

CMMoST 2019

5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON

Mechanical Models in Structural Engineering

Alicante, SPAIN

23 - 25 October 2019

Escuela Politécnica Superior

Universidad de Alicante

Full Papers



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

CMMoST 2019

5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON

Mechanical Models in Structural Engineering

Polytechnic School of Alicante

23rd – 25th October 2019



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

COMITÉ DE EDICIÓN

Salvador Ivorra Chorro

Victor Compán Cardiel

Andrés Sáez Pérez

Enrique Hernández Montes

Luisa M^a Gil Martín

Margarita Cámara Pérez

COORDINADORES

Francisco Javier Baeza de los Santos

M. A. Yordhana Gómez Sánchez

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

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

Printed in Spain

Organizan:



ugr



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Patrocinan:



PAVASAL

CONTENTS

KEYNOTE LECTURES

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

EXTENDED ABSTRACTS


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

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

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

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

CONSTRUIR Y ROMPER ESTRUCTURAS un curso práctico de introducción a las estructuras

Joaquín Antuña¹ (ORCID:  <http://orcid.org/0000-0003-2483-5646>), Mariano Vázquez², Valero Pascual³, Carlos Enrique Olmedo⁴

¹Departamento de Estructuras y Física de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (España).
joaquinfrancisco.antuna@upm.es

²Departamento de Estructuras y Física de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (España).
mariano.vazquez.espi@upm.es

³Departamento de Estructuras y Física de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (España).
valero.pascual@upm.es

⁴Departamento de Estructuras y Física de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (España).
carlosenrique.olmedo@upm.es

Palabras clave: Ensayos en estructuras, ensayos educativos.

ABSTRACT

The communication presents the experience developed in the last three years in a new subject organized by several professors of the Department of Structures and Building Physics (DEFE) of the Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) in the degree in Fundamentals of Architecture. In the first semester, the degree has a compulsory experience workshop, which students must take by choosing a workshop among the offers made by each department. The experience discussed corresponds to one of the proposals by the DEFE and is called Build and Break Structures.

The objective of the workshop corresponds to what is stated in the title, is that students propose a solution to a structural problem, carry out the project of that construction, build it and, finally, submit it to the expected loading situation. In the event that it exceeds the expected situation, the load continues to increase until it reaches breakage.

Keywords: structures, construction, test, collapse.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque el uso de modelos con fines didácticos es una práctica habitual ya documentada desde hace años [1], y que en el DEFE se ha venido utilizado tradicionalmente, la experiencia que se propone presenta dos particularidades sustanciales. No se trata de trabajar con modelos, sino con estructuras pequeñas. No se trata de replicar a escala una estructura de mayor tamaño, sino de definir un problema de tamaño pequeño, y resolverlo. Y, por otra parte, los alumnos tienen que definir el proyecto, construirlo, prever la manera de ponerlo en carga y, finalmente, llevarlo a la rotura.

El taller se desarrolla a lo largo de 15 semanas a razón de tres sesiones de dos horas a la semana, lo que supone un total de 90 horas de trabajo de los alumnos con presencia del profesorado. El objeto

de cada uno de los trabajos que se proponen a lo largo del taller se concreta en asamblea, así como las condiciones que tiene que cumplir la construcción: Tamaño, material con que se construye, tipo de carga, su magnitud y la forma de aplicarse, así como la cantidad total que debe soportar.

Una condición que los promotores del taller sugieren es que los materiales que se utilicen para la construcción de las estructuras sea, en la medida de lo posible, material reutilizado y, en caso de no ser así, emplear materiales económicos y sencillos de obtener.

El objetivo didáctico fundamental que se persigue es que los alumnos pongan en práctica los conocimientos que, sobre estructuras, ha adquirido a lo largo del bachiller y que no son conscientes de su aplicación práctica y su significado real. Para reforzar esta intención de recordar lo ya estudiado, se plantean varias sesiones teóricas a lo largo del taller en las que profundizar en cuestiones como el equilibrio o las propiedades mecánicas de los materiales.

La propia organización del curso hacer que el programa se vaya concretando a lo largo del taller según se van decidiendo los objetivos de las sucesivas propuestas de Construir y Romper. En la página (<http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/mmcyte/>) se incluyen los programas de las pasadas ediciones del taller. En ellas se pueden consultar las actividades realizadas semanalmente, con los enunciados de cada ejercicio de construir propuesto, los proyectos planteados por cada equipo, el resumen del proceso de construcción y el proceso de rotura.

Por último, los participantes en el taller tienen que documentar su trabajo y lo resumen en un documento que incluye información escrita, gráfica (planos del proyecto e imágenes de la construcción y la rotura) y vídeos, tanto del proceso de construcción como el de rotura. Para compartir sus resultados, los participantes utilizan los canales de difusión que utilizan habitualmente, aunque el taller dispone de una página en facebook (<https://www.facebook.com/t1cre/>) y, para el próximo curso, se utilizará el nuevo blog de la asignatura (<https://blogs.upm.es/dcyrep/inicio/>).



Figura 1: Carga hasta rotura de algunas de las construcciones propuestas en el taller: Torre de spaghetti, y varios ejemplos de puente atirantado.

2. ANTECEDENTES

El uso de la experimentación en mecánica en general y, en particular en el campo de las estructuras, como complemento a las lecciones teóricas se ha utilizado tradicionalmente. En 1947 Pippard describió un completo laboratorio en el que los alumnos podrían poner en práctica varios temas habituales en teoría de estructuras: El estudio vigas de celosía tanto desde un punto de vista cualitativo, interpretar las trayectoria de las fuerzas identificando barras comprimidas y traccionadas, como cuantitativo, observando el valor de los esfuerzos en las barras; el estudio del pandeo de barras comprimidas; la flexibilidad de las vigas de alma llena; la resistencia y rigidez de los pórticos de nudos rígidos y de estructuras flexibles; el estudio de estructuras hiperestáticas: tres cables, vigas continuas, pórticos planos o emparrillados; estudio de cables y arcos y ángulo de rozamiento de terrenos y empujes sobre muros de contención.

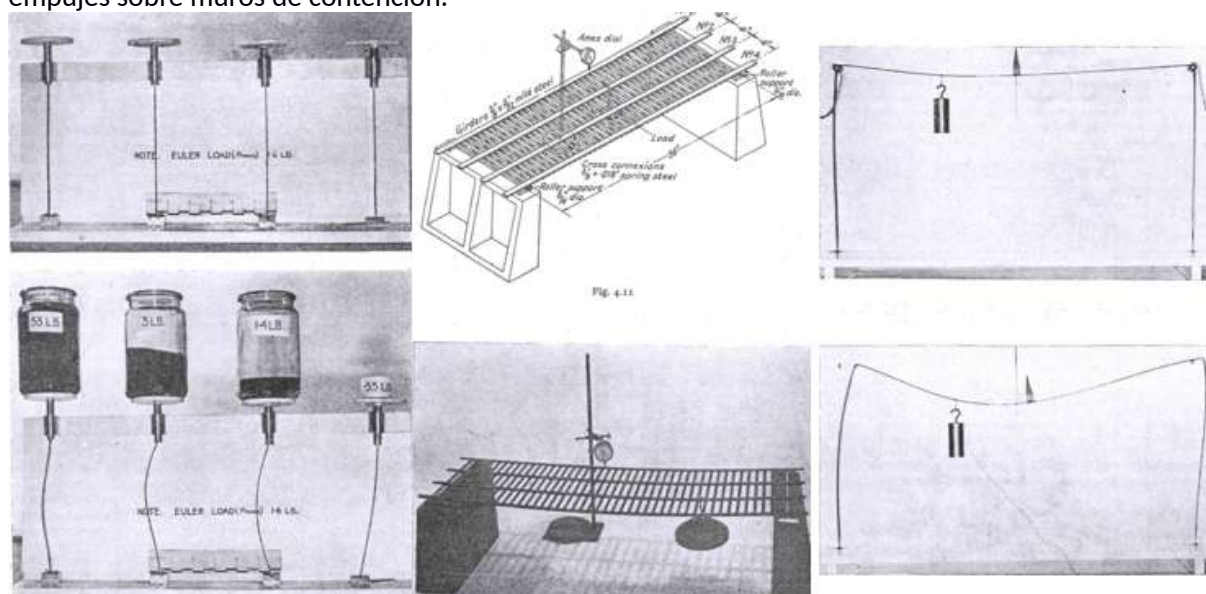


Figura 2: Imágenes de algunos de los ensayos propuestos por Pippard: Pandeo de barras comprimidas; flexión de un emparrillado y flexión en un pórtico rígido.

En la propuesta de trabajo con ensayos de Pippard hay un componente esencial que es el trabajo previo del alumno. Cada ensayo tiene asociados unos cuestionarios que es preciso estudiar y completar previamente al trabajo experimental. Con ese trabajo previo se crea la expectativa que se somete al contraste de la experimentación. Ricardo Aroca, comentaba sobre el trabajo de los docentes que quienes enseñan se pasan el tiempo respondiendo a cuestiones que los alumnos no se han planteado. Esta situación reduce la motivación y dificulta que se mantenga la atención. Es necesario tener expectativas para interesarse por lo que se cuenta. Por ello en educación es una buena estrategia el realizar actividades que tengan como resultado el que los alumnos elaboren expectativas que despierten la atención y animen la investigación.

El trabajo previo a la actividad con modelos consigue crear esas expectativas previas. Por esa razón, en la propuesta de Pippard las instrucciones de cada experimento incluían realizar el análisis de la estructura y la experimentación servía para comprobar los resultados obtenidos. Una de los objetivos que se pretende alcanzar con este enfoque, es tomar conciencia de las simplificaciones que es necesario hacer para crear los modelos analíticos, y ser conscientes de ellas a la hora de interpretar los resultados.

Además, con el trabajo previo se obtiene una aproximación a los órdenes de magnitud de los problemas, lo que nos da una herramienta para juzgar las soluciones obtenidas. La acumulación de este conocimiento es lo que, sin ser conscientes de ello, nos permite tener intuición.

La titulación de arquitecto que se impartía en la ETSAM correspondiente al plan 1974 tenía seis cursos y se impartió hasta el inicio del plan de 1996. En él, la primera asignatura de estructuras tenía el nombre de Estructuras I. Era una asignatura semestral, tenía 10 créditos y se impartía en el cuarto curso a razón de 6 horas semanales durante 30 semanas.

El objetivo fundamental de la asignatura era el equilibrio. Se estudiaba análisis de estructuras sencillas, propiedades de materiales, dimensionado y comprobación, pero el énfasis del curso se ponía en el equilibrio.

La docencia estaba organizada en una parte teórica y otra práctica. Pero la parte teórica se introducía siempre con la presentación del fenómeno físico que se iba a estudiar. En cada una de las 15 semanas se trataba un tema y, a cada uno, correspondía un experimento que se realizaba en el aula al tiempo que se hacía la exposición teórica. De modo que la experimentación y el ensayo de estructuras con el fin de visualizar los temas que se estudiaban formaba parte del planteamiento del curso.

2.1. Concursos de Torres y Vigas

Como complemento se estableció una actividad relacionada con el trabajo en estructuras pequeñas. Esta actividad incorporaba una novedad sobre el planteamiento de Pippard, y que consistía en que los alumnos eran los responsables de la definición de la estructura que se estudiaba, de su construcción y de su ensayo hasta la rotura.

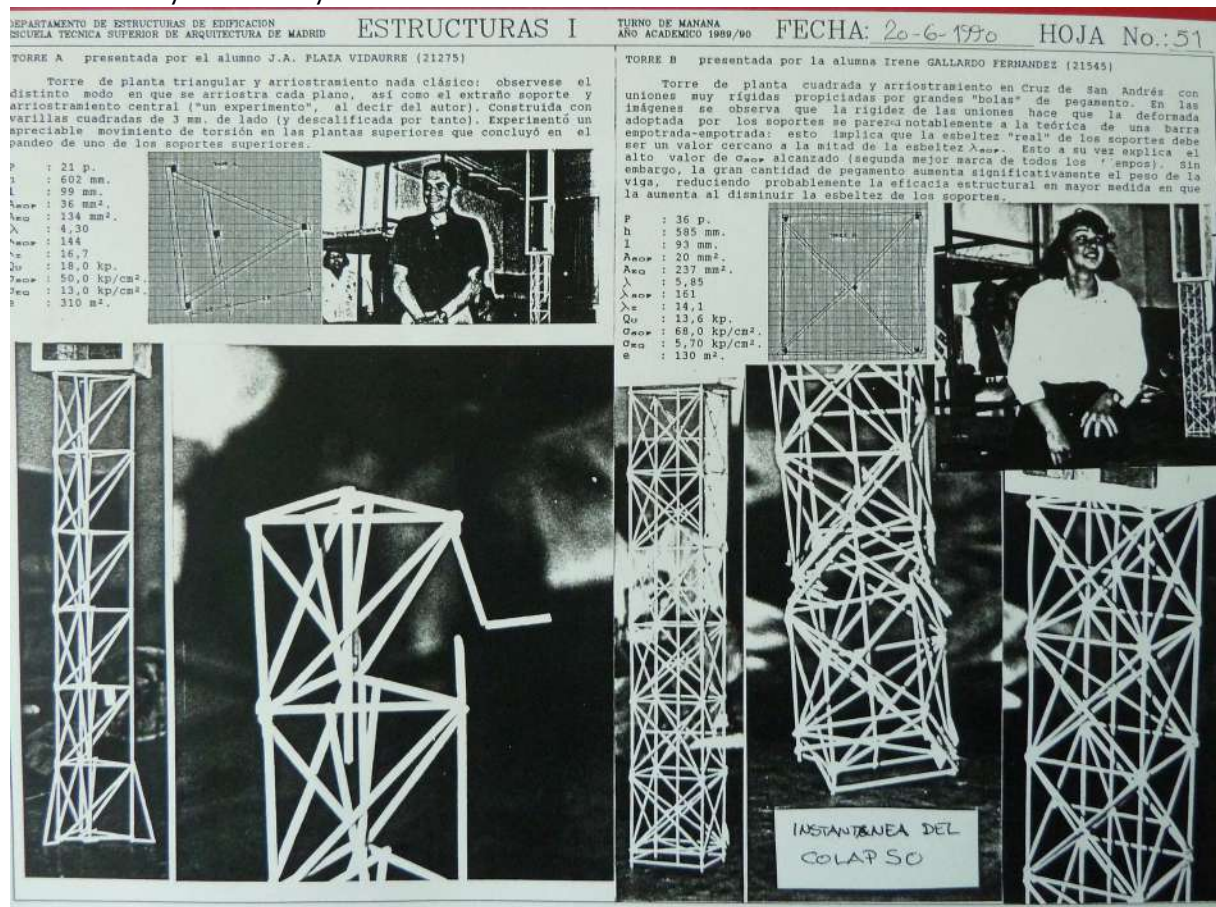


Figura 3: Propuestas con mejor puntuación en la edición del año académico 1989-1990 del concurso "Torres contra depósitos"

Se organizaron lo que se llamaron "Torneo de torres contra depósitos" y "Torneo de vigas contra cargas puntuales".

En los dos casos se definía un problema estructural: En el primero soportar una carga (depósito) a una determinada altura, y en el segundo soportar una carga entre dos puntos de apoyo situados en la misma horizontal a una distancia determinada. La meta perseguida por cada diseño era no solo obtener la estructura que lograra la mayor carga, sino la que lo hiciese con el menor peso posible. Se definía la eficiencia de la estructura en cada caso. Al mismo tiempo, en los dos casos se contaba con una cantidad limitada de material.

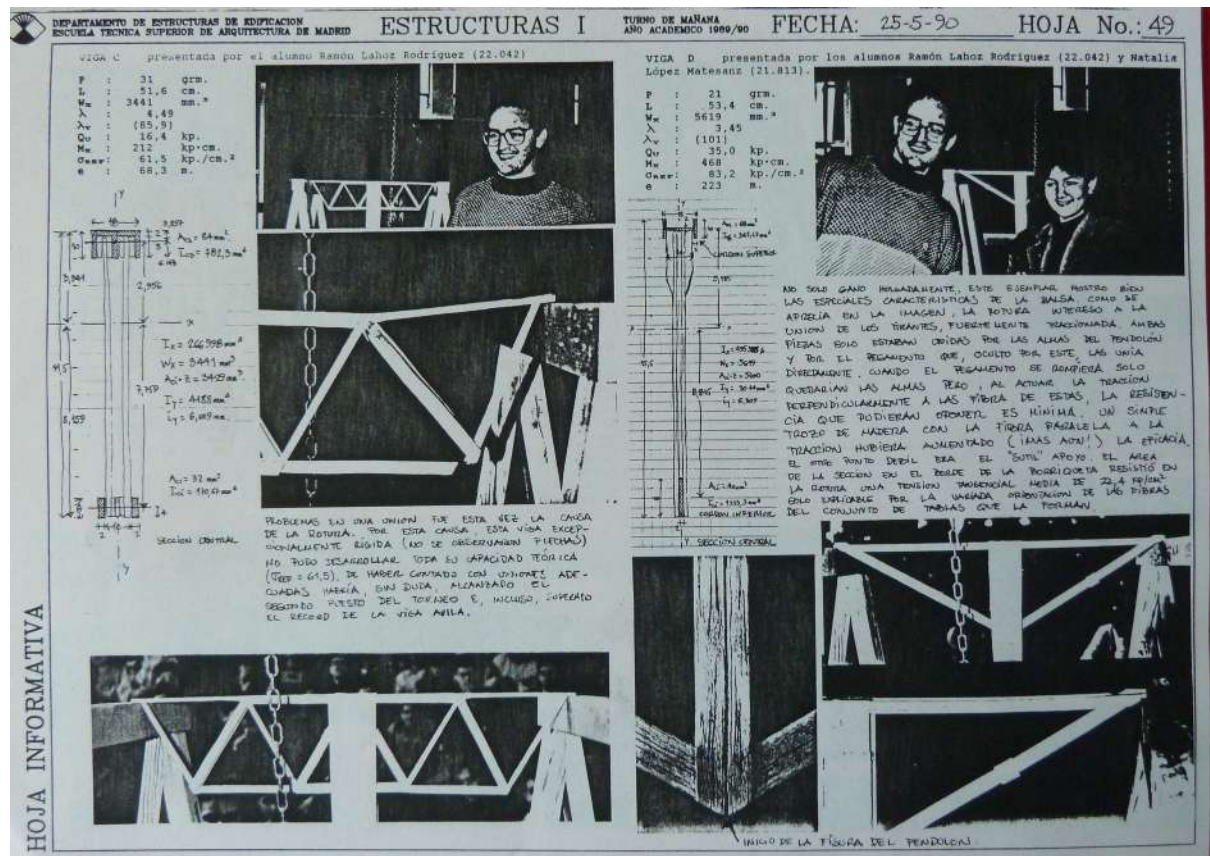


Figura 4: Soluciones con mejores resultados de la edición de 1989-1990 del concurso "Vigas con tra cargas puntuales".

En el caso de las torres se contaba con 16 varillas de madera de balsa, y la eficiencia de la estructura se medía como el producto de la carga que rompía la estructura por la altura al cuadrado dividido entre el peso de la estructura, de modo que la eficiencia en este caso tiene unidades de m², unidades de superficie. En este caso, además, se definía la tensión media como el cociente entre la carga última y el área equivalente que, a su vez, se obtenía como el cociente entre el peso de la torre y el peso específico de la madera de balsa por la altura de la torre. Este valor representaba la tensión media de una barra maciza de la misma altura y de la misma cantidad de material con que estaba hecha la torre. Se establecían por tanto dos cantidades para valorar cada diseño, eficiencia y tensión media:

$$e = \frac{Q \times h^2}{P}, \text{ y } \sigma_m = \frac{Q}{A_m}$$

en donde Q es el valor de la carga que hace colapsar la estructura, h es la altura de la torre, P su peso propio y A_m es el valor del área media de un soporte con la altura de la torre y su peso y suponiendo que ρ es el peso específico del material utilizado, se obtiene como:

$$A_m = \frac{P}{\rho \times h}$$

En el caso del torneo de vigas, la medida de la eficiencia se hacía como el cociente entre el momento flector M que producía la rotura y el peso propio de la estructura. Las unidades de la eficiencia así medida son unidades de longitud. La interpretación sería como el brazo de palanca necesario para que un peso igual al de la estructura produjese el momento flector de la rotura.

$$e = \frac{M}{P}$$

El planteamiento utilizado no valora únicamente la capacidad de carga, sino que tiene en cuenta la habilidad para disponer el material utilizado, de modo que, a igualdad de carga soportada, un proyecto que se hubiese realizado con menos cantidad de material resultaría ganador.

3. EL NUEVO PLANTEAMIENTO: CONSTRUIR Y ROMPER ESTRUCTURAS

Los torneos se desarrollaron anualmente hasta la supresión del plan de estudios del 1974. Con el nuevo plan de 2010, aparece en el primer semestre de los estudios una nueva asignatura de taller obligatoria opcional, esto es, que todos tienen que cursar, pero a elegir entre una variedad de talleres ofertados por los departamentos.

En el año 2016 se presentó por primera vez con el objetivo de ofrecer la oportunidad de que los alumnos pusiesen en práctica los conocimientos de mecánica y estructuras que, en teoría, han estudiado en el bachiller.

1



<http://www.facebook.com/tlcre/>

Construir y romper estructuras

Una semana cargando estructuras hasta su fallo
alla manera di Leonardo da Vinci



Vitruvius Woman DelmenD CercaC0 CercaTQ Vitruvius Man

Si el lenguaje no es correcto, entonces no se dice lo que se quiere decir; si lo que se dice no es lo que se pretende, entonces no se hace lo que se tenía que haber hecho; si lo que se tenía que haber hecho queda sin hacerse, entonces la moral y el arte se deterioran; si la justicia se extravía, reina la confusión. Por eso no debe haber arbitrariedad en lo que se dice. Esto es lo más importante de todo.

CONFUCIO



Figura 5: Presentación del taller experimental con la idea que orienta su organización: experimentar para conocer.

La estrategia que se propone en el taller incorpora una nueva variable más a las experiencias anteriores. En el laboratorio propuesto por Pippard tanto los problemas estructurales que se estudiaban como los objetos sobre los que se realizaba la experimentación ya estaban definidos y contruidos. En los torneos de “torres contra depósitos” y “vigas contra cargas puntuales”, el problema estructural era parte del enunciado, así como los objetivos a lograr y el material con el que se debía construir la estructura.

El nuevo planteamiento presenta una novedad y es que no hay nada preparado previamente. El taller se organiza de manera colectiva y la definición del problema estructural a resolver se hace colectivamente entre todos los participantes, profesores y alumnos. Además del problema estructural a resolver, se definen el material a utilizar y las limitaciones del proyecto y las condiciones precisas que debe cumplir la estructura que se va a construir.

La intención del taller es doble. Por una parte trabajar prácticamente con los conocimientos que ya han adquirido, tanto sobre estructuras como sobre las propiedades mecánicas de los materiales. Por otra, trabajar un conjunto de competencias transversales y generales que se supone que tienen que alcanzar a lo largo de la titulación, como la capacidad de trabajar en equipo, la comunicación en público, la búsqueda de información y su elaboración y asimilación, o la redacción de documentos similares a los necesarios en la vida profesional. Pero, sobre todo, lo que se pretende es presentar como objetivo fundamental de la investigación de la estructura el poder construir más con menos o, como se dice en la presentación del taller citando a Amos In Tiao Chang:

La investigación de la estructura por contraposición a la de la construcción nos mostrará que básicamente la creación de todas las construcciones arquitectónicas existentes está basada en un simple principio: la provisión del mínimo material disponible a fin de resistir el máximo de cargas posibles. Mientras que los métodos de construcción cambian, los principios estructurales siguen siendo los mismos.[2]

El taller se desarrolla en 15 semanas sin un programa definido, más que la intención de construir y romper estructuras. Aunque la afirmación de que no existe programa tienen algo de retórico, ya que, aunque el objeto preciso que se va a construir no está previsto al comienzo del curso, si lo está lo que tienen que hacerse durante el desarrollo del taller.

De todos los trabajos que se realicen deberán realizar las siguientes tareas:

1. Un proyecto, en el que incluirán una memoria descriptiva del proyecto, con unos planos suficientemente definidos como para que un tercero pueda construirlos.
2. Realizar la presentación pública del proyecto en la que se plantearán cuestiones y posibilidades de mejora que, en cada caso, decidirán si incorporan o no al diseño definitivo.
3. Construir el proyecto, haciendo los modelos parciales necesarios para comprobar la viabilidad de la propuesta.
4. Documentar la construcción, haciendo especial mención a las modificaciones que se hubiesen hecho durante la construcción, justificándolas de manera adecuada.
5. Resultados de ensayos parciales realizados durante la construcción con los que justificar cambios realizados en el proyecto.
6. Ensayo de la estructura para comprobar que alcanza los resultados previsto y, en caso de hacerlo, continuar hasta la rotura.
7. Documentar el proceso de ensayo en forma de vídeos y gráficos que crean necesarios para explicar el proceso de rotura.
8. Memoria resumen del proyecto en que se incluya el proyecto inicial, la descripción del proceso de construcción con la mención a las modificaciones introducidas y su justificación, planos del proyecto finalmente construido, descripción del proceso de carga y unas conclusiones que incluyan una valoración crítica.
9. Vídeo de la actividades realizadas, proyecto, construcción y ensayo.
10. Presentación pública de la memoria definitiva.

Lo que no está definido al comienzo del curso son los problemas estructurales que se quieren resolver. Esta tarea se hace en grupo sobre la base de las preferencias que han mostrado en un test inicial, en que dibujan estructuras que les interesa estudiar.

Esta primera muestra de intereses que muestran en el test preliminar es aparentemente dispar en lo formal, pero las opciones que presentan los alumnos se pueden agrupar en unos pocos problemas estructurales:

- 1.S oportar cargas en altura: torres o edificios de pisos.
- 2.S oportar una carga entre dos puntos separados en horizontal: puentes de diverso tipo: vigas, cables o combinaciones de cables y vigas.
- 3.E estructuras superficiales: forjados, bóvedas o cúpulas.

La elección del material con el que se construirán las estructuras es también libre y es el resultado del acuerdo entre todos los participantes. Los organizadores del taller proponemos que, preferentemente, se empleen materiales reutilizados. Por eso en muchos casos se han hecho estructuras con cartón, preferentemente obtenido de la basura. Y esta es una contribución a sensibilizar a los estudiantes y a otros profesores, de la necesidad de incorporar en la práctica profesional los Objetivos del Desarrollo Sostenible, aunque los organizadores del taller pensamos que la construcción más eficiente es la que nos se hace.

Cuando se llega al acuerdo de que problema estructural resolver, que material utilizar y que condiciones se deben respetar en la construcción se define el enunciado del problema y se inicia el proceso de proyecto, construcción y ensayo.

La experiencia de las cuatro ediciones realizadas nos ha permitido constatar que la dedicación de los estudiantes es intensa. Se trata de una asignatura de 6 créditos que suponen, en teoría, una dedicación total de 162 horas. En quince semanas suponen unas 11 horas semanales incluidas las 6 horas en clase que se cumplen, probablemente con creces. Esa dedicación nos permite suponer que el taller alcanza el objetivo de motivar a los alumnos participantes.

4. RESULTADOS DE LAS TRES PRIMERAS EDICIONES

En los tres últimos años se han realizado 5 ediciones del taller en el que participaron unos 100 alumnos. Trabajando en grupos formados por entre tres y cinco personas construyeron tres estructuras por semestre cada grupo. Algunos de los problemas estructurales se repitieron en algún caso, pero las soluciones y los materiales utilizados en cada caso fueron distintas. Agrupándolos por tipos de estructura se resolvieron los siguiente problemas estructurales:

4.1. Soportar cargas entre dos líneas separadas horizontalmente: Vigas y arcos

4.1.1. Acartonados puentes. El objetivo de este CyR fue construir un puente de cartón (preferiblemente reutilizado) que permita el paso de un “tren” de cargas de 120 mm de ancho y 240 mm de alto. Material, cartón reutilizado.

4.1.2. Puentes atirantados. El objetivo es construir un puente atirantado de 1,6 m de longitud total y no más de 2 kg, apoyado en dos líneas separadas a unos 0,86 m, definiendo un tablero (plano horizontal de apoyo) para sostener un “tren” de cargas iguales (de 120 mm de ancho y 120 mm de alto) cuyo valor útil (o característico) es de 1,2 kN/m²; salvo los tirantes y los materiales para realizar uniones, el resto de piezas será de cartón ondulado (preferiblemente reutilizado)

4.1.3. Puentes y arcos. El objetivo es construir un puente en arco de 1,6 m de longitud apoyado en dos líneas separadas 1,0 m, para soportar un tablero que permita sostener un tren de cargas iguales cuyo valor útil es de 1,2 kN/m²; el diseño deberá permitir el paso de las cargas por un hueco de 120 mm de ancho y 120 mm de alto. Todo el material del arco deberá ser de cartón ondulado, con la única excepción de los tirantes, en caso de que se utilicen y el material para realizar las uniones.

- 4.1.4. Dulces arcos. El objetivo de este Construir y Romper (CyR) fue construir un tablero(plano horizontal de apoyo) para sostener un “tren” de cargas iguales, apoyado en alguna forma en el arco mediante péndolas. El material, terrones de azúcar.
- 4.1.5. Spanish Aerocar de cartón. Estructura inspirada en el transbordador de Torres Quevedo realizada en cartón.
- 4.1.6. Descansadas hamacas. El objetivo es construir una hamaca sobre una plataforma de cartón ondulado de 1,6 m × 0,4 m de superficie, suspendida de unos apoyos separados entre si una distancia de 1,0 m y capaz de soportar una carga situada a una altura mínima de 25,0 cm. El material será el cartón ondulado (preferiblemente reutilizado).
- 4.1.7. Stairway To Heaven. El objetivo es construir una escalera que salve una altura de 122 cm y comunique la base con una plataforma elevada de 34,0 cm × 32,0 cm de superficie situada a la altura definida. El diseño es libre con la única limitación que tiene que estar contenida en una superficie de 12000 cm² de forma libre. Además la zanca no podrá tener soportes en cuanto su altura supere los 61,0 cm. La escalera deberá tener 20 peldaños, con lo que la altura de cada uno será de 61 mm y su huella será, al menos, de 90 mm. El ancho de la zanca será de 20,0 cm. El material será el cartón ondulado (preferiblemente reutilizado).



Figura 6: Proyecto de estructura con maderitas. Torre de pasta y puente en arco.

4.2. Contención: Muros y presas.

- 4.2.1. Presa conoidal. El objetivo es construir una presa de papel, utilizando cuatro hojas A3 de papel grueso, capaz de contener la presión de un “líquido” de bolas de acero alojado en el vaso de un “embalse”. Material a utilizar papel.
- 4.2.2. Acartonados muros. El objetivo es construir un muro de contención para sostener un “terreno” (“no cohesivo”) granulado sobre el que se apoya además un edificio, justo al lado del borde del muro de contención; el muro se apoyará en subbase por simple contacto con el “suelo”. Material a utilizar cartón.

4.3. Estructura superficial plana.

4.3.1. Suelo de cartón. El objetivo es construir un suelo horizontal de cartón para sostener un carga útil de 2,22 kN/m², apoyado en cuatro soportes de madera por simple contacto.

4.4. Soportar cargas en altura: Torres.

4.4.1. Suculentas torres de sémola de trigo. El objetivo es construir una torre de 1,6 m de altura total y no más de 3 kg de masa propia, apoyada en el suelo del aula, definiendo en cabeza apoyos suficientes para un tablero cuadrado (plano horizontal de apoyo) de 270 mm de lado, sobre el que se dispondrá peso cuyo valor útil (o característico) será de 0,3 kN; salvo los materiales para realizar uniones, el resto de piezas será de pasta de sémola de trigo.

4.4.2. Torres acartonadas. Construir una torre de pisos de 1,2 m de altura y no más de 10 plantas. La superficie del solar sobre el que se construirá la torre es de 240 mm × 240 mm. De toda la superficie posible, la ocupación será como máximo del 40 %, esto es 230400 mm². El material con el que se construirá será el cartón (preferiblemente reutilizado).



Figura 7: Proyecto de hamaca (superior). Torre de catón (inferior izquierda) y torre de pasta (inferior derecha).

4.5. Proyecto libre con un determinado material.

4.5.1. Problemas estructurales con maderitas. Eligiendo entre maderas de diferente formatos (palillos, palillo de madera para brochetas, palillos chinos de madera, depresor lingual, palitos de

madera para helado, ...) plantear un problema estructural y resolverlo con tipo de maderita elegido.

En total se han planteado cuatro problemas estructurales, para los que se han plantado 12 variantes diferentes, además de las propuestas realizadas en el problema de libre elección. Para cada una de ellas, los diferentes grupos (entre cinco y seis según las ediciones del taller) realizaron propuestas distintas.

5. CONCLUSIONES

El formato de taller que se propone presenta una novedad que consiste en que los participantes son los encargados de definir las condiciones del problema que tienen que resolver. Esta nueva situación asegura una mayor motivación porque desde el comienzo la tarea que se realiza responde a una intuición personal. Además, el participar en todo el proceso, desde la concepción del problema hasta su rotura final, obliga a un confrontación permanente con las consecuencias de las propias decisiones. Resulta tremendamente didáctico el contrastar las intenciones declaradas en los proyectos, con las dificultades de la construcción de la propia propuesta.

6. TRABAJO FUTURO

La aparente falta de organización en un taller en que no está previsto lo que se va hacer, contrasta con la sistematización de las tareas que se realizan y que, en las ediciones realizadas, se ha consolidado. Con la experiencia acumulada, es posible redactar un texto de apoyo del taller en que se ordenen y resuman las conclusiones de las experiencias realizadas tanto de los alumnos como de los profesores participantes.

7. AGRADECIMIENTOS

La realización de las diferentes ediciones del taller a contado con la colaboración de varios profesores del Departamento de Estructuras y Física de Edificación además de los autores, otros encargados del curso como Fernando Castañón y Oscar de Abril. José Carlos Méndez del laboratorio de Mecánica del Suelo colaboró en la realización de los ensayos y en la realización del instrumental utilizado.

REFERENCIAS

- [1] Pippard, A.J.S. (1947). The experimental study of structures. London: Edward Arnold & Co.
- [2] In Tiao Chang, Amos. (2011). El Dao de la Arquitectura. Granada: Comares.