

Carlos Fernández Casado

Cálculo de Estructuras Reticulares

JOSEP MARÍA
Pons

Profesor departamento de
Resistencia de Materiales y
Estructuras en la Ingeniería.
Universidad Politécnica de
Cataluña



RESUMEN

Hay obras que, por su trascendencia, pierden el sustantivo *libro* para ser conocidas por el nombre del autor. Así se habla del Argüelles, del Jiménez Montoya, del Salinger y, como no, del *Fernández Casado*. En este caso, se nos refiere al libro de Don Carlos Fernández Casado, *Cálculo de Estructuras Reticulares*, que ha formado a un sinfín de profesionales en las distintas Escuelas Técnicas Universitarias, a la vez que ha servido de obra de consulta a otro número elevado de técnicos relacionados con el mundo de la construcción y las estructuras.

La importancia del libro fue tal que vieron la luz ocho ediciones, desde 1934 hasta 1967. La voluntad de *universalidad, sencillez y exactitud* que Don Carlos quería, quedaron patentes en las reformas y ampliaciones del texto acorde con las necesidades requeridas del momento.

La voluntad del autor que suscribe este artículo es, modestamente, contribuir a recordar (o a mostrar quizás por primera vez a las nuevas generaciones) un libro trascendental en el cálculo estructural de gran parte del siglo XX, a la vez que rendir un merecido homenaje a tan pródigo autor; Don Carlos Fernández Casado.

PALABRAS CLAVE

Fernández Casado, estructuras reticulares, método de Cross

ABSTRACT

There are written works held in such esteem that they are purely referred to by the name of the author. This is the case of the Argüelles, the Jiménez Montoya, the Salinger and, evidently, the Fernández Casado. In this latter case we are referring to the book by Carlos Fernández Casado titled "Cálculo de Estructuras Reticulares" (Calculation of Reticular Structures), which has been used to teach an inordinate number of graduates at different University Colleges and has served as a reference book for a similarly high number of professionals in the world of construction and structures.

The importance of this book is such that it came out in eight editions from 1934 to 1967. The universality, simplicity and precision sought by Fernández Casado is made evident by the modifications and additions made to the text in accordance with the requirements of the time.

The author of this article modestly hopes to revive the memory (or perhaps demonstrate for the first time to new generations) of a book which was of great importance for structural calculation over much of the 20th century, and to render well-deserved homage to such a prodigious author, Carlos Fernández Casado.

KEYWORDS

Fernández Casado, reticular structures, Cross method



Fig. 1. Cálculo de Estructuras Reticulares. Nudos rígidos. 1ª Edición

Fig. 2. Puente atirantado Ingeniero Carlos Fernández Casado⁴

1

Introducción

*"En la actualidad existen ya varios textos en español dedicados fundamentalmente a la explicación del método de Cross, unos de autores españoles y otros de traducciones de textos extranjeros. Entre los primeros debe destacarse Cálculo de Estructuras Reticulares, de Fernández Casado, que, según creo, fue el primero en español y cuya contribución al conocimiento y difusión de dicho método entre los ingenieros españoles ha sido extraordinaria"*¹.

Realmente pocas palabras más serían necesarias para glosar la presentación de un libro como las anteriores suscritas por don Bernardino Fernández, autor, también, de un tratado sobre el método de Cross².

2

El autor, don Carlos Fernández Casado (Logroño, 1904-Madrid, 1988)

Se necesitaría el artículo entero sólo para glosar la vida y la obra de Don Carlos Fernández Casado. No siendo el objetivo del presente artículo, sí que se ha creído justo brevemente mencionar algunos aspectos que ayudarán a comprender tanto la génesis como la esencia del libro que abordamos. A pesar de todo se recomienda encarecidamente al lector, la lectura de

la obra Carlos Fernández Casado³ donde familiares, amigos y compañeros presentan la figura *del ingeniero y humanista* que fue don Carlos.

De formación Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la escuela de Madrid, donde ingresó con 14 años llegando a ser catedrático (Puentes de Fábrica), don Carlos también fue miembro electo de la Academia de Bellas Artes de San Fernando. Destacando ciertamente en todos los campos, sería inexcusable no remarcar su trascendencia especialmente en el ámbito del hormigón armado así como en la tecnología del pretensado en España. Igualmente, como el artículo que nos ocupa demuestra, fue un gran divulgador de obras técnicas entre las que destacan aquellas relacionadas con la Teoría de las Estructuras, la Resistencia de Materiales y la Ingeniería de Puentes - por citar algunos campos tratados en la extensa lista de sus publicaciones.

Pero sería un craso error sólo destacar sus conocimientos técnicos pues, don Carlos como buen humanista que fue, destacó también en otros campos como la filosofía, la historia y la estética -como sus publicaciones y conferencias reflejan. Un dato aseverativo fuere que terminó sus estudios de Derecho con 68 años.

En 1988, Carlos Fernández Casado *concluyó el puente, que había pasado su vida construyendo, entre la tierra y el cielo*⁵.

Volviendo a la etapa formativa del joven Carlos Fernández en la Escuela de Caminos, su incipiente saber en el ámbito

estructural se vería influenciado por las relevantes figuras de Mendizábal, Zafra y Ribera⁶. Pronto empezaría a conocer las formulaciones propuestas por Mohr, Castigliano entre otros métodos de análisis estructural. Este aprendizaje sin duda le permitiría ver también lo tediosos que en algunos casos éstos se pueden comportar ya que, como el mismo afirmaba, *no disponíamos de métodos de cálculo eficaces para las estructuras más frecuentes y otras como el de la viga de varios tramos... estaban taradas por el sello de la inútil crueldad*⁷. La sentencia precedente ya indica que era necesario encontrar otros métodos que, sin perder un ápice de rigor (traducido en seguridad), permitiesen al técnico agilizar los cálculos.

3

Breve apunte del Método de Cross

Un pedazo de papel y un lápiz bastan para acometer el análisis de cualquier estructura reticular.

Carlos Fernández Casado

En mayo de 1930, el ingeniero norteamericano Hardy Cross⁸ publicó en la revista *American Society of Civil Engineers* un artículo titulado *Analysis of continuous frames by distributing fixed-end moments*⁹. Este hecho supuso un inmenso hito en el cálculo de estructuras.

Don Carlos, siempre presto a las innovaciones y viendo la bondad del método, lo introdujo rápidamente en el estado español. Apenas cuatro años transcurridos y el método pasaría a formar parte de la bibliografía técnica gracias a la primera impresión de un novedoso texto que llegará a ver 8 ediciones. Cabe citar que los métodos existentes, a parte de los mencionados, eran variados (tres momentos¹⁰, energéticos, gráficos, masa elástica¹¹, *slope-deflection*, etc.) pero, como decíamos, hacían falta nuevas formulaciones más ágiles que éstas ya que el aumento del número de barras de los entramados, a la vez que su elevada hiperestaticidad, generaba un sistema de ecuaciones resolutoras implicando largos y tediosos cálculos para llegar al resultado deseado. Era necesario algún método que, sin perder de vista el rigor y la seguridad, *resuelva del modo más sencillo y exacto cualquier tipo de estructura reticular, por complicada que sea facilitando así el cálculo al proyectista*. El método de Cross, *considerado por los norteamericanos como la aportación más valiosa al cálculo de estructuras durante los treinta años del siglo*, era uno de ellos. Con referencia a él, Don Carlos aclara, *inmediatamente adoptamos el método de cálculo para nuestros proyectos y figuró oficialmente por primera vez en un concurso del año 1932 donde utilizamos, además la simplificación de cargas y estructuras simétricas*.

Los elogios que recibió Cross por el método fueron numerosos y de procedencia variada osando destacar:

Hace mucho tiempo que se han ido buscando procedimientos de cálculo más sencillos y más fáciles, de resultados más o menos exactos, y afortunadamente se han hallado tales métodos [...].

El cálculo se desarrolla con medios extremadamente sencillos, en forma sinóptica y clara y sin esfuerzo mental digno de consi-

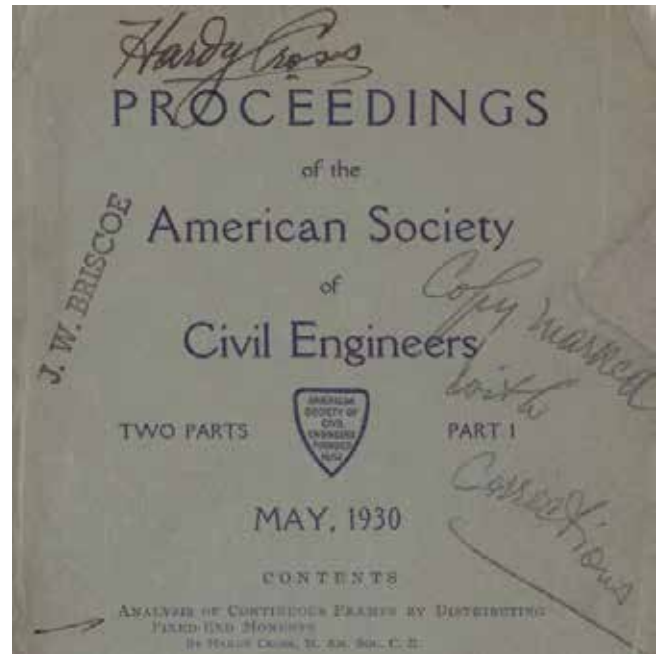


Fig. 3. American Society of Civil Engineers

*deración. Por esto puede, quizás, resumirse este procedimiento bajo el lema estática fácil*¹².

El mismo Hardy Cross, en la *Synopsis*, presenta con claridad el objetivo de su método:

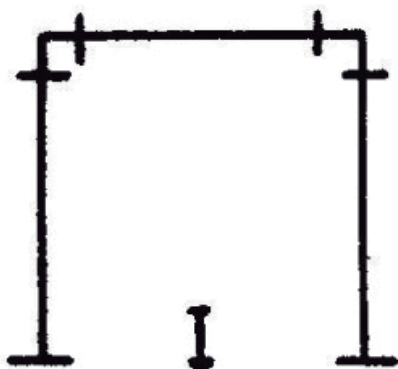
The purpose of this paper is to explain briefly a method which has been found useful in analysing frames which are statically indeterminate. The essential idea which the writer wishes to present involves no mathematical relations except the simplest arithmetic.

*The reactions in beams, bents, and arches which are immovably fixed at their ends have been extensively discussed. They can be found comparatively readily by methods which are more or less standard*¹³.

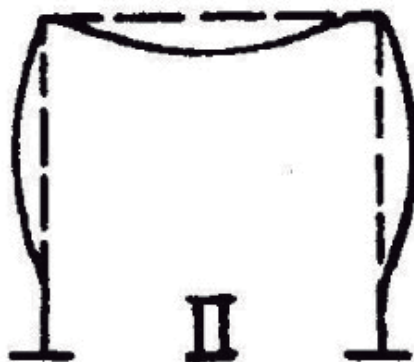
Una vez formulado el método, su generalización tanto en obras docentes como técnicas, a la vez que en memorias de cálculo, fue numerosa como atestigua la bibliografía al respecto¹⁴. La mayoría de métodos existentes quedaron desplazados por este, mucho más rápido, ágil y con igual seguridad en el resultado final.

El método parte de una estructura virtual con nudos absolutamente rígidos -no se permite ni el giro ni el desplazamiento de las extremidades de las barras- para llegar a la estructura real deshaciendo esta rigidez por etapas permitiendo sucesivamente desplazamientos y giros. Las situaciones que Cross considera se pueden esquematizar en cuatro etapas, agrupadas en la llamada etapa fundamental (etapas I y II) y la etapa paramétrica (etapas III y IV):

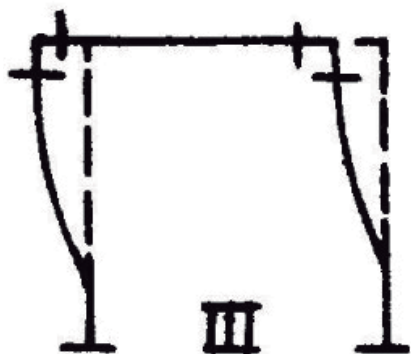
Etapa primera (I).
Nudos absolutamente rígidos



Etapa segunda (II).
Nudos giratorios, pero no desplazables



Etapa tercera (III).
Nudos desplazables pero no giratorios



Etapa cuarta (IV).
Nudos giratorios desplazables

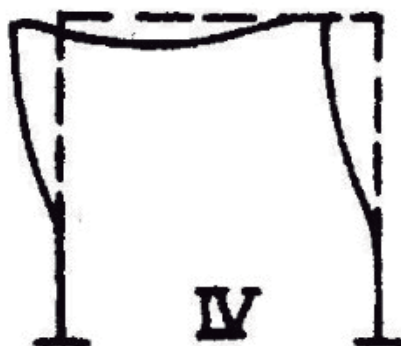


Tabla 1 Distintas etapas del Método de Cross ().

Fernández Casado en la primera edición¹⁶ ya indicaba la importancia del nuevo método que presentaba:

Existen métodos de cálculo en los que las intuiciones directas no se limitan a establecer el punto de partida, sino que influyen a lo largo de todo el desarrollo, dando a las transformaciones de cálculo un sentido más valioso que el puramente combinatorio. Los puntos de contacto entre las esferas de lo físico y lo matemático jalonan todo el proceso y, a través de las operaciones abstractas, trasparece la realidad concreta del fenómeno físico. A este tipo de métodos pertenece el que hemos adoptado.

Continuando:

Ventajas prácticas: poseyendo la intuición del fenómeno físico, que es lo que debe aprenderse en la Teoría de Estructuras, no hace falta más; los problemas se resuelven sin necesidad de recordar combinaciones artificiosas, por consiguiente de un modo más sencillo, más seguro y agradable.

La difusión que tuvo el método fue amplísima. Se puede constatar que, gran parte de las memorias de cálculo realizadas a partir de este periodo, se encuentran realizadas ya con este procedimiento.

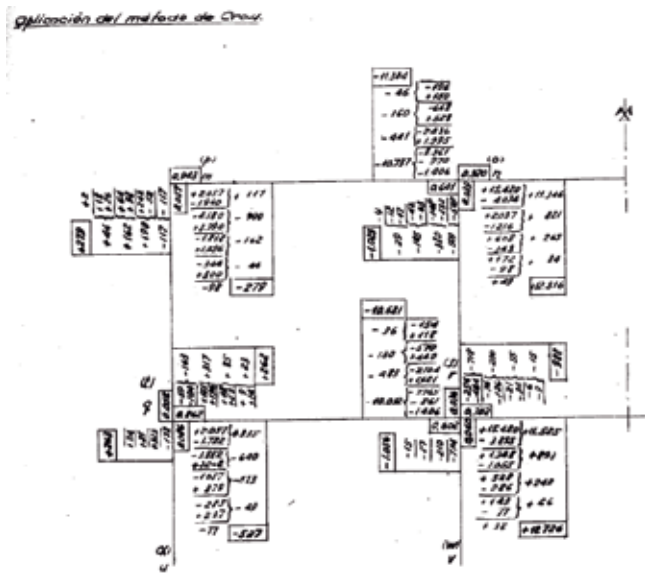
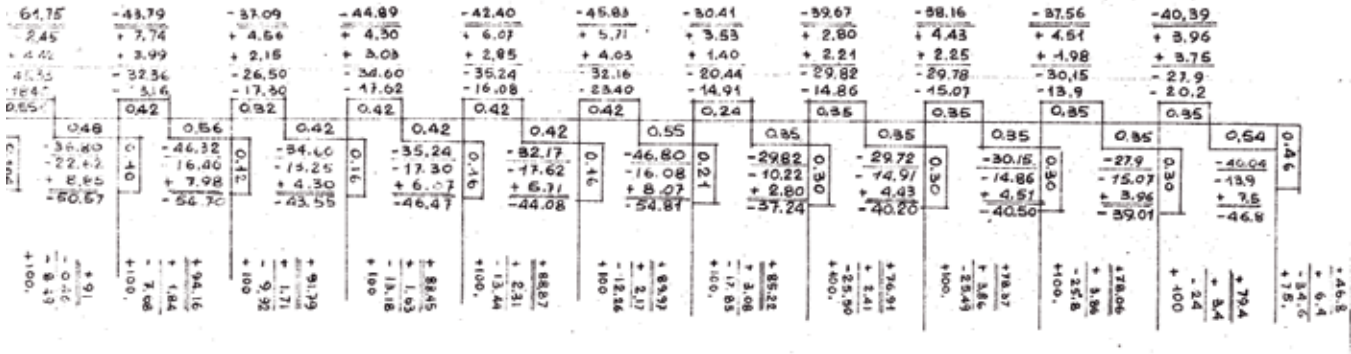


Fig. 4. Aplicación del método. Proyecto de Estructura de Hormigón Armado de un taller de reparación de automóviles para SEIDA, S.A. en Barcelona. 1959. Autor Rafael Casals Bohigas

Fig. 5 Aplicación del método. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona



4 Cálculo de Estructuras Reticulares. El Fernández Casado

Decíamos en la introducción de la trascendencia de un libro que ha llegado a las ocho ediciones¹⁷. Importancia docente y técnica, esto es formativa y referencial para un sinfín de alumnos (futuros técnicos) y profesionales. Don Carlos, en un lejano 1934, intuía que aquel método propuesto por un norteamericano de la Universidad de Illinois vendría a trastocar totalmente el mundo del cálculo estructural. Los métodos existentes de principios de siglo XX se verían radicalmente sustituidos por una nueva formulación técnica: los métodos iterativos -entre los cuales se encontraba el método de Cross. Justo es mencionar que han existido otros métodos considerados como iterativos pudiéndose citar el método de Kani y el método Takabeya debidos a Gaspar Kani¹⁸ de Serbia (1949) y Fukuhei Takabeya¹⁹ del Japón (1938) respectivamente. Si bien son parcamente mencionados en la bibliografía existente de la época, justo es decir que no se ha encontrado ninguna memoria de cálculo realizada con ellos.

Hacia falta una obra docente (para el alumno, el profesor y el técnico) que explicitase el método con matiz formativo, pero sin perder en ningún punto el rigor y la veracidad. Fernández Casado, adelantándose a los tiempos venideros, introdujo en el estado español un método *que posee en grado sumo las tres cualidades que deben exigirse a un método de cálculo: universalidad, sencillez y exactitud*.

La primera edición del texto, *Cálculo de Estructuras Reticulares*, veía la luz. *Presentamos una sistematización del Método de Cross comparándolo con todos los que actualmente están en vigor*. Hablamos de 1934.

La justificación del porqué del método escogido nos llega unos años más tarde -en la segunda edición de 1940- cuando Don Carlos prologa el texto afirmando *que la materia impone al método, será más adecuado aquel cuyo contenido imaginativo sea más intenso, aquel en que transparezca con más fuerza la realidad del fenómeno físico*.

Y es que a partir de la segunda edición se incide especialmente en la deformada (*la única realidad física sensible*) y en el diagrama de tracciones (*rompiendo la incertidumbre tracción-compresión*), complementando así los diagramas fundamentales.

Siendo consciente que el método de Cross *tomó arraigo en nuestro país*, Don Carlos explicita que dos notas características de método son: *dar sentido físico a las operaciones de cálculo y realizarlas materialmente sobre un esquema que reproduce la estructura*²¹ -dejando claro nuevamente la preocupación por la *comprensión del fenómeno físico*.



Fig. 6. Cálculo de Estructuras Reticulares. Nudos rígidos. 2ª Edición

AUTORÍA ²⁰	EDICIÓN	IMPRESIÓN	PÁGINAS / MEDIDAS
Carlos Fernández Casado	1ª edición	Madrid: Diana Artes Gráficas (1934)	222 Páginas; 22 cm
Carlos Fernández Casado	2ª ed. reformada	Madrid: Dossat, 1940	376 Páginas; 22 cm
Carlos Fernández Casado	3ª ed. reformada	Madrid: Dossat, 1944	382 Páginas; 22 cm
Carlos Fernández Casado	4ª ed. ampliada.	Madrid: Dossat, 1946	457 Páginas; 25 cm
Carlos Fernández Casado	5ª ed. ampliada.	Madrid: Dossat, 1948	505 Páginas; 25 cm
Carlos Fernández Casado	6ª ed. ampliada	Madrid: Dossat, 1952	499 Páginas; 25 cm
Carlos Fernández Casado	7ª ed. reformada	Madrid: Dossat, 1958	499 Páginas; 25 cm
Carlos Fernández Casado	8ª ed. reformada	Madrid: Dossat, 1967	505 Páginas; 25 cm

Tabla 2 Distintas ediciones del libro (1934-1967)

También en la edición de 1967 vuelve a quedar clara la premoción del autor previendo cada vez más el uso de los ordenadores electrónicos que en esos momentos estaban comenzando su irrupción. Lejos de verlo como un problema afirma que *resuelven la rutina de cálculos matemáticos simples y permiten dedicar su actividad [la del técnico] al proyecto*. Ahora bien, lejos de pensar que el método de Cross queda como una cosa obsoleta o un arcaico método de cálculo que tuvo su época gloriosa, se incide que *su interés didáctico de conocimiento de las estructuras reticulares, le da su verdadera categoría*. A pesar de ser sentencias formuladas a finales de la década de los años sesenta, hoy en día retienen su actualidad y vigencia ya que en los casos de un entramado de gran complicación, nadie que no sea un retrógrado cuidará entre resolverlo por el método de cálculo que sea, y acudir a un programa de los muchos que existen para estructuras reticulares. Y es que para el autor *intuición y experiencia son las dos fuentes vivas a las que ha de acudir el que proyecta*. Todo ello añadido al tercer ítem que fuere el cálculo. De hecho, este pensamiento fue formulado por un joven e intuitivo Carlos Fernández y transcrito en la Revista de Obras Públicas del año 1933 en su primer trabajo de la serie que dedicó a la teoría del arco²².

Ahora bien, el aludido sentido físico así como la intuición del mismo nos vendrán refrendados por el método de Hardy Cross tal y como Don Carlos señalaba.

Carlos Fernández Casado, presenta el método con su conocido rigor, veracidad y su habitual metodología didáctica. Múltiples ejemplos ayudarán al lector (técnico, docente o estudiante) al aprendizaje de forma amena y exhaustiva.

De hecho, antes de abordar la estructura en sí, Fernández Casado nos presenta el estudio detallado del elemento barra afirmando:

“Tratándose de estructuras en cuya geometría discontinua se individualizan las barras, el método ha de ajustarse a esta desintegración, tomando como unidad el elemento barra y estableciendo todas las relaciones con dicho desglose desde el momento inicial”.

Sabidas éstas, ya se puede pasar a la formulación de la estructura –entendida como conjunto de barras unidas y relacionadas entre sí.

“El problema de la barra queda reducido a determinar los pares de empotramiento de la biga correspondiente; por tanto el del entramado, que es agrupación de barras, consistirá en determinar estos elementos para cada una de ellas. La dificultad de cálculo de un entramado, tal como se plantea en el método analítico expuesto²³, está en la resolución del sistema de ecuaciones lineales, y era casi insuperable cuando el número de éstas resultaba algo elevado. El método de Cross elimina en parte esta dificultad”.

A la vez, la exposición del método introducía un nuevo elemento que hasta el momento había sido muy difícil y tedioso de obtener; el desplazamiento Δ . La formulación agilizaba su obtención:

LO INGENIERIL.

Ingeniería = Σ aportaciones individuales (ingenieros).

Ingeniero = intuición + experiencia + cálculo
(cálculo: resumen, cristalización científica de todo el desarrollo intuitivo y experimental anterior).

Fig. 7. Definición de qué es ingenieril, según Carlos Fernández Casado (1933)

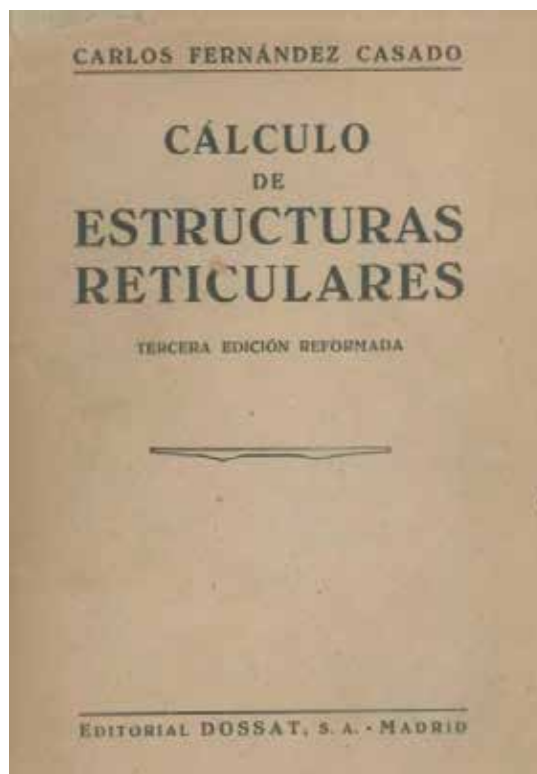


Fig. 8. Cálculo de Estructuras Reticulares. Nudos rígidos. 3ª Edición.

"El hecho que haya sido el método de Cross el que ha puesto en marcha el estudio definitivo de los desplazamientos, se explica por el carácter intuitivo del mismo y su referencia directa a fenómenos físicos, ya que precisamente en las estructuras resistentes los hechos más fácilmente comprobables son las deformaciones y los desplazamientos.

El estudio de los desplazamientos estaba ya planteado antes de Cross, pero el modo de enfocar la cuestión desde el entramado en su totalidad física, ha abierto el horizonte para tratarlo de un modo integral y no como una corrección o como influencia secundaria".

Hechas las consideraciones previas, Don Carlos explicitaba ya el método en sí. Como decíamos, el carácter didáctico (no exento de rigor) de la obra presentaba las formulaciones con multitud de figuras aclaratorias que ayudaban, sin duda, a la comprensión del texto:

"Se parte de una estructura virtual con nudos absolutamente rígidos (es decir que no permiten giros ni desplazamientos de las extremidades de las barras) y se llega a la estructura real, deshaciendo por etapas esta rigidez, permitiendo sucesivamente los giros y los desplazamientos".

Las situaciones que se consideran las exponemos en cuatro etapas consecutivas:

- Etapa primera. Nudos absolutamente rígidos.
- Etapa segunda. Nudos giratorios, pero no desplazables.
- Etapa tercera. Nudos desplazables pero no giratorios.
- Etapa cuarta. Nudos giratorios desplazables.

Presentada la globalidad del mismo, el autor detalla exhaustivamente cómo proceder en cada una de las cuatro etapas²⁴.

Etapa primera. Nudos absolutamente rígidos. Las barras están completamente incomunicadas y en condiciones de empotramiento perfecto en sus extremos.

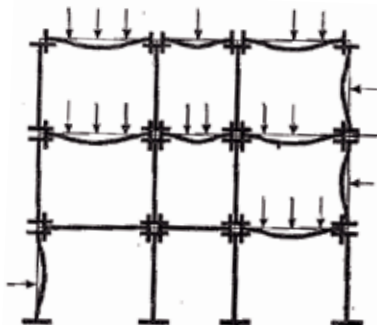


Fig. 9. Etapa primera. Nudos absolutamente rígidos.

Etapa segunda. Nudos giratorios, pero no desplazables; permiten el giro, pero no los desplazamientos de las extremidades de las barras.

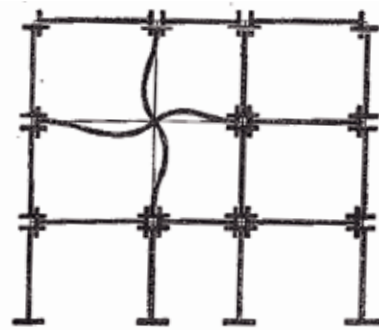


Fig. 10. Etapa segunda. Liberación de un solo nudo.

La finalización de la segunda etapa permitía la resolución de cualquier estructura sin desplazamientos horizontales ($\Delta=0$). Estas dos etapas eran comúnmente conocidas como etapa fundamental.

Un ejemplo de la misma lo encontramos en la memoria de cálculo de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona obra del arquitecto Don Eusebi Bona²⁵ fechada en el curso 1961/1962.

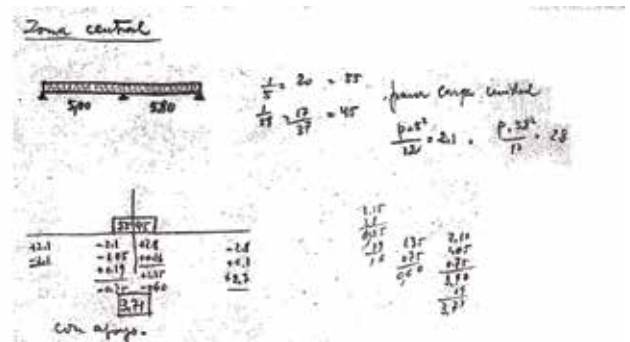


Fig. 11. Ejemplo del Método de Cross. Etapa fundamental

En el caso de estructuras que presentasen un cierto desplazamiento horizontal Δ (estructuras con translación), el proceso continúa con la llamada etapa paramétrica que Fernández Casado explicita en las etapas tercera y cuarta del procedimiento.

Etapa tercera. Nudos desplazables pero no giratorios permiten el desplazamiento de las barras, pero de modo que se mantengan siempre paralelas sus secciones extremas; estamos en el caso de desplazamientos locales.

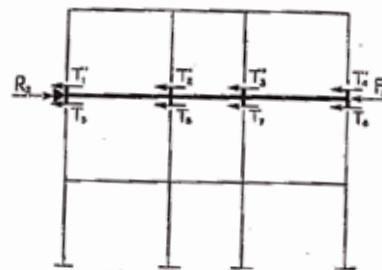


Fig. 12. Etapa tercera. Reacciones virtuales

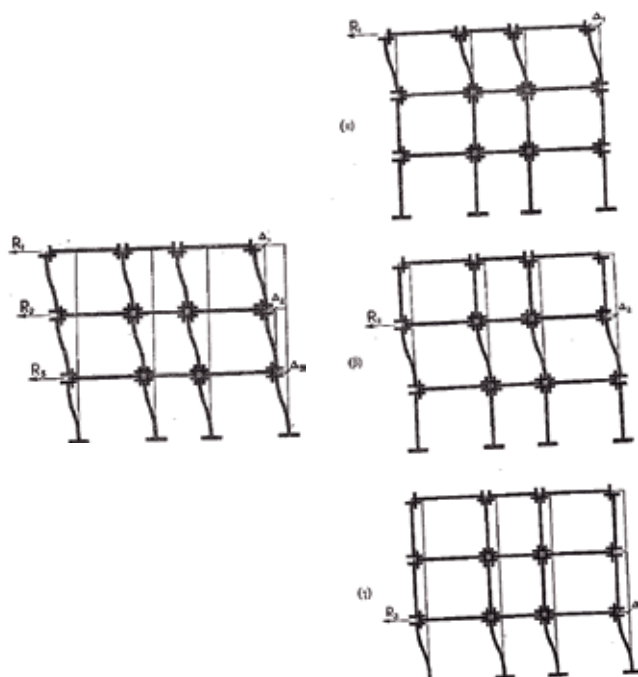


Fig. 13. Procedimiento directo versus procedimiento indirecto

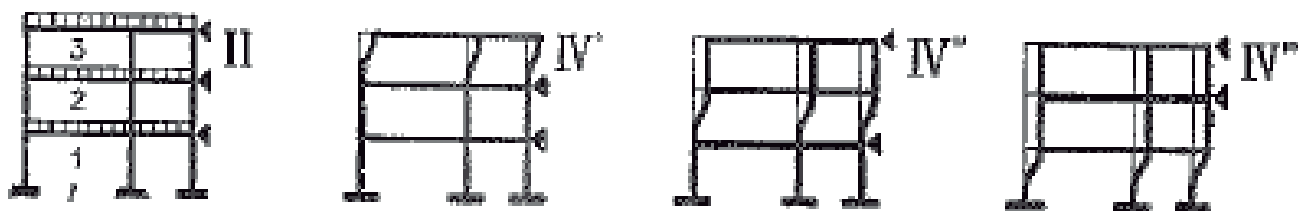


Fig. 14. Ejemplo de estructura con traslación

Pueden seguirse dos caminos para su resolución; el directo y el indirecto.

El procedimiento directo suprime de una vez todos los apoyos ficticios, dejando actuar la totalidad de fuerzas ficticias acumuladas.

El procedimiento indirecto realiza la liberación en el número de fases indicado por el grado de desplazabilidad, es decir, descompone el movimiento en tantos parciales como apoyos ficticios hayamos considerado, suprimiendo éstos uno a uno, sucesiva e independientemente.

Etapas cuarta. Volvemos a dejar en libertad de giro a los nudos de la estructura, después de sufrir los desplazamientos correspondientes a la etapa anterior. Llegamos de este modo a un sistema de ecuaciones lineales en número fijado por el grado de desplazabilidad, deduciéndose los valores de las incógnitas, que son los coeficientes multiplicadores de los valores numéricos obtenidos para los momentos en las distintas fases de esta etapa.

Llegados a este punto, obtenemos el resultado total:

Los momentos totales se deducen por superposición de los de la etapa segunda con los acabados de obtener en cada fase multiplicados por sus respectivos coeficientes.

Que en forma gráfica el autor resume según figura 14.

Finalmente, una vez ampliado con las distintas ediciones a las que nos hemos referido, el libro quedó estructurado (principalmente) como puede verse en la tabla 3.

Nuevamente se cree justificado el hecho de remarcar el rigor de la parte expositiva así como la variedad de casos tratados en la parte de ejemplos configurando el carácter docente-técnico del libro.

EXPOSICIÓN	ESTRUCTURAS PLANAS. EJEMPLOS
I) Introducción	1. Estructura de edificio simétrica
II) Estudio de las barras	2. Estructura de edificio asimétrica
- Viga apoyada - Viga perfectamente empotrada - Viga empotrada-apoyada - Viga con empotramiento elástico - Barra curva	3. Estructura de torre
III) Estudio del entramado	4. Estructura de portalada
Desplazamiento	5. Estructura de basílica
IV) Método de Cross	6. Pórtico múltiple
- Ejemplos: - Viga de varios tramos - Pórtico sencillo - Pórtico con cubierta a dos vertientes - Pórtico asimétrico con cubierta de dos vertientes	7. Pórtico triple
V) Otros métodos de cálculo	8. Viga Vierendel
VI) Ventajas del método	9. Estructura de cajón tritelular
VII) Resumen y normas de aplicación práctica	10. Estructura transversal de navío
Reducciones y simplificaciones del método	11. Estructura de avión
	12. Estructura de tribuna
	13. Pórtico curvo con tirante
	14. Pórtico con doble arcada
	ESTRUCTURAS EN EL ESPACIO. EJEMPLOS.
	1. Nudo piramidal
	2. Estructura hexagonal de dos cuerpos
	3. Emparrillado de puente
	4. Emparrillado oblicuo
	5. Torre hexagonal

Tabla 3 Índice de la octava edición

5 Conclusión

El sólo hecho de observar que, en treinta años, un libro técnico llega a las ocho ediciones, nos hace pensar que tenemos delante de nosotros un libro de referencia. Y sin duda, el magistral texto de Don Carlos Fernández Casado, *Cálculo de Estructuras Reticulares*, asevera la afirmación. Intuyendo en los años treinta la trascendencia que tendría el método del norteamericano Hardy Cross, prestamente lo introdujo en un texto que pasaría a ser fundamental en el mundo técnico y docente del estado español.

El libro, conocido como el *Fernández Casado*, tuvo desde el primer momento el rigor y la precisión así como el sentido físico y la pedagogía que siempre han acompañado a los trabajos de Don Carlos Fernández Casado, insigne referente dentro del mundo del cálculo estructural. 📖

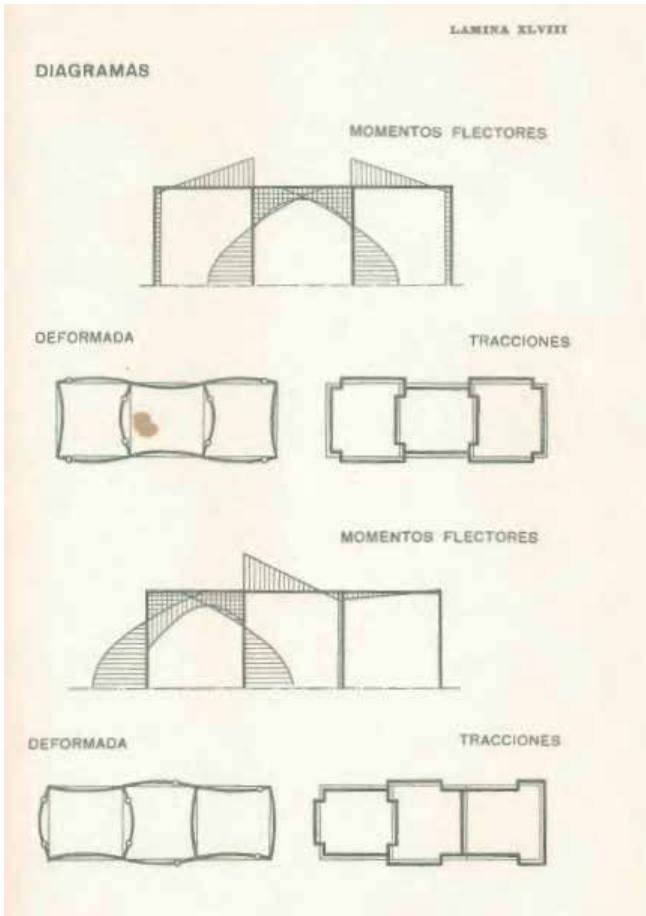


Fig. 15. Ejemplo didáctico. Estructura de cajón tritelular

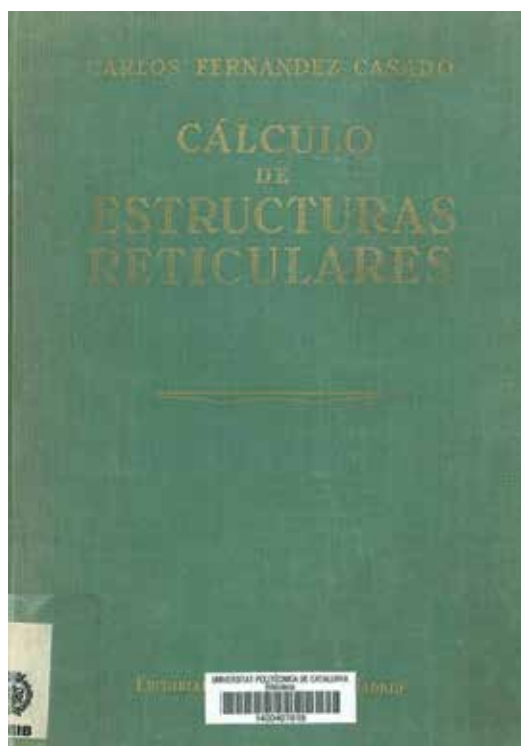


Fig. 16. Cálculo de Estructuras Reticulares. Nudos rígidos. Nudos rígidos. 8ª ed.

REFERENCIAS

Carlos Fernández Casado. Madrid: Fundación Esteyco, 1997.

BENDIXEN, A. (1914) *Die Methode der Alpha-Gleichungen zur Berechnung von Rahmenkonstruktionen*. Berlin.

BLANCO VILLORIA, José Luis (1959) "Cálculo de estructuras reticulares". *Revista de Obras Públicas*, Fuente: 1959, 107, tomo I (2932): 516-523.

CLAPEYRON, B.P.E. (1857) "Calcul d'une poutre élastique reposant librement sur des appuis inégalement espacés", *Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, Paris, Vol.45, 1076-1080.

CROSS, H (1930). "Analysis of Continuous Frames by Distributing Fixed-End Moments", *Proceeding of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 56, 919-28.

FERNÁNDEZ CASADO, Carlos *Cálculo de estructuras reticulares: nudos rígidos*. Madrid: Dossat. Ediciones de 1934, 1940, 1944, 1946, 1948, 1952, 1958, 1967.

FERNÁNDEZ CASADO, Carlos (1941) *Resistencia*. Madrid.

FERNÁNDEZ CASADO, Carlos (1948) *Estructuras de edificios*. Madrid: Dossat.

FERNÁNDEZ PÉREZ, Bernardino (1959) *Método de Cross*. Madrid: Dossat

HEYMAN, Jacques (1998) *Structural Analysis: A Historical approach*. Cambridge: Cambridge University Press.

LÓPEZ RODRÍGUEZ, José (1955) "El principio de superposición y el método de Cross". *Revista de Obras Públicas*, Fuente: 1955, 103, tomo I (2877): 17-23.

PEY CUÑAT, Antonio (1960) *Apuntes de construcciones industriales*. Tarrasa: E.T.S.I.I., S.T.

PONS POBLET, Josep Maria (2016) "Mecánica Elástica, por A. Peña Boeuf. Noventa años después". *Revista de obras Públicas*, Fuente: 2016, 163 (3576): 59-62.

PRENZLOW, C. (1958) *Cálculo de estructuras por el método de Cross*. Barcelona: Gustavo Gili.

TAKABEYA, Fukuhei (1978) *Estructuras de varios pisos: cálculo y tablas de momentos: métodos de Cross, Kani y TakabeYA*. México: Continental

TIMOSHENKO, Stephen (1953) *History of Strength of Materials: with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures*. New York: McGraw-Hill Book Company.

TIMOSHENKO, Stephen (1985) *Teoría de las estructuras*. Bilbao: Urmo.

TORRELLA SAGRERA, Antonio (1950) *Mecánica General: adoptada a las enseñanzas que deben darse en las Escuelas Industriales*. Barcelona: Casa Bosch

NOTAS

- (1) Bernardino Fernández Pérez.
- (2) Fernández Pérez, Bernardino (1959). Método de Cross. Madrid: Dossat.
- (3) Carlos Fernández Casado. Madrid: Fundación Esteyco, 1997.
- (4) Obra del ingeniero Javier Manterola. Fuente: www.cfcsl.com/puen-te-carlos-fernandez-casado/
- (5) Javier Rui-Wamba Martija
- (6) El cálculo de estructuras en la obra de Carlos Fernández Casado. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informes-delaconstruccion/article/view/590/672>
- (7) Construcción, proyecto y calculo. Fernández Casado, Carlos. http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=13521&anio=1957&numero_revista=2902
- (8) Hardy Cross (1885-1959)
- (9) Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 96, No. 1, January 1932, pp. 1-10.
- (10) También existía el teorema de los cuatro momentos según podemos constatar en el Salinger.
- (11) Mecánica Elástica, por A. Peña Boeuf. Noventa años después. Josep Maria Pons (2016). Puede consultarse su formulación en el artículo aparecido en la Revista de Obras Públicas: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5531049>.
- (12) Prenzlöw, C: Cálculo de estructuras por el método de Cross.
- (13) Analysis of continuous frames by distributing fixed-end moments. Hardy Cross, M. Am. Soc. C E.
- (14) Leonard K. Eaton. 2006. Hardy Cross American Engineer.
- (15) Ejemplo didáctico sito en el libro Apuntes de construcciones industriales del profesor Antonio Pey Cuñat. Bibliografía docente de la Escuela de Ingenieros Industriales de Terrassa (1960).
- (16) Carlos Fernández Casado, 1934.
- (17) En el prólogo de la octava edición, se nos advierte de la existencia de una de francesa por lo que en verdad podríamos hablar de nueve ediciones.
- (18) Gaspar Kani (1910-1968)
- (19) Fukuhei Takabeya (1893-1975). TAKABEYA, Fukuhei (1978) Estructuras de varios pisos: cálculo y tablas de momentos: métodos de Cross, Kani y Takabeya. México: Continental.
- (20) En las distintas ediciones del libro, se hace constar la contribución de José Luis Fernández Casado pasando explícitamente de colaborador a figurar ya compartiendo la autoría de la obra.
- (21) Según se recoge en la tercera edición.
- (22) Teoría del arco, Fernández Casado, Carlos. Revista de Obras Públicas 1931, 79, tomo I (2577): 287-292
- (23) En clara referencia al método slope-deflection.
- (24) Se presenta brevemente la descripción de cada una de ellas recomendándose al lector la consulta del texto para ver la totalidad de la formulación propuesta.
- (25) Eusebi Bona (1890-1972)