



# Seguimiento de las nuevas metodologías docentes en Cálculo de Estructuras del Grado en Ingeniería Civil.

D. Bru, F.J. Baeza, S. Ivorra, E. Segovia, M. Navarro  
Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Civil  
blosgs.ua.es/gresmes/

Dentro de los cambios introducidos en el EEES, se incluyeron desde el curso 2011/2012 nuevas metodologías docentes en las asignaturas de Cálculo de Estructuras I y II en el Grado en Ingeniería Civil. En el caso de Cálculo de Estructuras I, se procedió a la incorporación de prácticas de laboratorio con diferentes tipologías de perfiles y materiales, de tal forma que el alumno se familiarizara con la realidad de las estructuras estudiadas en las clases de teoría. En el caso de Cálculo de Estructuras II, se procedió a la incorporación de prácticas con ordenador analizando diferentes software informáticos, de tal forma que el alumno fuera capaz de estudiar estructuras complejas. De esta manera, el objetivo principal de la RED en la que se enmarca el presente trabajo, es el seguimiento continuo y mejora de los materiales y prácticas docentes elaborados en dichas asignaturas. Por tanto, se han recogido los resultados tras los dos primeros años de docencia para analizar el efecto de los cambios metodológicos en la evaluación continua de los alumnos.

## 1. SITUACIÓN INICIAL Y RETOS PARA EL NUEVO PLAN DENTRO DEL EEES.

La siguiente tabla incluye la redistribución de asignaturas de cálculo de estructuras de los dos primeros cursos del Grado en Ingeniería Civil. Esta reestructuración para ajustar el plan de estudios al EEES supone un recorte de créditos docentes que debe suplirse con nuevas metodologías.

Curso	ITOP	Ingeniería Civil
1º	Mecánica	Mecánica 6
2º	Resistencia de Materiales y Cálculo de Estructuras	Cálculo de Estructuras I 7.5 Cálculo de Estructuras II 6



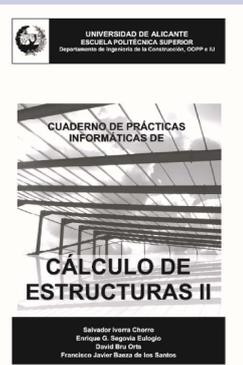
Por otro lado, y gracias a la colaboración del grupo IC+ y de la EPS, se realizaron diferentes videos-tutoriales de las sesiones de teoría desarrolladas en el último cursos de Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Actualmente, dichos videos son una herramienta eficaz para los estudiantes de las asignaturas de Cálculo de Estructuras I y II, que han sustituido a la asignatura de Resistencia de Materiales y Cálculo de Estructuras. De esta forma, y pese a la reducción de las horas de teoría en el aula, y dado que los nuevos créditos ECTS fomentan el estudio por parte de los alumnos fuera del horario docente, estos videos permiten reforzar la formación teórica del alumno mediante recursos virtuales, sirviendo de repaso a los conceptos no asimilados presencialmente.

## 2. CAMBIOS EN CÁLCULO DE ESTRUCTURAS I.



### Sesiones de Prácticas CEI

- 1 Constantes Elásticas
- 2 Ley de Navier
- 3 Elasticidad
- 4 Flexión compuesta y Esviada
- 5 Flexión: Tensiones y Movimientos
- 6 Flexión Simétrica
- 7 Flexión Asimétrica
- 8 Torsión en perfiles circulares cerrados
- 9 Torsión en perfiles abiertos
- 10 Reciprocidad



### Sesiones de Prácticas CEII

- 1 Uso básico de Sap2000
- 2 Hipótesis básicas y combinación de cargas
- 3 Líneas de Influencia
- 4 Estructuras planas de nudos articulados
- 5 Estructuras planas de nudos rígidos
- 6 Simetrías y Antisimetrías
- 7 Emparrillados



## 4. NUEVOS MATERIALES DOCENTES REDES 2013.

Dentro de la Red que coordina el seguimiento de estas dos asignaturas se han seguido preparando materiales docentes para complementar la formación del alumnado durante las prácticas de laboratorio diseñadas durante el primer año de la red. A continuación se incluyen dos ejemplos de los carteles montados para explicar algunos conceptos esenciales del programa.

### Esfuerzos internos en estructuras

## ESFUERZO AXIL

**Introducción**

Un prisma mecánico está sometido a esfuerzo AXIL, puro (compresión o tracción) cuando al realizar un corte por cualquier sección recta el tensor de las fuerzas que actúan sobre la parte cortada se reduce a un tensor de grandad de la sección al esfuerzo normal. Por lo tanto, en todas las secciones rectas del prisma se aplican al esfuerzo cortante y las acciones forzar y factor.

Por convenio, el signo positivo se asocia al axil de tracción y el signo negativo al axil de compresión. Aunque desde el punto de vista formal la tracción y la compresión no difieren más que en el signo del esfuerzo, pueden existir diferencias sustanciales entre estos dos modos de carga.

Aunque en la que sigue se consideran apenas secciones de línea media rectilíneas (líneas TENSORES Y DEFORMACIONES DE UN PRISMA MECÁNICO RECTO PRODUCIDAS POR AXIL), en algunos casos el prisma mecánico trabaja a tracción o a compresión siendo curva su dirección, como ocurre en los cables o en las arcos hipercáuticos.

Un ejemplo clásico de estructura con esfuerzos axiales es el de las ESTRUCTURAS DE BARRAS ARTICULADAS.

---

### TENSIONES Y DEFORMACIONES DE UN PRISMA MECÁNICO PRODUCIDAS POR AXIL

Se considera un sólido prisma fabricado en acero (Tabla 1 de longitud  $L$ , sección arbitraria  $S$  constante, y empujado en uno de sus extremos, bajo las siguientes dos condiciones de carga: sometido a la acción de su peso específico y (Figura 1) y sometido a una carga exterior  $P$  centrada en su extremo libre (Figura 2).

**PRISMA SOMETIDO A LA ACCIÓN DE SU PESO ESPECÍFICO**

ESQUEMA DE CARGAS, DIAGRAMA AXIL, TENSOR DE TENSIONES, TENSOR DE DEFORMACIONES, LEY MOVIMIENTOS Y ALARGAMIENTO TOTAL.

**PRISMA SOMETIDO A UNA CARGA EXTERIOR  $P$  CENTRADA EN SU EXTREMO LIBRE**

ESQUEMA DE CARGAS, DIAGRAMA AXIL, TENSOR DE TENSIONES, TENSOR DE DEFORMACIONES, LEY MOVIMIENTOS Y ALARGAMIENTO TOTAL.

---

### ESTRUCTURAS DE BARRAS ARTICULADAS

Se llama estructura articulada a aquella formada por piezas prismáticas unidas entre sí mediante articulaciones (Figuras 3) y 4).

Dado que los enlaces articulados no permiten transmitir momentos flexionales de una pieza a otra, las barras de una estructura articulada trabajan únicamente a esfuerzo axial (Figuras 5) y 6), ya que la única reacción a la que pueden estar sometidos es la debida a las cargas transmitidas que actúan directamente sobre ellas.

Esta tipología estructural, sobre todo a través de la disposición de pórticos planos, se emplea muy frecuentemente tanto en edificación arquitectónica como industrial.

ESQUEMA DE CARGAS, AXILES DE COMPRESIÓN, AXILES DE TRACCIÓN.

### Esfuerzos internos en estructuras

## ESFUERZO CORTANTE

**Introducción**

Un prisma mecánico está sometido a esfuerzo CORTANTE cuando al realizar un corte por cualquier sección recta el resultado de las fuerzas cortadas a un lado de la misma será contenido en su plano.

Si el momento resultante es nulo, se dice que esa sección del prisma trabaja a cortadura pura (línea ESFUERZO CORTANTE PURO).

No obstante, si existe un esfuerzo cortante, en las secciones próximas estará también un momento, es decir, se es posible que en un tramo finito de un prisma mecánico se dé un estado de cortadura pura (línea RELACIÓN ENTRE ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR).

En caso frecuente es el de un prisma sometido a flexión simple, donde además del momento flector actúan esfuerzos cortantes (línea ESFUERZO CORTANTE EN FLEXIÓN SIMPLE).

---

### ESFUERZO CORTANTE PURO

En el cálculo de elementos de viga, como tranchía o cordones de soldadura, se suele aplicar la hipótesis de que el esfuerzo cortante y la intensidad del momento flector en todas las secciones. Esto es aceptable porque en estas situaciones las tensiones y deformaciones debidas al cortante son mucho mayores que las debidas al flector.

**CORTADURA SIMPLE**

ESQUEMA DE FUERZAS, CÁLCULO DEL PERNO.

**CORTADURA DOBLE**

ESQUEMA DE FUERZAS, CÁLCULO DEL PERNO.

---

### RELACIÓN ENTRE ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

Se considera una carga uniformemente repartida y actuando entre dos secciones infinitesimalmente próximas de una viga, las cuales están sometidas a esfuerzo cortante  $T$  y a momento flector (Figura 1).

Teniendo en cuenta respecto al centro de gravedad de la sección situada a la derecha, e ignorando los efectos de las fuerzas cortadas  $T$  y  $T + dT$  en el caso de carga repartida como puntiforme, se puede observar en esta expresión no interviene la carga. Por tanto, esta expresión es aplicable tanto en el caso de carga repartida como puntiforme.

El esfuerzo cortante de una viga sometida a flexión simple coincide con la derivada de la función momento flector en esta sección.

Basándose en esta propiedad se puede obtener el diagrama de esfuerzos cortantes por derivación del de los momentos flectores. Inicialmente, dado el diagrama de esfuerzos cortantes se obtiene, por integración, el de momentos flectores.

Para determinar la relación entre carga y cortante se establece el equilibrio de fuerzas:

$$T = \frac{dM}{dx} \Rightarrow T dx = dM \Rightarrow T = \frac{dM}{dx}$$

El producto de la función de esfuerzos cortantes coincide en cada sección con el valor de la carga aplicada, cambiada de signo.

---

### TENSIONES POR ESFUERZO CORTANTE EN FLEXIÓN SIMPLE

Las secciones rectas de un prisma sometido a flexión simple, inicialmente planas, presentan después de la deformación curvas debido al esfuerzo cortante.

Para distinguir los dos siguientes casos el cálculo de piezas con secciones macizas, donde juegan un papel importante las tensiones normales debidas al momento flector y luego poco importantes las tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante, y el cálculo de piezas con secciones de pared delgada, donde el conocimiento de uno u otro influyen las tensiones tangenciales presenta un extraordinario interés.

---

### SECCIONES MACIZAS

Se considera un elemento de un prisma mecánico sometido a flexión simple comprendido entre dos secciones rectas infinitesimalmente próximas (Figura 1).

Se corta este elemento por un plano a una distancia  $x$  del centro de gravedad de la parte superior (Figura 2).

Los resultados de las fuerzas normales en las secciones cortadas y derivadas son:

$$N = \int_A \sigma dA = \int_A E \epsilon dA = E \int_A \epsilon dA = E \int_A \frac{y}{\rho} dA = E \frac{1}{\rho} \int_A y dA = E \frac{1}{\rho} S \bar{y}$$

Si diferencia tiene que ser equilibrada por el resultado de las fuerzas tangenciales en la sección longitudinal. De acuerdo con el teorema de reciprocidad de las tensiones tangenciales, que tensiones tangenciales en las caras de la "lámina diferencial" con normal en el eje  $x$  coinciden con las tensiones normales. Admitiendo que las tensiones tangenciales se repartían uniformemente a lo largo del ancho de la "lámina diferencial":

$$\tau = \frac{dM}{dx} \frac{d\epsilon}{dy} = \frac{dM}{dx} \frac{1}{\rho} = \frac{dM}{dx} \frac{y}{\rho}$$

Se diferencia tiene que ser equilibrada por el resultado de las fuerzas tangenciales en la sección longitudinal. De acuerdo con el teorema de reciprocidad de las tensiones tangenciales, que tensiones tangenciales en las caras de la "lámina diferencial" con normal en el eje  $x$  coinciden con las tensiones normales. Admitiendo que las tensiones tangenciales se repartían uniformemente a lo largo del ancho de la "lámina diferencial":

Aplicación a una viga de sección rectangular. Tensiones tangenciales TANGENCIALES en la sección transversal. Tensiones tangenciales NORMALES en la sección longitudinal.

---

### SECCIONES DE PARED DELGADA

Se considera como ejemplo el perfil delgado representado en las Figuras 3) y 4) sometido a una carga vertical distribuida en el plano  $xy$ .

Al considerar un corte macizo a la línea media del cortante, el momento para calcular el valor de la tensión cortante  $\tau$  es idéntico al seguido para la obtención de la fórmula de Colongou.

Un análogo, existe una diferencia notable respecto a los perfiles de sección maciza, mientras que allí se supone que la tensión cortante tiene la dirección del eje vertical, en los perfiles de pared delgada las tensiones tangenciales son paralelas al centro y concuerden a lo largo del eje  $x$ .

## 5. CONCLUSIONES.

Tras dos años de docencia con las nuevas metodologías de enseñanza y evaluación continua, se puede concluir que la tendencia en la tasa de éxito, tiende a alcanzar los valores de las asignaturas del plan antiguo, y evaluados con las anteriores metodologías de enseñanza, por lo que no es posible asegurar una mejora significativa con el actual sistema. Sin embargo, sí que puede confirmarse que la nueva metodología de enseñanza no ocasiona una disminución de lo que a la tasa de éxito se refiere, tal y como parecían haber mostrado los primeros resultados obtenidos en la asignatura de Cálculo de Estructuras I.

Por otro lado en relación a las variables utilizadas para el seguimiento de la evaluación continua de los estudiantes, puede concluirse que tanto los docentes como los alumnos están en un proceso de adaptación. Pero sin embargo, tras los resultados del segundo año de docencia, se ha observado que la mejor adaptación de ambos grupos al nuevo sistema de evaluación, junto con la continua mejora del material didáctico, han demostrado una clara tendencia al alza en la relación de dichas variables con la nota final obtenida por los estudiantes en ambas asignaturas.