

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

## Refuerzo y sustitución de tramos metálicos.

### Á MODO DE PROEMIO

Diversas consideraciones me han movido para escribir estos apuntes, que verán la luz en varios artículos en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

En primer término, y muy principalmente, indicaciones cariñosas que se me han dirigido para que colaborase en la misma y ayudara en alguna forma, para que desapareciesen las dificultades que en ciertos momentos se han presentado para la confección de algunos números, dada la no excesiva afición de nuestros compañeros á consignar en la misma sus impresiones, conocimientos, etc., así como su excesiva modestia, que les hace estimar como poco interesantes; los trabajos que realizan, sus estudios y observaciones.

No habiéndome podido negar á aquellas indicaciones, para mí imperativas, me he visto obligado á tomar la pluma.

Después de adoptar esta resolución tuve que decidirme por el tema que había de desarrollar, y en esto no vacilé demasiado, pues teniendo la facilidad de disponer de importante acopio de datos y observaciones, consecuencia de la intensa campaña de trabajos de refuerzo y sustitución de tramos metálicos, realizada en las principales líneas de la red antigua de la Compañía de ferrocarriles de Madrid á Zaragoza y Alicante, consideré que debía aprovecharlos para darles á conocer en forma concisa y compendiada.

Los compañeros que lean estas líneas y que se hayan ocupado de esta clase de asuntos, seguramente se extrañarán que me haya decidido á publicarlos, pues poca ó ninguna enseñanza obtendrán, ni encontrarán novedades, puesto que á todos ellos se les habrán presentado análogas dificultades y problemas, los que habrán resuelto seguramente en forma más adecuada que la que aquí se indica.

Aquellos que no se han dedicado á estos trabajos estimarán esta lectura poco amena, y si acaso en alguna ocasión tienen que realizar algún trabajo análogo á los detallados en estas notas, quizá pueda servirles de una primera orientación ó guía.

Si así fuese quedaría en extremo satisfecho y consideraría que no había perdido por completo el trabajo que á su redacción he dedicado.

Otra consideración, que he tenido en cuenta al escribir estas notas, ha sido la de ordenar algunos apuntes, observaciones, etc., que tenía recogidos, y dar forma á notas, muchas veces tomadas

en el cuaderno de bolsillo al visitar una obra, y al lamentarme, por ejemplo, de que determinada operación en el transcurso de un trabajo no se realizaba con la seguridad y buen orden que había pensado, ó al experimentar las molestias derivadas de tener que repetir, en ocasiones más de una vez, alguna penosa fase del trabajo.

Por todo ello, las indicaciones que á continuación se hagan no tendrán otro valor que el de observaciones obtenidas en varios casos determinados y concretos; es decir, que no tendrá carácter alguno de generalidad cuanto indique, además de que, dado el modo especial, quizá único de trabajar, que es forzoso adoptar en ferrocarriles en explotación, con los apremios y dificultades, derivados de la circulación de trenes, siempre sagrada é intangible, se adoptan y siguen procedimientos costosos é inadecuados para nuevas construcciones.

Hago todas estas observaciones para que nadie pueda llamarse á engaño y creyendo que ha de obtener enseñanzas de otra clase, lea con cierta esperanza estos renglones.

### TRAMOS DE CONSTRUCCIÓN ANTIGUA

La mayor parte de las líneas que constituyen la red antigua de la Compañía de los ferrocarriles de Madrid á Zaragoza y á Alicante, fueron construídas en el período comprendido entre los años 1850 y 1870, correspondiendo, por lo tanto, al mismo período la construcción de los tramos metálicos en ellas establecidos.

Como es natural, dada la época, todos ellos fueron construídos de hierro, de calidad excelente, pues á pesar del tiempo transcurrido desde su construcción y del intenso trabajo á que han estado sometidos, los resultados registrados, en ensayos realizados en probetas obtenidas de diversas barras de los tramos que recientemente han sido sustituidos, acusan en sus características coeficientes satisfactorios dada la clase de material, existiendo, sobre todo, una constancia y uniformidad en todos ellos que comunican una impresión en extremo tranquilizadora.

A continuación se señalan los coeficientes extremos entre numerosos ensayos, diferenciándose apenas aquellos.

	VALORES		
	Máximos.	Mínimos.	Medios.
Límite de elasticidad, kilogramos.....	23	21	22
Carga de rotura, ídem.....	30	28	29
Alargamiento proporcional, por 100....	10	8,5	9,25
Estricción, ídem.....	15	13	14

Los números apuntados justifican las apreciaciones expuestas anteriormente.

En tres grupos pueden clasificarse los antiguos tramos, tomando como base sus luces.

Las menores de 6 metros, cuyas vigas principales, que servían á la vez de largueros, estaban constituidas por dos viguetas en doble T laminadas, sujetando entre ellas un fuerte larguero de madera, sobre el cual descansaba el carril.

Este sistema no tenía nada de recomendable por la indeterminación que existía, para el reparto del trabajo producido al paso de los trenes, entre aquellos diversos elementos.

Los tramos de luces comprendidos entre 6 y 12 metros, casi todos de alma llena, de piso inferior medio y superior, según la disposición de la obra y la altura de la rasante sobre el terreno natural.

Estos tramos resultaban en general bastante resistentes.

Por último, los tramos de luces superiores á 12 metros, formados por vigas principales y piso, constituido por largueros mixtos de madera y hierros perfilados y viguetas, ocupando aquél una posición inferior, media ó superior, según la disposición de la obra, desague que fuese preciso facilitarle, altura sobre el terreno natural de la rasante, altura de vigas principales en función de las luces que habían de salvarse, etc.

La mayor parte de los tramos metálicos á que me refiero, están proyectados y construidos, dentro del mismo criterio, siendo el tipo adoptado el constituido por vigas principales, formadas por celosías múltiples de barras planas, sujetas á las cabezas en simple T y reforzadas de un modo no demasiado eficaz por dobles montantes en T laminadas.

Estas vigas con esta disposición, adoptada no solamente en las líneas de esta Compañía, sino también en casi todos los tramos metálicos de aquella época, no tienen demasiada rigidez transversal, la que es necesaria, cuando se aspira á hacer posible la circulación de trenes con grandes cargas y velocidades, como corresponde á las necesidades de una explotación moderna.

Hay que considerar que todos estos tramos metálicos fueron proyectados para la circulación de material móvil, remolcado y de arrastre, de pesos muy limitados, con pequeñas cargas por eje y éstos bastante separados.

En la figura 24 se representa una locomotora de las primitivas que utilizó la Compañía, deduciéndose de su inspección cuán poca carga representaban para la vía y los puentes metálicos.

Puede compararse con las representadas en las figuras 26, 27 y 28, que corresponden á tipos modernos de locomotoras, empleadas actualmente.

Por parte de la Administración, pocas fueron las disposiciones dictadas referentes á los tramos metálicos, y su contenido de escasa trascendencia, hasta que en 23 de Abril de 1893 se dictó por el Ministerio de Fomento una Real orden como consecuencia de consulta elevada por la desaparecida Junta consultiva de Caminos, Canales y Puertos, á propuesta del Vocal de la misma, el ilustre D. Eduardo Saavedra, y en la cual se encomendaba á las Divisiones realizasen cuidadosos reconocimientos en los tramos metálicos existentes, algunos con más de cuarenta años de vida, proyectados con criterios no muy uniformes, habiéndose aumentado considerablemente las cargas que habían de resistir y sin que, por lo menos con carácter oficial, se hubiesen hecho en ellos pruebas ó reconocimientos detenidos.

La División de ferrocarriles de Madrid nombró el Ingeniero afecto á la misma, D. Guillermo Petit, de grata memoria, para que cumplimentara aquella Real orden en los tramos metálicos de la red antigua de la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante.

Realizóse el reconocimiento preceptuado con gran escrupulosidad, habiéndose podido presentar en 14 de Noviembre de 1896 á la Dirección general de Obras públicas, por el Ingeniero-Jefe de la División, una Memoria dando cuenta de los trabajos realizados y haciendo constar los resultados obtenidos, valiéndose para ello no sólo del cálculo sino también de reconocimientos directos por medio de flexímetros y proponiendo el refuerzo de seis tramos en la línea de Manzanares á Córdoba, cuyo trabajo se realizó en los años 1898 y 1899, consistiendo en ligeros refuerzos de las cabezas y celosías de los tramos correspondientes.

No se detallan estos refuerzos por su poca importancia y considerar más conveniente ocuparme de este asunto con más extensión al tratar de campañas posteriores de refuerzos.

En 24 de Enero de 1901 se dictó por el Ministro de Fomento nueva Real orden recordando el cumplimiento de la anterior, pues á pesar del tiempo transcurrido no todas las Divisiones de ferrocarriles habían cumplido lo ordenado en aquella con la debida diligencia, dictándose como consecuencia de esta nueva disposición, por el Sr. Director general de Obras públicas, una Orden-circular en 4 de Febrero del mismo año, marcando plazos y procedimientos para lograr una eficaz revisión de todas las obras metálicas.

La Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante contestó al traslado que le fué dirigido de la misma, excusándose de realizar nuevos trabajos de refuerzo, por haber ejecutado, como se le ordenó, los que resultaron necesarios, como consecuencia de la detenida revisión realizada por el Sr. Petit, anunciando el propósito de la Compañía de adquirir en plazo breve material móvil de tipos modernos, bastante más pesado que el que poseía y exponiendo su opinión de que el reconocimiento que debía realizarse para determinar los trabajos de los tramos metálicos al paso del nuevo material, señalaría los trabajos que habrían de ejecutarse.

Aceptado este criterio y habiendo recibido locomotoras y coches de lujo con bojes, del que estaba encargado, se pudo en el año 1902 realizar las pruebas de los tramos metálicos de sus líneas principales, por las que aquéllas y éstos habían de circular, con tren equivalente al que denominado de lujo, había de formarse con aquel material.

Se probaron así todos los tramos metálicos de las líneas de Madrid á Alicante, Alcázar á Sevilla, Madrid á Zaragoza y Madrid á Toledo.

En esta revisión de las líneas principales de la red antigua de la Compañía, anteriormente indicada, se probaron 281 puentes metálicos, siendo necesario realizar refuerzo en 39 de ellos, ejecutándose estos trabajos de refuerzo, durante los años 1902, 1903 y 1904, con celeridad verdaderamente notable, habiendo estado encargado de ellos el Taller central del Servicio de vía y obras de la Compañía.

Se estudiarán estos refuerzos con algún detalle á continuación de este ligero resumen histórico.

En 25 de Mayo de 1902 se publicó y se hizo preceptiva la todavía vigente Instrucción oficial para la redacción de proyectos de puentes metálicos, estudiada por la Comisión que fué nombrada en 4 de Febrero de 1896.

Como consecuencia de esta publicación, y á partir de 1905 hasta 1910, se han probado, con carácter oficial, los tramos metálicos de todas las líneas en las cuales no se habían realizado estas comprobaciones en 1902, ó sean las de orden secundario.

Con motivo de estas revisiones fué necesario realizar importantes refuerzos de mucha mayor entidad que los ejecutados en años anteriores, y de los cuales también me ocuparé más adelante con cierto detalle.

Como la mayoría de los tramos de pequeñas luces, ó sean

hasta 6 metros, exigían refuerzo, se estudió el asunto detenidamente, dado el considerable número de ellos y se dedujo la conveniencia de ir á la sustitución de todos los del tipo ya señalado anteriormente, de naturaleza mixta, habiéndose sustituido, como consecuencia de la adopción de este criterio, todos los tramos pequeños de este tipo en número de doscientos doce.

De todas las líneas probadas en esta campaña, la única en la cual no se han realizado trabajos de refuerzo, ha sido la de Valladolid á Ariza, no sólo por no circular en ella el material móvil más pesado que posee la Compañía, sino por ser sus tramos de acero, puesto que esta línea, como de construcción moderna (se inauguró en 1895), ha sido la única en que los tramos metálicos se construyeron de este material.

Terminados estos trabajos de refuerzo en 1910 fué preciso volver á tomar en consideración las líneas que fueron objeto de la primera revisión, de que se ha hecho mención, ó sean las de mayor importancia, á fin de ponerlas en condiciones, no tan sólo de que circulen por ellas trenes cuyos efectos sean iguales á los del tren tipo de la Instrucción oficial de 1902, sino para prever la circulación de máquinas y vehículos más pesados que la Compañía ha adquirido y pueda adquirir para poder desarrollar una explotación á la moderna, con todas las naturales exigencias del tráfico.

Para proceder de un modo ordenado se agruparon los tramos de las cuatro líneas principales, ya revisados en 1902, ó sean Madrid á Zaragoza, Madrid á Alicante, Alcázar á Sevilla y Madrid á Toledo, por luces.

En un primer grupo se consideraron todos los tramos de luces menores de 10 metros.

Durante los años 1910 y 1911 se realizó la sustitución de todos ellos, pues aplicándose en estas líneas análogo criterio que en las revisadas con motivo de la publicación de la vigente Instrucción, y para los tramos menores de 6 metros y de vigas mixtas, se consideró preferible su sustitución al refuerzo.

Los tramos de luces superiores á 10 metros fueron sometidos á un estudio de carácter general, respecto al criterio que con ellos había de adoptarse; es decir, proceder á su refuerzo ó á su sustitución.

De este detenido y escrupuloso estudio, en general de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas, se ha comprobado que la falta de resistencia en los tramos era tanto mayor, cuanto más pequeña era su luz.

La explicación de este hecho estriba principalmente en que, siguiendo la costumbre que fué admitida en los primeros tiempos de la construcción de esta clase de estructuras, se adoptaron para el cálculo cargas uniformes iguales ó muy poco diferentes para las diversas luces, sin tener en cuenta como hoy se hace, el aumento importante que aquellas cargas uniformes deben tener conforme disminuyen las luces.

Esta misma consideración fundamenta y justifica la decisión ya señalada de sustituir todos los tramos de luces inferiores á 10 metros, pues, en caso contrario, hubiera conducido á refuerzos de tal importancia, que su coste no se diferenciaría mucho del que se produjo por la sustitución de aquéllos.

Basándose en estas consideraciones se acordó como más conveniente la sustitución de todos los tramos de luces comprendidas entre 10 y 20 metros, comenzándose esta campaña en las líneas principales, varias veces relacionadas, en 1912.

Quedaba por fijar el criterio á seguir en los tramos de luces superiores á 20 metros de luz, cuestión de verdadera trascendencia, dado el considerable número de ellos y el coste importantísimo de su sustitución.

Dada las grandes velocidades con que los trenes circulan en las líneas principales de la red antigua, las que lógicamente han de

aumentarse todavía más, al seguir evolucionando de un modo progresivo la explotación, era indispensable proporcionar á los tramos de construcción antigua gran rigidez transversal para resistir debidamente los efectos dinámicos producidos al paso del moderno material móvil.

Esta circunstancia obligaba, no solamente al refuerzo necesario de los principales elementos de los mentados tramos, sino también á la sustitución de algunos de aquéllos para alcanzar sobre todo la deseada rigidez.

Este problema, de no fácil solución, teniendo sobre todo en cuenta la imposibilidad de disminuir el gálibo libre que los expresados tramos dejaban, era solamente factible de un modo costoso.

El material necesario para el refuerzo tenía que ser de importancia, puesto que el que constituye el tramo es de hierro, y el conjunto del nuevo material, acero, con el antiguo, se hacía trabajar como si todo él fuera de hierro, dadas las dificultades que su determinación produciría en los cálculos, además de la falta de seguridad de que cada una trabajase, tal como se asignara en las hipótesis establecidas.

Se hicieron diversos estudios comparativos en unos y otros tramos de varias luces y tipos, para deducir, no solamente la posibilidad material de realizar el refuerzo necesario, sino también su coste, para decidir en su vista el importante problema de la sustitución del mismo tramo, fijando como base para la decisión, aparte de la posibilidad de realizar el refuerzo, la de que éste, caso de inclinarse la Compañía por este sistema, había de costar, como máximo, el 50 por 100 del importe del tramo nuevo, considerando que las ventajas derivadas de la colocación de un tramo nuevo de acero, calculado con arreglo á los modernos métodos, teniendo en cuenta los esfuerzos secundarios, todo él de acero, etcétera, justificaban sobradamente el gasto consiguiente á la diferencia del otro 50 por 100 del importe total de la sustitución.

Se tomó, aparte de los varios estudios y cálculos comparativos mencionados, como tramo que había de decidir la cuestión, uno de 57 metros de luz teórica, de piso inferior, con arriostrado superior y del mismo sistema de vigas principales.

Se estudió primeramente, como ya se ha indicado, la posibilidad del refuerzo y del aumento de la rigidez transversal ya mentada, á la cual se debe dar, y tiene, en efecto, gran importancia, se vió se podía conseguir cuanto se deseaba, pero á costa de gran empleo de material, por ser necesaria la sustitución de los montantes de las vigas principales, quedando desde este punto de vista altamente satisfactoria la resistencia y rigidez del tramo.

Se cubicó y valoró el coste del difícil refuerzo que había que realizar, por consistir, como ya se ha dicho, no sólo en un sencillo aumento de las secciones de los elementos de resistencia limitada, sino también en la sustitución de buen número de ellos, como por ejemplo, y entre otros, todos los montantes.

Se hizo proyecto y cálculo del nuevo tramo que debía sustituir al antiguo, se cubicó y valoró al precio entonces adecuado, resultando los siguientes importes totales:

Refuerzo: 150 toneladas á 750 pesetas, 112.500 pesetas.

Sustitución: 205 toneladas á 600 pesetas, 123.000 pesetas.

El coste de aquél es el 91,46 por 100 de éste, cifra lo suficientemente elocuente para que la duda no se presentara en la elección, y se decidiese sin vacilar la sustitución de todos los tramos en vez de realizar su refuerzo y mejora.

En vista de ello, se planeó en 1912 la importante campaña de sustitución de todos los tramos metálicos de construcción antigua existentes en las líneas de Madrid á Zaragoza, Madrid á Alicante, Alcázar á Córdoba, Córdoba á Sevilla y Madrid á Toledo, los cuales, como se ha señalado en este breve resumen, fueron probados y algunos reforzados y mejorados, con motivo del paso

por estas líneas en 1902 de los trenes constituidos por el entonces moderno material tractor y remolcado.

Se esperaba que el fin de esta intensa campaña podría alcanzarse en el año 1917, pero una vez emprendida con especial cuidado y rapidez, las derivaciones de la guerra europea vinieron á alterar de un modo extraordinario todos los programas redactados, dificultando la realización de los trabajos, de tal modo, que en múltiples ocasiones se desconfió de poder alcanzar el resultado logrado que, aunque no completo, pues no se ha terminado el programa establecido, se han sustituido en su casi totalidad los tramos metálicos de aquellas líneas, encontrándose actualmente reemplazados todos los de construcción antigua colocados en las obras situadas en las líneas de Madrid á Zaragoza y Madrid á Alicante, y los correspondientes á la línea de Alcázar á Córdoba, con excepción del último paso sobre el río Guadalquivir, próximo á la estación de Alcolea.

En las líneas de Córdoba á Sevilla y Madrid á Toledo han sido sustituidos buen número de ellos, alcanzando, próximamente, esta mejora á la mitad de los existentes, no habiéndose podido completar este trabajo en estas líneas ni en la obra de la línea de Córdoba, antes señalada, por las enormes dificultades, por todas conocidas, para obtener el abastecimiento de materiales.

Se ocurre al reflexionar sobre esta situación de la campaña si no hubiese sido más oportuno la redacción de estas notas, una vez sustituidos todos los tramos en la misma comprendidos, pero teniendo en cuenta que las enseñanzas y observaciones que en las mismas han de anotarse, quizá no se aumenten por la realización de estos trabajos pendientes, que no se puede calcular fecha posible para su ejecución y la posibilidad tan pronto como se lleve á efecto de publicar alguna nota complementaria, monográfica de los mismos, no he vacilado, atendiendo las razones señaladas al principio de estos apuntes, en darlos al público en la forma en que, el que tenga paciencia de leerlos, podrá comprobar.

Para señalar la importancia que han alcanzado las campañas de mejora de los tramos metálicos realizadas por la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante, tanto por su refuerzo como por su sustitución, indicaré que la cantidad gastada hasta esta fecha por este concepto es de 10.919.978,37 pesetas.

Como dato interesante, inserto á continuación un cuadro, en el que se indican en cada línea de la red antigua de la Compañía el número de obras existentes con los tramos metálicos, la clasificación de éstos, según el material y época de construcción, el número de ellos y la longitud total de los mismos en cada una de aquéllas y en la red, ascendiendo en ésta á 13.348,72 metros.

RELACIÓN GENERAL DE TRAMOS METÁLICOS

LÍNEAS	Número de obras.	NÚMERO DE TRAMOS			Número total de tramos.	Longitudes totales.
		DE HIERRO		DE ACERO		
		Antiguos	Modernos.			
Madrid á Zaragoza.....	136	»	13	152	165	2.591,98
Madrid á Alicante.....	27	2	3	46	51	608,18
Albacete á Cartagena....	51	23	»	105	128	975,62
Aranjuez á Cuenca.....	23	12	»	11	23	135,35
Alcázar á Ciudad Real...	7	»	»	8	8	58,35
Manzanares á Córdoba...	42	6	»	58	64	1.645,24
Córdoba á Sevilla.....	9	11	»	8	19	475,80
Mérida á Sevilla.....	38	82	»	3	85	1.739,95
Sevilla á Huelva.....	22	59	»	13	72	874,70
Madrid á Ciudad Real....	23	21	»	18	39	616,06
Ciudad Real á Badajoz...	40	68	»	20	88	2.239,30
Castillejo á Toledo.....	5	1	»	7	8	60,34
Almorchón á Bélmez....	9	11	»	1	12	228,05
Aljucén á Cáceres.....	12	16	»	2	18	179,50
Valladolid á Ariza.....	116	»	128	»	128	920,30
TOTALES.....	560	312	144	452	908	13.348,72

El plan que me propongo seguir al detallar estos apuntes, corresponde á los siguientes asuntos, interesantes todos ellos para el proyecto y construcción de tramos metálicos y en el orden que señalo á continuación, que es el mismo en que se presentan al tratar de realizar y llevar á la práctica esta clase de trabajos:

- 1.º Refuerzos de tramos metálicos.
- 2.º Sustitución de tramos metálicos.
  - a) Redacción del proyecto.
  - b) Cargas empleadas en los cálculos.
  - c) Determinación de una fórmula de pesos de tramos metálicos.
  - d) Trabajo en el taller.
  - e) Montaje y colocación en obra.
  - f) Corrimientos de tramos metálicos.
  - g) Desguaces.
  - h) Manejo en obra de los elementos de los tramos metálicos.
  - i) Pruebas.
  - j) Instalación móvil para el remachado.
  - k) Aparatos encarriladores.
  - l) Aparatos de dilatación de vía.
  - m) Estudios monográficos de diversas obras.

### REFUERZOS DE TRAMOS METÁLICOS

#### Cálculo de los refuerzos.

Como se indica en el resumen histórico que antecede, se han efectuado numerosos é importantes trabajos de refuerzo en las dos campañas que se han realizado como consecuencia de las pruebas de tramos metálicos, llevadas á cabo en el año 1902 y en el período comprendido entre los años 1905 á 1909.

Dada la poca importancia de los trabajos de análoga índole ya indicados, que se realizaron en 1898 y 1899, no se hará mención especial de los mismos.

A continuación se hablará con preferencia de los trabajos realizados en el período antes señalado, comprendido entre los años 1905 y 1909, por corresponder al mismo los trabajos más importantes, no sólo por su entidad en sí, sino también por efectuarse en tramos de luces considerables y de gran longitud.

La necesidad de refuerzos se hace patente de dos modos diferentes.

Consiste el primero en realizar todos los cálculos necesarios para determinar los trabajos de los diversos elementos de un tramo metálico, operando con las cargas máximas que esté llamado á resistir, en las hipótesis más desfavorables, no debiendo aquéllos rebasar los coeficientes límites fijados.

En esta forma se determinan las piezas ó elementos de los tramos, en que por ser aquellos trabajos superiores á los preceptuados, es preciso aumentar su resistencia.

Otro procedimiento para llegar á la misma consecuencia, es el de la prueba directa de los diversos elementos de los mismos, fijándose así en análoga forma los que deben ser objeto de refuerzo.

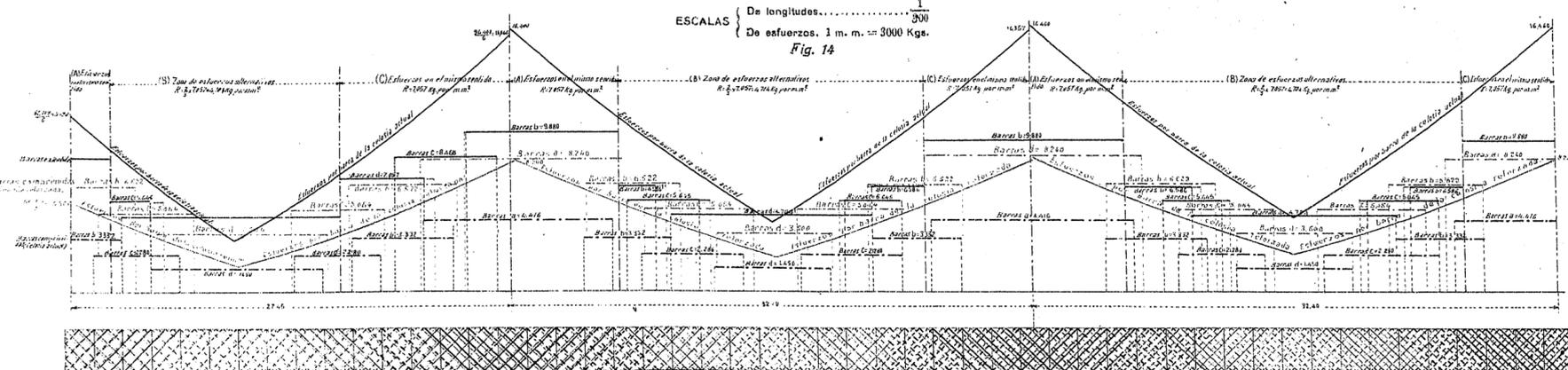
Este segundo procedimiento es más rápido, y, generalmente, es el que se sigue con preferencia, por acusar, no solamente la escasez de secciones de los elementos que por esta causa deben ser reforzados, sino también las piezas que por cualquier otra causa, defecto de construcción, avería local, deficiencia de remachado, etcétera, trabajan en condiciones defectuosas.

Si se presentan anomalías en los resultados obtenidos en las pruebas directas, que éstas no explican, se acude como fuente suplementaria de información á los cálculos, que ordinariamente conducen á resultados armónicos con los de aquéllas, aunque en general suelen ser mayores que los obtenidos directamente.



**DIAGRAMA RESISTENTE DE LA CELOSIA**

ESCALAS { De longitudes..... 1/300  
De esfuerzos. 1 m. m. = 3000 Kgs.  
Fig. 14



Designación de las barras	Secciones de las barras	Áreas libres de las secciones	BARRAS ESTIRADAS		BARRAS COMPRIMIDAS		ESTADO ACTUAL		REFUERZO	
			ZONAS A Y C	ZONA B	ESTADO ACTUAL	REFUERZO	ESTADO ACTUAL	REFUERZO		
			Límite R. Resistencias	Límite R <sup>2</sup> Resistencias	Relac. $\frac{R}{R_0}$	Límite R. Resistencias	Relac. $\frac{R}{R_0}$	Límite R. Resistencias	Relac. $\frac{R}{R_0}$	
1	120 x 16	3.600	7.057	11.201	4.704	7.526	39,48	2,76	4.416	19,84
2	120 x 14	3.400	7.057	9.880	4.704	6.586	45,35	2,38	3.332	22,67
3	120 x 12	3.200	7.057	8.468	4.704	5.045	52,91	1,90	2.250	25,45
4	120 x 10	3.000	7.057	7.057	4.704	4.704	63,50	1,45	1.450	31,75

La determinación de los coeficientes límites de trabajo para las barras comprimidas, se ha hecho por la fórmula de Laisie y Schuebler  $\frac{R}{R_0} = 1 + 0,00008 \frac{L^2}{I^2}$

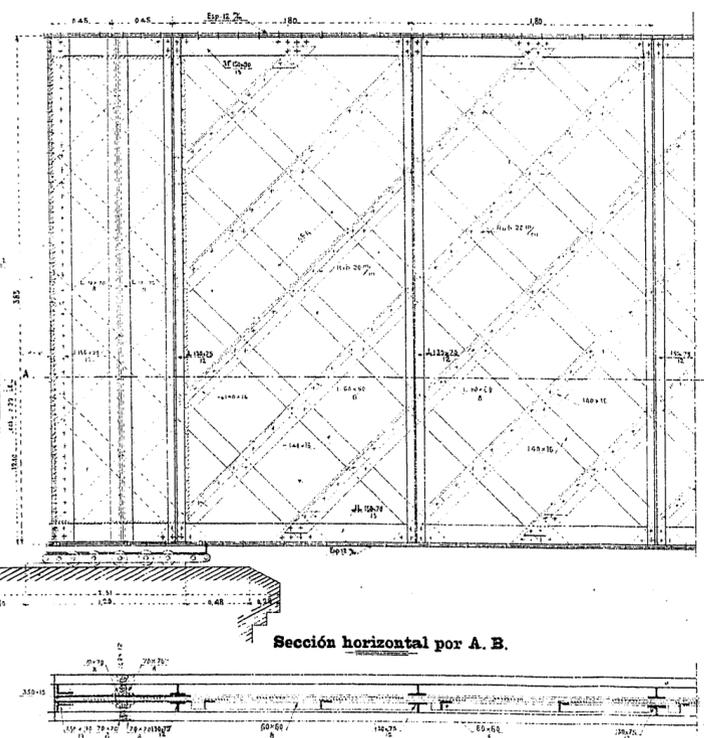
**DETALLE DE LA CELOSIA Y REFUERZO DE LAS VIGAS SOBRE LOS APOYOS**

Fig. 16

**REFUERZO DE LAS VIGAS SOBRE LOS APOYOS**

Reacción máxima en el apoyo..... 86702 Kg

Sección resistente en: Dos... 150x20 ..... 5502  
Dos chapas de 140 x 12 ..... 3096  
Ocho... 70 x 12 ..... 7168  
Trabajo del material..... 44449 mm<sup>2</sup>

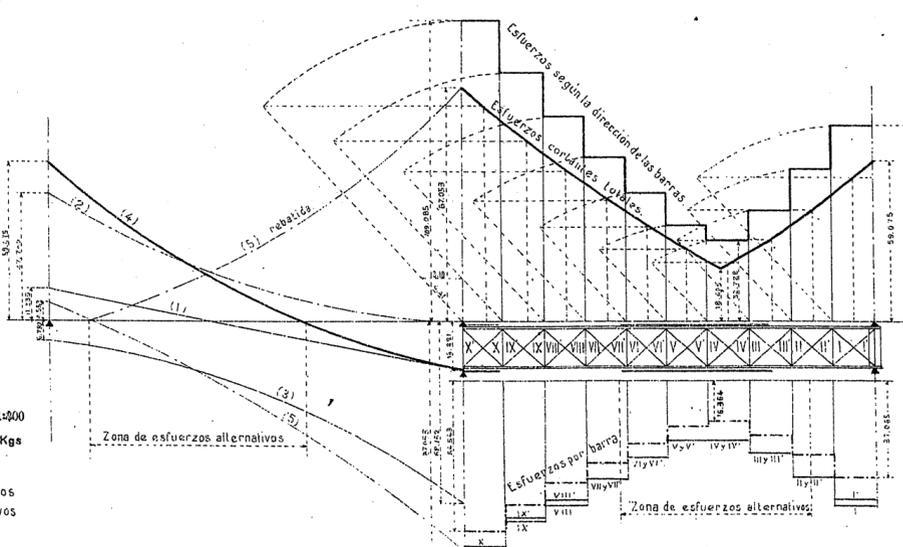


Sección horizontal por A. B.

ESCALA = 1/40

**DIAGRAMA DE LOS ESFUERZOS CORTANTES Y DE RESISTENCIA DE LA CELOSIA**

Fig. 17



ESCALAS { Longitudes..... 1/300  
Fuerzas. 1 m. m. = 2000 Kgs

- (1) Carga permanente
- (2) Esfuerzos cortantes positivos
- (3) " " negativos
- (4) (1) + (2)
- (5) (1) + (3)

**REFUERZO DE VIGUETAS**

(Con arreglo a la Instrucción de 25 de Mayo de 1902)

**Sección transversal**

ESCALA 1/60

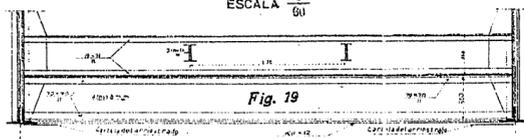
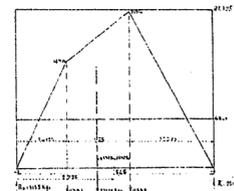


Fig. 19

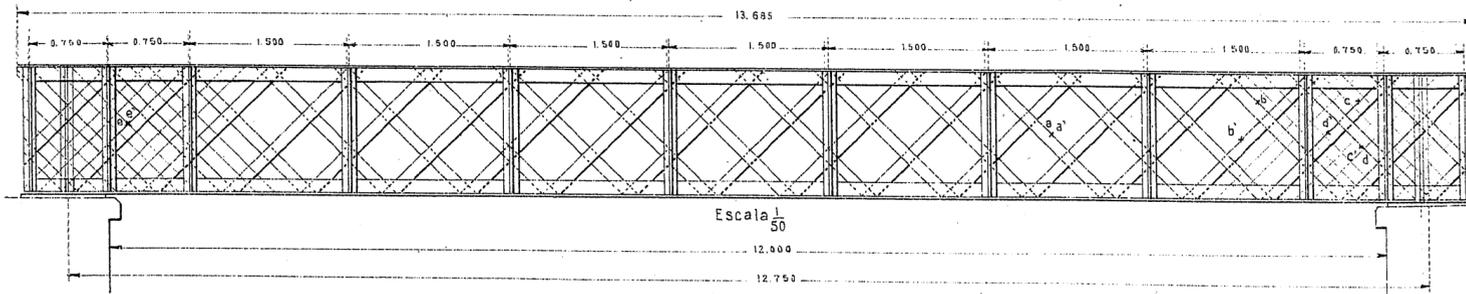
**DIAGRAMA DE LOS MOMENTOS**

ESCALAS { De distancias..... 1/150  
De momentos. 4 mm. x 3.000 kgs.



	Estado actual	Con el refuerzo
Momento de flexión (Vigas apoyadas) M = 11.333 x 158 = 20.965	11.333	11.333
Momento de inercia (sección actual)	0.0002924	0.002326
Valores de V	2000	2000
Módulos de inercia	0.00000022	0.00000032
Módulos de resistencia para $R = 5.825$	2.662	2.662
Trabajo del material por m <sup>2</sup>	20.965	20.965

Alzado Fig. 15



Escala 1/50

**Sección transversal**

ESCALA 1/15

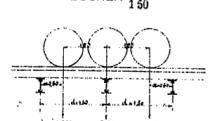


**DIAGRAMA DE LOS MOMENTOS**

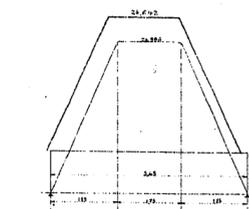
ESCALAS { De distancias..... 1/150  
De momentos. 4 mm. x 3.000 Kgs.

**REACCIÓN MÁXIMA SOBRE LA VIGUETA**

ESCALA 1/150



Carga permanente (Viguetas, viguetas etc.) = 500 Kg.  
Reacción máxima de la sobrecarga  $R = \frac{1}{2} (P + Q) = 11.833$   
Reacción total = 11.333



Momentos de flexión (Vigas apoyadas) M = 11.333 x 158 = 20.965

	Estado actual	Con el refuerzo
Momento de flexión (sección actual)	0.0002924	0.002326
Valores de V	2000	2000
Módulos de inercia	0.00000022	0.00000032
Módulos de resistencia para $R = 5.825$	2.662	2.662
Trabajo del material por m <sup>2</sup>	20.965	20.965

**SECCION DE LA VIGUETA**

ESCALA 1/30



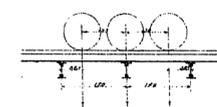
**MODIFICACION PARA REDUCIR EL TRABAJO EXCESIVO DE LOS MONTANTES**

Trabajo máximo del material indicado por los aparatos Manel Rabut = 10.00 Kg. por mm<sup>2</sup>

Fig. 20

**REACCIÓN MÁXIMA SOBRE LA VIGUETA**

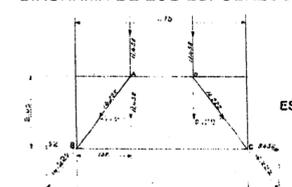
ESCALA 1/150



Carga permanente (Viguetas, viguetas etc.) = 643  
Reacción máxima de la sobrecarga  $R = \frac{1}{2} (P + Q) = 11.833$   
Reacción total = 11.458

**DIAGRAMA DE LOS ESFUERZOS**

ESCALAS { De distancias..... 1/150  
De esfuerzos. 2 mm. por 3000 Kgs.



**SECCIONES DE LAS PIEZAS Y TRABAJO DEL MATERIAL**

	AB y CD	BC
Valores de V	1000	1000
Módulos de inercia	0.00000022	0.00000032
Módulos de resistencia para $R = 5.825$	2.662	2.662
Trabajo del material por m <sup>2</sup>	10.000	10.000



Estas pruebas directas se realizan con aparatos tan conocidos, que no exigen descripción alguna; los de tipo Manet Rabut, para determinar los trabajos unitarios, y los flexímetros Barthelémy, para determinar las deformaciones verticales de las vigas principales.

En las pruebas realizadas el año 1902 se fijaron por la Inspección de ferrocarriles, como límites de trabajo, irrebasables para los tramos constituidos por piezas de hierro, los de 10 kilogramos y 7,50 kilogramos por milímetro cuadrado, respectivamente, para los elementos de las vigas principales y del piso, debiendo advertirse que ambos límites eran aplicados a los trabajos medidos, no a los calculados.

Para la campaña de pruebas realizada entre los años 1905 y 1909, se continuaron aplicando estos mismo límites, por considerarse adecuados a la forma de trabajar los antiguos tramos y no preceptuar nada sobre ello, de un modo terminante, la nueva Instrucción de 25 de Mayo de 1902.

Respecto a los trenes de prueba empleados en una y otra campaña, se presentan en la figura 1.<sup>a</sup> el equivalente al tren de lujo formado por material moderno, y en la figura 2.<sup>a</sup> el que con carácter oficial fué aprobado por la Inspección en 1905, de efectos superiores al preceptivo de la todavía vigente Instrucción.

Una vez determinados por los cálculos ó pruebas los elementos de un tramo metálico, de resistencia deficiente, se procede al cálculo del refuerzo necesario para ponerle en las condiciones debidas.

Se examinarán ligeramente los principales casos que se han presentado y las soluciones adoptadas, según los elementos que es preciso reforzar.

#### Vigas principales.—Cabezas.

El tipo corriente de refuerzo de las cabezas de las vigas principales consiste en aumentar el número de palastros que las constituyen hasta obtener la resistencia debida.

Para ello, ordinariamente es preciso descoser más ó menos completamente los que las constituyen, obligando, por lo tanto, á proceder al oportuno apeo para evitar, además de posibles contingencias, las deformaciones consiguientes.

Es trabajo complicado y comprometido que hay que realizar con gran cuidado.

En las figuras 3.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup> se detallan suficientemente el cálculo y los diagramas correspondientes para el refuerzo de las cabezas de un puente de nueve tramos continuos de 27,45 metros de luz los extremos y 32,40 metros los intermedios. Las cabezas de éstos se encuentran constituidas, como en la casi totalidad de los de tipo antiguo existentes en la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante, por dos ángulos y el número de palastros que los cálculos determinaron durante la construcción como necesarios; por eso se acude para su refuerzo al sistema ya explicado como el más práctico y adecuado.

En la mentada figura 4.<sup>a</sup> se detalla un particular muy interesante, que corresponde al estudio de los refuerzos que hubo necesidad de realizar en los apoyos, con objeto de reducir el que se hubiera deducido, de adoptar como método general de cálculo para toda la longitud de la cabeza de los tramos los corrientes de Mecánica, pero que por la considerable dificultad que para esta clase de trabajos se presenta en dicha parte de las vigas principales se acudió, con objeto de comprobar si no era precisa su realización, y en caso afirmativo, para reducirle en cuanto fuese posible, al conocido procedimiento de cálculo por medio de las líneas de influencia, con el cual se aproxima el cálculo en grado sumo á la realidad, y como puede comprobarse en la misma pudo

reducirse el refuerzo de dicha parte, evitándose así gran gasto y una importante perturbación en la explotación durante el largo tiempo que se hubiese empleado en la ejecución total de dicho trabajo.

En dicha figura 4.<sup>a</sup> de dicha hoja se detalla el mentado cálculo de los momentos flectores en los apoyos, en las figuras 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> se representan los diagramas para el cálculo general, en toda la longitud de los cinco tramos que se consideran, acusándose en los apoyos mayores momentos deducidos por los procedimientos corrientes de la Mecánica que con el ya mentado de las líneas de influencia.

Por último, en la figura 7.<sup>a</sup> se representa el diagrama total de momentos flectores que podemos llamar mixto, es decir, utilizando los valores deducidos por uno y otro sistema de cálculo, así como el diagrama resistente, de negro antes del refuerzo y de carmín indicando los palastros que hay que añadir para obtener la resistencia necesaria, tanto en el centro de los tramos como en los apoyos, en los cuales se puede comprobar, que gracias al mentado cálculo empleado se redujo en un palastro el refuerzo, que de otro modo hubiera sido necesario.

Aunque en obras de muy poca importancia se ha realizado el refuerzo de cabezas, añadiendo dos ángulos en cada una de éstas, en vez de los palastros, no es este el sistema más corrientemente adoptado.

Este sistema tiene la ventaja de que no obliga á descoser por completo todos los elementos que constituyen aquéllas, pero no se adopta con frecuencia y sólo cuando no hay más remedio, por quedar, sobre todo la cabeza superior, con rincones en su sección transversal que no se pintan bien y su limpieza y desagüe no se hace en buenas condiciones.

En la figura 8.<sup>a</sup> se representan las dos disposiciones que pueden adoptarse.

En algún caso en que las circunstancias de la obra lo permite y el estudio económico del asunto lo aconseja se emplea otro procedimiento, para lograr que las cabezas de las vigas principales tengan la resistencia deseada.

En las figuras 9.<sup>a</sup>, 10 y 11 se representa este caso.

Se refiere á una obra de dos tramos de vigas independientes, de alma llena, de poca altura y escasa sección.

Se calculó el refuerzo necesario, que resultó considerable para la importancia de la obra y se pensó en construir dos nuevas pilas de fábrica que se representan de carmín en la figura 9.<sup>a</sup> referida, dividiendo en dos partes iguales cada uno de los dos tramos mentados.

Éstos, que tenían una luz de 11,20 metros, quedaron así reducidos á dos de 5,60 metros, de viga continua.

Fué preciso calcular, y en la figura 12 se detalla este cálculo suficientemente, si las vigas sin refuerzo alguno se encontraban en condiciones para resistir los mayores esfuerzos producidos por la nueva forma de trabajar las vigas.

Se comprobó, y en los mentados cálculos consta, se encontraba en sobradas condiciones de resistencia.

El gasto fué menor y la obra quedó con esta mejora en condiciones excelentes de resistencia.

#### Vigas principales.—Celosía.

Como la casi totalidad de los tramos de construcción antigua están formados con vigas de celosía, constituida por barras planas, dentro de este tipo se han hecho la mayoría de los estudios y refuerzos realizados.

En la figura 13 adjunta se indica con suficiente detalle un refuerzo realizado en la celosía de las vigas principales de los nueve

tramos que constituyen el puente ya citado, al ocuparme del refuerzo de cabezas, situado sobre el río Aljucén en el kilómetro 456,583 de la línea de Badajoz.

En la misma se detallan los diagramas de esfuerzos cortantes en todas las hipótesis de carga, en los cinco tramos de los nueve, que se consideran, llegándose á deducir el diagrama de los esfuerzos totales.

En la figura 14 se detallan los diagramas resistentes de la celosía antes y después del refuerzo, así como también los diagramas de esfuerzos, en uno y otro caso.

El refuerzo consistió, como puede comprobarse en el diagrama, en doblar el número de barras existentes; es decir, introducir entre cada dos, otra del espesor y dimensiones requeridas para cubrir con el diagrama resistente el de los esfuerzos, según la dirección de las barras.

Las barras señaladas de carmín son las colocadas como refuerzo.

Esta clase de refuerzos, que en esta parte fué total, es decir, en toda la longitud de las vigas principales, puede realizarse parcialmente; es decir, sólo en la parte en que los diagramas indican es necesario.

Este refuerzo parcial, aunque económico, resulta de mal aspecto por la desigual repartición de barras.

En la figura 15 puede comprobarse este aspecto, poco agradable, en el dibujo de un refuerzo parcial realizado en un tramo de 27,16 metros de luz teórica.

Este refuerzo de la celosía, de que me acabo de ocupar, es decir, la duplicación del número de barras, tiene la gran ventaja de corregir considerablemente uno de los defectos principales de esta clase de vigas, cual es su escasa rigidez, debida sobre todo á la pequeña dimensión transversal de las barras, que ordinariamente oscilan entre 10 y 20 milímetros, con relación á la luz libre de estas barras entre dos puntos de cosido ó sujeción de ellas, ó sean los vértices de los cuadrados que forman entre sí.

Los lados de estos cuadros tienen 0,64 metros de longitud en casi todas las vigas, la relación entre su mínima dimensión ó espesor 0,02 metros, y esta longitud es  $\frac{0,64}{0,02} = 32$ ; es, pues, preciso para los cálculos de las barras comprimidas disminuir considerablemente con arreglo á cualquiera de las fórmulas establecidas (en la Compañía se emplea casi siempre la de Laissle y Schuebler) el coeficiente de trabajo del material, pues entrando con el valor 32 antes deducido, desciende de un modo importante dicho coeficiente de trabajo.

Al duplicar la celosía se reduce á la mitad aquella longitud libre, reduciéndose igualmente el coeficiente deducido en el caso expuesto 16, pudiéndose suponer para el material un trabajo mucho mayor.

Puede ocurrir, sin embargo, que no sea suficiente para obtener la sección resistente necesaria duplicar la celosía; en este caso se suele acudir á la solución de coser en las barras que así lo exigen, que generalmente son las que están sometidas á trabajos de compresión, una barra de ángulo de la sección necesaria para el caso, con la ventaja, además, que por esa disposición aumenta considerablemente su mínima dimensión transversal, hasta el punto de no tener que emplear fórmula alguna para la reducción del coeficiente de trabajo para su cálculo por ser mayor que 12 la relación entre su longitud libre y aquella dimensión.

Con este refuerzo no es necesario, en general, duplicar el número de barras, gastando un refuerzo parcial, el cual queda con una disposición más adecuada y de mejor aspecto que el refuerzo parcial con barras planas.

En la figura 16 se representa un extremo de tramo metálico,

en el cual se realizó esta clase de refuerzos, señalándose en el mismo las barras de ángulo colocadas sobre las barras planas.

Se ha presentado también el caso de reforzar el tramo metálico colocado sobre el río Manzanares, en el kilómetro 7 de la línea de Alicante, cuyas vigas principales son de cruces de San Andrés.

El refuerzo de los elementos que las constituyen, montantes y diagonales, se calcula en la misma forma que la señalada en cualquiera de los casos ya reseñados, proyectándose el refuerzo individual de cada barra, ordinariamente de sección en T armada, añadiendo los elementos necesarios para darle la sección que exige el trabajo que ha de resistir.

Se les cosen á las cabezas de la T el palastro que sea indispensable, se sustituyen los ángulos por otros más resistentes, é incluso puede ocurrir en algún caso que la pieza íntegra sea sustituida por otra.

En la figura 17 se representan los diagramas deducidos para el cálculo de este refuerzo, señalándose como de costumbre de carmín el resistente de las barras, después del refuerzo realizado.

La característica general de todos los refuerzos de cabezas y celosías es, como ya se ha indicado anteriormente, la de su dificultad, por tener en casi todos los casos que proceder al descosido de los más interesantes elementos de las vigas principales, con sus grandes inconvenientes y riesgos, lo que es preciso salvar mediante importantes y seguros apeos, siempre costosos y de realización delicada.

#### Pisos.—Viguetas.

Los elementos del piso de los tramos antiguos, viguetas y largueros, exigen su refuerzo, después de realizar los cálculos ó pruebas directas para determinar sus condiciones de resistencia, en un mayor número de casos, que las vigas principales de los mismos, por ser más importante la diferencia entre las cargas y reacciones á que se encuentran sometidos con las locomotoras modernas y las que sirvieron para su cálculo, que la existente entre análogos valores para dichas vigas principales, como podrá comprobarse, y ya se hablará de ello al tratar, en general, de la composición de los trenes y cargas de tipo antiguo y moderno.

Por ello, en realidad, en escaso número de los tramos probados ha podido prescindirse del refuerzo de unas y otros.

Se tratará, en primer término, de aquéllas.

Dos tipos principales de viguetas hay que considerar, según la posición que el piso ocupe, con relación á las vigas principales.

Si el piso se encuentra colocado y unido en la parte baja de dichas vigas, se realiza en las viguetas un refuerzo de tipo totalmente distinto que si ocupa una posición intermedia ó superior.

Puede distinguirse todavía en aquel caso dos variantes, según se encuentre colocado absolutamente en la parte inferior de la sección transversal ó muy próximo á ella, dejando por debajo de las viguetas, en su unión con los montantes, parte de éstos libre.

En el primer caso, que es el representado en la figura 18, el refuerzo se ha estudiado y colocado en la forma señalada de rojo en la misma, es decir, cosiendo en la parte baja de la vigueta un refuerzo trapecial cuyo plano de simetría coincida con el de la vigueta, de la altura y dimensiones convenientes para propocionar el conjunto así formado la resistencia necesaria.

Como el arriestrado horizontal inferior del tramo metálico no debe interrumpirse, se aligera el refuerzo en su parte central para dejarle paso, sin que por ello pierda virtualidad alguna dicho refuerzo.

Este tipo de refuerzo es eficaz y económico.

Cuando la vigueta no se apoya, como en el caso anterior, en

la cabeza inferior de las vigas principales, sino que queda un pequeño espacio libre, el refuerzo se limita á la colocación, debajo de la vigueta primitiva, de otra de la altura que permita la separación antes señalada y con los perfiles de las dimensiones requeridas, por el trabajo que ha de resistir.

En este caso (fig. 19) el arriostrado horizontal, de que antes se hablado, pasa sin interrupción inferiormente al refuerzo ejecutado.

En la mentada figura se representa el caso de un puente con la vía en curva y, por lo tanto, con el piso y dicho refuerzo en posición disimétrica.

El tercer caso antes señalado, es decir, cuando la vigueta ocupa una posición intermedia en la sección transversal del tramo metálico, se soluciona en forma distinta por presentarse algunas particularidades.

Cuando el piso tiene esta disposición, no solamente suele ocurrir que la vigueta necesite refuerzo, por obtenerse con las lecturas directas de los aparatos empleados en las pruebas valores algo crecidos, sino que también las lecturas obtenidas en los aparatos colocados en los montantes verticales de las vigas principales, en la parte inferior á la zona de inserción de las viguetas, dan igualmente valores que rebasan á los límites tolerados.

El modo de trabajar de esta parte de los montantes ha sido muy debatida, y con objeto de aclarar tan importante asunto se han hecho numerosas y repetidas pruebas en muy diversos tramos en esta Compañía.

Si los trabajos ordinariamente medidos en estas piezas fueran ocasionados por las reacciones que al paso de los trenes les transmitieran las viguetas, aquéllos estarían sometidos exclusivamente á esfuerzos de compresión, y el valor numérico de las reacciones transmitidas no justificaría nunca los crecidos trabajos acusados por los aparatos, los que han llegado en algunos casos hasta acusar la enorme cifra de 24 kilogramos por metro cuadrado.

Es evidente que este tan sencillo modo de transmitir los esfuerzos no se realiza en realidad.

En efecto, después de múltiples observaciones realizadas, se ha podido comprobar que dicha parte baja de los montantes verticales experimenta una deformación acentuada, teniendo que resistir, no sólo el trabajo á la compresión, deducido directamente, sino también importante flexión, acusando entonces el aparato, no el acortamiento producido por el primer trabajo, sino el producido por la flexión, que acerca entre sí las dos garras del aparato, dando así indicaciones falsas y alarmantes, sin justificación real.

Esta deformación no es conveniente la experimente el montante, y, por lo tanto, la viga principal, y conviene evitarla, para lo cual la solución más eficaz se reduce á la colocación de un tirante horizontal en el mismo plano vertical de la vigueta y uniendo entre sí las dos cabezas inferiores de las vigas principales.

Con la colocación de esta pieza se evita el exagerado trabajo de los montantes; queda entonces reducido el de las viguetas.

La solución adoptada queda claramente representada en la figura 20.

Se colocan dos jabalcones unidos en su parte inferior á la vigueta, debajo de la zona correspondiente á cada uno de los dos carriles, en forma que refieran directamente los esfuerzos producidos al paso de los trenes, á los nudos que se forman en el final del tirante antes mencionado.

Así se logra descargar la vigueta casi totalmente, pues trabaja apoyada en dos puntos, correspondientes á la vertical de las cargas y se logra además que por no transmitirse reacción prácticamente apreciable á los montantes, éstos, á su vez, queden casi por completo descargados.

En los cálculos de los elementos de cada uno de estos cuadros armados que se colocan debajo de cada vigueta se ve claramente el modo de trabajar de todas ellas.

Esta solución afortunada del problema ha dado en la práctica excelentes resultados, mediante trabajos en extremo limitados, muy próximos á cero en los montantes verticales.

La solución es además muy económica.

Estos refuerzos de viguetas son de ejecución más sencilla y menos comprometida que la de los elementos de las vigas principales, por no exigir apeo alguno de los tramos y únicamente gran atención, para evitar que durante la ejecución de la parte más cuidadosa del trabajo, que exige levantar la vía, pueda presentarse algún tren; pero puede observarse que dada la posición que con relación á la vía ocupan los refuerzos descritos, no es tampoco necesario levantar los elementos de aquélla.

#### Piso.—Largueros.

En la mayor parte de los tramos de tipo antiguo existentes en las líneas de la Compañía de Madrid á Zaragoza y á Alicante, los largueros son de tipo mixto, es decir, se encuentran constituidos por dos ángulos laminados, cogiendo entre ellos un importante larguero de madera de escuadría más que suficiente para resistir por sí solo los esfuerzos y trabajos á que se encuentra sometido.

Inmediatamente inferior á estos largueros, y con el solo objeto de unir más íntimamente entre sí las viguetas, hay colocados debajo de cada larguero dos [ laminadas.

La disposición señalada de los largueros más usuales no exige refuerzo alguno y sí únicamente cuidadosa atención para conservar constantemente en perfecto estado el larguero de madera, que debe sustituirse tan pronto comience á desmerecer.

En algunos tramos, aunque pocos, existen largueros metálicos de sección de doble T armada, unidos debidamente á las viguetas.

Por análoga causa á la señalada anteriormente para las viguetas, ha sido preciso reforzar casi todos los largueros metálicos existentes de este tipo, y en la figura 21 se detalla el cálculo y refuerzo de alguno de ellos, señalando el carmín los elementos adicionados.

No ofrece dificultad alguna aquel cálculo, siendo en cambio algo más comprometido el refuerzo por ser imprescindible levantar la vía para coser los elementos que se añaden en la parte superior de los largueros.

#### Arriostrados horizontales.

Aunque propiamente no se trata de un refuerzo, sino más bien de una mejora de los tramos antiguos, incluiré, sin embargo, en esta parte de esta nota, todo lo que se refiere á la colocación de arriostrados triangulados horizontales con hierros de ángulo.

En la mayor parte de los tramos antiguos no existe elemento tan importante como éste, estando constituidos en los que se encuentra establecido, por barras planas de sección deficiente, con la muy escasa rigidez que proporciona tal tipo de barras.

En todos los tramos que no tenían arriostrado se colocaba el correspondiente con hierros laminados en ángulo, y en todos aquellos en los cuales existía el de barras planas y era preciso realizar algún otro trabajo de mejora, se sustituía éste por aquél.

El cálculo y proyecto de este elemento no ofrece singular dificultad, no ofreciendo tampoco su colocación preocupación alguna, por lo que á la circulación se refiere.

En las figuras 22 y 23 se detalla suficientemente el cálculo de los elementos del nuevo arriostrado, para un puente de viga con-

tinua con cuatro tramos, siendo los extremos de una luz de 53,10 metros, y los centrales de 55,80 metros.

En la primera, y después de estudiar todas las hipótesis, susceptibles de tenerse en cuenta, se deduce el diagrama resistente de los esfuerzos cortantes producidos en el caso más desfavorable, y en la segunda se determinan las secciones de las nuevas barras necesarias.

#### Observaciones generales.

Como estos refuerzos se realizan en tramos metálicos que tienen todos sus elementos de hierro y las piezas que se añaden y refuerzos que se realizan son de acero, caben dos hipótesis al calcularlos, relativas á los coeficientes límites de trabajo para las piezas que resultan de constitución mixta.

Cabría, y es evidentemente más económico, hacer trabajar cada parte de la sección total con los coeficientes propios del material de que están constituidos, o bien hacer trabajar toda la pieza por el coeficiente del material menos resistente, ó sea de hierro.

Ambas soluciones son evidentemente aceptables sin inconveniente alguno, pero para aumentar el margen de seguridad con que las piezas reforzadas trabajan, con el fin de suplir cualquier deficiencia de cálculo ó ejecución del refuerzo, se ha estimado preferible adoptar la segunda, aunque verdaderamente resulta más costosa.

En los cálculos de los refuerzos realizados en la Compañía durante las dos campañas de esta clase de trabajo que se han realizado se emplearon las cargas correspondientes al tren de lujo, tipo 1902 en la primera, y los equivalentes al tren tipo oficial desde el año 1905 al 1910, utilizándose las cargas de la Instrucción en aquellos casos en que los efectos por ellas producidos son más desfavorables para aquélla, como corrientemente ocurre con los elementos del piso.

#### Estudio económico de los refuerzos.

En el cuadro que se inserta á continuación, se señalan los costes máximos, mínimos y medios á que han resultado los refuerzos que se han realizado en la Compañía, en cada uno de los elementos principales que constituyen los tramos metálicos.

IMPORTE DEL REFUERZO POR 1.000 KILOGRAMOS

	Cabezas.	Celosías.	Viguetas.	Largueros.	Montantes.	Arriostros.
Costes máximos....	725,44	781,85	598,41	581,49	497,73	490,41
Costes mínimos....	594,32	598,43	485,38	500,31	440,68	438,75
Costes medios.....	654,32	658,41	507,37	521,77	458,72	453,82

Debe señalarse, para no incurrir en confusión, que los costes medios deducidos no son, como suele ocurrir, el promedio ó media aritmética entre los costes máximos y mínimos, sino que están obtenidos por la división del importe total gastado por el peso en toneladas del material empleado.

El importe total gastado por la Compañía en refuerzo de tramos metálicos asciende á 1.312.854,27 pesetas, y como el peso de los materiales colocados ha sido de 2.460.140 kilogramos, el coste medio general por 100 por 1.000 kilogramos ha sido de 553,65 pesetas.

Este precio medio resulta bastante bajo, dadas las dificultades que siempre se presentan para esta clase de trabajos; naturalmente que se refiere á trabajos todos ellos realizados con anterioridad

á las actuales circunstancias, pues se terminaron antes de 1911, con precios normales de materiales y mano de obra.

Todo este trabajo fué realizado por el taller central del Servicio de vía y obras de la Compañía, por considerar ésta que operaciones de esta clase, tan delicadas, comprometidas y que durante largo tiempo pueden afectar, no sólo á la seguridad, sino también á la regularidad de la circulación, no se debía entregar á entidades extrañas, aunque merezcan toda confianza.

Los trabajos, realizados por administración y en esta forma por la Compañía, resultan en extremo económicos, por no tener que cargarles cantidades importantes que, en concepto de gastos generales, tienen que soportar los trabajos realizados por las entidades particulares, así como tampoco partida alguna en concepto de beneficio industrial.

Durante la mentada campaña de refuerzos no han ocurrido, por fortuna, accidentes dignos de mención, ni en los trenes, ni en los operarios que los han ejecutado.

#### PROYECTO DE LOS TRAMOS METÁLICOS

Cuando se trata de proyectar un nuevo tramo que ha de sustituir á otro existente, se encuentra el Ingeniero en situación completamente distinta del que ha de estudiar una obra completamente nueva.

Éste marcha con más libertad, pues no se encuentra cohibido y sujeto como aquél, por no tener que ajustarse, como ocurre en la mayor parte de los casos, á determinados elementos de la obra, como son desagüe, oblicuidad, altura de rasante, etc., puesto que ha de colocar el nuevo tramo en las fábricas, más ó menos modificadas, que se construyeron para el antiguo, no debiendo, repito, en la casi totalidad de los casos, modificar éstas considerablemente por razones económicas.

Por ello, el que proyecta un tramo en estas condiciones, si bien es verdad que puede en parte prescindir de los detenidos estudios necesarios en el otro caso para determinar el desagüe de la obra, á la vista de los datos que se proporcionase de las máximas avenidas registradas de la corriente de agua que ha de salvar para marcar en vista de ellas la luz entre paramentos de estribos y la altura libre que el nuevo tramo ha de dejar, no puede, sin embargo, prescindir del todo de la comprobación de aquellos estudios á la vista de las alturas máximas alcanzadas por las aguas en la obra construída, para que en el caso de que los resultados obtenidos en la práctica no hubiesen correspondido á las previsiones hechas en los estudios originales, aprovechar la ocasión para rectificar lo necesario las características de la obra.

Generalmente no es preciso llevar á efecto rectificaciones de esta clase, por pecar más bien por exceso que por defecto aquellas previsiones originales y no convenir ordinariamente modificar las luces de estas obras en sentido de reducirlas, no sólo por los cuantiosos gastos que casi siempre origina la construcción de nuevos apoyos de fábricas, con cimentaciones, generalmente, de coste elevado, sino también por haber la duda de si el primitivo proyectista dispuso de datos, la mayor parte de los casos perdidos, que justificaran sus previsiones, si bien desde la época de la construcción de la obra no se ha presentado crecida tan importante como la que motivó la fijación de las características de desagüe de la misma.

Resumiendo, diré que casi siempre se respetan las luces fijadas por los apoyos existentes, por lo cual, la luz teórica de los nuevos tramos resulta á su vez determinada y casi idéntica á la de los antiguos que se sustituyen.

Lo mismo puede decirse respecto á la oblicuidad de la obra, muchas veces injustificada, pero de difícil rectificación.

En varias ocasiones y por circunstancias especiales de cada obra, se modifica y altera el número de tramos existentes, bien en el sentido de aumentarlos ó bien disminuirlos.

Ambos casos se presentan ordinariamente cuando deben abandonarse los apoyos existentes y pueden construirse, sin inconveniente, otros nuevos intermedios, en mayor ó menor número que aquéllos, según la disposición de cada obra; en las figuras 130 y 135 pueden verse dos obras de las que más adelante me ocuparé con detalle, en las que se ha duplicado el número de apoyos intermedios, pasando de dos á tres el número de tramos de cada obra.

Cuando debe abandonarse un apoyo intermedio y no conviene construir otros nuevos, se puede disminuir el número de tramos, como ocurre en la obra representada en la figura 136, en la que se ve el tramo colocado en ella, en sustitución de otros dos de luz mitad, viéndose todavía en la fotografía restos de los mentados apoyos sin aplicación alguna.

La determinación de la solución que debe adoptarse se hace no solamente estudiando el asunto desde su aspecto técnico, sino también el muy interesante aspecto económico.

Como ordinariamente al realizar estas sustituciones se tiene muy en cuenta la posibilidad más ó menos próxima del establecimiento de la doble vía en los trayectos y líneas en que estos trabajos se realizan, hay que estudiar los trazados de la vía en las obras y sus inmediaciones, para ver de aprovechar el trabajo que ha de ejecutarse, para colocar el nuevo tramo en situación que no vaya á entorpecer el día de mañana la realización de aquella mejora.

Una vez estudiados estos interesantes aspectos de la cuestión, se procede á fijar el tipo de viga principal, dadas las condiciones de la obra, sobre todo teniendo en cuenta su luz.

Sin que la indicación que sigue, tenga carácter completamente absoluto y general, puede asegurarse que, sobre todo desde el punto de vista económico, conviene para las diversas luces los siguientes tipos de vigas principales:

Hasta 15 metros, Alma llena.

De 15 á 40 metros, Pratt.

De 40 á 70 metros, Linville ó Warren.

Desde luego, que aunque los estudios comparativos realizados indican la clasificación señalada, conviene en cada caso particular darse cuenta si procede ó no ajustarse á este patrón.

La posición del piso en la sección transversal de tramo tiene gran importancia y debe procurarse depurar por detenido estudio previo, la solución más conveniente, procurando siempre que sea posible colocar aquél en la parte superior, por las importantes ventajas que reporta esta situación al originar una importante reducción en el ancho del tramo, por lo cual muchas obras que no se encontrarían dispuestas, dado su ancho, para el establecimiento de la doble vía, sin la ejecución de importantes modifica-

ciones, consienten la colocación de los dos tramos, con la correspondiente economía.

No hay que olvidar por ello que este tipo de tramo disminuye el desgaste libre de la obra, por lo cual ha de tenerse muy en cuenta esta circunstancia, así como también la condición de la estabilidad transversal del mismo, menor en este tipo de sección transversal, que cuando el piso es intermedio ó inferior.

La situación del piso en la sección transversal del tramo se estudia repetidas veces en diversos lugares de estas notas.

Respecto á las cargas permanentes y accidentales, se estudian con todo detalle, posteriormente, por lo cual no estimo por ahora necesario decir nada sobre el particular.

Los métodos de cálculo empleados en esta campaña han sido variados, procurándose que si bien dadas las cargas adoptadas para el cálculo exista un gran margen de resistencia para el posible caso de que tenga que circular por el nuevo tramo material mucho más pesado que el actual, al obtener, previo cálculo, la sección de cada uno de los diversos elementos, se debe reducir ésta al límite estrictamente necesario para la resistencia fijada.

Se han empleado ordinariamente los métodos de cálculo preconizados por Leber, Resal y Waddel.

Se ha prestado mucha atención al cálculo de los llamados esfuerzos secundarios, algunos de importancia quizá mayor que los determinados directamente por los métodos ordinarios de Mecánica, por cuyo estudio se logra una más racional distribución del material empleado, disminuyendo ciertas secciones y aumentando otras, según real y verdaderamente trabaja cada elemento.

El último autor citado es el que en especial se ocupa, con gran detalle y detenimiento, de esta clase de esfuerzos.

Para la determinación de las secciones de las diversas piezas, su unión, disposición general del tramo, etc., debe además tenerse muy en cuenta la mejor utilización real del material á emplear, no proyectando piezas que exijan recortes complicados en las chapas enviadas por las fábricas, no sólo por el mayor coste sino por el desaprovechamiento del material.

Tampoco deben proyectarse enlaces complicados, es decir, que nunca debe olvidarse que aquel tramo ha de construirse.

También debe pensarse durante el proyecto en el corrimiento, montaje del nuevo tramo y modificaciones que la nueva disposición ha de ocasionar en las antiguas fábricas para reducir aquéllas á lo estrictamente indispensable.

Para terminar, y repitiendo el concepto ya expresado, nunca debe perderse de vista que el nuevo tramo ha de construirse, para evitar disposiciones muchas veces innecesarias que representen posteriormente gastos de consideración.

DOMINGO MENDIZÁBAL.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

(Continuara.)

## REVISTA EXTRANJERA

### Puente levadizo á la entrada del puerto de La Seyne (Francia).

Los puentes levadizos tan esparcidos en los Estados Unidos no tenían todavía representación en Francia—según dice *Le Génie Civil* en un artículo de M. A. D. que resumimos en la presente nota—, y á los Establecimientos Daydé es á los que ha ca-

bido el honor de construir, en plena guerra, una obra de este género, en la Seyne, cerca de Tolón.

Parece, sin embargo, que es un francés, M. Cuvelier, el que ha presentado, en 1869, el primer proyecto de puente levadizo, precediendo así en bastantes años al sistema Scherzer, que es el más extendido en la actualidad.

Es raro, por otra parte, que esta clase de puentes no haya