

## A FONDO

# Divagaciones Estructurales

Dr. Emilio R. Mosquera Rey

Aparejador de Obras y Profesor de Estructuras de Edificación



## Una concepción clásica

La arquitectura y la edificación están íntimamente unidas en sus definiciones y probablemente, la primera supuso el estado artístico de la segunda, y no solo eso; monumentalidad, mobiliario, espacios públicos, paisajismo, urbanismo, etc..., son conceptos ligados inevitablemente a la arquitectura. En este sentido cabría la siguiente definición clásica arcana de la arquitectura **“La arquitectura abarca la consideración de todo el ambiente físico que rodea la vida humana....”**. Leonardo da Vinci, definía al arquitecto **“Como un individuo que domina todos los conocimientos científicos y artísticos de su época”**. A finales del siglo XIX, Alberto de Palacio, bilbaíno de procedencia, claro, se consideraba y proclamaba **“Ingeniero y Licenciado en exactas, Médico, Astrónomo y Arquitecto”**, realmente el único título oficial que ostentaba era el de arquitecto. Y, por último, hay muchos autores que establecen un cierto orden claramente poético.

### *Eupalinos (arquitecto) a Fedor y Sócrates:*

**“.....ese templecillo que levanté para Hermes, a algunos pasos de nosotros, ¡Si supieseis lo que es para mí! - Donde no distingue el transeúnte más que una elegante capilla - poquita cosa.... - Cuatro columnas - puse el recuerdo de un día claro de mi vida. ¡Oh dulce metamorfosis!. Este templo delicado, sin que nadie lo sepa, es imagen matemática de una moza de Corinto a la que amé venturosamente. Fielmente reproduce sus particulares proporciones. Para mí, el templo vive y me devuelve lo que le di”**.

**Independiente del evidente valor poético, que lo tiene, una interpretación sintética libre, hecha por un amigo (arquitecto técnico), sería: “¡Non che ahi como a casña de un! - Fedor”**.

Por el contrario, la edificación se relaciona más con el concepto industrial de la actividad, con aspectos tecnológicos y por tanto repetitivos, optimizados y sistemáticos de los edificios. Aunque Antonio Miranda, respecto de esto, tiene comentado en la revista “Arquitectos”, en el año 1989:

**“Así como la cirugía viene a suplir los errores de la medicina, las técnicas sectoriales de la arqui-**

**tectura se hacen imprescindibles ante el fracaso del proyecto arquitectónico..... La industria de la construcción, entregada al máximo lucro, se mueve entre tres circunstancias: a) logística deficiente, b) tacañería con sus empleados, y c) fraude en la calidad de los materiales”**.

## Arte y Oficio Profesional y Ciencia Positiva

Los aspectos resistentes o estructurales forman parte de ambas disciplinas, pues a ambas dan sustento. El concepto resistente puede ser arquitectónico en sí mismo o puede ser un aspecto técnico más del hecho edificatorio, sin llegar a tener requerimiento arquitectónico y por tanto ser tratado como una tecnología necesaria para conseguir un fin, por ejemplo: aspectos económicos, temporales, resistentes, sociales, etc.

En todo caso, los aspectos estructurales de la edificación no solo toman los conocimientos de **“la ciencia positiva”** (elasticidad, plasticidad, resistencia de los materiales, geometría de masas, etc...), también de otras actividades diversas, en función de diversos requerimientos, lo que podríamos llamar **“el arte y oficio profesional”**, (conocimientos físico de los materiales, rendimientos de producción, procesos constructivos, aspectos económicos, sociológicos, locales, etc...).

Ciencia Positiva ↔ Arte y Oficio Profesional

Por otro lado, en la historia reciente, de la que participo, siempre se tuvo claro que el cálculo de la estructura de edificación, tiene un papel puramente secundario en el proceso del proyecto y que la labor puramente mecánica debe trasladarse a un carácter auxiliar y dejar el mayor tiempo posible a la comprensión profunda del comportamiento de la estructura. Decía Carlos Fernández Casado **“Intuición y experiencia son las dos fuentes vivas a las que ha de acudir el que proyecta... Tenemos un arte y una ciencia de la construcción. Hay que mantener ambas direcciones en equilibrio, pues romperlo conduciría de un lado a la fantasía irresponsable, y de otro, a la pedantería cerril... ”**.

## Divagación histórica reciente

Con el objeto de contextualizar, la actividad del cálculo de estructuras de edificación, debemos recordar ciertos

hitos referenciales históricos, que fueron y siguen, modelando la ciencia positiva y el arte y oficio profesional.

Ya desde Navier en 1828, a nivel internacional, los planteamientos científicos están claros para el régimen lineal; La cuestión se plantea en combinar las condiciones de equilibrio con las compatibilidades de los movimientos mediante las leyes de los materiales, así se proponen, los métodos de la flexibilidad y de la rigidez, según se busquen esfuerzos o deformaciones. El proceso numérico se reduce a la resolución de un sistema de ecuaciones lineales. Sin embargo, aunque el enfoque de la rigidez, es el más natural, la necesidad de la resolución de un gran número de ecuaciones lineales, lo hacía, en aquel entonces, impracticable. Esta es la razón por la que los técnicos del siglo XIX y principios del XX, se inclinan por el método de la flexibilidad, bajo básicamente, tres condicionantes: La estática gráfica (Culmann); Los métodos energéticos (Castigliano); Y teoremas de continuidad (Mohr).

La elasticidad, como cuerpo de doctrina, se populariza en los sistemas ingenieriles La escuela Rusa, (Timoshenko), conduce a una proliferación de un enfoque de la elasticidad más matemático que físico.



A principios del siglo XX, aparecen los primeros métodos, sobre estructuras continuas, que ponen de manifiesto que el estado tensional es función del giro de los extremos de las barras y de los desplazamientos relativos entre estos. El problema sigue siendo como resolver los enormes sistemas de ecuaciones.

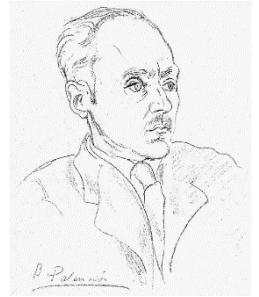
Un gran paso para la popularización del cálculo de estructuras continuas, que claramente están en auge en 1920-30, con el desarrollo del hormigón armado, lo supone la publicación del método de la propagación de momentos, debido a Hardy Cross, aproximadamente sobre 1930. El método muestra a través de procesos iterativos de reparto y propagación de momentos, en función del concepto de la rigidez de las barras, el sentido físico del comportamiento estructural. Inicialmente, no tiene una gran acogida entre los teóricos de la elasticidad; es notoria la incapacidad de Timoshenko para reconocer la originalidad del método, alegando un artículo, escrito en croata, en 1923, por Calisev, donde indica que ya se proponía un método iterativo; posteriormente libera, explícitamente, a Cross de la acusación de plagio.



El método de Cross podría decirse que transformo el mundo técnico, no solo por su sencillez, también por el

conocimiento que supone del hecho físico e intuitivo del comportamiento estructural. Es curioso, que Cross, a riesgo de ser despedido, es acusado por el director de su departamento, de que no tenía capacidad de publicación. Algunos autores teóricos no reconocieron nunca, la justificación del éxito mundial, y casi un siglo después sigue siendo un método perfectamente válido para análisis estructural de estructuras continuas. Sus detractores siempre han querido verlo como un esquema iterativo de tipo Jacobi; pero que yo sepa, Jacobi nunca diseño o verifico una estructura continua.

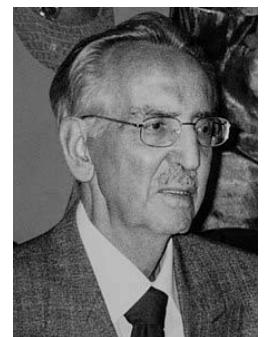
En España, la elasticidad y la resistencia de materiales, a pesar de tener grandes teóricos, no ha tenido importantes aportaciones originales, siempre se mantuvo una vinculación con las publicaciones extranjeras, en concreto las escuelas francesas y alemanas. Entre muchos autores se puede destacar a Zafra, como profesor, con una magnífica publicación sobre hormigón armado, con claras referencias a Castigliano, Mohr y Timoshenko. Carlos Fernández Casado, coetáneo de Eduardo Torroja y otros importantes técnicos, marca, a mi modo de ver, y siempre desde un punto de vista de la estructura edificatoria, una clara referencia, en su época. En el año 1934, publica "Calculo de Estructuras Reticulares", obra maestra, por muchas razones y se contraponen al ambiente técnico en ese momento, que él refería como **"... no disponemos de métodos de cálculo eficaces para las estructuras más frecuentes...."**.



Fundamentado en Cross, propone, orgánicamente, un proceso general, sencillo y riguroso, que facilita y divulga los aspectos prácticos de las estructuras continuas. Posteriormente en 1948, publica, en la misma línea, "Estructuras de Edificios", que proporciona la popularización de sus proyectos estructurales, con ejemplos claros y precisos, detalles constructivos y argumentaciones tipológicas estructurales en la edificación. Se cuenta como anécdota, (no puedo garantizar su veracidad), que estando en Nueva York, en una librería técnica, buscando novedades, el librero le aconseja, como recomendables, las publicaciones citadas, sirva la anécdota para valorar su aportación, que por cierto, según tiene publicado su hijo Fernández Troyano, **"... fueron libros de texto en todo el mundo y paradójicamente en la Escuela de Caminos de Madrid, siempre se ignoraron...."**.

**Nuestro entorno**

Como suele decir mi amigo y profesor Manuel Martín; En nuestra época (1970-80), solo teníamos como referencias claras y populares, los Jiménez (Jiménez Montoya y Jiménez Salas). No significa que no existiesen referencias importantes en el ambiente técnico especializado, pero si, que el comentario refleja,



en el ámbito estructural de la edificación, una realidad práctica. Es cierto que esta realidad cambió rápidamente con la presencia de las aplicaciones informáticas.

Pedro Jiménez Montoya, inicialmente con formación académica matemático, se introduce en el mundo de la construcción estructural a través de la Escuela Superior del Ejército, obteniendo el título de Ingeniero de Construcción. Es importante conocer el contexto tecnológico español, cuando publica su libro "Hormigón Armado", del que ya se dispone de la 16ª edición. A partir de 1970 ya es un best seller, y desde la 7ª edición, figuran como coautores los profesores Álvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabré. **"Todos teníamos el Montoya"**.

Las otras obras de referencia son en 1951 "Mecánica del Suelo" y sobre todo, en 1971, "Geotecnia y Cimientos", en tres volúmenes, ambas del otro Jiménez, José Antonio Jiménez Salas, obras de referencia, no solo es España también en toda América Latina.

Se me hace imposible, en esta breve historia subjetiva, no referenciar a Álvaro García Meseguer, con el que tuve una importante relación personal, a través de la Escuela de la Edificación de Madrid, como un gran divulgador popular, no solo técnico, también humanístico. Dispuesto siempre a poner sus consejos técnicos, al alcance de cualquiera que lo requiriese. Recuerdo y conservo, con gran cariño, sus cartas sobre cierto artículo de la "EH" que consideraba, él, "claramente excesivo" y es cierto, que en cierto modo, el aspecto normativo, que está para ayudar, tiene un componente de exceso impreciso y por consiguiente "pedantería cerril", que decía Fernández Casado. Con toda rotundidad, se ha de decir, que ha contribuido a través de sus cursos y publicaciones a la popularización del conocimiento práctico del hormigón armado, siempre relativizando profesión y destino.



Una referencia mediática de relevancia lo constituye la publicación, "Cálculo, Construcción y Patología de forjados de Edificación", en 1981, de José Calavera Ruiz, publicada por Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), como resultado de la experiencia formativa de dicho Instituto. Esta empresa, creada en Madrid, sobre los años 1970, concedora de una situación general, de la escasa formación práctica-profesional, que tenían los técnicos en edificación. Plantea unos programas formativos para técnicos de la edificación, cuyo objetivo era, básicamente, jerarquizar y ordenar, de forma práctica, los conocimientos adquiridos en las Escuelas Técnicas, con planes de formación académicos-teóricos con origen en las enseñanzas de la mecánica clásica. El resultado fue un tremendo éxito, al acercar los procedimientos operativos a las condiciones reales de la práctica constructiva en ese momento. A partir de aquí surge la proliferación de cursos y publicaciones, como material de trabajo de los propios cursos, también publicaciones

trimestrales, "Cuadernos de Intemac"; Notas técnicas, sobre temas concretos y trabajos monográficos. En la primavera de 1977, y durante cuatro meses, he podido asistir al segundo curso de especialistas en Hormigón Armado, que dicho Instituto ofertaba a técnicos de la edificación. El grado de satisfacción fue importante y marca el inicio de la popularización de los aspectos prácticos-constructivos de las estructuras de la edificación.

#### La Herramienta y el Conocimiento. (Un test osado...)

El primer paso estaba dado; Los siguientes, los constituyeron las aplicaciones informáticas, que a partir de los años 80, rápidamente se comercializan, llevando a la confusión, de lo que llamo: "la herramienta y el conocimiento". En los años 1987-88, el cálculo de estructuras de edificación, ya se había generalizado a través de aplicaciones informáticas. Esto supuso y supone, el estado de máxima popularidad del cálculo estructural, lo que necesariamente provocó un contraste conflictivo en la actividad profesional. El resultado fue, en ciertos aspectos, un problema.

Como anécdota comentaré a modo de curiosidad, y porque las causas siguen siendo un problema actual, que durante estos años, 87-88, una empresa, de aplicaciones informáticas, líder del sector, en esa época, estaba teniendo problemas, por la invocación de sus clientes respecto de las soluciones proporcionadas por la aplicación informática ("es lo que sale del ordenador", era la respuesta a ciertos requerimientos estructurales). La empresa pretendió evaluar el conocimiento estructural de sus clientes, y tuvo "la osadía", (o el suicidio empresarial), de encuestar a sus clientes sobre la "Cultura Estructural". Transcribo literal:

¿Tiene Vd. criterio sobre el comportamiento de las estructuras más usuales?

Hemos vendido cerca de 2.000 copias de nuestros programas de cálculo de estructuras a los arquitectos españoles. Y mantenemos un servicio de consulta telefónica para nuestros clientes, que atiende muchos miles de llamadas anuales.

Como los programas acercan el cálculo a quienes antes no se lo planteaban, comprendemos que se manifiestan ahora huecos y zonas de sombra en la «cultura estructural» de muchos compañeros.

Para intentar evaluar la exactitud de esa opinión, hemos encargado al Seminario de Estructuras de la Escuela de Madrid la redacción de un test que busca sólo medir el *criterio* sobre el comportamiento de las estructuras en casos ambiguos.

Esperamos que su lectura y el breve esfuerzo requerido para contestar el test, resulte beneficioso y entretenido.

Contestaremos por carta, a vuelta de correo, a todos los que envíen el test cumplimentado.

Los resultados del test quedan sometidos a la más estricta confidencialidad, excepto en números globales y estudios estadísticos de conjunto.

La verdad que hay que tener unas razones muy importantes para plantear, a un cliente, semejante cuestión. Por mucha sutileza que se utilice para elegir las frases, **"Como los programas acercan el cálculo a quienes antes no se lo planteaban..."**, la única forma de interpretar es que, los programas, los están utilizando personas que no saben de estructuras; También, **"..Comprendemos que se manifiestan ahora huecos y zonas de sombra en la -cultura estructural- de muchos compañeros"**, por mucho que se quiera disfrazar, es imposible.

La conclusión fue que la empresa, desapareció del mercado. En todo caso, siempre quedará la pregunta: ¿Cuáles pueden ser las razones que pueden llevar a una empresa al suicidio comercial?, la respuesta puede venir, en términos de, malos entendidos, de atribuciones de responsabilidades. Sobre todo en unos años, en los que no estaba muy claro los compromisos de estas empresas comerciales, en términos de confusión del diseño estructural.

El uso de aplicaciones informáticas en el cálculo de estructuras de edificación, lógicamente, es incuestionable. La cuestión está en que los conocimientos también. Aunque jerarquizados en otro orden, es decir, la herramienta nos ahorra la operativa pero no el análisis ni el control. Este es un tema que requerirá más abundamiento y en muchos aspectos.

Quizás, y como curiosidad, sin la presión comercial, el test planteado sigue siendo pertinente. Lo propongo, sabiendo que el tiempo ha alterado ciertas respuestas que tienen que ver con los aspectos normativos, sobre todo del hormigón. Recordemos que las situaciones estructurales propuestas en el test son "ambiguas" y por tanto conceptuales. La verdad es que, desde el punto de vista técnico, es muy acertado y nos permite la diversión y la discusión sin la responsabilidad comercial.

Disfrutarlo y compartirlo, es más divertido. "Si hay alguien al otro lado de este artículo y está interesado en las soluciones, puede ponerse en contacto con el Colegio y podremos constituir un grupo, más o menos estable (Amigos de las Estructuras de Edificación.....?)".

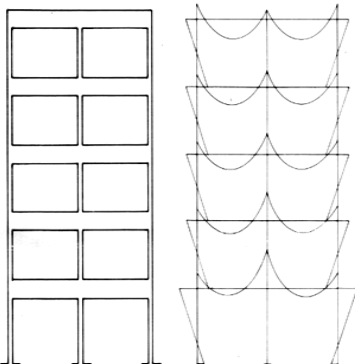
PROYECTO DE REHABILITACIÓN DO PAZO DO HÓRREO-  
PARLAMENTO DE GALICIA. 1987-1989  
Arquitecto: D. Andrés Reboredo Santos Estructura: Profesor Dr. Emilio Mosquera Rey



## TEST

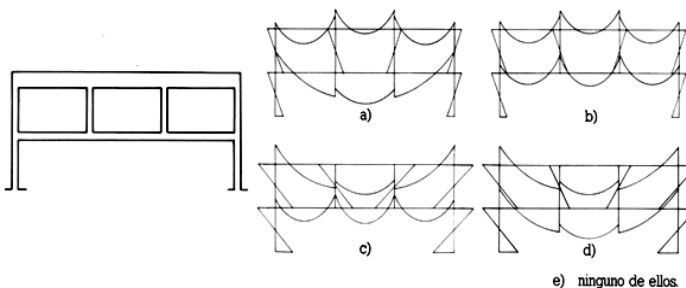
Rodee su respuesta con un círculo

1. Para carga uniforme, Vd. ha obtenido mediante un ordenador los diagramas de momentos de la figura. ¿Qué diría Vd. de ellos?



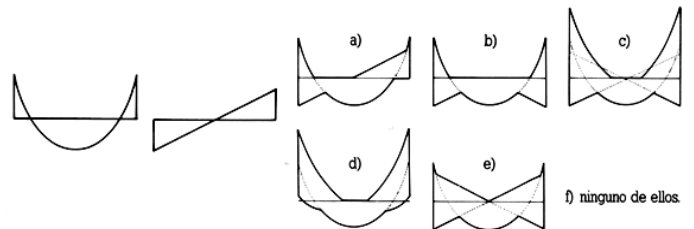
- a) Los diagramas son totalmente razonables.
- b) Los resultados son incorrectos, por lo que el programa estará mal.
- c) Aunque los resultados del programa son correctos, siendo el programa matricial, no son resultados razonables.
- d) Tales diagramas no tienen utilidad ninguna en el proyecto.
- e) Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

2. ¿Cuál es, aproximadamente, el diagrama de momentos de la estructura? (carga uniforme).



e) ninguno de ellos

3. El análisis a carga vertical y viento de una viga, revela los momentos de la figura. ¿Con qué diagrama debe armarse?



f) ninguno de ellos

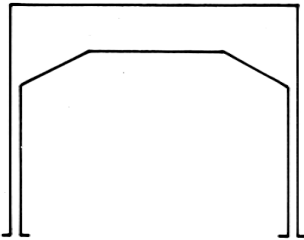
4. El manual de un programa de análisis y armado de pórticos de hormigón dice: «... se almacenan los esfuerzos de tres puntos de las vigas: extremos y centro de vano ..., con ellos (únicamente) se reelaboran las gráficas que sirven de base al armado mediante...» Vd. diría:

- a) La afirmación es irrelevante para un usuario normal.
- b) Los valores son suficientes para obtener armados correctos.
- c) Los armados no son completamente correctos en vigas con grandes cargas puntuales.
- d) Es imposible armar correctamente en ningún caso con sólo esos valores.
- e) Los cálculos de esfuerzos están mal.
- f) Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

5. Arristrar edificios con estructura de hormigón armado mediante triangulaciones de acero es:

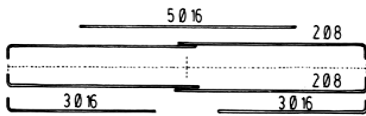
- a) Un disparate conceptual.
- b) Una decisión muy razonable, si no origina conflictos en planta.
- c) No es posible realizar tal cosa.
- d) Una solución incorrecta y cara.
- e) Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

6. Las cartelas del pórtico de la figura

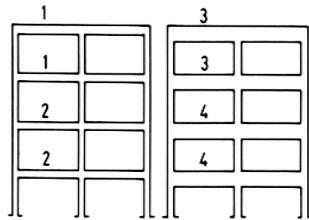


- a) Mejoran notablemente el comportamiento del pórtico frente al caso en que no existiesen, aunque sea más complicado.
- b) Mejoran la resistencia a flexión, no así a cortante.
- c) Sólo sirven para complicar las cosas.
- d) Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

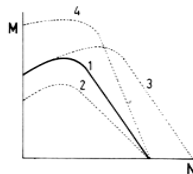
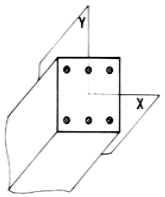
7. ¿A qué planta corresponde el armado longitudinal de la figura?



- a) al 1
- b) al 2
- c) al 3
- d) al 4
- e) A ninguno de ellos.

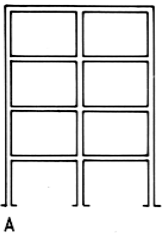


8. Siendo 1 la «curva de interacción» MN (resistencia para momento+normal) del soporte de la figura para flexión M en el plano X, la «curva de interacción» para flexión M en el plano Y será:



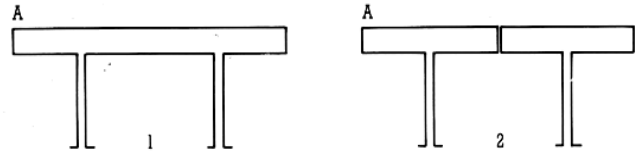
- a) la 1
- b) la 2
- c) la 3
- d) la 4
- e) ninguna de ellas.

9. Si el soporte A en la última planta está dimensionado estrictamente (sección y armadura), en la planta inmediatamente inferior a ella:



- a) Es necesariamente mayor.
- b) Siendo de la misma sección, necesita más armadura.
- c) Puede suceder que la misma sección y armadura sigan siendo suficientes.
- d) Necesita menos armadura.
- e) Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

10. De las dos soluciones estructurales de la figura (sólo para carga vertical uniforme). ¿Cuál tiene mayor descenso en el voladizo A?



- a) La 1
- b) La 2
- c) Ambas igual.
- d) En pura teoría de vigas la 1, pero en realidad, la 2.
- e) Faltan datos.

11. El «coeficiente de seguridad total» (relación de tensiones en servicio a resistencia característica) del horcón de los soportes de un edificio en condiciones NORMALES, tiene que rondar el valor:

- a) 1,5
- b) 1,6
- c) 2,0
- d) 2,4
- e) 2,7
- f) 3,1
- g) Debe ser todavía mayor ( $\geq 3,2$ )

12. La deformación de la estructura

- a) es un fenómeno indeseable.
- b) se debe a un diseño erróneo y/o una mala ejecución.
- c) es un fenómeno colateral, pero totalmente normal.
- d) es imprescindible para el equilibrio.
- e) Ninguna de ellas.

¿Cuál es la afirmación más ajustada a la realidad?