

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL SISTEMÁTICO. TEORÍAS, TÉCNICAS Y APLICACIONES. SU MAPA CONCEPTUAL COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA Y DE INVESTIGACIÓN.

*Faustino Gimena, Pedro Gonzaga y Lázaro Gimena, Universidad Pública de Navarra, España  
Email: lazaro.gimena@unavarra.es, www.unavarra.es*

**Resumen.** Este trabajo es un esbozo de la pretensión de los autores de articular un discurso lógico sobre las formas estructurales cuya materialización exige el ejercicio previo de las actividades técnicas y creativas del diseño y la comprobación mediante el cálculo. Es esta una intención que se pretende sostener en el tiempo, dado que como sucede con gran parte de los hechos del conocimiento, el Análisis Estructural, sufre constantes transformaciones y no resulta abarcable en su totalidad. La comunicación, exposición y debate del trabajo investigador, puede ser una herramienta más de la investigación. En este sentido se plantea este artículo como un instrumento de búsqueda del discurso lógico antes citado.

### 1 Introducción

El Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras, es un modelo de análisis aplicable al diseño y cálculo de estructuras, admisible por parte de la Resistencia de Materiales. El acercamiento a su didáctica parte de la necesidad general de transmisión del conocimiento desde dos argumentos. En primer lugar, didáctica como herramienta externa a los propios métodos de cálculo, cuyo conocimiento o no, condiciona el diseño (en estructuras se proyecta lo que se puede comprobar). En segundo lugar, didáctica como herramienta de revisión y crítica que sirva para la continuación de la investigación, buscando la perfectibilidad en las aplicaciones prácticas. El mapa conceptual que se presenta, permite una reordenación de la estructura de conceptos en los que se basa el modelo sistemático presentado. Con él se trata de explicitar la secuencia de conceptos entrelazados que lo constituyen.

### 2 Análisis Estructural

El Análisis Estructural es la parte del proceso de proyecto que comprende el diseño, cálculo y comprobación de la estructura. Es esta una disciplina técnica y científica que permite establecer las condiciones de idoneidad de la estructura, respecto a su cometido o finalidad. Por tanto, tiene establecido su objeto en la estructura y su finalidad en el cálculo como comprobación de lo diseñado.



Figura 1. Análisis Estructural: Disciplina técnica y científica.

### 3 Método y contenido

Los aspectos metodológicos y los contenidos fundamentales del trabajo investigador *Análisis Estructural Sistemático*, pueden sintetizarse en dos órdenes de objetivos. En el orden metodológico, mostrar los procedimientos de trabajo empleados, una reflexión sobre la necesidad del diseño y la comprobación estructural y las implicaciones de otros conocimientos en el Análisis Estructural. En el orden de los contenidos (teorías, técnicas y aplicaciones) (Leiceaga, 1998), exponer el proceso de concreción del modelo, su puesta en práctica y sus capacidades para abarcar la comprobación de estructuras.

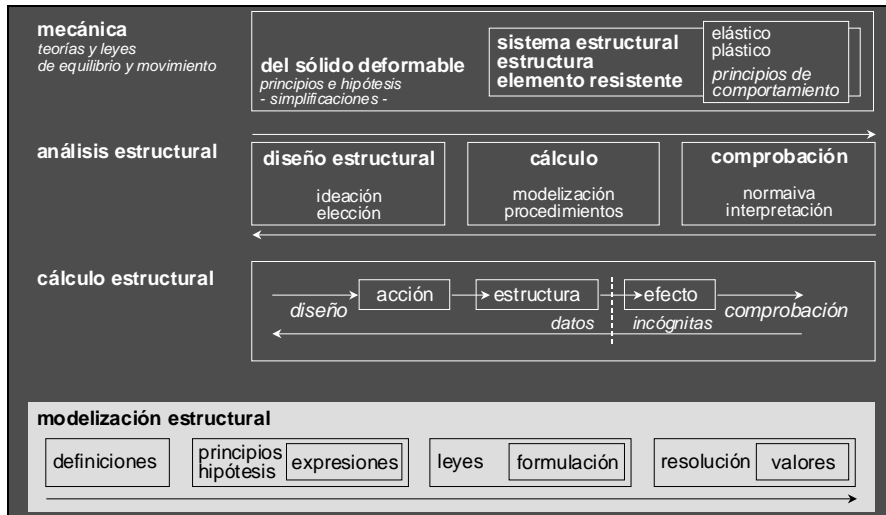


Figura 2. Predicción del comportamiento mecánico del sólido deformable estructural.

### 4 Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras

La comprobación de la seguridad, rigidez y durabilidad exigibles a cada elemento resistente de una estructura, debe ser precisa e inmediata. No deben ser necesarios para el cálculo más datos que los de las condiciones formales y materiales del diseño, junto a las consideraciones normativas propias del sistema de acción y del material. A su vez, tanto los conocimientos como los instrumentos necesarios para abordar la determinación del Efecto en la Sección mediante el cálculo no deben suponer un esfuerzo intelectual o formativo añadido al diseño. La idoneidad de los procedimientos debe traducirse en exactitud, programabilidad e inmediatez de comunicación.

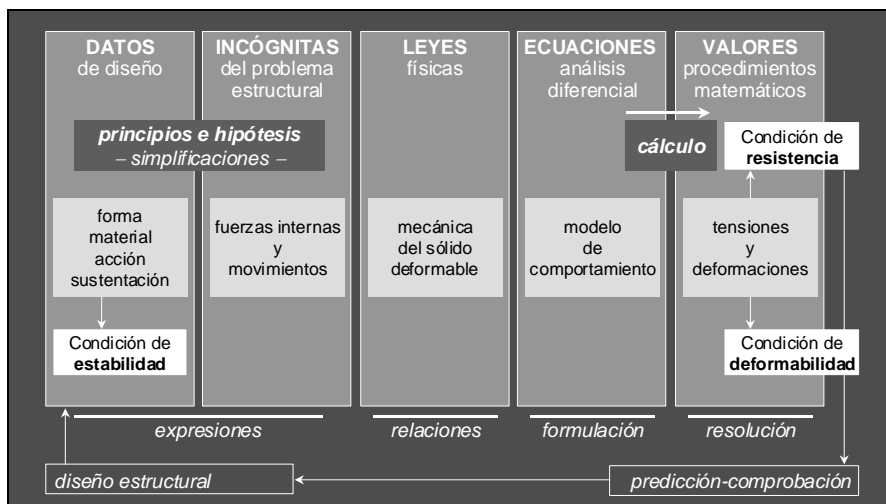


Figura 3. Modelo genérico de Análisis Estructural.

## 5 Teorías, técnicas y aplicaciones

### 5.1 Teorías. Definiciones, simplificaciones y formulaciones

Se parte aquí del análisis de los términos que se emplean para expresar verbal y matemáticamente los conceptos del hecho estructural. La reescritura de las simplificaciones de partida permite traducir a su expresión matemática, gráfica y simbólica, las condiciones formales y materiales de la estructura, las acciones, los efectos, y las condiciones de sustentación. La aplicación de las leyes de equilibrio, comportamiento y compatibilidad sobre las expresiones, empleando la geometría y el análisis diferencial, se concreta en una formulación que representan el comportamiento mecánico de la estructura (*sistema del efecto en la sección*). Las generalizaciones de la formulación permiten que las incógnitas de sollicitación y deformación dependan de un parámetro diferente al arco. Mediante particularizaciones, el sistema del efecto puede subdividirse en subsistemas, idóneos para abarcar condiciones particulares de forma y de sistema de acción, en las que predominen determinado tipo de efectos.

### 5.2 Técnicas. Procedimientos de cálculo

En la sistematización del modelo se ha establecido la secuencia de operaciones analíticas, numéricas y gráficas, que permite resolver el sistema del efecto. Conceptualmente, las tres resoluciones implican operaciones análogas. Se obtiene un haz de soluciones del problema, dependientes de la forma, material y sistema de acción. La solución, se concreta al aplicar sobre el haz las condiciones de sustentación. Resolviendo el sistema de ecuaciones diferenciales lineales, es posible plantear la solución exacta del problema. Si la geometría o la acción son complejas, la resolución analítica puede ser costosa. En estos casos, la resolución numérica ofrece valores del efecto suficientemente aproximados en la práctica. Esta resolución es programable. Por analogía con la resolución analítica, la obtención del haz gráfico de soluciones se lleva a cabo mediante integraciones y operaciones gráficas auxiliares.

### 5.3 Aplicaciones. Ámbito y herramientas

El modelo se aplica actualmente en el cálculo de estructuras conformadas por elementos resistentes lineales. Se ha comprobado la idoneidad de piezas y estructuras diseñadas, obteniéndose en todos los casos, valores similares del efecto a los que ofrecen otros métodos. Se han calculado piezas y estructuras que por sus condiciones particulares no son abordadas habitualmente por otros métodos. El modelo cuenta con formularios informáticos, que automatizan el cálculo. A su vez, se han desarrollado programas para abarcar problemas estructurales muy diversos. También se ha generado un material geométrico a partir de la resolución gráfica, implementable en un sistema de CAD convencional.

sistema del efecto									
solicitaciones esfuerzos			deformaciones movimientos				acciones		
esfuerzo normal	esfuerzos cortantes	momento torsor	momentos flectores		giro torsor	giros transversales	desplazamiento longitudinal	desplazamientos transversales	acciones
$t$	$DN - \chi V_n$								$+ q_t = 0$
$n$	$\chi N + DV_n - \phi V_n$								$+ q_n = 0$
$b$	$\phi V_n + DV_b$								$+ q_b = 0$
$t$		$DT - \chi M_n$							$+ k_t = 0$
$n$	$- V_b + \chi T + DM_n - \phi M_n$								$+ k_n = 0$
$b$	$V_n + \phi M_n + DM_b$								$+ k_b = 0$
$t$		$\frac{T}{GI_t}$			$+ D\phi - \chi\theta_n$				$- \Theta_t = 0$
$n$		$-\frac{M_n I_n}{E[I_n I_n - I_n^2]}$	$-\frac{M_b I_b}{E[I_b I_b - I_b^2]}$	$+\chi\phi$	$+ D\theta_n - \phi\theta_n$				$- \Theta_n = 0$
$b$		$-\frac{M_n I_n}{E[I_n I_n - I_n^2]}$	$-\frac{M_b I_b}{E[I_b I_b - I_b^2]}$	$+\phi\theta_n + D\theta_b$					$- \Theta_b = 0$
$t$	$\frac{N}{EA}$						$Du - \chi v$		$\Lambda_t = 0$
$n$	$-\frac{\alpha_n V_n}{GA} - \frac{\alpha_n V_b}{GA}$					$- \theta_n$	$+\chi w + Dv - \phi w$		$\Lambda_n = 0$
$b$	$-\frac{\alpha_n V_n}{GA} - \frac{\alpha_n V_b}{GA}$					$+ \theta_n$	$+\phi w + Dw$		$\Lambda_b = 0$

Figura 4. Formulación general del modelo.

## 6 Una propuesta de Mapa Conceptual: Efecto en la sección y Análisis Estructural

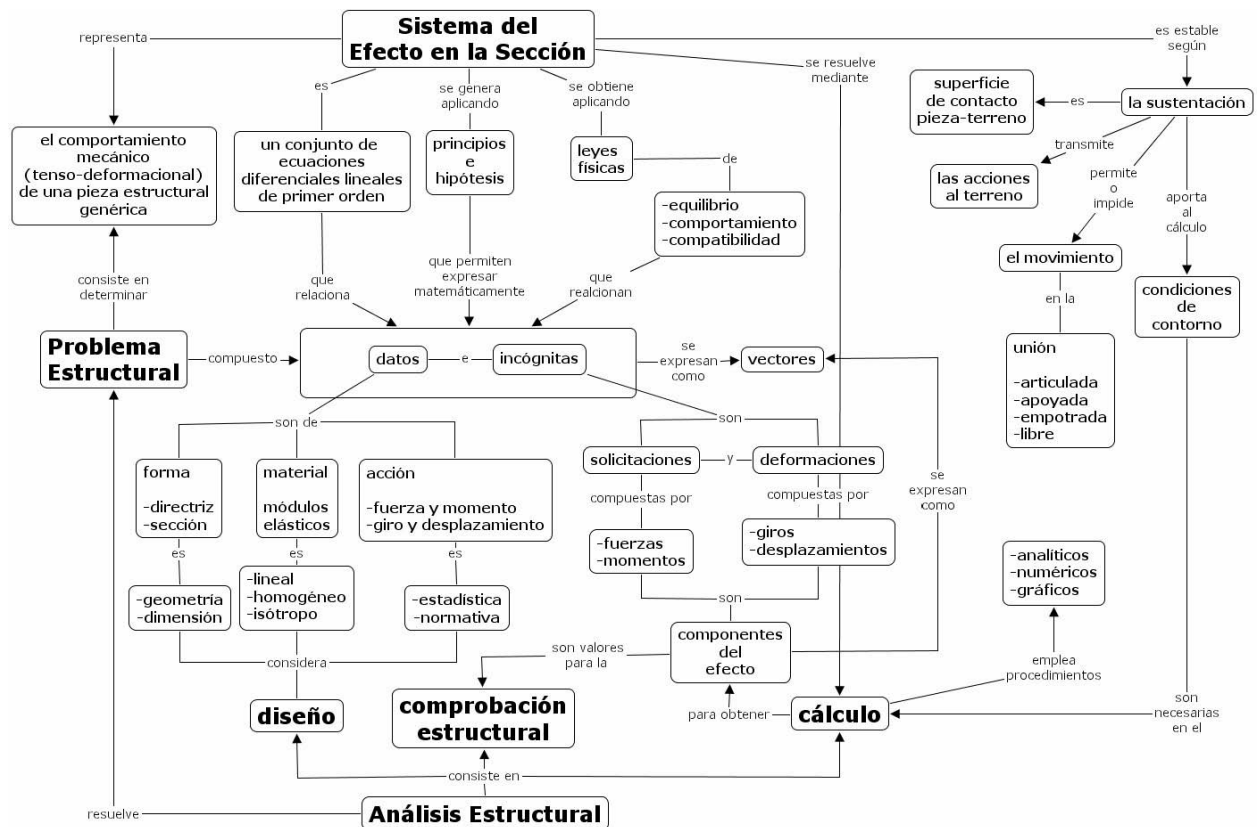


Figura 5. Análisis Estructural Sistemático.

## 7 Conclusiones

Las teorías y técnicas contenidas en el Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras no garantizan por sí mismas, el objetivo de integrar cálculo y diseño. Por ello, junto a otras líneas de trabajo, la investigación incide en aspectos metodológicos relativos a la transmisión del conocimiento, en este caso de tipo estructural. La mayor o menor dificultad en la transmisión del modelo, es conclusión y origen de la investigación. Conclusión por implicar la necesidad de sistematización y origen al intentar explicar un fenómeno físico mediante un modelo explicativo causal. En el Análisis Estructural, confluyen la actividad de proyectar, relacionada con las ideas de necesidad y creatividad, y la de investigar, como ejercicio sistemático de la razón que construye la Ciencia. Proyecto e Investigación, que frente al interrogante o necesidad, y principalmente a través de la duda, tratan de dar respuesta.

## Referencias

- Gimena, F.N. y Gonzaga, P. (1998). *Diseño de estructuras lineales. Un modelo sistemático de Análisis Estructural*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra. Colección Ingeniería, 1.
- Hengel, H. (2001). *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.
- Leiceaga, X. (1998). Calidad en la docencia universitaria. Estrategia de innovación educativa (I y II). Asociación española para la Calidad (Ed.), *Revista "Calidad"*, nº 3 y 4/98.
- Novak, J. D. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Madrid: Ediciones Martínez Roca, S.A.
- Pozo, J.I. Del. (1987). *Aprendizaje de la Ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor Libros, S.L. Serie Aprendizaje, 181-252.