

# Z A F R A

El año 1916 se enriqueció la ciencia española, y acreditóse ante la extranjera, con un libro notable, el *Cálculo de estructuras*, de que se ocuparon con elogio todas las revistas profesionales; de algunas de ellas copiamos hoy el comentario para traer á foco la valía de dicha obra.

La Junta de Profesores de la Escuela de Ingenieros de Caminos, el Consejo de Obras públicas y la Asociación de Ingenieros de Caminos pidieron al Sr. Ministro de Fomento fuese premiada la meritisima labor científica del autor del mencionado trabajo que coronaba toda la anterior desarrollada, y el Sr. Ministro manifestó al de Instrucción pública que vería con agrado se pudiese conceder á D. Juan M. de Zafra la Gran Cruz de Alfonso XII.

Terminada la tramitación del expediente, y estudiado éste personalmente por S. M. el Rey, ha manifestado el Soberano que le producía una verdadera satisfacción conceder dicha Gran Cruz á tan ilustre Ingeniero.

La noticia se recibió con sincera complacencia por los Ingenieros é interpretando el sentir de todos hemos consignado en primera plana nuestra gratitud á S. M.; más adelante hacemos mención especial de los Sres. Azqueta y Salvatella, y en cuanto al querido compañero cuya distinción hoy festejamos reciba nuestro más cordial abrazo.

\* \* \*

Base científica de dicho expediente honorífico: el libro *Cálculo de estructuras*. He aquí los comentarios que mereció, empezando por el de aquel inolvidable sabio insigne cuya muerte todos lloramos.

## Carta de D. José Echegaray.

«El mal estado de mi vista, que es también motivo para que no escriba á usted de mi puño y letra, me impide leer por mí mismo los dos voluminosos tomos de esta formidable labor.

»Pero, aun así y todo, ojeando con trabajo algunas páginas y haciendo que me lean otras, he adquirido el convencimiento de que ha realizado usted una hermosísima labor científica que demuestra su mucho talento y su actividad infatigable.

»Si la obra estuviese escrita, por ejemplo, en francés, estoy seguro que tendría extraordinaria resonancia.

»Ya que no he podido leer toda la obra por mí, me he enterado con más minuciosidad del apéndice en que trata usted de la resolución mecánica de sistemas de ecuaciones lineales y es una solución preciosa é ingeniosísima, que hace honor á su inventiva y que abre horizontes aun para mayores empresas.

»Mucho más quisiera decir á usted de su gran trabajo; pero sería repetir por escrito lo que de palabra le he dicho más de una vez con sinceridad y entusiasmo. Siempre suyo afectísimo amigo y compañero, José Echegaray.»

## Informe de la Escuela de Caminos.

Ilmo. Sr. Director general de Obras públicas.

La Junta de Profesores de esta Escuela, deseando dar á conocer á la Superioridad los grandes méritos contraídos por el profesor D. Juan Manuel de Zafra con la publicación de su obra titulada *Cálculo de estructuras*, y proponiendo, si hubiere lugar á ello,

que se otorgue una alta recompensa á su autor, nombró en su sesión de 15 de Diciembre de 1915 una Ponencia compuesta del Profesor de Mecánica aplicada, D. Bernardo Granda, del de Puentes D. Santos María de la Puente y del Director que suscribe, á fin de que emitiera dictamen. Completada la obra con la publicación del tomo II en el mes de Junio último, la Comisión emitió su dictamen que fué leído y aprobado por unanimidad en sesión celebrada en 29 de Septiembre último, y dice así:

«La obra está dividida en dieciocho capítulos, á los que se agrega un apéndice y ocho tablas para facilitar la resolución de cuestiones concretas, aplicación de las teorías expuestas por el autor.

Diffícil tarea es dar idea de la obra de nuestro compañero si se pretende al mismo tiempo la brevedad y claridad en la exposición; no sólo por lo abstracto de los estudios planteados y resueltos, sino por el carácter de completa generalidad con que han sido tratados, y con el fin de conseguirlo reduciremos nuestro trabajo á una enumeración de las principales cuestiones estudiadas, con el menor número posible de comentarios. (Como la mayoría de los lectores conocen ya la obra, publicamos en la nota (1) la síntesis de la misma que con tanta claridad hace la Ponencia.)

.....

(1) En el primer capítulo de la obra se hace un estudio sintético de acciones, reacciones, causas y esfuerzos solicitantes, cargas unitarias, sus componentes y cargas principales; deformaciones y trabajo elástico elemental, y una aclaración muy oportuna sobre los coeficientes de elasticidad y la aplicación de la ley de Hooke. Después de algunas consideraciones de elementos estructurales y sustentadores, estructuras y sustentaciones, se determinan las expresiones analíticas de las componentes de las reacciones moleculares normal y tangencial y también las expresiones analíticas de los recorridos lineal y angular debida á la deformación elástica del elemento de fibra.

Demuestra el autor en el capítulo II, con exposición distinta de la conocida, las dos partes del teorema de Castigliano, y de él deduce la expresión analítica del trabajo elástico en función de las cargas y las deformaciones elementales, teniendo en cuenta las variaciones de temperatura ó de estado higrométrico, en el caso de ser plana la fibra media y no existir torsión.

En este mismo capítulo de su obra demuestra los teoremas de Maxwell, Mohr y Betti y deduce la expresión analítica del trabajo debido á un desequilibrio térmico en las estructuras hiperestáticas ya lo sean por ser superabundantes, ó por tener un soporte elemental más.

Se hace en el mismo capítulo un estudio muy elegante de la determinación del trabajo dinámico producido por las acciones que se establecen de un modo repentino con todo su valor, sin ó con choque.

Y termina este capítulo en el que estudia el autor todos los elementos que intervienen en el cálculo de estructura en general, lo que pudiéramos llamar el resumen y esencia de su Mecánica aplicada, con muy bien expuestas consideraciones sobre las líneas de influencia en las reacciones de sustentación, momentos flectores, esfuerzos normal y tangencial, y deformaciones en determinado sentido; líneas convenientísimas para el cálculo de las dimensiones de los elementos estructurales.

Los capítulos siguientes, son: aplicación de estos principios fundamentales al cálculo de cuantas estructuras planas se emplean en construcción, pero de una vez para siempre hemos de advertir que ese estudio se hace escrupulosa y científicamente, con verdadera fortuna y originalidad en los procedimientos, tanto en la parte mecánica de cada uno de los problemas, como en el desarrollo de los cálculos, llegando á consecuencias utilísimas para el Ingeniero que haya de proyectar y construir.

El capítulo III está dedicado á los elementos estructurales rectos y de sección constante, pieza empotrada en un extremo, pieza artieu-



EXCMO. SR. D. JUAN MANUEL DE ZAFRA  
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
PROFESOR DE BOMBÓN ARMADO  
Y DE PUERTOS EN LA ESCUELA ESPECIAL DEL CUERPO  
Condecorado con la **Gran Cruz de Alfonso XII**  
por sus notables trabajos científicos.

La lectura de lo que precede patentiza la profundidad, la extensión y la generalidad del trabajo de nuestro compañero, pero no basta para dar idea de su mérito y de su originalidad. Conviene hacer notar que el Sr. Zafra no se limita á la labor vulgar, aunque á veces muy meritoria de quien compone un buen libro de texto; su mérito es mucho mayor, porque la obra

lada en un extremo y libremente apoyada en el otro, pieza articulada en un punto y libremente apoyada en otro, pieza empotrada en sus dos extremos y pieza empotrada en un extremo y articulada en un punto. En cada una de estas aplicaciones obtiene la ley de variación del momento flector y del esfuerzo tangencial, la línea de influencia de las reacciones de sustentación debida á la causa unidad y para el mismo supuesto, la línea de influencia del momento flector y del esfuerzo tangencial en una sección cualquiera, el recorrido de la causa solicitante y la deformación de la pieza en un punto del que se deduce la ecuación de la elástica debida al momento flector y al esfuerzo tangencial; tanto en el caso de fuerzas aisladas como en el de fuerzas continuas, estudiando además la influencia de un equilibrio térmico ó higrométrico. Debiendo advertirse, que como novedad muy conveniente para las aplicaciones, se sustituyen las magnitudes geométricas y abscisas absolutas por sus relaciones á la longitud de la pieza.

Es el objeto del capítulo IV el estudio de la pieza elásticamente sustentada, fundamentada en el del sistema isostático equivalente á un hiperestático dado, para el que se obtienen las relaciones entre las reacciones adicionales. Obteniéndose también la expresión analítica del recorrido angular del extremo de la pieza, debido á una traslación de las sustentaciones, cualesquiera que sean las fuerzas y causas solicitantes y el desequilibrio térmico ó higrométrico.

En este mismo capítulo se estudia el pilar empotrado en la base y articulado en la base, determinando el recorrido horizontal y el lineal total de su extremidad, cualquiera que sea la causa solicitante.

Partiendo de estos estudios previos, se establece la ecuación que expresa la igualdad de los recorridos angulares del extremo de la viga y la coronación del pilar concurrentes, que, en unión de las ecuaciones de nudo, son las fundamentales para el cálculo de estas estructuras.

En el mismo capítulo se estudia el pórtico sencillo ortogonal y oblicuo, determinando el efecto de cada una de las causas solicitantes sobre la viga y sobre el pilar; las reacciones adicionales; la ley de variación del momento flector en la viga del pórtico, y la línea de influencia del momento flector en una sección cualquiera de la misma.

Terminando el capítulo con el mismo estudio sobre el pórtico volado.

En el capítulo V se estudia el pórtico múltiple, formado de elementos de sección constante, estableciendo como base de su cálculo la ecuación de los cuatro momentos, y considerando como degeneraciones del caso general el correspondiente á estar articulado alguno de los pilares y la viga continua de varios tramos. En el estudio del pórtico múltiple se determinan: las reacciones adicionales; la ley de variación del momento flector en una sección cualquiera de la estructura, por la acción de una fuerza en un punto de una de las vigas del pórtico, y la línea de influencia de los momentos flectores. También se estudia el efecto de un recorrido vertical, una acción horizontal y un desequilibrio térmico ó higrométrico, admitiendo una variación uniforme en cada uno de los elementos de la estructura, y el debido á un asiento producido por deformación elástica.

Se estudian en el capítulo VI las degeneraciones del pórtico múltiple, y entre ellas, la viga sobre apoyos flotantes, deduciendo la ecuación de los cinco momentos y determinando las reacciones adicionales y la línea de influencia de los momentos flectores, y como caso particular de éste, el de las luces iguales. Como degeneraciones del pórtico múltiple, considera el autor: la viga directamente flotante, el carril de vía férrea, el poste, el pilote, etc., haciendo detalladamente el estudio de los primeros.

Se hace en el capítulo VII el estudio general del pandeo, y estabilidad de forma de las piezas rectas, haciendo aplicación á la pieza empotrada en un extremo y solicitada en el otro por un esfuerzo axial; á la pieza de igual modo sustentada y vertical solicitada por su propio peso; á la pieza articulada en sus dos extremos, consideradas como piezas sujetas á pandeo, sin más defensa contra él que su propia rigidez, haciéndose igual estudio sobre las piezas sostenidas comprimidas y las piezas complejas.

Termina este capítulo con el estudio de las causas determinantes del pandeo haciendo aplicación á la pieza empotrada en uno ó en sus dos extremos, y con el de flexión compuesta debida á acciones longitu-

manifiesta claramente un trabajo perseverante de investigación personal y de sistematización de métodos que sólo se habían aplicado hasta ahora aisladamente á casos particulares, y que nuestro autor ha sabido condensar en un sólo método completamente general. Prueba de ello es la compleja y sabia notación, que proporciona á quien llegue á poseerla con dominio suficiente un

dinales con aplicación á la pieza empotrada en un extremo, á la articulada en sus dos extremos y al pescante.

En el capítulo VIII, último del primer tomo, se considera en toda su generalidad la deformación de las piezas prismáticas, aplicando la teoría que se expone á las piezas de gran flexibilidad solicitadas por su propio peso y por una fuerza aislada móvil, teniendo en cuenta el efecto de la deformación elástica, estudiándose también en este capítulo los puntos colgados semirrígidos y los colgadas sin vientos ó con vientos oblicuos.

Los arcos isostáticos se estudian en el capítulo IX, en el que se trata del arco de tres rótulas, determinando las reacciones de sustentación, el momento flector, los esfuerzos normal y tangencial, las líneas de influencia de los momentos flectores y esfuerzos normales y la deformación del arco, tratándose también del arco isostático complejo, determinando las reacciones de sustentación y los esfuerzos en los distintos elementos supuestos articulados.

Con la aplicación de cuanto antecede á los puntos colgados rígidos concluye este capítulo.

Los arcos hiperestáticos se estudian en el capítulo X, considerando el arco atirantado con aplicación al arco de fibra media circular y sección constante; el arco, con tirante en arco, isostáticamente sustentado; el arco articulado y el arco empotrado, con aplicación al arco de fibra media, parabólica, simétrico y disimétrico. En cada uno de estos estudios se determinan: las reacciones de sustentación, los momentos flectores, los esfuerzos normales y tangenciales, el efecto de una acción horizontal, de un desequilibrio térmico y de la deformación de los estribos; y las líneas de influencia de las reacciones de sustentación, momentos flectores y esfuerzos normales y tangenciales, en el caso de ser la causa solicitante una fuerza móvil.

Concluyendo el capítulo con el estudio de la influencia de la curvatura de la fibra media, en relación con el canto de la sección.

Se destina el capítulo XI á las formas tubulares y al arco en toda su generalidad con reacciones hiperestáticas; estudiando los tubos circulares apoyados sobre una generatriz, con doble apoyo de reacción radial y apoyados sobre cama de fábrica; determinando el momento flector debido al peso propio á un esfuerzo que provoca la flexión y el peso del líquido que lo llena; el efecto de una presión radial, uniforme, de un sistema de fuerzas concentradas, iguales y equidistantes, de una sobrecarga de tierras y de un desequilibrio térmico; estudiando, además, la deformación y el trabajo anormal de los tubos por efecto de las acciones longitudinales, con aplicación á las cubiertas de los depósitos.

Se estudian también en este capítulo los tubos poligonales de sección poligonal regular, los silos, los tubos de gran espesor, el recipiente esférico, los buques de una sola cubierta y los arriostramientos de los puentes metálicos.

Se hace en el capítulo XII el estudio de la arcada sencilla, de forma cualquiera, y se aplica: á la arcada parabólica recta, al arco elásticamente empotrado, á la arcada cubierta á dos aguas, á la arcada abuhardillada, al pórtico elásticamente sustentado y á la arcada semicircular. Determinando en cada una de estas aplicaciones los recorridos angulares de las tangentes extremas á la fibra media; la ecuación que expresa la igualdad de este recorrido angular y el correspondiente de la coronación del pilar, la ecuación de la cuerda y las reacciones hiperestáticas.

Se refiere el capítulo XIII á la arcada múltiple, estudiada primero con pilares de momento de inercia constante y después con pilares de sección variable, estableciendo la ecuación de los ocho momentos, considerando el caso que la sustentación del pilar degenera en rótula para determinar las reacciones, y en función de éstas, la ley de variación del momento flector en una sección de la estructura, originada por efecto de la fuerza. Determina también las líneas de influencia de los momentos extremos en un arco cualquiera y de la reacción, según la cuerda; la línea de influencia de los momentos flectores en una sección cualquiera y el efecto de las causas que á un tiempo afectan á toda la estructura, peso propio, variación de temperatura, etc., terminando con la aplicación de la teoría general á una arcada de tres vanos parabólicos desiguales, sostenidos por pilares articulados, en los siguientes casos: arcadas articuladas entre sí y con los pilares, arcada continua con arti-

instrumento poderosísimo para acometer sin vacilaciones y con seguridad del éxito problemas que siempre se han considerado como extremadamente difíciles, y que el Sr. Zafra ha resuelto valiéndose de ese instrumento que él ha creado.

Así, cuando el Sr. Zafra dice modestamente que aplica el método de un autor determinado, lo que en realidad hace en muchos casos es aplicar *su método*, en el que está siempre contenido el que el autor citado aplica al caso particular; así ocurre, por no citar más que un caso, cuando aplica el método de Muller-Breslau al cálculo de tubos circulares.

Hay teorías fundamentales tratadas por el Sr. Zafra siguiendo procedimientos que no se encuentran en otros autores, que se pamos; esto ocurre, por ejemplo, en la teoría fundamental del cálculo del elemento en la celosía triangulada.

En resumen, la Mecánica elástica del Sr. Zafra es, á nuestro juicio, la más completa, la más general y la mejor adaptada á nuestro modo de pensar, de cuantas conocemos.

Para terminar lo que se refiere á la publicación de la obra *Cálculo de estructuras*, sólo nos resta decir que está esmeradamente compuesta y cuidada y elegantemente editada.

No es esta la primera obra de este ilustre Ingeniero, aunque sí, á nuestro juicio, la más extensa y de mayor mérito científico; obras suyas son: el libro titulado *Construcciones de hormigón armado*, un estudio sobre presas de embalse, un trabajo que presentó al Congreso de Navegación de Filadelfia sobre aplicaciones del hormigón armado á las obras hidráulicas, y gran número de notas presentadas á los Congresos de la Asociación española para el progreso de las ciencias y publicadas otras en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

En otro orden de trabajos no deben olvidarse los embarcaderos de Cala y Aznalcóllar, que proyectó y construyó; su proyecto de cubierta del tercer depósito de aguas para el abastecimiento de Madrid, que no se ejecutó; su proyecto, premiado en concurso, de un puente de hormigón armado sobre el Guadiana, y su fecunda labor durante muchos años en el puerto de Sevilla. Finalmente, debemos mencionar su merilísima labor como Profesor; ha creado

culación en los pilares, arcadas atirantadas; puentes compensados con arcada continua ó unidas por articulación y arcada continua en los pilares con articulación en la secciones intermedias, suponiendo en todos los casos que las articulaciones extremas son inmóviles ó con movimiento elástico.

El capítulo XIV, destinado á las estructuras reticulares, empieza por el estudio del elemento recto, obteniéndose el recorrido angular de su extremo, y la ecuación que liga ese recorrido con el momento que lo origina en los casos de empotramiento perfecto y articulación; obteniéndose también la línea de influencia de los momentos flectores aproximados y exactos. Se aplica la teoría general á la estructura de entramado de pilares y vigas. Y concluye el capítulo estudiando la influencia de la traslación horizontal y vertical del nudo, con aplicación á la pieza empotrada en un extremo.

Las estructuras reticulares anguladas se estudian en el capítulo XV. Después de hacer patente la indeterminación del problema y fijar el número de indeterminados, se procede á su determinación por las ecuaciones de la estática, las de las condiciones de sustentación, las de elasticidad, y las que expresan el equilibrio giratorio, en los casos de estructuras articuladas con sustentación isostática ó hiperestática.

Se estudian también en este capítulo las estructuras reticuladas triangulares empotradas, detallando la resolución aproximada del sistema de ecuaciones resultantes.

Por último, se estudia la influencia del cambio de reforma de las barras en la repartición del trabajo elástico, y se expone un método aproximado de cálculo de las estructuras reticuladas trianguladas.

Comienza el capítulo XVI dedicado al entramado de rótulas, por el estudio de la transmisión de cualquier sistema de causas, cuya resultante es una fuerza actuando sobre un cuerpo elástico, á otro de igual clase unido al primero por tres bielas no concurrentes, aplicándose la teoría

la clase de «hormigón armado» de esta Escuela, y á sus enseñanzas se debe, en gran parte, la difusión de esta clase de conocimientos entre los Ingenieros españoles.

Todo ello es prueba de la clara inteligencia, la extensa cultura y la laboriosidad perseverante de D. Juan Manuel de Zafra, motivo de nuestra legítima admiración.

Pero, aun contrariando á sabiendas su gran modestia, y aparte del homenaje que ya le tributaron el Director y profesores de la Escuela, la Junta considera como un grato deber, que reconocen unánimemente todos sus miembros y al que se adherirá seguramente el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, rogar á la Superioridad que conforme á los trámites reglamentarios, solicite del Excmo. Sr. Ministro de Instrucción pública la concesión de la gran Cruz de Alfonso XII á favor del Profesor de esta Escuela, el Ingeniero-Jefe D. Juan Manuel de Zafra.

Lo que tengo el honor de poner en conocimiento de V. I. rogándole que dé curso, como proceda, á la propuesta de la Junta de Profesores. Dios guarde á V. I. muchos años. Madrid 3 de Octubre de 1916.—L. Gaztelu.»

\* \*

El Consejo de Obras públicas se adhirió á lo anteriormente expuesto, y la Asociación de Ingenieros de Caminos, por unanimidad, hizo suya la propuesta para la petición de la mencionada gran Cruz.

El informe de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales emite análogos comentarios á los transcritos del de la Escuela de Caminos.

#### De varias revistas.

*Memorial de Ingenieros del Ejército* de Mayo de 1917:

«Los propósitos del Sr. Zafra están claramente expuestos en el prólogo: reunir, en cuerpo de doctrina, todo cuanto hace relación con el cálculo de *estructuras*, dándole unidad, fundamentando los métodos en el estudio del trabajo elástico, huyendo de los

general á las formas derivadas de las células triangulares. Se obtienen las líneas de influencia, en el caso de que las causas solicitantes sean fuerzas paralelas, y las estructuras estén isostáticamente sustentadas, y se determinan las deformaciones, los recorridos de los nudos en determinadas direcciones, y los recorridos absolutos.

En el capítulo XVII se estudian las piezas apeadas en el caso de soportes y apeos inmovibles y cuando la sustentación intermedia es deformable, siendo uno ó más los apoyos intermedios, y las estructuras armadas, determinando la línea de influencia de las flechas.

En el mismo capítulo se estudia la estructura compleja formada por la agregación de piezas y entramados, determinando las reacciones de las bielas elementales y las de las barras superfluas.

Y termina el capítulo con el estudio del arco reticular empotrado mediante las líneas de influencia elástica.

En el capítulo XVIII, destinado á las estructuras trapeziales, se obtiene el recorrido relativo en el extremo de un elemento elásticamente empotrado en la coronación del pilar por la acción de una fuerza horizontal, vertical, ó un momento, actuando en ese extremo, cuando es constante el momento de inercia del elemento, y cuando la sección es variable. Se determinan los momentos flectores en el extremo de un elemento y en función de ellos los momentos flectores y los esfuerzos normales y tangenciales en todos los elementos de la estructura, aplicando la teoría general expuesta á las vigas Vierendeel, á la pila del puente por el autor proyectado sobre el río Guadiana, en Villanueva de la Serena, y á los buques de varias cubiertas.

En el apéndice expone el autor el principio científico del mecanismo por él ideado y proyectado para la resolución de los sistemas de ecuaciones lineales, cuya construcción se realiza en los talleres del Laboratorio de Automática, que dirige el distinguido Ingeniero Sr. Torres Quevedo.

recetarios, de los procedimientos particulares y un tanto arbitrarios aplicados á cada problema parcial de los varios que puede plantear la Mecánica aplicada á las construcciones y á las máquinas. La palabra *estructura*, muy empleada en el extranjero, comprende todas las combinaciones de elementos de una construcción. El programa de la obra del Sr. Zafra es, pues, muy completo.

Conformes, en un todo, con el Sr. Zafra, en que su excelente obra no es simple trabajo de compilación y traducción, sino el fruto de un profundo estudio de complejas materias, madurado, modificado, adaptado en los fundamentos y encadenamiento de la exposición, con criterio propio. Pero pese á su modestia, hemos de reforzar la nota de lo que en ese trabajo hay exclusivamente suyo; no es *algo* como él dice, es *alguno*, es *mucho*.

En suma; exposición de métodos de cálculo, «en forma doc-

16 A

*En forma explícita:*

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{A'}{\Delta} \frac{L_0+L_5}{2} + \frac{D'}{\Delta} \frac{L_1+L_4}{2} + \frac{G'}{\Delta} \frac{L_2+L_3}{2} + \\
 &+ \frac{\alpha'}{\Delta} \frac{L_0-L_5}{2} + \frac{\delta'}{\Delta} \frac{L_1-L_4}{2} + \frac{\eta'}{\Delta} \frac{L_2-L_3}{2} = \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{A'}{\Delta} + \frac{\alpha'}{\Delta} \right) L_0 + \left( \frac{D'}{\Delta} + \frac{\delta'}{\Delta} \right) L_1 + \left( \frac{G'}{\Delta} + \frac{\eta'}{\Delta} \right) L_2 + \right. \\
 &\quad \left. + \left( \frac{G'}{\Delta} - \frac{\eta'}{\Delta} \right) L_3 + \left( \frac{D'}{\Delta} - \frac{\delta'}{\Delta} \right) L_4 + \left( \frac{A'}{\Delta} - \frac{\alpha'}{\Delta} \right) L_5 \right\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_5 &= \frac{A'}{\Delta} \frac{L_0+L_5}{2} + \frac{D'}{\Delta} \frac{L_1+L_4}{2} + \frac{G'}{\Delta} \frac{L_2+L_3}{2} + \\
 &+ \frac{\alpha'}{\Delta} \frac{L_0-L_5}{2} + \frac{\delta'}{\Delta} \frac{L_1-L_4}{2} + \frac{\eta'}{\Delta} \frac{L_2-L_3}{2} = \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{A'}{\Delta} - \frac{\alpha'}{\Delta} \right) L_0 + \left( \frac{D'}{\Delta} - \frac{\delta'}{\Delta} \right) L_1 + \left( \frac{G'}{\Delta} - \frac{\eta'}{\Delta} \right) L_2 + \right. \\
 &\quad \left. + \left( \frac{G'}{\Delta} + \frac{\eta'}{\Delta} \right) L_3 + \left( \frac{D'}{\Delta} + \frac{\delta'}{\Delta} \right) L_4 + \left( \frac{A'}{\Delta} + \frac{\alpha'}{\Delta} \right) L_5 \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Facsimile de una cuartilla del original del «Cálculo de estructuras».

(Reducida en la relación de 3 á 2.)

Al escribir el autor el original tenía ya en cuenta la mas clara disposición tipográfica de las fórmulas.

trinal, con riguroso criterio y lógica ilación y sobre todo con carácter ingenieril, de inmediata aplicabilidad á la práctica». Y estos propósitos del Sr. Zafra están convertidos en realidad, con el feliz éxito que era de esperar en un Ingeniero de tan elevada inteligencia y profundos y extensos conocimientos, y tan especializado en las arduas é interesantes cuestiones que plantea y resuelve la Mecánica aplicada á las Construcciones, asignatura en que ya tenía ganado el título de maestro.

Nuestro sincero aplauso al maestro y querido compañero de Ingeniería y nuestra enhorabuena á cuantos cultivan todas las ramas profesionales de la arquitectura general; porque pueden contar, en el ejercicio de su profesión, con tan excelente tratado del cálculo de estructuras.—J. M. M.» (1).

(1) Estas iniciales coinciden con las del ilustre General D. José Marvá.

*Ibérica* de 15 de Abril de 1916.

«En toda la obra el autor ha adoptado exclusivamente los elegantes métodos basados en la teoría del trabajo elástico, y por este concepto la labor realizada por el sabio profesor nos parece digna de todo encomio, no sólo por el caudal de trabajo personal que representa, sino también porque tales métodos, aunque ya algo antiguos en el fondo, se proponen en forma nueva, y poco menos que desconocida en España. El cálculo de una estructura pasa á ser un problema de Dinámica que no difiere esencialmente del estudio de una máquina en movimiento, pues en ambos casos es aplicable la ley del equilibrio entre el trabajo motor y el trabajo resistente.

..... — J. P.»

*Ibérica* de 13 de Enero de 1917.

«En el vol. V, pág. 254 de nuestra publicación, dimos á conocer el primer tomo de esta obra, que ya terminado pregona, al par que la potencia intelectual, la inquebrantable fuerza de voluntad de su autor. Muy pocas personas llegarán á formar cabal idea del trabajo que representa simplemente la corrección de unas 1.500 páginas de tal género de impresión, materialmente cuajadas de números y fórmulas.

El Sr. de Zafra, dejándose llevar de sus aficiones predilectas, ha enriquecido la bibliografía científica española, no con un libro de texto más ó menos adocenado y escrito con fines lucrativos, sino con una obra concienzuda, de alientos, y publicada sin otros fines que el de comunicar su ciencia con los demás.»

*Ibérica* de 17 de Noviembre de 1917:

«Debemos á la amabilidad del Ingeniero D. Rafael Martínez Torres esta oportuniísima mención de la conferencia del Sr. Zafra, de la que nos dice además que «es obra razonadísima y meritoria, como todos los trabajos de este Ingeniero, mi apreciado Profesor, y, sin disputa, uno de los mejores técnicos del mundo en la especialidad del cemento armado». Opinión es ésta que hemos oído á varios beneméritos Ingenieros y con suma satisfacción la consignamos en nuestras páginas, como modesto tributo de admiración al meritísimo autor de *Cálculo de estructuras*, verdadero monumento de la Ingeniería moderna.»

*La Ingeniería*, Buenos Aires, 1.º de Diciembre de 1916:

«El Ingeniero Zafra se ha propuesto hacer obra *ingenieril*, de inmediata aplicabilidad á la práctica, huyendo del *recetarismo*; inspirado en libros y revistas casi exclusivamente en lengua tedesca, ha tratado de exponer para españoles y á la española lo que, aprendido en muy diversos orígenes, seleccionado y madurado después, ha llegado á formar su criterio, su conocimiento personal. Podemos afirmar que ha logrado su deseo, añadiendo algo genuinamente propio.»

*La Construcción Moderna* de 30 de Enero de 1916:

«El límite de máxima aplicación de la mecánica elástica, los nuevos horizontes que se desarrollan á la vista del técnico constructor, el mayor ó menor desuso de los métodos clásicos, son cuestiones que no es quién el que suscribe para abordarlas y que el enumerarlas sólo supone atrevimiento. Pero sí puede decir que si las culturas técnicas y labores científicas admitieran representación geométrica, la obra del Sr. Zafra (dedicada á Echegaray

y honrándose recíprocamente) quedaría muy por alto del nivel del plano horizontal donde residen las culturas superficiales ó de dos dimensiones que pudiéramos decir.

No es obra de primera lectura. Requiere un estudio detenido; pero se entiende perfectamente, por la claridad del autor en sus explicaciones.

Sobre dar gran relieve al Sr. Zafra, el *Cálculo de estructuras*, acreditará á la Ciencia española ante la extranjera, pues seguramente, cuando pasen las circunstancias presentes se verá traducido; y la totalidad de la obra facilitará el cálculo, hoy inabordable en algunos casos.

*La Construcción Moderna* felicita al autor con el respeto que merece labor tan sólida y tan afortunada.—*Carlos Barutell.*»

*La Construcción Moderna* de 15 de Julio de 1916:

«En el prólogo del tomo primero dice el autor:

No intentamos publicar una nueva mecánica de las construcciones, sino exponer los métodos de cálculo, antiguos en el fondo, modernos en la forma ó en el objeto, que permiten resolver los más difíciles problemas con el mínimo trabajo personal. Pero, enemigos acérrimos del *recetarismo*, queremos exponer esos métodos en forma doctrinal, con riguroso criterio y lógica ilación y, sobre todo, con carácter *ingenieril*, de inmediata aplicabilidad á la práctica.

Sin embargo, visto el conjunto, parece, no ya una mecánica de las construcciones, sino una completísima mecánica general, pues en el tomo segundo (pág. 303) se expone el método de cálculo para la estructura (como forma tubular) del buque; y si bien se estudia en su forma sencilla de una sola cubierta, y se afirma inabordable para el cálculo, la forma general de varias cubiertas y puntales, el solo detalle de iniciar tan complejos estudios demuestran lo que decimos respecto á los altos vuelos científicos de la obra de referencia y sus múltiples aplicaciones.

*La Construcción Moderna* cumple un grato deber al señalar la importancia del *Cálculo de estructuras*, obra didáctica, muy sólida en su base y en su desarrollo y muy *elástica* por sus aplicaciones; y reitera al autor el testimonio de la admiración más expresiva.—*Carlos Barutell.*»

*Engineering Record*:

«Entre los originales rasgos de esta completa obra sobre el análisis de estructuras pueden ser mencionadas las soluciones de los problemas de arcadas múltiples, estructuras reticulares trianguladas y estructuras trapeciales.»

*Ingeniería* de 10 de Enero de 1916:

«No incurriremos en el error de *descubrir* el mérito evidente y grande de la labor técnica del Sr. Zafra, que ha consagrado su vida al estudio y que refleja en su libro, no sólo lo que de la materia de que la obra trata habían ya expuesto otros Ingenieros y profesores, sino mucho propio y genuinamente original, resolviendo algunos difíciles problemas cuya solución se viene haciendo bastantes años persiguiendo.»

«En suma, el *Cálculo de estructuras* del Sr. Zafra viene á enriquecer la literatura científica española con una obra de positivo y sólido valor y de verdadera originalidad.»

*Ingeniería* de 30 de Julio de 1916:

«El sabio Ingeniero, Profesor de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, acaba de publicar el segundo volumen de su

obra, á la cual se deben dedicar toda clase de alabanzas, por ser digna continuación del primer tomo, al que tan merecidos elogios han prodigado todos aquellos que han tenido el placer de ocuparse de tan meritisima obra.

Comprendiendo los compañeros del Sr. Zafra la importancia de la misma, le han dedicado un artístico pergamino de admiración y estima por sus desvelos en la Ciencia, en la que, según uno de los juicios expresados por sus críticos, se ha adelantado á su época, pues el cambio de método en la enseñanza requiere tiempo para ir abandonando rutinas y adoptar nuevos moldes.

*España Automóvil y Aeronáutica* de 15 de Septiembre de 1917:

«El Profesor Zafra, desconocido para la generalidad de los españoles, es una de esas personalidades que en donde con más discernimiento se confieran los adjetivos, llevaría ante su nombre el de sabio.

Don Juan Manuel Zafra, Ingeniero-Jefe del Cuerpo de Caminos, Canales y Puertos, se dedicó desde hace muchos años á las construcciones de cemento armado, y el resultado de su experiencia lo ha dado á conocer en luminosos escritos y obras de enseñanza.

La obra de que nos ocupamos no está escrita para el público en general. Requiere su lectura una sólida base de conocimientos de matemáticas y de mecánica general. Es para los Ingenieros y personas cultivadas en esta particular clase de conocimientos.

El Sr. Zafra ha logrado su propósito con creces y su obra ha de constituir uno de los libros clásicos universales para todos los que se dedican á la hermosa ciencia y al bello arte de la construcción.»

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS:

«Y hecha esa gran síntesis del sentimiento colectivo para enaltecer al que ha proporcionado á la ingeniería su libro básico elogiado por cuantas revistas se han ocupado del mismo, y que para darlo no sólo ha vertido en él su inteligencia y ha puesto á prueba su tenacidad incansable, sino que ha llegado al sacrificio personal de editarlo y editarlo con el primor que el fondo requiere y al fondo ha dado, haciendo fabricar papel exprofeso y fundir tipos de imprenta especiales, llevando el orden y la pulcritud, de que tanto gusta la matemática, al extremo; hecha esa gran síntesis que tanto enaltece al que la hace como al agasajado, represente ella un plebiscito para que la preciada condecoración de Alfonso XII, impuesta en solemnidad académica relevante, celebrada en el salón de actos de la Escuela, sirva de recompensa social al que sin soñar en distinciones ni compensaciones ha dado cuanto vale para aumentar el valer de los demás.»

En forma análoga se expresan las demás revistas.

\*\*\*

Ese es el juicio que merecieron la obra y su autor; el sector oficial no podía quedar mudo; el Sr. Ministro de Fomento impuesto de cuanto se menciona en tan luminosos informes y haciéndose eco de la aspiración general, creyó de justicia proponer al de Instrucción pública se abriera expediente para la concesión de la gran Cruz de Alfonso XII al Sr. Zafra.

\*\*

#### Gratitud merecida á los Sres. Azqueta y Salvatella.

Terminado el expediente para la condecoración de referencia, y aunque aquéllos son en reducido número, habiendo siempre más candidatos (nacionales y extranjeros) que vacantes, el tiempo

transcurría sin que se presentara á S. M. la propuesta del Sr. Zafra; á pesar de sus esfuerzos, los varios Directores de Obras públicas, que, como Jefes natos del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, se interesaron por tan justificada petición, no pudieron conseguirlo, hasta que el actual Director, Sr. Azqueta, ha logrado convencer al Sr. Ministro de Instrucción pública de que convenía dar cuenta sin demora del mencionado expediente á S. M. el Rey, y justo es decir que el Sr. Salvatella se hizo tan exactamente cargo de tal necesidad que inmediatamente lo elevó al regio examen.

Los Ingenieros de Caminos, presididos por el de la Asociación, Sr. Terán, dieron por ello las más expresivas gracias al Sr. Azqueta y al Sr. Salvatella, uniéndose aquél en esta última visita á los demás Ingenieros, para figurar tan sólo con este carácter, compartiendo su satisfacción.

La REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS consigna con gusto tales expresiones de sincera gratitud y aplaude con entusiasmo á los señores Azqueta y Salvatella.

El Sr. Azqueta personalmente hizo entrega de la comunicación de la firma regia, en la Escuela de Ingenieros de Caminos, al Sr. Zafra, ante los demás profesores y Director de la Escuela, reunidos en el despacho de este último. Excusado es decir la grata sorpresa del interesado y de sus compañeros, y cuánto agradecieron su mediación al Sr. Azqueta. Fué una visita en que dominó más el sentimiento que las palabras.

\*\*

#### Las insignias por suscripción de sus compañeros.

Entre los Ingenieros reunidos se inició en el acto la idea de ofrecer al Sr. Zafra las insignias de la Gran Cruz, manifestando el Sr. Subsecretario de Fomento en cuanto se enteró que, como *Ingeniero honorario*, descaba adherirse desde luego á la suscripción, lo cual se recibió con agrado por los presentes.

Teniendo en cuenta el gran número de compañeros que desearán contribuir á esta prueba de aprecio hacia el obsequiado se acordó que la cuota individual no excediera de 5 pesetas. He aquí la lista de la suscripción iniciada, que estará abierta en esta REVISTA hasta el día 12 de Abril:

- |     |    |                            |
|-----|----|----------------------------|
| Sr. | D. | Horacio Azqueta.           |
| »   | »  | Isidoro Pérez Oliva.       |
| »   | »  | Francisco Terán.           |
| »   | »  | Luis Gaztelu.              |
| »   | »  | Ricardo Boguerín.          |
| »   | »  | Eugenio Ribera.            |
| »   | »  | Vicente Machimbarrena.     |
| »   | »  | Antonio Sonier.            |
| »   | »  | Carlos de Orduña.          |
| »   | »  | Narciso Puig.              |
| »   | »  | Enrique Colás.             |
| »   | »  | Enrique Picó.              |
| »   | »  | Antonio Prieto.            |
| »   | »  | Bienvenido Oliver.         |
| »   | »  | Bernardo Granda.           |
| »   | »  | José Luis Gómez Navarro.   |
| »   | »  | Toribio Cáceres.           |
| »   | »  | Ramón Freire.              |
| »   | »  | Andrés Morán.              |
| »   | »  | Luis Sánchez Cuervo.       |
| »   | »  | Pablo Fernández Quintana.  |
| »   | »  | José Cebada.               |
| »   | »  | Sebastián Tauler.          |
| »   | »  | Santos María de la Puente. |
| »   | »  | Juan Sánchez Torres.       |

- Sr. D. Rodolfo Gelabert.
- » » Antonio Valenciano.
- » » Baldomero Donnet.
- » » Manuel Sanz Garrido.
- » » Román Ochando.
- » » José Luis Mier.
- » » Saturnino Zufiaurre.
- » » Manuel Latorre.
- » » Manuel Maluquer.
- » » Jaime Llorén.
- » » Federico Ruiz Benito.
- » » Casimiro Juanes.
- » » José Roibal.
- » » Bartolomé Esteban Mata.
- » » Gumersindo Gutiérrez Gándara.

(Se continuará.)

\*  
\*\*

**Imposición de la Gran Cruz.**

Terminaremos repitiendo el deseo expresado en las palabras finales de nuestro artículo del año 1916, arriba transcrito:

«..... que la preciada condecoración de Alfonso XII sea impuesta en solemnidad académica relevante, celebrada en nuestra Escuela, al que sin soñar en distinciones ni compensaciones ha dado cuanto vale para aumentar el valer de los demás.»

**Refuerzo y sustitución de tramos metálicos.**

(CONTINUACIÓN) (1)

El coste total de la obra ascendió, sumando todos los conceptos que á continuación se señalan, á la cantidad de 356.525,08 pesetas:

	Pesetas.
Cimentaciones.....	130.350,00
Pilas.....	37.200,00
Tramos metálicos..	133.175,36
Arreglo de fábricas, modificación de rasantes y trazados y varios.....	35.799,72
	356.525,08

En la totalidad del trabajo se emplearon diecinueve meses.

Tanto los trabajos de cimentación y construcción de pilas, como los de construcción y montaje de los nuevos tramos, fueron realizados con todo éxito por La Maquinista Terrestre y Marítima, de Barcelona, á la cual se había encomendado este trabajo en concurso celebrado por la Compañía.

En la figura 131 se representa el estado actual de la obra, completamente terminada.

Insisto sobre la observación que con carácter general se ha hecho, de que los precios señalados corresponden á contratos realizados en 1915, ó sea con posterioridad á variaciones importantes en los precios unitarios de los materiales.

(1) Véase el número anterior.

**PUENTE SOBRE EL RÍO JALON EN EL KILÓMETRO 255,339 DE LA LINEA DE ZARAGOZA (PUENTE DE EL ROSAL).**

Existían dos tramos metálicos de vigas continuas de 33,30 metros de luz teórica cada uno, resultando la viga con una longitud total de 67,50 metros.

Estas vigas estaban constituidas por celosías de barras planas,

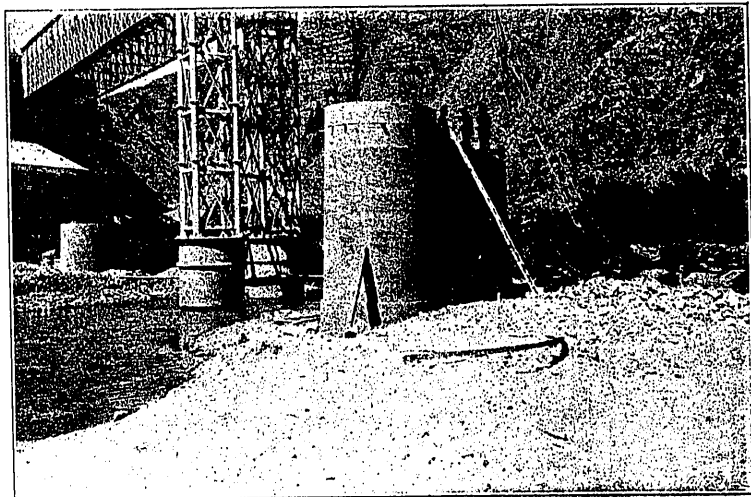


Fig. 127.

ocupando el piso una situación intermedia, encontrándose la vía en curva de 500 metros de radio en el interior del puente.

Como apoyo de las vigas principales se utilizaban dos estribos de fábrica y una pila metálica, formada por ocho tubos de fundición, apoyados cuatro á cuatro sobre dos tubos hincados en el terreno natural, constituidos por envolventes de fundición, rellenos de hormigón.

En la figura 132 se ve con suficiente claridad la disposición detallada.

El carril tiene una altura sobre el nivel medio del estiaje de 22 metros; esta circunstancia y la importante luz total de la obra justifican el detenido y cuidadoso estudio á que fueron sometidas

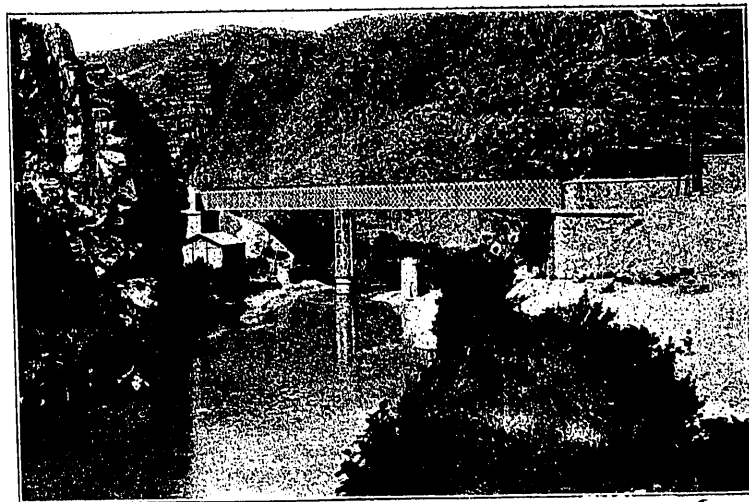


Fig. 128.

todas las soluciones factibles para la sustitución de los antiguos tramos de esta obra.

La solución adoptada es parecida á la que se acaba de describir para el puente, arriba mentado, sobre el mismo río en el kilómetro 254,256 de igual línea, es decir, la construcción de dos importantes pilas de fábrica, las que se situaron entre los estribos y la pila metálica, dividiéndose en tres vanos de igual luz, el vano total.