



TALLER EXPERIMENTAL 1

Estructuras de *spaghetti e maccheroni*

Aplicación experimental a la Arquitectura de toda la Mecánica estudiada desde la Escuela Primaria, aderezada *alla maniera di Leonardo da Vinci*



DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y FÍSICA DE LA EDIFICACIÓN (DEFE)
MARIANO VÁZQUEZ ESPÍ

AA 2015/16



La Arquitectura se divide en Construcción, Gnómica y Mecánica.

VITRUVIO, *De Re Architectura*

En España, hoy en día, las nociones de la Mecánica y, en especial, las aplicables en Arquitectura, se imparten desde el quinto curso de la Enseñanza Primaria. En este taller se traerán a la memoria todas esas nociones mediante su uso en experimentos cruciales a la vez que sencillos, experimentos que darán respuesta a preguntas comunes en Arquitectura, pero referidas a piezas de pasta de sémola. ¿Cuánto peso puede colgarse de un espagueti? ¿Pueden tres columnas hechas con macarrones sostener a una persona adulta? ¿Cuántas veces su propio peso puede resistir un puente de pasta que salva una distancia de un metro?

El curso apenas dedicará unas pocas horas al repaso de las nociones teóricas. El resto del horario presencial se empleará en experimentar, generalmente en el aula. El horario personal (no presencial) se dedicará a preparar los elementos de los experimentos y a plasmar los resultados en un documento personal, que será la entrega final para superar el taller; y, quien lo necesite, a repasar las enseñanzas preuniversitarias “olvidadas”.

El taller es propedéutico, con vistas a facilitar el aprendizaje en las siguientes asignaturas “mecánicas”: Mecánica Física, Estructuras I, etc, y combatir tanto el absentismo como el relativamente elevado fracaso escolar en ellas, en una disciplina técnica, la Mecánica, importante en Arquitectura.



Resumen

Los concursos de estructuras de pasta de sémola gozan de cierta popularidad en decenas de universidades e institutos en el mundo, y comenzaron en los años ochenta del XX. Tras la experiencia pionera en la asignatura INTENSIFICACIÓN EN ESTRUCTURAS en el AA2014/15, se propone aquí un taller experimental para el primer curso de los estudios de grado en *Fundamentos de la Arquitectura* impartidos en la ETSAM (UPM).

Índice

1. La propuesta	2
1.1. Aplicar la mecánica que han conocido hasta el bachillerato	2
1.2. El método experimental a emplear	2
1.3. Materiales para la docencia y de la discencia	3
1.4. Una semana típica	3
1.5. El programa experimental	4
2. Ficha	5
3. Referencias y bibliografía	7

1. La propuesta

El interés por la medición cuantitativa de la calidad de las pastas de sémola viene de antiguo, al menos desde 1939 (v. Holliger, 1963). Tal parece que algunas propiedades mecánicas están bien correlacionadas con la calidad gastronómica del producto así como con la facilidad de embalaje y transporte. Por ello hay bastante literatura sobre el particular (v., por ejemplo, Guinea et al., 2004).

Con los primeros concursos de estructuras de pasta (v. [en.wikipedia](#)), se añadieron al acervo disponible investigaciones con un interés específicamente estructural y/o didáctico sobre el material (v. González et al., 2005).

1.1. Aplicar la mecánica que han conocido hasta el bachillerato

La idea central del taller es simple: aplicar experimentalmente toda la mecánica que el alumnado ha conocido durante sus estudios preuniversitarios, junto con aquellos conocimientos de otras disciplinas (matemáticas, otras ramas de la física, química, etc) que vengan a cuento para desarrollar el programa experimental que se propone.

No se introducirá formalmente nuevo *corpus* teórico, pues el objetivo es que las personas que cursen el taller, acaben por:

- aprender (si no lo hicieron en su día) los métodos y teorías correspondientes a las enseñanzas preuniversitarias
- explorar su utilidad práctica en la teoría, proyecto y construcción de pequeñas estructuras de pasta de sémola, que representan soluciones (pequeñas) a los problemas estructurales canónicos en edificación (sostener pesos en altura—torres, sostener pesos entre dos extremos de un segmento horizontal—puentes, etc)
- conocer y manejar implícitamente (incluso si no se nombran como tales) un repertorio razonablemente amplio de conceptos clave en la teoría de estructuras: equilibrio, estabilidad, resistencia, rigidez, tracción, compresión, forma estructural, composición de piezas, unión de piezas, materiales y sus propiedades básicas, eficiencia estructural, representación de proyectos de estructuras, mecanización, montaje, trabajo en taller, trabajo en obra, tolerancia de fabricación, elasticidad, plasticidad, proporcionalidad, curvatura.

1.2. El método experimental a emplear

En lo posible, toda la experimentación se hará en el aula asignada al taller. Para ello se usarán métodos simples a la manera de Leonardo y Galileo, basados en medidas geométricas, directas o indirectas, con el concurso de reglas, calibres y nonius (fabricados estos últimos en el propio taller), y el uso de pesos como cargas. Para ello será necesario también que los Servicios de Mantenimiento doten de una mínima infraestructura al aula, cuya definición habrá que preparar con antelación.

1.3. Materiales para la docencia y de la discencia

El taller se apoya en los siguientes materiales:

- *main web* de la asignatura, desde donde se podrá acceder al resto de recursos en Internet: <http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/mmcyte/#TALLER1ESEM>
- Colección de lecturas, siempre al nivel adecuado para los conocimientos preuniversitarios.
- Herramientas propias (hay que hacer una “lista de la compra”), de los laboratorios del Departamento y del Taller de maquetas de la ETSAM.
- Instrumentos diseñados y fabricados durante la realización del taller.
- DRAE como primera referencia para el vocabulario
- Lista con todos los artículos de la **wikipedia** necesarios para documentar la totalidad de los conocimientos preuniversitarios puestos en juego.

Durante el desarrollo del taller, el alumnado producirá los siguientes materiales:

- Individualmente o en grupos de no más de tres personas:
 - Breves comentarios de las lecturas
 - Construcción de los elementos necesarios para los experimentos diseñados y su documentación
 - Construcción de una estructura de pasta a partir de planos de proyecto facilitados por el profesorado.

El conjunto de lo anterior constituirá la “entrega” final del alumnado. Junto con el control de asistencia, servirá para la calificación del curso.

- Colectivamente:
 - “Diario de abordó” (**moodle** o similar): descripciones y conclusiones literarias sobre los experimentos realizados, con especial énfasis en la formulación de reglas de diseño cualitativas (material base para la Memoria del taller)

1.4. Una semana típica

Los 6 créditos ETCS equivalen a un trabajo personal de unas 162 horas, divididas en 72 horas de enseñanza presencial y 90 horas de aprendizaje personal.

Lo que sigue es una descripción de todas las actividades que pueden suceder en una semana del taller. Ciertamente es una descripción abarcadora de “todo” lo posible, pero algunas de las actividades descritas se omitirán en semanas concretas (por no venir a cuento).

En la parte presencial, de forma colectiva, de lunes a miércoles:

- se realizará un *forum* sobre la lectura de la semana anterior
- se prepararán y ejecutarán los experimentos programados la semana anterior
- se discutirán y diseñarán los experimentos de la semana siguiente
- se debatirán las conclusiones que quepa extraer de los experimentos de la semana anterior, cuya redacción se plasmará en el “Diario del taller”

En la parte personal, por grupos de no más de tres personas o individualmente, en horario no presencial:

- se redactará un breve comentario de la lectura de la semana (documentación de producción propia, o artículos relevantes para el tema de la semana que los docentes facilitarán con antelación suficiente)
- se realizará la preparación de los materiales necesarios para los experimentos de la semana (probetas, formatos para recogida de datos, etc)
- quienes lo necesiten repasarán las materias preuniversitarias claves para la siguiente semana
- se redactarán propuestas de conclusiones de los resultados de la semana anterior, para el debate presencial

1.5. El programa experimental

Dado que el semestre consta de 16 semanas, pero los talleres experimentales comienzan con una semana de retraso, y que en la semana 16 se reserva para la *falsa* entrega de las asignaturas de Proyectos, solo cabe contar con 14 semanas reales, número que puede reducirse en un semestre concreto por fiestas y puentes. Por ello se ha preparado un programa de actividades, que cada año académico habrá que ajustar a su calendario concreto.

Bloque 1: El material

Actividad 1. **Objetivo del curso y presentación general. El material:** La pasta de sémola. Distintas composiciones, distintas formas. Peso específico y resistencia a tracción de formas simples de la pasta base (que servirá de referencia). Teoría de errores. Valores de las magnitudes que nunca (siempre) se superan.

Actividad 2. **La composición del material:** ¿Influirá la proteína base en la resistencia? ¿Cómo probarlo? Pasta con/sin gluten, con/sin huevo (huevo), etc.

Bloque 2: Las piezas

Actividad 3. **La forma de las piezas de la pasta seca:** Sphagetti, tallarín, macarrón: piezas aptas para formalizar estructuras. ¿Para que pueden servir estructuralmente las otras formas: hélices, conchas, etc? ¿Como estimar las propiedades de estas últimas?

Actividad 4. **¿Puede moldearse/modelarse la pasta mediante cocción sin perder resistencia?:** La cocción en fábrica *versus* la cocción gastronómica. Métodos de moldeo/modelado. Métodos de secado. Comparación entre la pasta de fábrica y la cocinada-secada. ¿Existen composiciones o formas que requieran pasta cocinada-secada? ¿Es factible un muelle de spaghetti?

Actividad 5. **Compresión: aplastamiento y pandeo:** Esbeltez geométrica y resistencia. ¿Como determinar la rectitud de una pieza? Medida de tolerancias. Curva resistencia-esbeltez para cada tipo de sección. Ductilidad en la compresión por aplastamiento. Influencia de la forma de aplicación de la carga.

Actividad 6. **Rigidez: módulos de Young; diagramas $\sigma - \epsilon$:** Nonius. ¿Cómo medir la deformación en compresión? Elástico/plástico; “Hiperelástico”. Ley de Hooke: proporcionalidad. Medida indirecta de los módulos de Young mediante la flexión.

Bloque 3: Las uniones

Actividad 7. **Uniones: ¿qué pegamento? ¿para qué casos?:** Pruebas de pegamentos en uniones a tope y en uniones laterales a tracción. Tensión tangencial y adherencia.

Actividad 8. **Uniones a compresión:** ¿Necesitan pegamento las uniones comprimidas?

Actividad 9. **Nudos:** Uniones con piezas traccionadas y comprimidas: ¿quién abraza a quién?

Bloque 4: Pieza de piezas. Estructuras

Actividad 10. **Como componer piezas con piezas para obtener el grueso que se quiera:** Piezas en serie y en paralelo. Piezas comprimidas compuestas por yuxtaposición: ¿pegamento o abrazaderas? Piezas formadas con piezas y nudos: la dificultad de lo pequeño.

Actividad 11. **Realización de piezas a partir de planos:** Mecanización y replanteo. Uso de escantillones. ¿Serrar, cortar, lijar, ...? Como evitar la rotura frágil durante la mecanización.

Actividad 12. **Montaje de la estructura (I):** Cimbras. Montaje en “taller” o en “obra”.

Actividad 13. **Montaje de la estructura (II):** Tolerancia de fabricación. La perfección es imposible. . .

Actividad 14. **Prueba de la estructura:** . Prueba de carga (sin rotura). Rigidez de la estructura: distorsión. ¿Cuánta seguridad tenemos? Prueba de carga hasta la rotura (solo para las personas o grupos que presten voluntariamente sus estructuras para ello)

2. Ficha

ASIGNATURA: Taller experimental 1: Estructuras de *spaghetti e maccheroni*
 FECHA DE ACTUALIZACIÓN: 6 de julio de 2015
 CÓDIGO: 1105
 DEPARTAMENTO: Departamento de Estructuras y Física de la Edificación (DEFE)
 Profesorado: Mariano Vázquez Espí
 ECTS: 6

Propuesta de la E.T.S. de Arquitectura:
Grupos y horario:

- Número de alumnos por grupo: 20 alumnos como máximo.
- Número de grupos y horario: (docencia lunes, martes y miércoles)
 - 1 grupo de 12:30h a 14:30h LMX

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
 MADRID
 Plan de Estudios 2010 E.E.E.S.

APARTADO 1 DEFINICIÓN

ASIGNATURA Estructuras de <i>spaghetti e maccheroni</i>			
CÓDIGO 1105	CARÁCTER E	TIPO OBDV	ECTS 6
MÓDULO Propedéutico		MATERIA Propedéutica complementaria	
DEPARTAMENTO Departamento de Estructuras y Física de la Edificación (DEFE)			
CURSO 1º	SEMESTRE 1º		SECUENCIA Ninguna

APARTADO 2 CONTENIDO

OBJETIVOS

La idea central del taller es simple: aplicar experimentalmente toda la mecánica que el alumnado ha conocido durante sus estudios preuniversitarios, junto con aquellos conocimientos de otras disciplinas (matemáticas, otras ramas de la física, química, etc) que vengan a cuento para desarrollar el programa experimental que se propone.

No se introducirá formalmente nuevo *corpus* teórico, pues el objetivo es que las personas que cursen el taller, acaben por:

- aprender (si no lo hicieron en su día) los métodos y teorías correspondientes a las enseñanzas preuniversitarias
- explorar su utilidad práctica en la teoría, proyecto y construcción de pequeñas estructuras de pasta de sémola, que representan soluciones (pequeñas) a los problemas estructurales canónicos en edificación (sostener pesos en altura—torres, sostener pesos entre dos extremos de un segmento horizontal—puentes, etc)
- conocer y manejar implícitamente (incluso si no se nombran como tales) un repertorio razonablemente amplio de conceptos clave en la teoría de estructuras: equilibrio, estabilidad, resistencia, rigidez, tracción, compresión, forma estructural, composición de piezas, unión de piezas, materiales y sus propiedades básicas, eficiencia estructural, representación de proyectos de estructuras, mecanización, montaje, trabajo en taller, trabajo en obra, tolerancia de fabricación, elasticidad, plasticidad, proporcionalidad, curvatura.
- **COMPETENCIAS ESPECÍFICAS** (según la Memoria del Plan verificada por la ANECA): CE1, CE2, CE3, CE5, CE7, CE11, CE24, CE34, CE36
- **COMPETENCIAS TRANSVERSALES** (según la Memoria del Plan verificada por la ANECA): CG1, CG2, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG11, CG13, CG16, CG17, CG19, CG20, CG21, CG24, CG25, CG26, CG28

PROFESORADO

Coordinador de la Asignatura: Mariano Vázquez Espí (Mariano.Vazquez.Espi@upm.es)
 Los horarios de tutorías se publicarán en la *web* de la asignatura.

DESCRIPCIÓN: PROGRAMA

Conocimientos previos. No se requiere nada especial, a parte de lo necesario para ingresar en el Grado.

La asignatura se organiza en cuatro bloques temáticos que comprenden 14 actividades diferenciadas.

Bloque 1: El material

Actividad **1. Objetivo del curso y presentación general. El material:** La pasta de sémola. Distintas composiciones, distintas formas. Peso específico y resistencia a tracción de formas simples de la pasta base (que servirá de referencia). Teoría de errores. Valores de las magnitudes que nunca (siempre) se superan.

Actividad **2. La composición del material:** ¿Influirá la proteína base en la resistencia? ¿Cómo probarlo? Pasta con/sin gluten, con/sin huevo (huevina), etc.

Bloque 2: Las piezas

Actividad **3. La forma de las piezas de la pasta seca:** Sphagetti, tallarín, macarrón: piezas aptas para formalizar estructuras. ¿Para que pueden servir estructuralmente las otras formas: hélices, conchas, etc? ¿Como estimar las propiedades de estas últimas?

Actividad **4. ¿Puede moldearse/modelarse la pasta mediante cocción sin perder resistencia?:** La cocción en fábrica *versus* la cocción gastronómica. Métodos de moldeo/modelado. Métodos de secado. Comparación entre la pasta de fábrica y la cocinada-secada. ¿Existen composiciones o formas que requieran pasta cocinada-secada? ¿Es factible un muelle de spaghetti?

Actividad **5. Compresión: aplastamiento y pandeo:** Esbeltez geométrica y resistencia. ¿Como determinar la rectitud de una pieza? Medida de tolerancias. Curva resistencia-esbeltez para cada tipo de sección. Ductilidad en la compresión por aplastamiento. Influencia de la forma de aplicación de la carga.

Actividad **6. Rigidez: módulos de Young; diagramas $\sigma - \epsilon$:** Nonius. ¿Cómo medir la deformación en compresión? Elástico/plástico; “Hiperelástico”. Ley de Hooke: proporcionalidad. Medida indirecta de los módulos de Young mediante la flexión.

Bloque 3: Las uniones

Actividad **7. Uniones: ¿qué pegamento? ¿para qué casos?:** Pruebas de pegamentos en uniones a tope y en uniones laterales a tracción. Tensión tangencial y adherencia.

Actividad **8. Uniones a compresión:** ¿Necesitan pegamento las uniones comprimidas?

Actividad **9. Nudos:** Uniones con piezas traccionadas y comprimidas: ¿quién abraza a quién?

Bloque 4: Pieza de piezas. Estructuras

Actividad **10. Como componer piezas con piezas para obtener el grueso que se quiera:** Piezas en serie y en paralelo. Piezas comprimidas compuestas por yuxtaposición: ¿pegamento o abrazaderas? Piezas formadas con piezas y nudos: la dificultad de lo pequeño.

Actividad **11. Realización de piezas a partir de planos:** Mecanización y replanteo. Uso de escantillones. ¿Serrar, cortar, lijar, . . . ? Como evitar la rotura frágil durante la mecanización.

Actividad **12. Montaje de la estructura (I):** Cimbras. Montaje en “taller” o en “obra”.

Actividad **13. Montaje de la estructura (II):** Tolerancia de fabricación. La perfección es imposible. . .

Actividad **14. Prueba de la estructura:** . Prueba de carga (sin rotura). Rigidez de la estructura: distorsión. ¿Cuánta seguridad tenemos? Prueba de carga hasta la rotura (solo para las personas o grupos que presten voluntariamente sus estructuras para ello)

MÉTODOS DOCENTES

Método	ETCS
Lección magistral (LM)	0,5
Enseñanza basada en prácticas (EP)	1,5
Aprendizaje basado en talleres docentes/proyectos (PBL)	4

Evaluación: Evaluación continua (EC)

3. Referencias y bibliografía

Además de las referencias citadas, son de interés las siguientes:

- French (1994): Una excelente introducción a los problemas mecánicos en el diseño de objetos. El capítulo 5, dedicado a las estructuras es una lectura básica. En la Biblioteca de la ETSAM.
- Sobre la pasta como material: Sung and Stone (2005)
- Experimentos y modelos con estructuras de pasta: Aznabaev et al. (2015)
- Mecánica y gastronomía: Giaccio et al. (2001)
- Propedéutica de la Mecánica: Mahendran (1995); Roth (1996)
- Torneos y concursos, con premios y sin ellos: Gaspar et al. (2013)

Referencias

en.wikipedia. Spaghetti Bridge. http://en.wikipedia.org/wiki/Spaghetti_bridge, 2015. since 2009.

Askar Aznabaev, Semen Bondarenko, Kirill Gureev, Daria Likhaya, Irina Loginova, Nikita Lopatin, Oleg Stolyarov, and Elena Yakovleva. Strength and Stability of Arched Frame Structures Made of Brittle Material. In *Applied Mechanics and Materials*, volume 725, pages 758–767. Trans Tech Publ, 2015.

Michael French. *Invention and Evolution. Design in Nature and Engineering*. Cambridge University Press, Cambridge (UK), second edition, 1994.

Pedro Dinis Gaspar, Anna D Guerman, Paulo Fael, and Carlos Fernandes. Knowledge and attitudes development through didactic competitions: Spaghetti bridge contest at ubi, 2013. URL http://www.researchgate.net/profile/Pedro_Gaspar5/publication/259184737_Knowledge_and_attitudes_development_through_didactic_competitions_Spaghetti_Bridge_Contest_at_UBI/links/02e7e52b0cfe395c07000000.pdf.

MARIO Giaccio, Franco di Giacomo, ANTONELIA Del Signore, TONIO Di Battista, Emiliano Colantonio, Michele Pizzuti, and Luigi Ciavarelli. Micro-structure as simple index to evaluate spaghetti quality. *RIVISTA DI MERCEOLOGIA*, 40(2):51–68, 2001.

Luis Alberto Segovia González, Inácio Benvegnu Morsch, and João Ricardo Masuero. Didactic games in engineering teaching-case: spaghetti bridges design and building contest. In *Proceedings of COBEM 2005 18th International Congress of Mechanical Engineering*, 2005.

GV Guinea, FJ Rojo, and M Elices. Brittle failure of dry spaghetti. *Engineering Failure Analysis*, 11(5):705–714, 2004.

Adolph Holliger. Improved method for testing macaroni products. *Cereal Chem*, 40:231–240, 1963.

Mahen Mahendran. Project-Based Civil Engineering Courses. *Journal of Engineering Education*, 84(1):75–79, 1995.

Wolff-Michael Roth. Art and artifact of children’s designing: A situated cognition perspective. *The Journal of the Learning Sciences*, 5(2):129–166, 1996.

Wen-Chieh Sung and Martha Stone. Microstructural studies of pasta and starch pasta. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(2):83–88, 2005.