

El nuevo puente móvil de Deusto (Bilbao) sobre el río Nervión

POR D. FERNANDO GONDRA. — INGENIERO DE MINAS

Los puentes proyectados sobre la ría de Bilbao, aguas abajo de los hoy existentes, que durante algún tiempo constituyeron el motivo preferente de todas las conversaciones y el asunto más debatido en la prensa local, comienzan a tener realidad al iniciarse las obras de cimentación del puente llamado de Deusto.

Este puente, a cuya parte metálica vamos a referirnos principalmente, resulta de sobra conocido por la publicidad alcanzada, al igual que el puente de la calle de Buenos Aires, tanto en la prensa diaria como en la técnica, y por lo que apasionó los ánimos en la época a que hacemos alusión al comienzo. Huelga por ello hacer indicación ninguna de sus esbeltas y elegantes líneas, que han de contribuir al ornato del lugar de su emplazamiento, ni tampoco del problema viario que resolverá, canalizando normalmente el tráfico, hoy congestionado en alguno de los puentes existentes.

El proyecto que va a ejecutarse reproduce exactamente en la parte de viaductos de acceso de ambos márgenes el proyecto oficial redactado tan concienzudamente por los ingenieros Sres. Ortiz y Rotaeché, y aunque sea de pasada debe advertirse ha merecido grandes elogios de los especialistas más eminentes en esta clase de obras. Se separa algo de él, en lo que hace referencia a las cimentaciones (que van a ser ejecutadas por la Sociedad Entrecanales y Távora, S. A., especializados en esta clase de obras, quienes probablemente publicarán algunas notas sobre ellas en ésta u otra revista profesional). Hay variaciones también en los tramos móviles, de los que damos noticias detalladas a continuación, por haber optado la Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, autora del proyecto y colaboradora técnica del grupo constructor, por el accionamiento del puente mediante mecanismos de biela, según patente suya, en lugar de emplear la cremallera del proyecto oficial.

Para facilitar la comprensión de lo que será definitivamente el puente, se incluyen unas cuantas figuras con alzados, plantas y detalles de la parte de mecanismos en que principalmente se halla la diferencia respecto al proyecto oficial, es decir, de la biela y caminos de rodadura.

En la figura 1, B-C, en los alzados y planta generales del puente, aparece éste con los viaductos de acceso en construcción metálica, por haberse obtenido esta reducción, de un dibujo que presentó el grupo Basconia como variante al proyecto oficial, figura 1-A, al objeto de conseguir un menor número de pies derechos longitudinal y transversalmente, y subsiguientemente una mayor amplitud de espacio libre en la calle inferior del viaducto.

En la figura 2, C-D, pueden compararse las dos soluciones y ver lo que se ganaba en espacio libre en la calle inferior respecto al proyecto oficial, por reducir a tres elementos de mayor esbeltez los cuatro pies derechos de cada fila transversal, al optar por la solución metálica.

Sin embargo de estas ventajas se eligió la solución en hormigón armado, por su economía de primer establecimiento, y además por prever la carga importantísima que supondría el mantenimiento de la pintura de las construcciones metálicas en zona tan húmeda. Se han encargado de la ejecución del hormigón armado las Sociedades Gamboa y Do-

mingo, S. A. y Retolaza y Anacabe, Ltd., por partes iguales.

Tramos móviles.—La luz entre paramentos de pilas, según el proyecto oficial, es de 48 metros, y la que hay entre centros de apoyos 50 metros, siendo el ángulo de apertura de $71^{\circ}20'$.

El ancho en planta del puente es de 20 metros, distribuidos entre la calzada que tiene 12 metros y dos andenes de 4 metros a ambos lados de ella (fig. 2-A y B).

La estructura metálica del puente está esencialmente constituida por dos vigas principales de celosía separadas 13 metros entre ejes, con recuadros de 3,95 metros, que sobre el apoyo forman los sectores rodantes, en celosía también, y, por último, en su parte más posterior, terminan en vigas de alma llena para facilitar el acomodo del contrapeso (fig. 3, A y B).

Las vigas principales que nos ocupan son del tipo cajón o de doble alma, a pesar de lo cual, por haber dispuesto convenientemente agujeros de hombre, la accesibilidad queda asegurada en todos sitios.

Una parte muy importante de las vigas principales es el sector rodante (fig. 4-A). Consiste éste en tres barras de celosía colocadas casi radialmente y unidas entre sí por dos barras (que son como la continuación de la cabeza inferior de la viga) a las que están sólidamente atornillados los segmentos de acero fundido que constituyen las coronas de rodamiento.

Con esta disposición, se evita el torneo de piezas de gran diámetro, quedando todo reducido a un simple cepillado transversal, utilizando convenientemente las necesarias plantillas.

Como elemento resistente a la acción del viento, se dispone entre las cabezas inferiores de las vigas principales, un arriostramiento formado de montantes y cruces de San Andrés, que en el extremo en que se aloja el contrapeso es reemplazado por la chapa del fondo de la caja que lo contiene.

De las secciones principales de las vigas nos ocuparemos al referirnos al procedimiento de cálculo.

Mecanismos.—Como mecanismo de basculación se ha previsto un mando por biela, que constituye patente de la casa M.A.N.

La biela que por un extremo se une al puente,

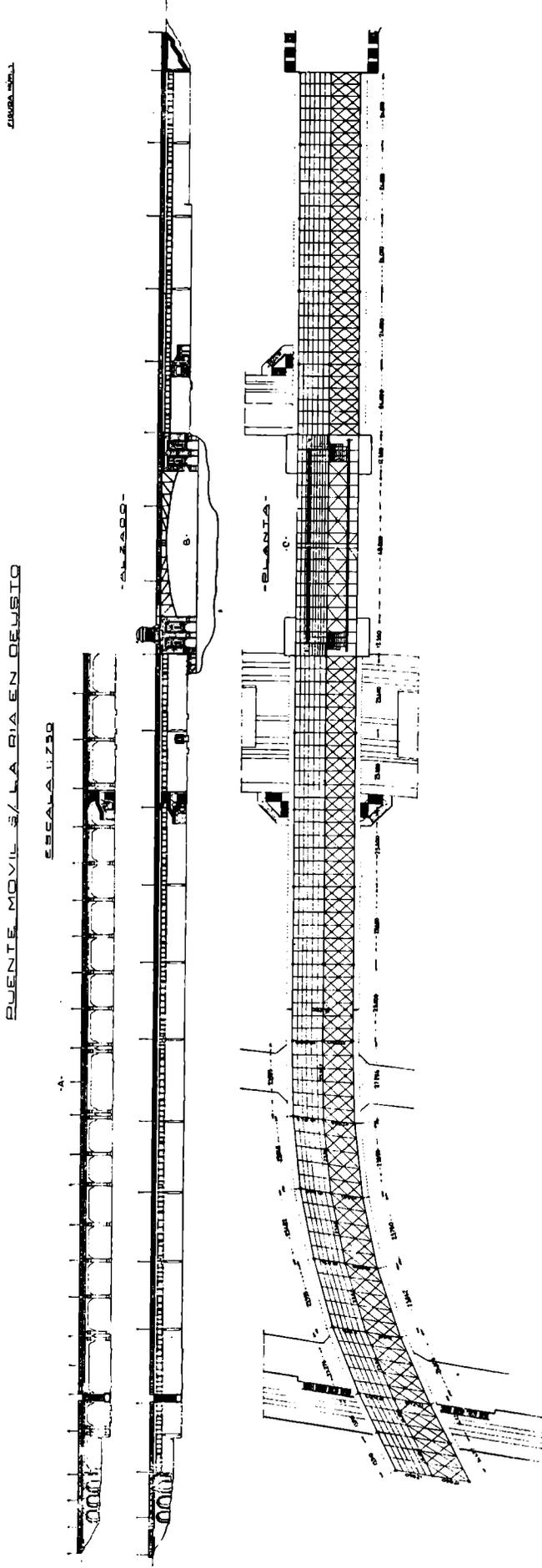


Figura 1

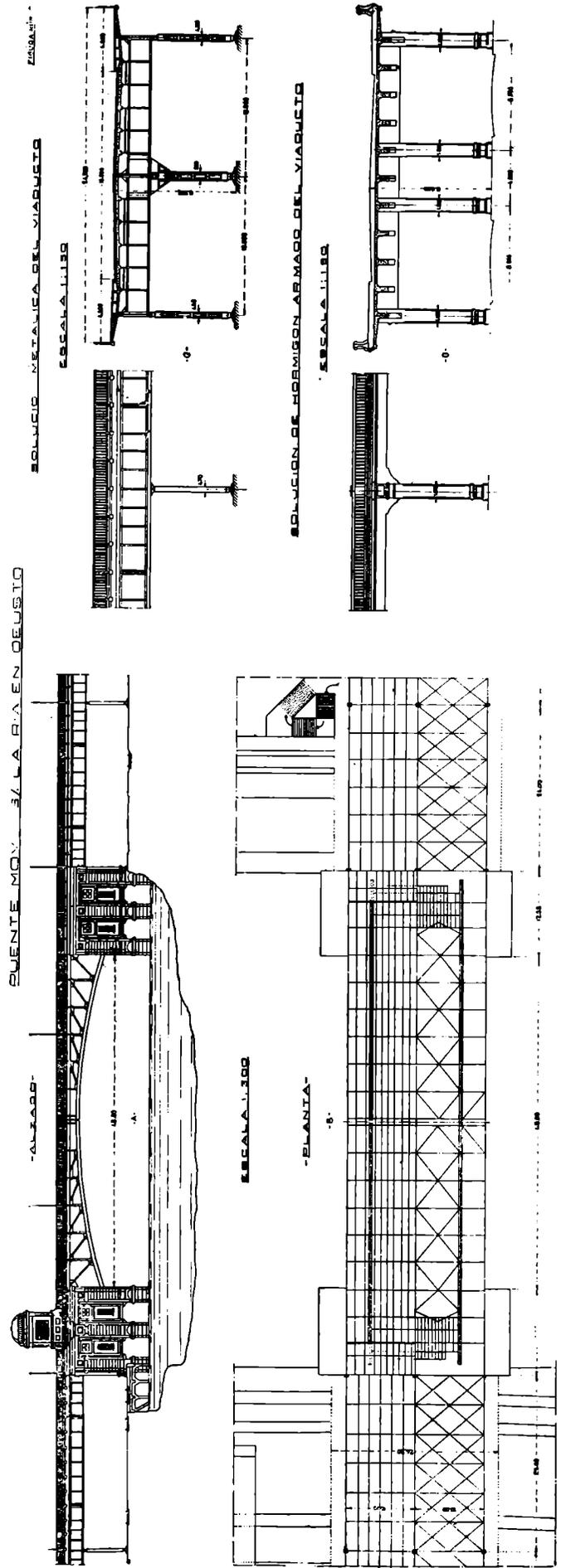


Figura 2

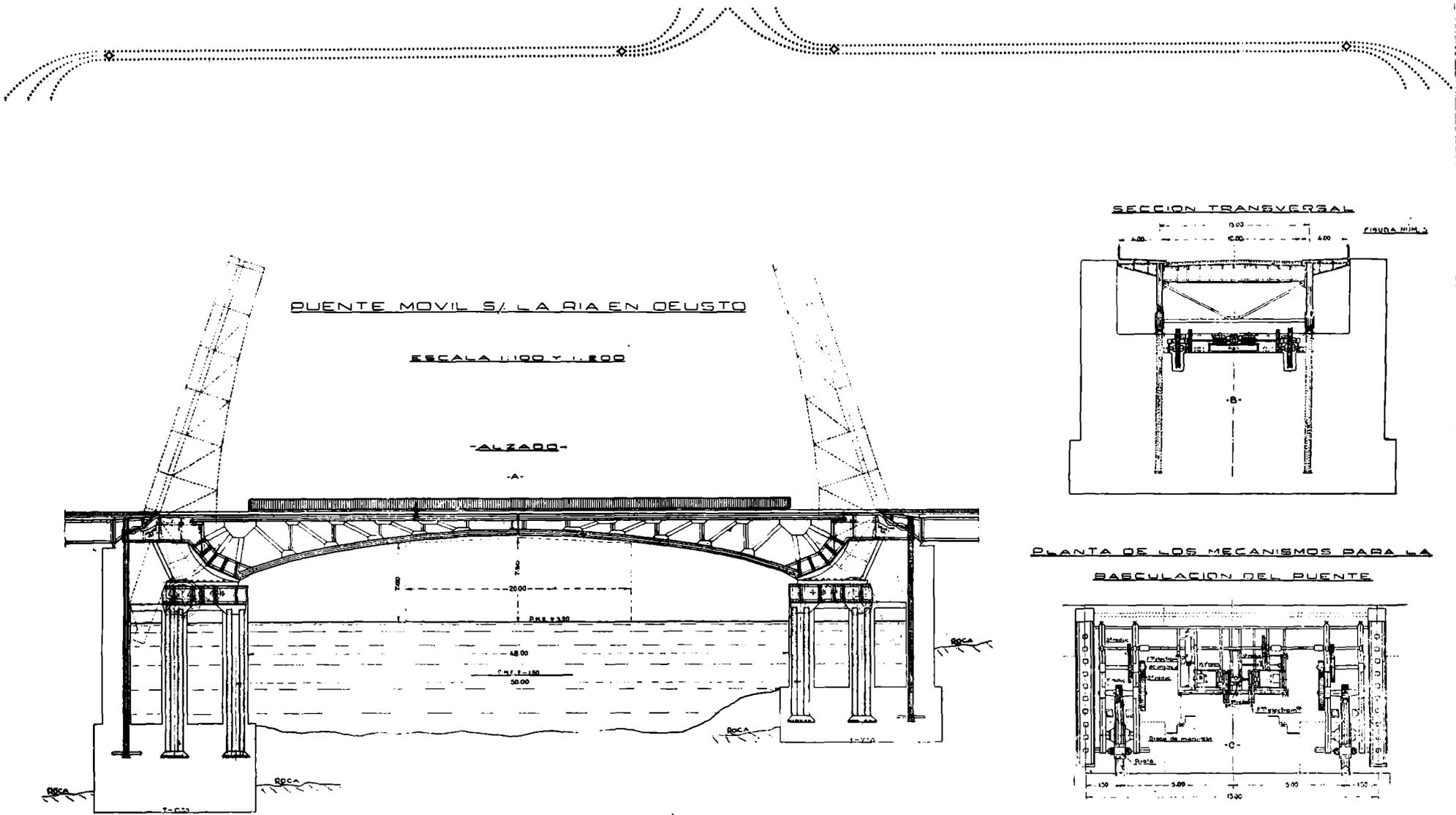


Figura 3

por el contrario, se articula con una manivela, de tal modo que, estando el puente en posición de cerrado, ésta se halla en punto muerto (vean fig. 4-A). De esta forma, en el comienzo de la apertura, la velocidad es muy reducida, obteniéndose, no obstante el empleo de motores asíncronos trifásicos corrientes, las puestas en marcha muy suaves, no corregibles de otro modo con este equipo sencillo, y que de no hacerlo así hubiese hecho necesario recurrir a un sistema Leonard u otro semejante, encareciendo el equipo eléctrico muy sensiblemente.

Con esta disposición, se consigue, además, que las sobrecargas sobre la culata sean transmitidas directamente por la biela y el disco de manivela a las fundaciones sin hacer trabajar a ningún engranaje.

Como ya queda dicho, figura 3-B y C, esta biela se une a la manivela que forma parte de la primer reducción de velocidad del mecanismo motor del puente. Este va fijo a la fábrica de los estribos, en lugar de ir alojado en la culata del puente, pudiendo evitarse así algunos inconvenientes en las conexiones eléctricas. El alojamiento entre las vigas

las básculas en cualquier posición, aún contra viento de intensidad de 40 kg/m.^2 , en un período de tiempo de quince segundos.

Además de estos frenos, se ha previsto otro llamado de urgencia, sobre el eje en que van calados los piñones de la tercera reducción.

Aún cuando todo el mecanismo es doble, excepto el freno de urgencia que es uno sólo en cada orilla, el movimiento de las básculas puede ser realizado con un solo motor, marchando el otro en vacío.

Para poder maniobrar el puente, aún en los casos de falta de corriente, se han previsto dos puestos para accionamiento a mano, si bien en este caso el tiempo de la operación, en lugar de los 70 segundos señalados, es de una hora y cuarto.

Todo el material de las reducciones es de acero moldeado con los dientes tallados, excepto en el disco de manivela, en el que los dientes serán redondos calibrados, calados entre los discos.

Los soportes, según su importancia, se proyectan en acero moldeado o fundición, yendo provistos en todos los casos de guarnición de bronce con lubricación cuidadosa.

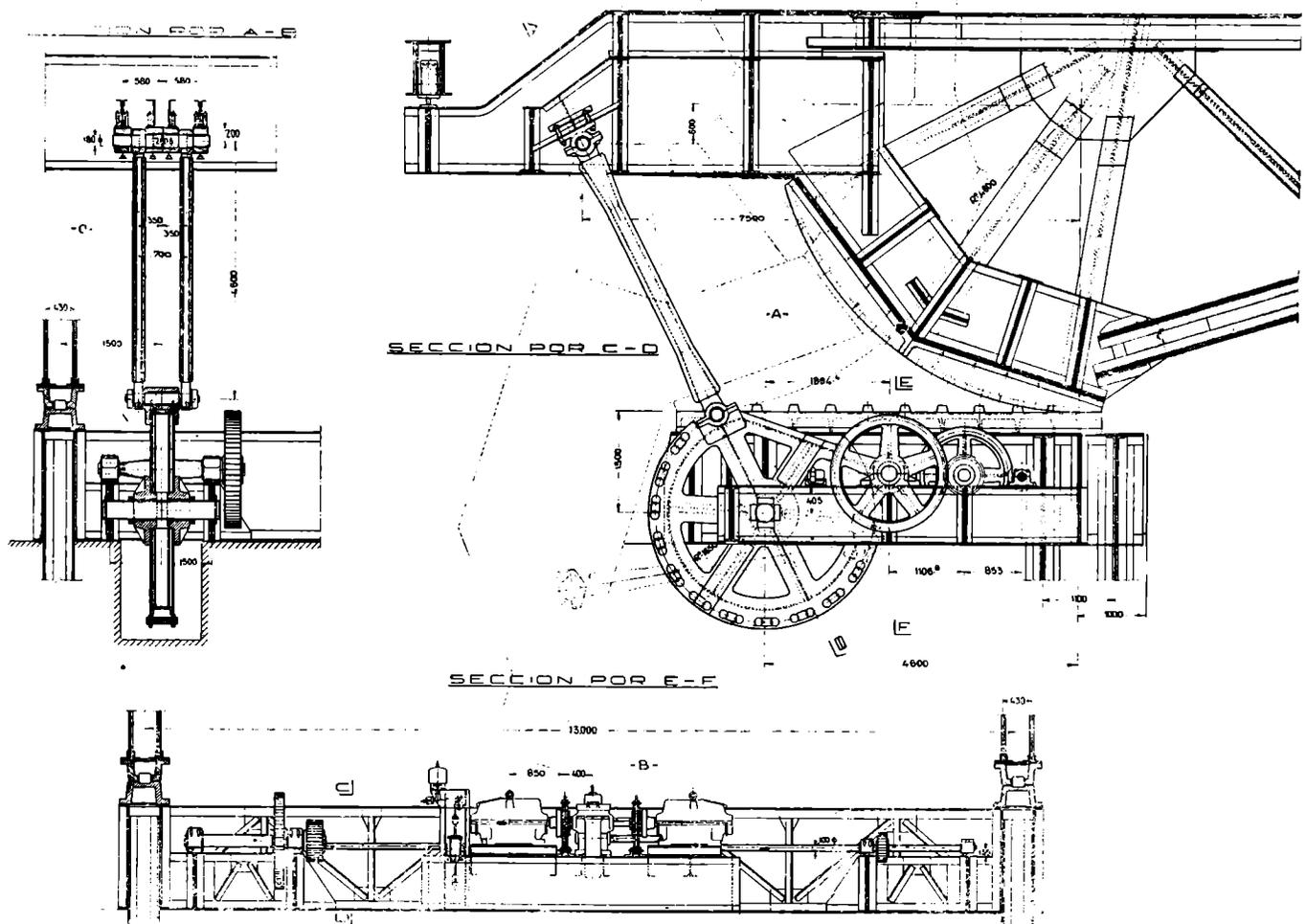


Figura 4—Puente móvil sobre la ría en Deusto.—Mecanismos para la basculación del puente

principales, próximamente al nivel de los caminos de rodadura de las cinco reducciones, se hace con amplitud, y quedan todas ellas sólidamente entrelazadas merced a unas vigas que se embrochalan a los pórticos de los caminos de rodadura.

Entre los motores y la primera reducción, se colocan dos frenos electro-magnéticos, que podríamos llamar, de servicio, y son capaces de detener

Equipo eléctrico.—Por permitir esta disposición de accionamiento por biela, una disminución de velocidad en los finales de carrera, se puede prescindir del empleo del equipo Leonard, y utilizar un equipo de corriente trifásica a 380 voltios.

Todos los controlers e interruptores, así como el indicador de posición para mandar los diversos

accionamientos y señales, van dispuestos en un pupitre situado en la cabina del maquinista.

A fin de asegurar el tráfico sobre el puente, se han previsto dos barreras que pueden ser actuadas eléctricamente o bien a mano desde el pupitre del maquinista, y que conectadas con luces y señales, en tanto dura la operación de cierre, o permanezcan cerradas, si es de noche, se enciende una luz roja, o suena un timbre, cesando de sonar éste y alumbrando una bombilla verde en cuanto la barrera es levantada.

En cuanto a señales para el tráfico fluvial, siguiendo el proyecto oficial, se colocarán ocho juegos de luces en ambos lados de cada pila, y de cada extremo de báscula. Se ha dispuesto que las luces, rojas o verdes, no podrán lucir sino con los tramos cerrados o abiertos, respectivamente, mientras que la luz amarilla lucirá en todo momento o eventualmente en caso de niebla.

Bases para el cálculo.—Se ha seguido en un todo a la Nueva Instrucción para la redacción de proyectos de tramos metálicos, de fecha 24-9-925, en lo que se refiere a puentes de carretera.

Para las cargas permanentes se ha partido de los pesos usuales para el acero laminado y fundido, madera, asfalto, etc.

Y en cuanto a sobre cargas, en los andenes, se ha considerado la de 450 kg/m.² uniformemente repartida. En la calzada, ha sido preciso distinguir el entablonado y largueros, las vigas transversales y las principales.

En los primeros de estos elementos, se hizo el cálculo con la carga aislada de 13 toneladas. Por cierto, que al considerar el modo de actuar de esta carga aislada, se suscitó, como ya ha ocurrido anteriormente, alguna duda sobre si debía ser estimada, actuando sobre un punto, o según una superficie. La casa M.A.N. propuso que esta carga de 13 toneladas se considerase como repartida en un área de 1,00 × 0,10 metros, partiendo de la presión máxima entre rueda y pavimento prevista en las normas de la industria alemana (D.I.N.). (Según D.I.N. 1.072, el área para la rueda trasera del rodillo compresor de 23 toneladas, con una presión de 6,5 toneladas, es de 0,50 × 0,10 metros). Con una presión igual entre rueda y pavimento para la carga de 13 toneladas, la superficie de apoyo sería de metros 1,00 × 0,10.

La dirección facultativa del puente no aceptó este criterio ateniéndose a que el espíritu del reglamento español está claro que se refiere al cumplimiento de una condición de carga, que determine dimensiones, en los elementos directamente afectados por ella, superiores a los que pudieran deducirse de un caso posible en la práctica, aunque com-

prendía que si se fuese a materializar esta carga sería lógico el referirla a un rodillo de longitud determinada.

Desde luego, la postura de la dirección en este caso es perfectamente razonable, pero sería muy conveniente que en el reglamento español, en este punto y en algún otro en que se presente obscuro y algo vago, se puntualizase más, introduciéndose algunas aclaraciones que lo pusiesen más en conformidad con la realidad de los hechos, a fin de poder aplicar las cargas con un criterio claro y único, que solamente podrá obtenerse si ellas se ajustan a lo que en la realidad tiene lugar.

En las vigas transversales, la carga empleada es la producida por seis trenes tipos, colocados uno al lado del otro en cada faja de dos metros, y constituidos por una apisonadora de 20 toneladas, seguida de una carga uniformemente repartida de 450 kgs/m.²

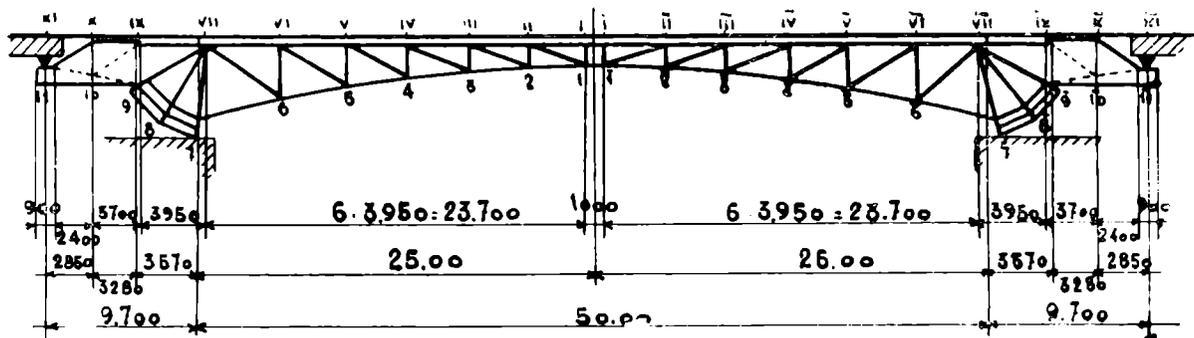
Y por último, en el cálculo de las vigas principales, los seis trenes tipos anteriores son sustituidos por otros formados por tres tranvías de cuatro ejes de 6,15 toneladas cada uno.

En cuanto a presión de viento, se consideran tres hipótesis, 1.^a, 270 kgs/m.² en el sentido horizontal, transversal o longitudinalmente al puente, y 3.^a, 40 kgs/m.² obrando verticalmente a la superficie de la calzada y de los andenes, constituyendo como carga adicional compensadora de la que accidentalmente pudiesen producir la nieve, etc.

Por lo que se refiere a coeficientes de trabajo aplicados en el cálculo, se respetan escrupulosamente los señalados por la instrucción vigente.

Cálculos.—El cálculo de los elementos de piso de la calzada y andenes, como entablonado, largueros y vigas transversales, nada saliente presenta para que merezca ser consignado particularmente en estas breves notas. En los largueros se reconoce su continuidad y como tales elementos continuos se les calcula, en tanto que al resto de los elementos se les considera como vigas rectas apoyadas en dos puntos con cargas en las posiciones más desfavorables para obtener los máximos momentos flectores.

En lo que se refiere a las vigas principales, se distingue en el cálculo la acción de las cargas permanentes y la de la sobrecarga. A los efectos debidos a la primera, se las considera como vigas cónsolas apoyadas en un punto cualquiera del sector rodante, y en los correspondientes a la sobrecarga, se hace la hipótesis de que el puente es una viga continua sobre tres vanos, con una articulación en la mitad del vano central. Hipótesis que supone que el sistema de las vigas principales es estáticamente indeterminado con indeterminación de primer gra-



do. Por tratarse de un cálculo que no es corriente, haremos breves indicaciones de la marcha del mismo. Para resolver la indeterminación se convierte el sistema en determinado, suponiéndolo compuesto por dos vigas cónsolas apoyadas en los puntos 7 y 11 y sometidas a la acción de la magnitud indeterminada X_a cuyo valor es el del esfuerzo constante en la articulación central.

La determinación de todos los esfuerzos originados por las cargas permanentes, se efectúan como en el proyecto oficial, merced a la resolución de varios polígonos de Cremona por el método ordinario, que no requiere mayor explicación.

La correspondiente a las sobrecargas, exige la previa determinación de los valores de X_a esfuerzo cortante en el centro del vano con el trazado de su línea de influencia.

El cálculo de la magnitud indeterminado X_a , requiere el empleo de una ecuación más que las que nos proporciona la estática que merced a los recursos que nos presta la teoría de la elasticidad es fácil de plantear.

De ella obtenemos la ecuación

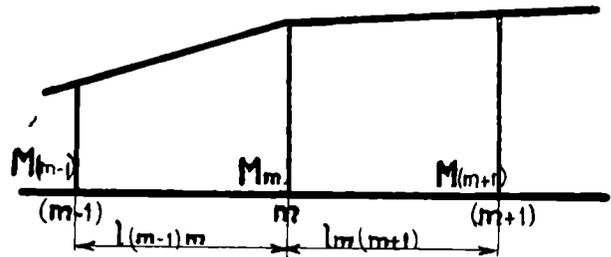
$$Y_a = \frac{\delta a m}{\delta a a} \text{ y como por el teorema de Maxwell}$$

$\delta a m = \delta m a$, obtendremos recordando la relación de Müller Berlau las ordenadas de la línea de influencia del valor X_a , puesto que, según ella, estas ordenadas para un elemento superabundante de una estructura indeterminada cualquiera, son iguales a las ordenadas de la curva de deformación de dicha estructura en el caso de estar bajo la acción

deformación en el punto de aplicación de dicha carga unitaria.

La obtención de la curva de deformación se verifica tratándose de una viga armada en cónsola rápidamente por el procedimiento de las masas elásticas, cuyos valores recordaremos tienen la expresión general siguiente.

$$W_m = \frac{l_{(m-i)m}}{6 E I_{(m-i)m}} (2 M_m + M_{m-i}) - \frac{l_{m(m+i)}}{6 E I_{m(m+i)}} (2 M_m + M_{m+i})$$

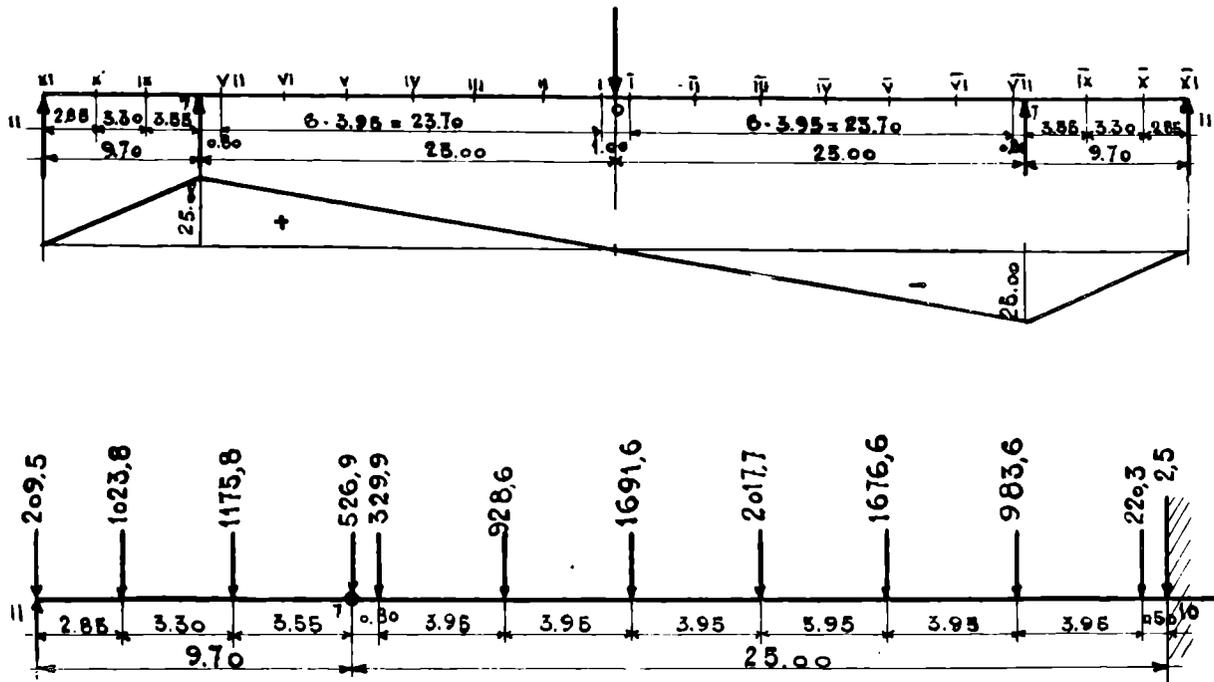


que por una simple operación puede escribirse en esta otra forma

$$6EI_c W_m = l_{(m-i)m} \frac{I_c}{I_{(m-i)m}} (2 M_m + M_{m-i})$$

$$- l_{m(m+i)} \frac{I_c}{I_{m(m+i)}} (2 M_m + M_{m+i})$$

Los momentos M debidos a las masas elásticas se obtienen transformando el sistema de vigas existentes en el recíproco, según se indica en la figura 2-b).



de una fuerza unitaria que reemplace al elemento superabundante, si éstas últimas se dividen por la

De este modo se obtienen los valores de las masas elásticas $6 E I_c W_m$, según la tabla siguiente:

Punto	l	$\frac{l}{2}$	$\frac{l}{4}$	Mm	2 Mm	$2Mm + M_{(m-1)}$	$2Mm + M_{(m-1)}$	$\frac{l_{(m-1)}m_{(m-1)}}{2Mm + M_{(m-1)}}$	$\frac{l_{(m-1)}}{2Mm + M_{(m-1)}}$	6EJc.Wm	Punto
	m			3				3 ²			
0				0	0					2,5	0
I	0,50	10	5,00	0,50	1,00	1,00	0,50	5,00	2,50	220,3	I
II	3,95	10	39,50	4,45	8,90	9,40	5,45	371,30	215,27	986,3	II
III	8,95	9	35,55	8,40	16,80	21,26	17,30	755,44	615,01	1676,6	III
IV	8,95	8	31,60	12,35	24,70	33,10	29,15	1045,96	921,14	2017,7	IV
V	3,95	6	23,70	16,30	32,60	44,95	41,00	1065,31	971,70	1691,6	V
VI	3,95	3	11,85	20,25	40,50	56,80	52,85	673,08	626,27	928,6	VI
VII	3,95	1	3,95	24,20	48,40	68,65	64,70	271,17	255,56	329,9	VII
7	0,80	1	0,80	25,00	50,00	74,20	73,40	59,36	58,72	526,9	7
IX	3,55	2	7,10	15,85	31,70	56,70	65,25	402,57	467,53	1175,8	IX
X	3,30	6	19,80	7,35	14,70	30,55	39,05	604,89	773,19	1023,8	X
11	2,85	10	28,50	0	0	7,35	14,70	209,47	418,95	209,5	11

Las reacciones de apoyo en el sistema recíproco son:

$$R_{11} = \frac{1}{9,70} (209,5 \times 9,70 + 1.023,8 \times 6,85 - 1.175,8 \times 3,587) = 1.362,8 \text{ m.}^2$$

$$R_7 = \frac{1}{9,7} (526,9 \times 9,70 - 1.175,8 \times 6,15 - 1.023,8 \times 2,85) = 1.573,2 \text{ m.}^2$$

$$R_0 = R_7 \cdot 329,9 - 928,6 - 1.691,6 + 2.017,7$$

$$1.676,0 - 986,3 - 220,3 + 2,5 = + 9.426,7 \text{ m.}^2$$

Partiendo de estas reacciones podemos efectuar el cálculo de los momentos de las masas elásticas según se indica en el cuadro que sigue:

Punto	6EJc.Wm	R	l	l.R	Mm	$\frac{Mm}{6EJc.Wm}$	Punto
		m2.		m	m3.		
0	2,5	9426,7			- 137192	+ 0,500	0
I	220,3	- 9424,2	0,50	- 4712	- 152480	+ 0,483	I
II	985,3	- 9203,9	3,95	- 36355	- 96125	+ 0,350	II
III	1676,6	- 8217,6	3,95	- 32460	- 63665	+ 0,232	III
IV	2017,7	- 6541,0	3,95	- 25837	- 37828	+ 0,138	IV
V	1691,6	- 4523,3	3,95	- 17867	- 19961	+ 0,073	V
VI	928,6	- 2831,7	3,95	- 11185	- 8776	+ 0,032	VI
VII	329,9	- 1903,1	3,95	- 7517	- 1259	+ 0,005	VII
7	526,9	- 1573,2	0,80	- 1259	0	0	7
IX	1175,8	- 1046,3	3,55	- 3714	+ 3714	- 0,014	IX
X	1023,8	+ 129,5	3,30	+ 427	+ 3287	- 0,012	X
11	209,5	+ 1153,3	2,85	+ 3287	0	0	11
		1362,8					