativa del grupo.

### *Experimental modal analysis for 5<sup>th</sup> year students*

*Last course 2010-2011, the laboratory for dynamic characterization of structures was started for 5<sup>th</sup> year students. Students are now able to carry out experiments to determine dynamic properties of a structural element. At a first approach, the first*

*natural frequency and damping ratio of a steel T profile beam are experimentally measured.*

## TESIS DOCTORALES. RECENT PHD DEFENSES

- Maya Duque L.F. (2011): Estudio de estructuras aporticadas prefabricadas con uniones basadas en hormigones con fibras. Directores: L. Albajar y F. Morán.

## EL GRUPO. THE GROUP

### Members

#### Chair:

- Pablo de la Fuente

#### Faculty:

- Avelino Samartín

- Rubén Martínez Marín

- Rafael Fernández Díaz-Munío

- Luis Albajar

- Carlos Manuel Castro

- Juan Carlos Mosquera

- Jaime García Palacios

- Carlos Zanuy

- José Manuel Simón-Talero

- Luis Plaza

#### Research assistants:

- Juan Manuel Gallego

- Miguel García Madero

- Alejandro de Miguel Tejada

### How to find us

Laboratory of Structures

E.T.S. Ingenieros de Caminos, UPM

c/ Profesor Aranguren 3, 28040 Madrid, Spain.

### Contact by e-mail

Carlos Zanuy: [czs@caminos.upm.es](mailto:czs@caminos.upm.es)