

CONSTRUCCION

DEL GRAN PUENTE DE ALBAÑILERIA SOBRE LA PÉTRUSSE EN LUXEMBURGO

(Conclusion)

ALBAÑILERÍAS CON MORTERO DE CAL DE TEIL

CANTERAS i resistencias al aplastamiento exijidas a su productos	Aparejo de los materiales	Su desig- nacion en los di- bujos	DÓSIS DE LOS MORTEROS			EMPLEO EN LA OBRA	Cubo aproximado
			Cal	Arena blanca gra- nurada	Arena del Mosela		
Gildorf 1,400 k. cm. 2	Libages.....	L	350	0.800	0.200	Revestimiento de los estribos de la gran bóveda entre el ángulo de 63° con la vertical i el terreno natural.....	m ³
		MTV	350	0.800	0.200		250
	Bolones punzo- neados aparej. en bóveda.	MTV	350	0.800	0.200	Cuerpo de los estribos de la gran bóveda detrás de los libages anteriores	250
Ernzen 480 kg. cm. 2	Piedra de talla.	PT	250	0.800	0.200	Capiteles de las pequeñas pilas	460
		PT	250	0.800	0.200	Bandas de las bóvedas de m. 5.40,	64
		PT	250	0.800	0.200	Zócalos de las pilas de las bóvedas de m. 5.40 descansando en el arquitrave	44
		PT	250	0.800	0.200	Llaves i contrallaves de las bóvedas de m. 21.60	6
		PT	250	0.800	0.200	Revestimiento de las grandes pilastras. Arquitrave entre la pilastra i la gran bóveda	1180
Dillingen 400 kg. cm. 2	Libages	L	250	0.800	0.200	Revestimiento de los zócalos de las pilastras	520
		MSV	250	0.800	0.200	Bandas exteriores de las bóvedas de metros 21.60	144
		MS	2500	1		Caras en elevacion i aristas exteriores de las pilas	52
		MSV	250	0.800	0.200	Timpanos exteriores de la gran bóveda i bóvedas de m. 21.60	170
		MS	250	0.800	0.200	Bandas interiores de las bóvedas de metros 5.40 i 21.60	170
Bolones punzo- neados	Bóvedas	MSV	250	0.800	0.200	Aristas interiores de las pilastras.	
		MS	250	0.800	0.200	" " " pequeñas pilas.	
		MSV	250	0.800	0.200	Caras transversales de los capiteles de estas pequeñas pilas	150
		MTV	250	0.800	0.200	Duelas de las bóvedas de m. 21.60 i de 5.40	550
Bolones punzo- neados	Bóvedas	MIT	250	0.800	0.200	Paramentos de las pilastras bajo las bóvedas de m. 21.60. Caras transversales i caras interiores de las pequeñas pilas.	
		MIT	250	0.800	0.200	Paramentos de las pilastras bajo las bóvedas de m. 5.40	800

CANTERAS i resistencias al aplataamiento exijidas a sus productos	Aparejo de los materiales	Su desig- nacion en los di- bujos	DÓISIS DE LOS MORTEROS			EMPLEO DE LA OBRA	Cubo aproximado
			Cal	Arena blanca gra- nularada	Arena del Mosela		
Verloren- kost 60 kg. cm. ²	Bolones punzo- neados aparej. en bóveda.	MTV	250	0.800	0.200	Bóvedas de aligeramiento de los estribos de la gran bóveda i de las pilastras.	9000
		MEV	250	0.800	0.200		
	Bolones picados no apareja- dos en bóveda	ME	250	0.800	0.200	Paramentos de las pilastras entre los dos puentes gemelos por encima de ba- samentos en libajes. Paramentos de las pilastras entre los dos puentes correspondientes a la par- te revestida con libajes.	
		Bolones ordina- rios arreglad. como bóveda.	MOV	250	0.800	0.200	
	350			0.800	0.200	Estribos de la gran bóveda por debajo de la albañileria de piedra de Gilsdorf.	
Bolones ordina- rios.	MO	250	0.800	0.200	Relleno de los muros de los timpanos bajo la loza. Relleno de los muros entre las bóvedas de aligeramiento de los estribos de la gran bóveda i de las pilastras. Relleno de las pequeñas pilas i de las pilastras.		

ALBAÑILERÍAS CON MORTERO DE CAL DE STRASSEN

Verloren- kost	Bolones picados	ME	kg.	m. ³	m. ³	Paramento de los muros de sosteni- miento.	m. ³
600 kg. cm. ²	Bolones brutos.	MO	350	—	1	Interior de los muros de sostenimiento.	5400

Albañilería de piedras secas. Drenes sobre las chapas.

Cascajo lavado. Relleno entre los tímpanos de la gran bóveda i de las bóvedas de de m. 21.60 hasta el lastre de la calzada.

Chapa (mortero de cal de Teil so-
bre m. 0,03 de espesor comprimido al es-
tado de arena húmeda recubierto con
0.015 m. de mastic de asfalto con arena.) } Pequeñas bóvedas i gran bóveda entre los
arranques de las pequeñas pilas.

PROCEDENCIAS DE LAS CALES I CEMENTOS.—CONDICIONES DE RESISTENCIA EXIJIDAS

DESIGNACION DEL PRODUCTO	Fineza de la molienda — Residuo max. admitido en el tamiz de		Límite del tiempo de fragua de la parte normal del cemento o cales puras	Resistencia a la traccion por cm ² de muestras conservadas en el agua		Embalado
	900 mallas	4,900 por cm ²		Pasta o mortero	Al cabo de 7 días 28 días	
Cemento artificial Vicat número 1 de Vif. (Isère)		20%	La fragua no debe comenzar ántes de 30 minutos i no debe terminarse ántes de 3 horas sino despues de 12 horas.....	Pasta normal Mortero normal	20 35 * 8 15**	Sacos emplomados de 50 kg.
Cal Pavin Lafarge del Teil (Ardèche) braman-te blanco	10%	25%	La fragua debe ser completa despues de 24 horas al aire i despues de 30 horas bajo el agua.....	Pasta de cal pura Mortero normal	3.5 7.— 2.5 5.5	Sacos emplomados de 50 kg.
Cal strasen	15%	35%	La fragua debe terminarse despues de 30 horas al aire i despues de 40 horas bajo el agua.....	Pasta de cal pura Mortero normal	2.5 5.5 2.— 4.—	Sacos de 50 kg.

° Residuo totalizado con el del primer tamiz.

** La resistencia al cabo de 28 días debe exceder a la que ha sido obtenida al cabo de 7 días, por lo ménos de 5 kg. para las muestras de cemento puro i de 2 kg. para las de mortero de cemento.

Todos los morteros han sido fabricados mecánicamente con moledores movidos a vapor; las muelas debian pesar por lo ménos 25 kg. por cm.² de ancho de llanta.

Condiciones de estabilidad.—Se obtuvieron las curvas de presiones límites que se indican en el depurado de la fig.



Fig. 1

La presión máxima en la llave era de 27 kilogramos por centímetro cuadrado, lo

cual no tiene nada de exagerado en vista de la buena calidad de los materiales que constituyen la bóveda.

Personal. — El proyecto definitivo fué confeccionado por M. Sejourné, ingeniero en jefe de puentes i calzadas de Francia, los estudios preparatorios fueron hechos por Mr. Rodange, ingeniero en jefe de los trabajos públicos del Luxemburgo, i los trabajos dirigidos por V. Fonck, conductor de trabajos públicos del mismo país i por MM. Fougerolle hermanos, empresarios constructores de París.

EJECUCION DE LOS TRABAJOS

Puente de servicio e instalacion

La serie de precios del proyecto preveía, sin considerar las cerchas, un precio en globo para las demas instalaciones; el contratista podia disponer a su arbitrio sus aparatos, pasarelas, andamios, cables transportadores, planos inclinados, etc., bajo la reserva de no apoyarse sobre la cercha de la gran bóveda.

Para elegir un sistema de andamio el constructor, ademas del nivel del único depósito de materiales i del perfil del terreno bajo el puente, debía guiarse por los siguientes datos preliminares:

En primer lugar, por el modo de construccion prescrito para la gran bóveda que exijia un aprovisionamiento simultáneo en 10 puntos diferentes de la misma; en seguida el sistema de armadura de la gran cercha, de la cual el puente de servicio debía ser completamente independiente; finalmente la division de la obra en dos puentes paralelos i distantes de 11^m 25 de eje a eje.

La gran superficie libre de la meseta Bourbon, a donde desemboca el nuevo puente, ofrecia un lugar mui favorable para el depósito de materiales, tanto mas que aquélla se encuentra casi al nivel de la plataforma del nuevo puente. Segun esto, un puente de servicio instalado al nivel de dicha meseta i atravesando el valle en el lugar que debía ocupar cada uno de los dos puentes gemelos por construir, era la solucion mas racional i la que fué adoptada por el contratista, tal como se indica en el plano.

Cepas de madera espaciadas de 30 m. de eje a eje soportaban por encima del nivel de las mas altas albañilerías del puente proyectado, una viga de madera americana, tipo Howe, sobre la cual circulaban las grúas rodantes o descende-cargas, i por el interior de la misma rodaban los carritos que trasportaban los materiales.

Los tramos del puente de servicio (plano I) eran formados por dos vigas de cabeza de 2^m 90 de altura, con enrejado de montantes i cruces de San Andres; dichas vigas van distantes de 7 m. de eje a eje i fuertemente trabadas por travesaños que únen sus cabezas superiores e inferiores i por tornapuntas i por montantes que dividen así el espacio comprendido entre las vigas de cabeza en 3 paños, de los cuales solo el central de 2^m 76 de ancho, es libre, i en cuya parte inferior se encuentran dos longuerinas que soportan un i éste la via de servicio de 0^m 60 de trocha. A esta última concurren todas las vias de aprovisionamiento del depósito de materiales por medio de una lijera rampa sobre terraplen.

Se ve fácilmente que este sistema de pasarela permite conducir todos los materiales hasta colocarlos a plomo de los lugares de empleo en un punto cualquiera del eje longitudinal del puente.

Para permitir el cruzamiento de los wagones sobre la simple vía de servicio, se colocarán cada 25 a 30 m. placas giratorias comunicando con vías de desvío dispuestas normalmente al eje entre dos travesaños i las vigas de cabeza.

Sobre la suela superior de cada viga de cabeza corre un riel de un extremo al otro de la pasarela, formando así una vía de 7 m. de trocha, sobre la cual circulaban las gruas rodantes que describiremos mas adelante.

Las cepas que soportan la pasarela, colocada encima de la abañilería, eran formadas con 4 postes de maderos rollizos, colocados con una inclinacion de $\frac{1}{20}$ en los cuatro planos laterales; la distancia de las cabezas de dichos postes era de 2 m. en sentido longitudinal del puente i de 7 m. en el sentido transversal, lo que no está mui distante del mayor ancho que se da ordinariamente a los puentes de albañilería.

Los postes eran de madera de pino de 0.30 m. de diámetro, injertados unos en otros por pisos de 9 a 10 metros mediante 4 eclisas de madera formando cajas de seccion cuadrada. Cada piso iba trabado horizontalmente en todo su contorno i contraventado por cruces de San Andres en las cuatro caras. Los postes de base se apoyaban i encastraban en un macizo de albañilería de 1 m. por 1 m. que descansaban en el terreno firme. Para prevenir todo movimiento lateral bajo el efecto de un huracan encajonado en el valle, las cepas eran contraventadas en los dos sentidos del thalweg por maromas formadas con cables de 15 milímetros de diámetro aparente.

Para facilitar la instalacion de las vigas americanas i aliviar éstas en caso de fuertes sobrecargas se colocaban tornapuntas a 45° en los planos de cabeza arrancando de la base del penúltimo piso de las cepas; dichas tornapuntas iban ligadas por sus extremos superiores entre sí i con los postes por medio de una corrida de maderos horizontales, equidistantes de 0.25 m. de la suela inferior de las vigas.

Por medio de calas de madera que llenan el juego anterior, dichas tornapuntas pueden sostener las vigas en la cuarta parte de su luz.

Los tramos situados a la derecha de los grandes estribos estaban espuestos a una fatiga mucho mas considerable que los demás, pues las piedras (libages) que eran descendidas pesaban hasta 3,500 kg, lo que a veces producía, con el puente rodante i su contrapeso una carga concentrada al medio del tramo de cerca de 10,000 kg. Para aliviar dichos tramos se reforzaban las vigas por medio de una doble fila de cables de suspension pasando por las suelas superiores encima de las cepas i el apoyo las tornapuntas debajo del tablero.

Las dimensiones de los elementos del puente de servicio se encuentran contenidas en el siguiente cuadro:

<i>Maderas:</i> Postes rollizos de las cepas.....	diámetro	30	centímetros
Tornapuntas o cruces de los pilones.....	escuadría	25 × 25	»
Carreras longitudinales uniendo los pilones	»	10 × 25	»
Otras carreras i contravientos.....	»	10 × 20	»

Eclisas de los postes.....	»	8	»
Suela del tablero.....	»	10 x 25	»
Carreras constituyendo los travesaños....	»	10 x 20	»
Montantes de las vigas de cabeza	} ala derecha de las cepas } en otra parte	15 x 18	»
		12 x 18	»
Cruces de id. id.		15 x 18	»
Montantes i tornapuntas interiores.....		12 x 12	»
Longuerinas bajo los rieles.....		10 x 20	»
Piso.....		4	»

Fierros:

Pernos	} en las cepas } Suelas del tablero i eclisas de las carreras de } los pilones..... } Montantes i tornapuntas interiores.....	diámetro	25	milímetros
			22	»
			18	»
Placas de apretar..	} Para los pernos de 18 milímetros.....		7 x 7 x 25	»
		} Para todos los demas.....	8 x 8 x 3	»

Cables de resfuerzo de los tramos i maromas $d = 15$ mm. con 0.800 kg. por m. c.

Armadura del puente de servicio.—Para armar las cepas se procedia por pisos de 9 a 10 metros.

Un simple cabrestante, provisto de una polea por la cual pasaba el cable de una cabría, servia para instalar los postes del piso inferior de las cepas.

Para edificar los pisos superiores, se construia sobre las piezas horizontales del piso inferior ya terminado, un suelo provisorio al nivel de las cabezas de los postes inferiores. Sobre dicho piso se instalaba un caballete llevando en las estremidades de su sombrero poleas que caian a plomo del lugar de emplazamiento del poste a una altura algo mayor que la mitad de la longitud total del poste. El cable de la cabría que servia para el levantamiento colocado a flor de tierra, era pasado por la polea para ir a fijarse al poste algo por encima de su centro de gravedad.

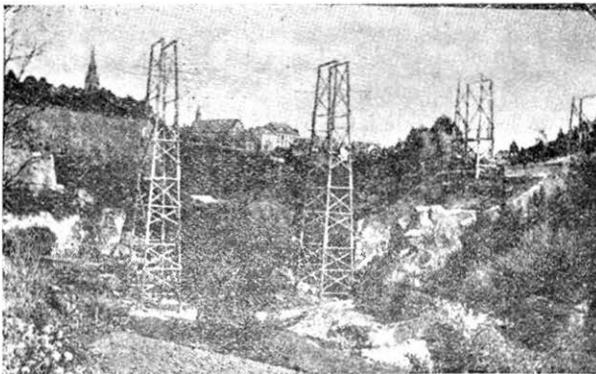


Fig. 8.—Vista de las cepas armadas del puente de servicio

Los cuatro postes de un piso, así instalados, trabados i contraventados, se trasladaba el suelo provisorio a la cabeza del nuevo piso i se procedia en la misma forma para con los pisos siguientes.

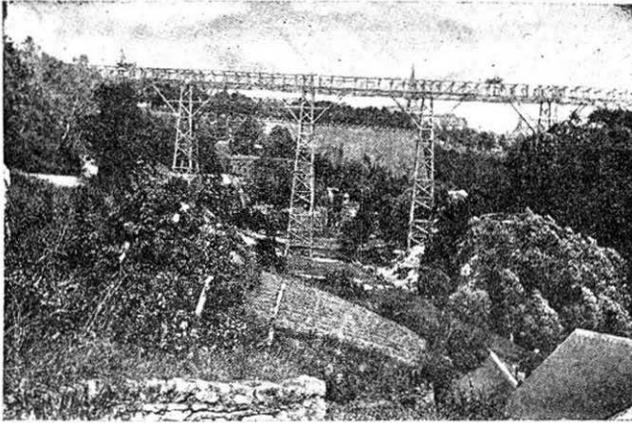


Fig. 9.—Vista general del puente de servicio una vez terminado

Una vez armadas las cepas se agregaban las tornapuntas por medio de dos poleas fijadas al poste que recibía la tornapunta, cuya cabeza libre era en seguida trabada o apuntalada con los postes en el sentido longitudinal de la obra; solo quedaba por colocar las trabas destinadas a unir los extremos de las tornapuntas, lo cual se hacía por medio de poleas llevadas por suples fijados a las tornapuntas.

Las filas de trabas horizontales continuadas de una cepa a otra, recibían un piso provisorio sobre el cual se armaba en seguida, pieza por pieza, la viga americana, comenzando por el costado de la meseta Bourbon donde se encontraban las canteras i depósito de materiales.

He aquí los datos sobre las cantidades de materiales empleados i el tiempo exigido para la ejecución:

MATERIALES EMPLEADOS

Albañilería ordinaria con mortero de cal para los zócalos de soporte de las cepas, zanjas comprendidas.....	m.=m. ³	66
Maderas roblizas para los postes de las cepas i palizadas de los extremos, cubo efectivo.....		60
Maderas cuadradas..	{ en las cepas..... 100 } { para el tablero..... 180 }	280
Cubo total de madera.....	b=	340
Fierros (sin contar los rieles)	{ pernos i placas..... kg. 3,120 } { cables de refuerzo, maromas, etc..... kg. 780 }	f= kg. 4,000
Razon del fierro a la madera o cantidad de fierro por m. ³ de madera..	$\frac{f}{b}$	= kg. 11,765

OBRA DE MANO

	HORAS DE			
	Armadores i conductor	Maestro carpintero	Carpintero	Ayudantes
Preparacion de las maderas i tallado de los ensambles (110 dias)..... h_1	—	600	3,720	3,150
Trasporte de las maderas a su lugar de empleo, acarreo, armado, colocacion de maromas, etc., de las cepas i del tablero (90 dias)..... h_2	220	1,140	3,430	4,540
Total..... H	220	1,740	7,150	7,690
Un m. ³ de madera, incluso el fierro, ha por consiguiente exigido para la talla..... $\frac{h_1}{b}$	—	1,734	10,941	9,264
Para el acarreo i armadura..... $\frac{h_2}{b}$	0,647	3,352	10,088	13,353
En total..... $\frac{H}{b}$	0,647	5,116	21,029	22,617

El cuadro siguiente suministra algunas indicaciones útiles relativas a las cantidades de materiales invertidos en el puente de servicio; las diferentes columnas señalan los consumos: la 1.^a con relacion al m.³ de la albañilería total por ejecutar; la 2.^a con relacion al m.² de superficie en elevacion, es decir la superficie comprendida entre la línea poligonal del perfil transversal del valle i la base del parapeto del puente; en fin, la 3.^a columna indica las cantidades empleadas con relacion al m.³ del volúmen comprendido entre la superficie anterior i el ancho de puente al nivel de los arranques.

MATERIALES EMPLEADOS	Por m. ³ de albañilería de puente C = 11,500	Por m. ² de elevacion S = 5,220	Por m. ³ de lleno Q = 32,000
A. — Albañilería de los zócalos de las cepas (albañilería ordinaria con mortero de cal) m. = 60 m. ³	0,0052	0,0019	6,0019
B. — Madera cubo total b=340 m. ³	0,0295	0,0651	0,0106
C. — Fierros (pernos, cables, maromas, no comprendiendo los rieles) f=kg. 4,000.....	0,3478	0,7662	0,125

En resúmen, el puente de servicio cuya descripción e instalación acabamos de hacer, es notable por su extrema ligereza, pues a pesar de su longitud de 170 metros i de la gran altura de sus cepas centrales (2 de 41 m. i una de 33 m.) solo ha exigido 340 m.³ de madera lo que corresponde a 2 m.³ por metro corrido, i ha costado 25,000 francos. Como el cubo de albañilería total de la obra es próximamente 20,000 m.³, el gasto correspondiente por m.³ de albañilería es solo de f. 1.25, lo cual es un resultado mui digno de notarse.

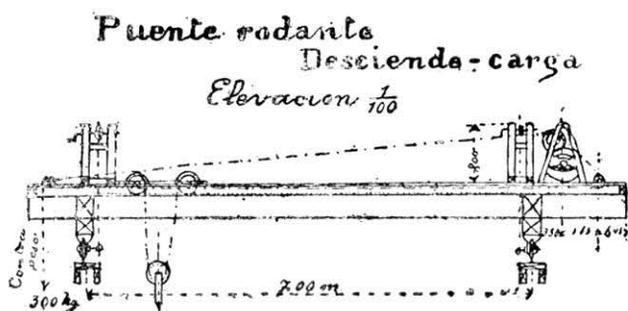


Fig. 10

Descripción del puente rodante o grúa.—Se componía de una viga de fierro sobre la cual deslizaba el carro de la grúa, sobre rieles colocados en el plano de la cabeza superior de la viga; por una longuerina de madera colocada sobre la viga i paralelamente a ella, i sobre un riel, se movía una polea soportando un contrapeso de 300 kg. de peso.

La trasmisión del movimiento de la cabria al carro de la grúa pasaba también por la garganta del contrapeso, i los movimientos de éste i del carro se verificaban simultáneamente.

El movimiento del puente en sentido longitudinal, se practicaba a brazo por medio de manivelas que trasmitían el movimiento a árboles verticales i de éstos a las ruedas inferiores del puente.

La fuerza máxima de las grúas empleadas era de 5 a 6 toneladas.

Con la ayuda de esta grúa los materiales eran descendidos en el lugar de su colocación, lo cual es sin duda mas peligroso que subirlos; el descenso se reglaba por medio del freno i las sacudidas eran inevitables; además en una ocasión las uñas de la grúa tropezaron contra un obstáculo, se abrieron i la piedra fué lanzada, lo cual felizmente no produjo graves consecuencias.

GRAN CERCHA

La cercha empleada para la construcción de la gran bóveda estudiada por M. Sejourné, era de forma orijinal i de una ligereza verdaderamente notable debida al empleo

juicioso i racional de las maderas i metales empleados para su confeccion. Se asemejaba al tipo de las cerchas recojidas.

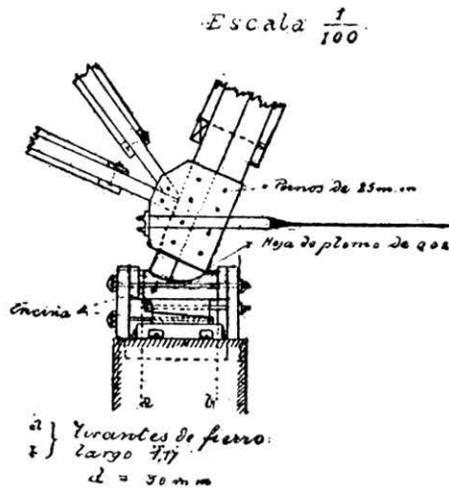
El estudio del proyecto estaba fundado en los dos factores principales siguientes:

1.º) El sistema de construccion de la gran bóveda que debia ejecutarse por anillos superpuestos i múltiples clavados, permitia estudiar un tipo de cercha liviano i bastante elástico;

2.º) El reemplazo de la cercha para una 2.ª bóveda de forma idéntica i a poca distancia de la primera, sujeria la idea de emplear una sola cercha que seria desplazada en bloc de un arco ya construido al siguiente.

Con verdadera maestría, M. Sejourné abordó la cuestion imaginando un tipo de cercha, cuyo atrevimiento sorprendente ha sido plenamente justificado durante la construccion.

Este colosal amazon de madera, reforzado con cables de acero, reposaba sobre dos pilas de albañileria fundadas (1) en el valle i distantes 57m. de eje a eje; las pilas de apoyo para el emplazamiento de la 2.ª cercha estaban ligadas con las primeras por una bóveda ojival (2) que establecia así el camino de comunicacion para el deslizamiento de la cercha de un arco construido al siguiente.



La cercha (plano II) constaba de 5 cuchillas de las cuales eran 2 laterales i 3 intermedias, mas resistente que las primeras, i separadas de 1m. 60 de eje a eje. Cada cuchilla era formada por un polígono interior o caballete compuesto de 9 pares ensamblados es-

(1) Para la fundacion de la pila izquierda—costado Bourbon—el suelo era emparejado i se encastaba de 0m. 30 en la roca. Para la fundacion de la derecha podia fundarse mas arriba de la roca pero con una base suficiente para que la presion máxima no sobrepasara de 2 Kg./cm.²

(2) La ojiva es la forma mas racional para una bóveda que debe soportar una carga aislada en la llave; con ella se suprime tambien el empuje en los apoyos.

tremo por extremo bajo un ángulo de $18^{\circ} 30'$; el par central de 16m. de largo, iba colocado horizontalmente a 6m. de distancia del intrados en la llave; los dos pares inferiores, inclinados siempre de $18^{\circ} 30'$ con respecto a la vertical se apoyaban sobre zuecos de encina en forma de álabes redondeados, cuyo fondo iba guarnecido con una hoja de plomo de 0m. 02 de espesor; estos álabes permitían al pié del caballete un movimiento de articulación en sentido longitudinal del cuchillo, i descansaban a su turno sobre las pilas de apoyo sobre la cercha por intermedio de fuertes cuñas de descimbramiento, igualmente de encina.

El croquis de la fig. (11) indica en detalle el apoyo sobre las cuñas i la disposición adoptada para el descimbramiento. Los zuecos de encina son mantenidos lateralmente por medio de una especie de marco de madera i pernos.

Cada cuña era gobernada por su correspondiente perno, disposición adoptada para regular el descenso durante el descimbramiento como veremos mas adelante.

La distancia de los piés de los pares de apoyo, así como de los nudos simétricos de todo el caballete recojido—mui deformable por su forma poligonal—es mantenida por 6 cables tensores formados con alambres de acero torcidos alternativamente. Cada cable era compuesto de 61 alambres de acero de 3.9 mm. de diámetro (núm. 19) con una sección útil de 728.70 m. m.^2 i 35 mm. de diámetro aparente. Los cables de las cuchillas extremas tenían 37 alambres solamente.

Los cables de los dos nudos superiores pasaban por el vértice de una pirámide invertida aplicada al centro del par horizontal, el cual es trasformado por esta disposición en viga armada.

Los cables se terminaban por piezas de fundición abrazadas por estribos con sus ramas fileteadas en los extremos i retenidas con tuercas por medio de bridas que se apoyan en la parte posterior de los nudos de los pares con interposición de cojines de encina. Por medio de dichas tuercas se regla fácilmente la tensión de los cables.

De los nudos parten las tornapuntas radiales e inclinadas que soportan en sus extremidades superiores los camones de m. 4.60 i 4.45 de longitud. El espesor de los camones V^1 , a V_9 es de m. 0.19 i el de V_0 , m. 0.25.

Para equilibrar los esfuerzos tangenciales en los camones inferiores, se continuaban éstos hasta el suelo firme por medio de postes que descansaban sobre una suela con interposición de una gata destinada a reglar los pequeños movimientos de la cercha en sentido vertical.

El asiento de la cercha al nivel de los arranques presentaba una mueca o rebajo en el cual se alojaba el saliente de las piedras en el nacimiento del estribo.

Los puntos de arranque de las tornapuntas que se apoyaban sobre el tirante horizontal se correspondían con el pendolon i aristas de la pirámide invertida, por cuyo vértice pasaban los cables tensores.

Todas las piezas de madera trabajaban a la compresión, es decir, en mui buenas condiciones, sobre todo al punto de vista de los ensambles, los que no teniendo que trabajar a la tracción, eran mui simples: los extremos de las piezas iban separados únicamente por una hoja de zinc reposando libremente unos en otros, reunidos únicamente por planchas de palastro apernadas entre sí i recubriendo las dos caras de los nudos ensam-

blados. Los ensambles a rayo de Júpiter de las piezas iban también recubiertos por hojas de palastro de 7 mm. reunidas entre sí por pernos de 20 a 25 mm.

El modo de construcción de la bóveda por anillos superpuestos divididos en trozos, permitía calcular las piezas de la cercha para la carga representada por el primer anillo, es decir, para una carga algo superior a $\frac{1}{3}$ del cubo total. Dicho anillo tenía un espesor de m. 0.90 en la llave i de 1.20 en los arranques. Mas todavía, las secciones de las piezas fueron determinadas considerando no el coeficiente de resistencia permanente R como de ordinario, sino el coeficiente R_r de resistencia a la ruptura, hipótesis muy ventajosa i enteramente justificada por el sistema de construcción, como se verá mas adelante (1).

Cada cuchilla era contraventada en su plano por maderos longitudinales, formando cepos apernados a las tornapuntas i camones sin ninguna entalladura. Las 5 cuchillas eran trabadas entre sí por 16 contravientos de los arranques a la clave, o sea 8 por lado, dispuestos en forma de cruces de San Andres sobre la fila de pares, tornapuntas i piezas del pendolon central. Todas estas trabas iban simplemente apernadas con las piezas maestras.

Los camones de las diferentes cuchillas iban además unidos entre sí por correas de una sola pieza clavadas a los primeros i espaciadas de m. 0.38.

(1) La presión normal por metro corrido de arco sobre una cuchilla intermedia a una distancia angular α de la llave, siendo Δ la distancia entre las cuchillas, γ la densidad de la albañilería, c el espesor del anillo, es:

$$p = \Delta \gamma c \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha} = ,784 c \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha} \text{ para } \Delta = 1,^m 16 \gamma = 2400 \text{ kg.}$$

La presión normal p_1 por metro corrido de arco sobre una de las cuchillas extremas vale:

1.º De la llave a los arranques (fig. 12₁): a una altura h bajo la llave la presión normal por metro corrido sobre N R es

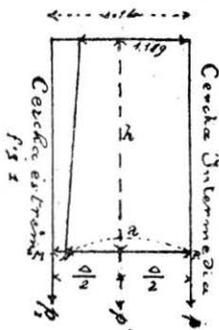


Fig. 12₁

$$p' = a \times c \times 2400 \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha}$$

$$= \frac{a}{\Delta} c \Delta 2400 \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha} = \frac{a}{\Delta} p$$

i la presión sobre una cuchilla extrema será:

$$P_r = p' \frac{a}{2 \Delta} = \frac{a^2}{2 \Delta^2} p = 0.1953 a^2 p$$

$$a = 1.189 + 0.025 h$$

2.º Por debajo de los arranques (fig. 12₂):

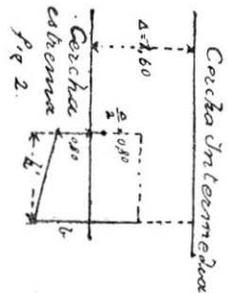


Fig. 12₂.

$$P_r = \frac{1}{2} p + b \cdot c \cdot 2400 \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha} = \frac{1}{2} p + \frac{b}{\Delta} \Delta c \cdot 2400 \sqrt{\cos \frac{4}{3} \alpha} = p \left(0.50 + \frac{b}{\Delta} \right) =$$

$$= p (0.50 + 0.625 b)$$

$$b = 0.80 + 0.025 h'$$

Como la base de la cercha era muy reducida respecto a su altura, se contraventaba además en sentido transversal contra su caballete inferior por 2 travesaños horizontales paralelos al eje de la bóveda, uno a la derecha de la llave i a la altura del 4.º nudo, otro a la izquierda i a misma altura, los cuales iban unidos por medio de 8 cables que iban a amarrarse, o bien a macizos de albañilería ejecutados al efecto, o bien a los muros de la fortificación existente sobre una de las riberas. Estos cables son de la misma estructura que los de las cerchas intermedias, es decir, que constan de 61 alambres de 3.9 mm. de diámetro cada uno; sus extremos terminan de modo a permitir una amarra fácil i posee reguladores de tension.

La fig. indica los detalles de este contraviento interesante, que permite mantener fácilmente el conjunto de la cercha en un mismo plano vertical.

En los cuadros siguientes resumimos la naturaleza i dimensiones de los materiales empleados:

MADERAS

MATERIALES	EMPLEO EN LA CERCHA	CERCHA ESTREMA		CERCHA INTERMEDIA		
		Sentido		Sentido		
		transversal	longitudinal	transversal	longitudinal	
Pino escuadrado	Pares	m. 0.25	m. 2 × 0.38	m. 0.38	m. 2 × 0.38	
	Torna puntas {	por encima de los arranques	0.19	0.19 a 0.23	0.23	0.19 a 0.23
		por debajo de id.	0.25	0.25	0.25	0.25
	Postes en prolongacion de los camones extremos	0.25	0.25	0.25	0.25	
	Camones {	por encima de los arranques	0.19	0.44	0.23	0.54
		por debajo de id.	0.25	0.44	0.25	0.62
	Carreras longitudinales i contravientos			0.10 × 0.20		
	Carreras transversales de los arranques			0.12 × 0.35		
	Travesaños de los cables			0.28 × 0.28		
	Correas			0.10 × 0.14		
En tablado			m. 0.02			
Encina escuadrada	Arranques {	álabes		0.25 × 0.50		
		suelas		0.35 × 0.40		
	Cuñas . . {	bajo los pares		0.25 × 0.50		
		» » camones extremos		0.20 × 0.40		
Aposos de las amarras de los cables .	0.25 × 0.35		0.38 × 0.35			

METALES

NATURALEZA DEL METAL	EMPLEO EN LA CERCHA	CERCHA	
		estrema	intermedia
Cables tensores	{ número de hilos... seccion útil en... diámetro aparente.	37	61
		mm ² 442	728.7
		mm. 27.3	35
Cables gamarras		misma composicion que los tensores de cercha intermedia	
Culotes de los cables tensores con excepcion del cable jeme- lo superior.	{ lonjit. en sen- tido del cable espesor mayor.	m. 0.164	0.210
		0.115	0.151
Culotes jeme- los superiores.	{ longitud..... espesor.....	0.164	0.210
		0.093	0.158
Culotes de las ama- rras.	{ longitud . . . espesor.....	0.260	
		0.200	
Estribos	{ cables tensores simple diá- metro... id. id. jeme- los (barras sim- ples)... cables gamarras.....	0.023	0.029
		0.029	0.040
		0.029	
Bridas..	{ cables tensores simples... » » jeme- los...	0.026 × 0.050	0.034 × 0.060
		0.033 × 0.060	0.0475 × 0.090
Planchas de pa- lastro para recubrir los ensambles.	Ensamblen en el vértice del pendolon.....		espesor 12 mm.
	» de las piezas del tirante i de los nudos del caballete i de las tornapuntas.....		» 10 »
	Ensamblen de los camones i tornapuntas.....		» 7 »
Pernos	{ Reunion de los pares del caballete..... Vértice de la pirámide invertida... Ensamblen de los camones en el arranque.....		diámet. 25 mm.
Tirantes fierro	En la albañilería de las pilas de apoyo de la cercha de.		20 »
Zinc.	Bajo los piés de los pares de apoyo i los camones en los arranques.....		zinc núm. 21
	Recubrimiento de los extremos de las piezas en los de- mas ensambles.....		» » 14
Plomo.....	{ Articulacion de los pares de arranque... Bajo los camones en los arranques.....		espesor 0.02 m.
			» 0.01 »

El tallado de las maderas fué hecho por depurados dibujados en un piso construido en la meseta Bourbon, que era bastante grande para permitir el trazado de toda la cercha. Las maderas fueron descendidas al valle de la Pétrusse en carretones.

El armado de la cercha se hizo por medio de cábricas colocadas en el valle levantando las maderas con poleas enganchadas al puente de servicio.

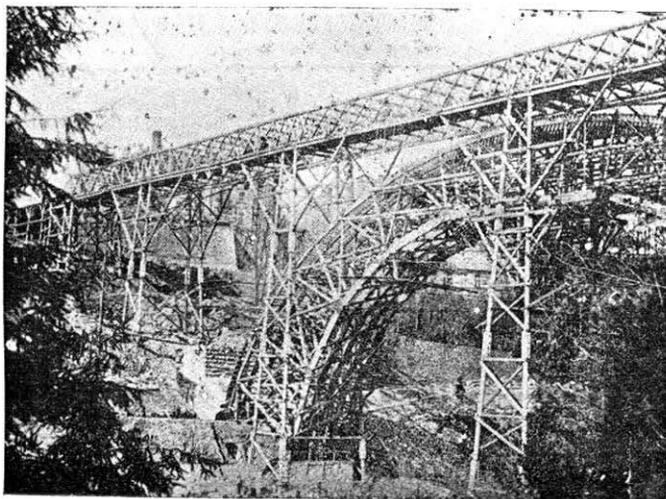


Fig. 13.—Vista del puente de servicio i de la cercha instalada

Se comenzaba por armar los pares de arranque del caballete inferior fijándolos en su posición definitiva a las cepas del puente de servicio. El par horizontal se mantenía, algo por encima de su posición definitiva sobre un andamio sostenido por la cepa central de dicho puente. Los demás elementos del caballete inferior eran en seguida suspendidos al tablero del puente de servicio i mantenidos en su posición para permitir ensamblarlos entre sí i con los pares fijados a las cepas.

Este caballete, duplicado en los pares superiores, armados con sus cables tensores se mantenía por sí solo i la colocación posterior de las tornapuntas del abanico i de los camones se ejecutaba sin dificultad.

Terminaremos la descripción de este gigantesco e ingenioso armazón, con el cuadro siguiente en el cual se encuentran las cantidades de materiales empleados, el tiempo exigido para la construcción, así como las razones de dichas cantidades i tiempos con las diferentes dimensiones de la obra:

MATERIALES EMPLEADOS

I. Pilas de apoyo de las cerchas

Albañilería	{	Obras de tierra para las fundaciones de las pilas.....	m ³	200
		Albañilería ordinaria con mortero de cal.....	»	360
		Concreto para encastrar las suelas en el vértice de las pilas	»	5
		Suelas alojadas en el concreto.....	b ₁ »	3.5
		Tirantes de fierro alojados en la albañilería.....	f ₁ kg.	1,000

II. *Cercha propiamente dicha*

Maderas....	}	Pino...	Encina para cuñas i apoyos de las 5 cuchillas.....	m ^s	11
			las 2 cerchas estremas.....	»	76
			las 3 cerchas intermedias.....		147
			carreras i contravientos.....		78
			correas.....		24
			entablado.....		14
			Cubo total de madera.....	b ₂ =	350
Cables....	}	tensores.....	kg.	5,700	
		amarras.....		5,100	
		Culotes, estribos i bridas de amarra de los cables.....		14,000	
		Planchas de palastro para recubrimiento de los ensambles....		19,200	
		Pernos.....		6,200	
		Plomo en las articulaciones.....		1,200	
		Zinc en los ensambles.....		100	
		Peso total de los metales.....	f ₂ =	51,500	
		Razon de los metales a la madera.....	$\frac{f_2}{b_2}$ =	147,143	

OBRA DE MANO PARA LA PARTE DE LA CERCHA POR ENCIMA DE LAS PILAS DE APOYO

	HORAS DE				
	Armadores con conductor	Maestro carpintero	Carpintero	Ayudantes	
Preparacion del suelo del depurado; talla de los ensambles i transporte del depurado al valle (144 dias).....	h ₁	220	1540	7080	1010
Armadura i amarra (190 dias).....	h ₂	80	2320	7120	2990
Total	H	300	3860	14200	4000
Un m ³ de madera comprendiendo los metales a par consiguiente exigido:					
Para la talladura i acarreo.....	$\frac{h_1}{b_2}$	0,629	4,400	20,228	2,885
Para la armadura	$\frac{h_2}{b}$	0,228	6,628	20,343	8,543
En total.....	$\frac{H}{b_2}$	0,857	11,028	40,571	11,428

En el cuadro siguiente reproducimos como para el puente de servicio, los datos sobre el consumo de materiales referidos a diversos elementos comparativos:

1.º Con relacion al m.² de superficie de duela por encima de la hilada inclinada a 70º sobre la vertical, como el ancho de duela varia a causa del talud i del saliente del zócalo, hemos tomado como ancho de duela el de la bóveda en los arranques, o sea m. 6.12.

2.º Con relacion al m.³ de albañilería en la bóveda por encima del ángulo de 70º.

3.º Con relacion al m.³ de vacío bajo la bóveda, es decir de un prisma ficticio de m. 6.12 de altura i de una base limitada por el intrados de la bóveda i por el perfil transversal del valle:

MATERIALES EN OBRA	Por m ² de duela S=610	Por m ² de albañilería C=1530	Por m ³ de vacío Q=14000
A. Albañilería i concreto de las pilas de apoyo (m=369 m ³).....	0.598	0.238	0.026
B. Maderas, comprendiendo las suelas alojadas en el concreto (6 ₁ + 6 ₂ =353.5).....	0.579	0.231	0.025
C. Metales, comprendiendo los tirantes alojados en las pilas de apoyo (f ₁ + f ₂ =52500).....	86.065	34.248	3.750

CERCHAS PARA LAS BÓVEDAS DE 21.60 M. — La fig. representa el sistema de cercha proyectado por el conductor de trabajos públicos del Luxemburgo V. Fonck para la construcción de dichas bóvedas. Era una cercha fija de abanico cuyas tornapuntas se reúnen al centro i descansan sobre dos filas gemelas de cajas de arena. Estas últimas eran soportadas por un caballete formado con una doble fila de postes de madera, rollizos, descansando sobre una suela de concreto i apuntalado por tornapuntas inclinados a 60º con respecto al horizonte.

Los camones inferiores se apoyaban sobre una fila de cajas de arena, la cual por un lado descansaba sobre una simple palizada i por el otro lado sobre rieles empotrados en el estribo. Cada cercha constaba de 5 cuchillos, espaciado de 1.50 m. de eje a eje.

Esta cercha fué calculada para ejecutar la bóveda en dos anillos, de los cuales el primero admitido en los cálculos tiene únicamente un espesor de 0.90 m., lo cual explica las pequeñas secciones de las piezas. El cubo total de madera de una de estas cerchas por encima de las cajas de arena era de 35 m.³, i el peso del fierro 1,650 kg.

CONSTRUCCION DE LA GRAN BÓVEDA

Para fundar los estribos de la gran bóveda i las pilastras adyacentes, i aun cuando habria sido económico disponer la fundacion en escalones sobre todo si se considera la profundidad enorme de la zanja, 20 metros, se abrió con sus paredes verticales hasta el fondo de la misma.

Se construyeron primero los estribos hasta el nivel de los arranques. Durante esta primera fase de la ejecución i poco ántes de terminar dichos estribos, se produjo al nivel del terreno i en el estribo izquierdo una fisura de mas de 5 cm. de ancho, la cual se ve perfectamente en la fotografia (fig. 15).

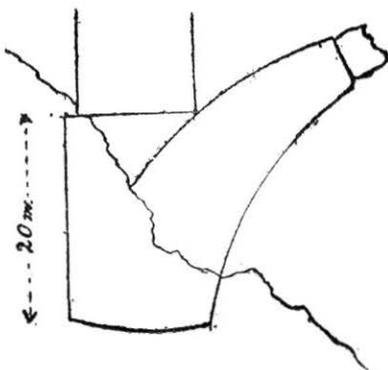


Fig. 14

Esta fisura fué debida a que, por falta de vijilancia, las primeras hiladas no fueron bien apoyadas contra las cerchas, lo que no era en ese momento necesario pues se mantenian por sí solas; despues el mismo peso de la albañilería superior produjo la abertura, la cual fué rellenada con cemento.

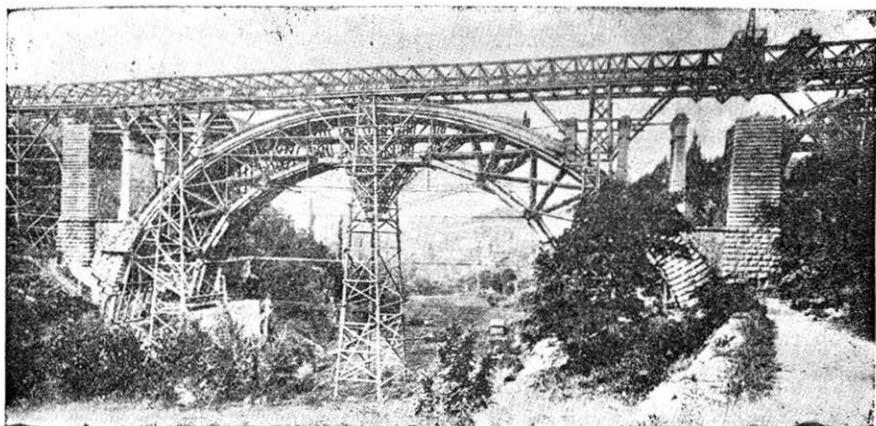


Fig. 15

Armadadas las cerchas con un peralte de 135 centímetros i en la forma descrita, i clavado el entablado sobre las correas, se trazó sobre la misma cercha el depurado completo de la bóveda (líneas de hiladas, curvas de cabezas, colas de las dovelas de cabeza, etc.) de cuyas líneas no era permitido alejarse en la construcción mas de 2 centímetros.

El espesor admitido para las juntas era de 10 a 15 mm. para los bolones martillados, 15 a 20 mm. para las demas albañilerías i 8 mm. para las albañilerías de las cabezas.

Para poder degradar las juntas de paramento sin destruir la piedra, todas las dovelas eran colocadas sobre listoncillos de pino de 4 cm. de altura i con un espesor inferior al de la junta de

2 a 3 mm. para la piedra de talla
4 a 6 mm. para los bolones punzoneados

En el trasdos las juntas se alizaban con cuidado para poder descubrir las grietas que podian producirse a causa de la contraccion del mortero.

Las juntas que se dejaban vacías durante la construccion como se verá mas adelante, se rellenaban mas tarde con un mortero pulverulento al estado de arena húmeda, es decir, que solo contenia la cantidad de agua necesaria para la formacion del hidrosilicato.

En la composicion de dicho mortero por saco de 50 kg. de cemento i 77 litros de arena, se agregaban las siguientes cantidades de agua:

	Arena seca	Arena húmeda
Mortero para los clavados (al estado de arena húmeda)	10 a 11 litros	9 litros
Mortero ordinario (consistencia de la tierra de ladrillos lista para el amoldado)	16 »	12 a 13 »

El mortero para los clavados era introducido en la junta a grandes golpes de maza, por capas de pequeño espesor, primero con clavijas de fierro, despues con anchas espátulas de encina; la operacion se terminaba en el momento en que comenzaba a brotar una pequeña cantidad de agua.

De esta manera se rellenaban completamente las juntas i se creaban reacciones normales entre las dovelas ya colocadas i se aliviaban las cerchas. Todas las dovelas eran bien afirmadas con fuertes cuñas de madera, que repartian bien la carga sin averiar la piedra.

Las colas de los bolones de un anillo se disponian en forma de dientes de engranaje con el fin de poderlo ligar completamente al anillo superior.

Ejecucion de la bóveda.—Se hizo en tres anillos superpuestos i por trozos, articulando la bóveda a la derecha de cada punto fijo de la cercha, es decir, que se la dividió por juntas secas en tantos trozos como cañones.

Con este objeto se dejaron a la altura de los arranques por ámbos costados (fig. 1, plano II) cofres o vacíos sujetando las piedras como luego veremos, i a la altura del 3.º, 5.º, 7.º i 9.º nudos, siempre por ámbos costados, tacos de madera con el fin de poder sujetar las dovelas a las alturas indicadas. El primer anillo fué así dividido en 10 trozos I i I', II i II', III i III', IV i IV', V i V'.

Se cargaba primero la cercha en los riñones construyendo los trozos I i I'.

Los cofres de maderas que sostienen dichos trozos i las hiladas en seco correspondientes se ejecutaban en la forma siguiente (fig. 5 plano II).

Las 4 primeras dovelas de cabeza se colocaban sobre colas de 10 m. de espesor, la cola inferior de plomo de 4 cm. de altura, la superior de encina de 3 cm. de altura.

Las 4 primeras filas de bolones punzoneados correspondientes, se colocaban en la superficie de duela sobre colas, las inferiores formadas con bandas de plomo de 15 mm. de espesor i 4 cm. de ancho, las superiores con cuñas de encina de dimensiones proporcionales a las colas de los bolones. Las colas de plomo que debian formar parte de la albañilería se colocaban entrantes de 1 cm.

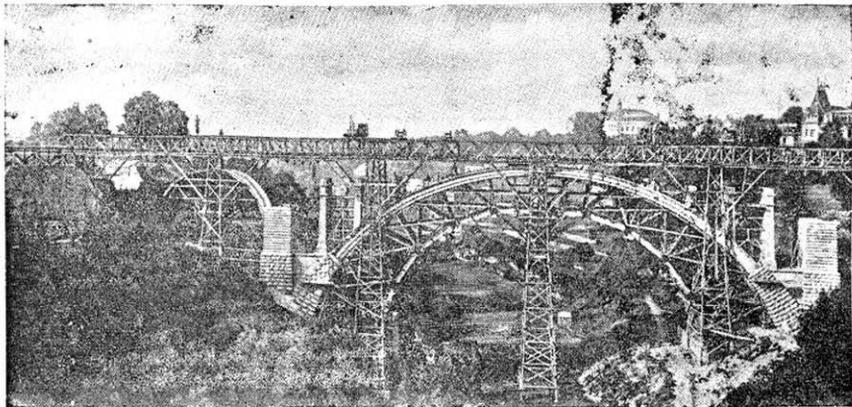


Fig. 16.- Ejecucion del primer arco i de las bóvedas de descarga.

Por sobre las hiladas dejadas en seco, se sujetaban las albañilerías con un cofre o armazon de madera (fig. 3 plano II) compuesto de 6 cuchillas distantes de 0.90, cada una formada con dos maderos rollizos de 0.25 de diámetro soportando maderas transversales de 10/35 cm., sobre las cuales se clavaban correas de 14/10. Las cuchillas se trababan entre sí por una carrera de 25/10, i los intervalos se ocupaban con sacos llenos de arena seca, aparejados como las dovelas i bien arrimados contra las paredes del encajonamiento, formando un relleno incompresible i que podia quitarse fácilmente procediendo por fajas sucesivas de unos 0.50 de ancho.

Una vez calada la bóveda en los riñones por medio de los trozos I i I', era cargada en el vértice con 50 m³ próximamente de bolones punzoneados repartidos en una estension de 22° por uno i otro lado del eje; se atacaban en seguida simultáneamente los demas trozos, los cuales descansaban sobre tacos de madera (fig. 4 plano II) colocados en los lechos mas próximos a la juntura de la bóveda situada inmediatamente a la derecha de los nudos correspondientes; dichos tacos eran formados con 5 cuchillas apernadas a los camones recibiendo un entablado de 10 cm. de espesor. Estos tacos se colocaban mientras se cargaba las cerchas en el vértice.

Finalmente a la altura de los nudos 2, 4, 6 i 8, 2', 6', 4' i 8' dejaban sendas hiladas en seco, formadas con un solo bolon, llenos por todas sus caras i tallado en la superficie de duela como un bolon punzoneado, el cual se asentaba sobre colas de plomo en el intrados i de encina en el trasdós (fig. 5, pl. II).

En el momento de proceder a los clavados, la bóveda se encontraba por consiguiente descompuesta en 18 grandes trozos que en su conjunto constituian un polígono articulado frente a cada nudo o punto fijo de la cercha i habia que realizar la rijidez de dichas

articulaciones, con el fin de provocar reacciones normales a las juntas correspondientes.

Se clavaba primero la llave i despues sucesivamente i dejando solamente una faena a la vez por cada costado, los tacos al nivel 9, 9', las hiladas en seco, 8 i 8' los tacos 7 i 7', las hiladas en seco 6 i 6', los tacos 5 i 5', las hiladas en seco 4 i 4', los cofres de los arranques, las hiladas en seco 2 i 2', i finalmente los tacos 3 i 3'.

Para ejecutar los clavados en los tacos bastaba quitar de una sola vez toda la enmaderacion. Para los cofres, se quitaban los sacos de arena i se limpiaba i lavaba el espacio vacío con bastante agua, i se rellenaba en seguida por cámaras de m. 1 de ancho partiendo de las dos cabezas i no dejando nunca las albañilerías con un volado superior a m. 1.20.

Todos los lechos i juntas de los clavados eran atascados con mortero pulverulento golpeado al rechazo.

Las juntas que reposaban sobre colas de plomo se rellenaban con plomo fundido. Los morteros añejos eran bien picados, i los bolones colocados sobre colas eran lavados con bastante agua por medio de una bomba de jardín, i las aguas de lavado se escurrian por aberturas practicadas en el entablado de la cercha.

Con este sistema se evitaron las fisuras de toda especie

Una vez terminado el 1.^{er} anillo, se construía idénticamente el 2.^o, i finalmente el 3.^o La ejecucion de cada anillo demoraba 10 dias próximamente, i en total se practicaban 59 clavados.

Una vez descimbrado el 1.^{er} arco fué necesario trasladar horizontalmente la gran cercha, desplazándola de m. 11.25 sobre sus muros de soporte para conducirla debajo del emplazamiento del 2.^o arco. Esta operacion se practicó en la forma siguiente: se hizo descansar previamente la viga americana del puente de servicio sobre el gran arco de albañilería ya construido. Se desmontaron en seguida las cepas intermedias del puente, la central hasta el intrados de la bóveda únicamente, i se arrastró despues la cercha apoyándola por sus extremos i sobre dicha cepa central que fué instalada en un carro móvil sobre rieles colocados en el fondo del valle. Las demas cepas fueron edificadas despues en sus nuevos emplazamientos para recibir el puente de servicio que a su turno fué trasladado hasta colocarlo a plomo del segundo arco.

Descimbramiento.—El 2.^o arco fué terminado a principios de Junio de 1902. El descimbramiento se verificó el 13 de Setiembre siguiente, es decir 125 dias despues de clavado el 1.^{er} anillo. De esta manera, dejando la bóveda largo tiempo sobre la cercha se permitia una fragua uniforme a los mórteros de las albañilerías de mismo radio, es decir, que el lapso de tiempo empleado en la construccion era despreciable con respecto al tiempo que se dejaba la bóveda sobre la cercha.

Con el fin de medir el incremento de trabajo impuesto a la bóveda por el descimbramiento i las deformaciones, se emplearon durante la operacion 89 aparatos Manet-Rabut, 6 aparatos Lanusse para la medida del trabajo, 14 enrejistradores Rabut i 10 teodolitos para medir las flechas.

Los Manet que amplificaban las deformaciones en la proporcion de 1 a 400 fueron colocados sobre la banda interior del gran arco i distribuidos de modo a indicar las defor-

maciones del arco en toda su longitud; otros fueron colocados en la banda exterior, en la llave i en los arranques fijados al eje de la bóveda en el trasdos i en el intrados.

Dichos aparatos iban provistos de barras de m. 1.00 i de m. 0.50.

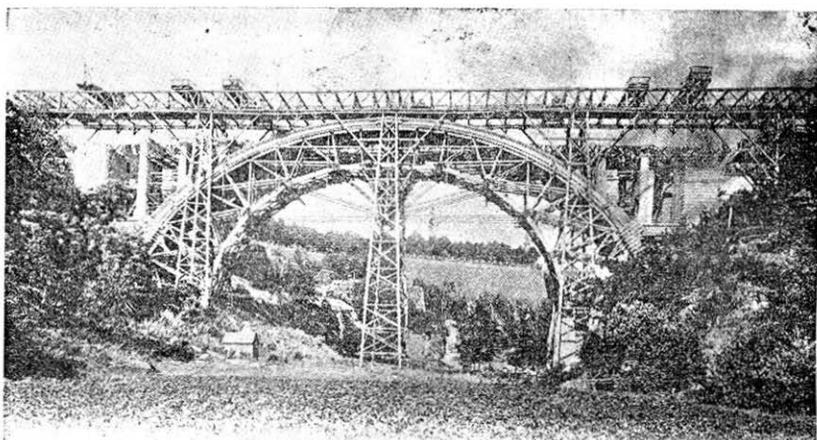


Fig. 17.—Ejecucion del segundo arco

Los Lannusse, aparatos que permitian medir los alargamientos i acortamientos en una longitud de 2 m., fueron dispuestos sobre las bóvedas de alijeramiento de m. 5.40.

Las flechas eran medidas en la llave del gran arco, en los riñones i en los arranques por medio de enrejistradores amplificando de $\frac{1}{10}$. Otros enrejistradores, amplificando de $\frac{1}{20}$ eran instalados con el fin de medir los desplazamientos horizontales de los asientos de los estribos ocasionados por el empuje de la bóveda.

Finalmente, varios teodolitos, colocados en diferentes puntos del arco debian seguir sus deformaciones.

El descimbramiento comenzó el sábado 13 de Setiembre a las 11 A. M. i despues de haber sido interrumpido de 5 P. M. a 7 A. M. del dia siguiente, se prosiguió el domingo 14 hasta las 2 P. M.

Se comenzó por bajar las gatas en los extremos de los camones inferiores; en seguida se aflojaban las tuercas de los cables superiores, descimbrando así el vértice de la bóveda. Para descimbrar los riñones se maniobraban las cuñas que soportaban los pares inferiores. A consecuencia del agua de lluvia que las habia hinchado, dichas cuñas se habian penetrado mutuamente a pesar de la intercalacion de las hojas de zinc, lo cual obligó a arrancar las cuñas. Con este objeto se empleaban los pernos que atravesaban segun hemos visto cada cuña, apretando las tuercas correspondientes; algunos pernos se rompian bajo la accion del formidable esfuerzo de traccion que tenia que soportar, lo cual retardaba la operacion. Finalmente, apretando simultáneamente todas las tuercas i dando al mismo tiempo golpes de masa a las cuñas, se llegó a desprender estas poco a poco, sin sacudidas i sin romper nuevos pernos.

El 14 de Setiembre a las 2 P. M. las cuñas habian deslizado de mas de m. 0.15 i la cercha se desprendia completamente en toda su longitud sin que se constatará en la

bóveda ninguna fisura apreciable con la lente, ni ningun aplastamiento. El asiento observado en la llave fué de m. 0.13 i el peralte habia sido m. 0.135.

La flecha tomada por la llave del arco fué de 5 a 6 mm. proxíamente, o sea casi la misma medida para el primer arco. No se produjo ningun desplazamiento horizontal de los estribos. En cuanto al incremento de trabajo desarrollado en la bóveda por el des-cimbramiento parece que no sobrepasó 10 kg. por cm^2 .

Sin embargo esta cifra no puede considerarse como definitiva, pues hai que corregirla de la temperatura, o sea próximamente de 1 kg. en compresion si la temperatura ha bajado de un grado entre el 13 i el 14 de Setiembre, o de 1 kg. en estension si ha subido de 1 grado durante el mismo intervalo.

Emboquillados de las albañilerías.—Despues de retallar las piedras se descarnaba la juntura con un crochet de fierro en una profundidad de m. 0.03. Se limpiaban en seguida i se lavaban las juntas con bastante agua introduciendo en ellas el mortero que era fuertemente comprimido. La superficie del mortero no se alisaba sino que se cortaba con la plana al ras de las aristas de las piedras, emparejándolas i comprimiéndola en se-

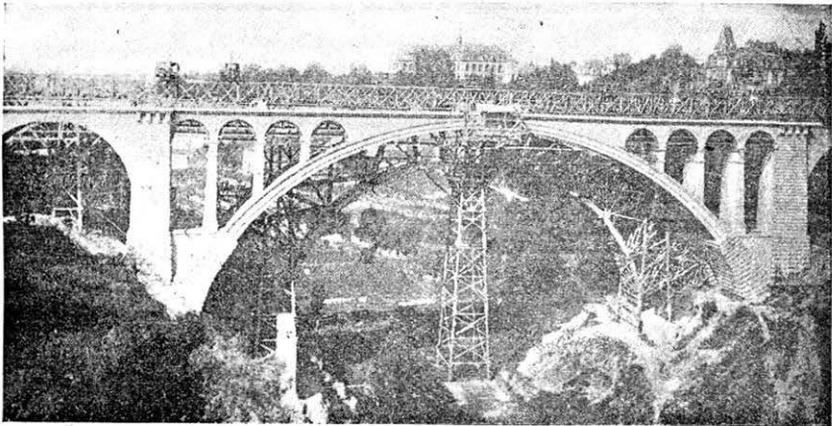


Fig. 18.—Estados de los trabajos en Octubre de 1902

guida con una lámina hecha espesamente hasta darle un entrante con respecto al paramento de m. 0.05 para la piedra de talla de m. 0.01 para los bolones.

Ejecucion de las chapas.—Despues de aplicar el mortero sobre la capa de concreto o sobre la superficie de estrados i todavía húmedo, era comprimido fuertemente a la chancra hasta darle el espesor prescrito i durante algun tiempo para transformarlo en pasta bien ligosa. En seguida para evitar a una desecacion mui rápida, se recubria la chapa con una capa de arena de 0.10 m. de grueso. Una vez que la chapa habia fraguado enteramente i bien seca, se quitaba la capa anterior i se esparcia sobre ella por medio de un tamiz una lijera capa de arena mui fina i bien seca.

El mástico empleado para recubrir la chapa se componia de calcárea asfáltica de Seyssel i de bitúmen natural, en proporcion de 7% del peso total próximamente, mezclado con una cantidad de arena igual a la mitad del mismo peso.

La colocacion del mástic se hacia por fajas de 0.75 m. a 0.85 m. de ancho: se estendia i comprimia con un pequeño pizon de mano (espátula) i en seguida se apretaba i alisaba de nuevo con el frotador, despues de espulsar todas las burbujas de aire con un instrumento cortante.

Calafateado de las junturas del estrados de la gran bóveda.—Se descarnaban las juntas en 0.06 de profundidad i se calafateaban en seguida con cáñamo templado en una mezcla de calceára asfáltica i de bitúmen. Sobre el cáñamo se colocaba un poco de bitúmen que se salpicaba con arena gruesa para ligarlo al mortero de arena tamisada i cemento con el cual se acababa el relleno de la junta, mortero que era comprimido i golpeado con mazos hasta el rechazo.

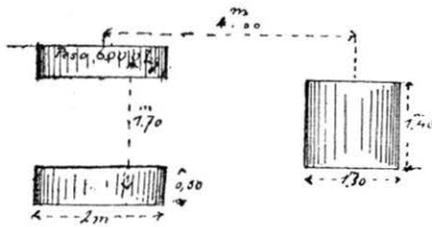


Fig. 19

Loza de cemento armado.—Era del sistema Henebique i fué calculada para resistir al paso de un rodillo compresor de un peso total de

$$8,000 + 2 \times 6,000 = 20,000 \text{ kg.}$$

segun se indica en el croquis adjunto. (fig. 19)

Ejecucion de los muros de sostenimiento.— La base del muro era ligada con el

macizo de fundacion por medio de bolones en saliente, evitando absolutamente las superficies regulares, de modo que la plataforma durante la ejecucion ofrecia en toda su estension salientes i entrantes bien marcados. Asimismo sobre el paramento oculto se evitaban así dejaban asperezas i piedras salientes.

Las fajas o continuaciones de las albañilerías interrumpidas no tenian mas de 0.70 m. Los muros eran fundados sobre la roca. En la roca dura la plataforma de fundacion se disponia en gradines inclinados de 10 por ciento hácia la montaña. Cuando la roca no era dura se alojaban las aristas salientes tales como B, (fig. 20) construyendo sobre un pequeño pastel de albañilería *m*, una bóveda *V* de 0.30 m. a 0.40 de luz; se las fisuras verticales de la albañilería que se producen frente a dichas salientes.

Cuando en la roca de fundacion se encontraba una falla, una cavidad, o terreno de mala calidad en una estension pequeña, se le franqueaba por una bóveda cuyos estribos se apoyaban sobre la roca, i el muro se construia sobre dicha bóveda.

Cuando la roca se encontraba a una gran profundidad se fundaba por medio de pilares i arcadas.

El espacio comprendido entre la zanja i la pared interior del muro, se rellenaba con tierra apisonada hasta el nivel de la barbacana mas baja o del emplantillado de las obras de saneamiento.

El terraplen entre los muros era compuesto con piedras, cascajos, restos de bolones, etc. i el empleo de las gredas, margas u otros materiales susceptibles de ser descompuestos por la humedad era estrictamente prohibido.

Los estribos i los muros eran ligados entre sí por numerosos arranques.

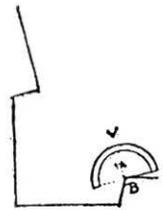


Fig. 20

Los arquillos de fundacion iban sólidamente apoyados sobre pasteles de tierra bien apisonados i regados con una lechada de cal.

Tipos de Muros De Sostenerimento.

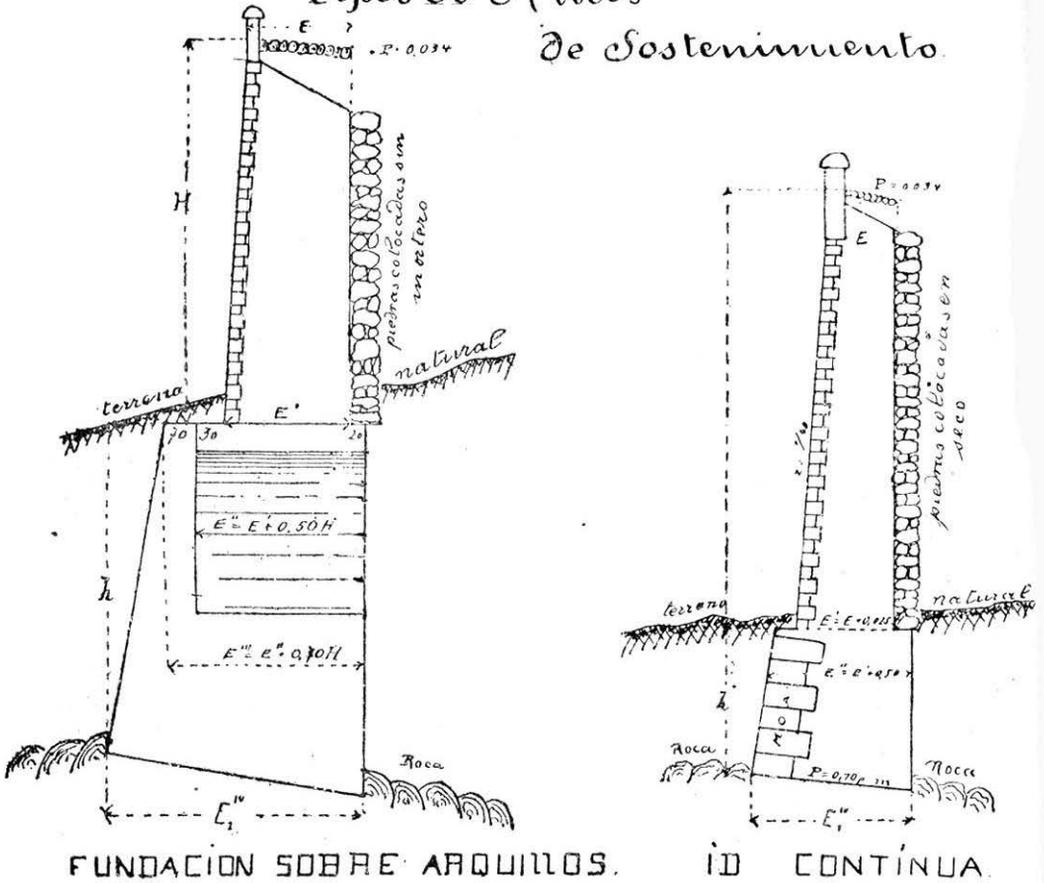


Fig. 21.—Tipos de muro en sostenimiento.

- 1.—Fundacion continua.
- 2.—Fundacion sobre arquillos.

En el cuadro siguiente consignamos las dimensiones asignadas a los muros de sostenimiento.

VALORES DE E, E', E'', E''', E''''.

Para H=12 m. E= $\frac{H}{4}$				Fundacion continúa en roca				Fundacion sobre arquillos				
				Valores de E ₁ ^{IV} para h				Valor de E ₂ ^{IV} para h				
H	E	E'	E''	1.50	3 m.	4.50	6 m.	E'''	4 m.	5 m.	6 m.	7 m.
4	1	1.10	1.60	1.60	1.60	1.60	1.73	2.30	2.30	2.30	2.43	2.57
5	1.25	1.375	1.875	(1.875)	(1.875)	(1.965)	(2.105)	2.575	(2.685)	(2.79)	(2.97)	(3.13)
6	1.50	1.65	2.15	2.15	2.15	2.33	2.48	2.85	3.10	3.28	3.51	3.70
7	1.75	1.925	2.425	(2.425)	(2.471)	(2.68)	(2.87)	3.125	(3.59)	(3.825)	(4.055)	(4.28)
8	2	2.20	2.70	2.70	2.79	3.03	3.27	3.40	4.11	4.37	4.60	4.84
9	2.25	2.475	2.975	(2.975)	(3.12)	(3.38)	(3.615)	3.675	(4.70)	(4.97)	(5.23)	(5.49)
10	2.50	2.95	3.25	3.25	3.45	3.73	4.01	3.95	5.28	5.57	5.86	6.13
11	2.75	3.025	3.525	(3.55)	(3.83)	(4.12)	(4.42)	4.225	(5.93)	(6.22)	(6.52)	(6.80)
12	3	3.30	3.80	3.85	4.20	4.52	4.82	4.50	6.58	6.90	7.23	7.54
13	3.28	3.605	4.105	(4.25)	(4.63)	(4.93)	(5.25)	4.805	(7.35)	(7.67)	(8.01)	(8.35)
14	3.68	4.03	4.53	4.65	5.06	5.38	5.73	5.23	8.19	8.54	8.90	9.25
15	4.13	4.505	5.005	(5.05)	(5.49)	(5.84)	5.70					
16	4.62	5.02	5.52	5.48	(5.92)	(6.30)	6.22					

NOTA.—Para 4, 6, 8, 10, 12, 14 m., E^{IV} fué determinado por el cálculo para una presión máxima de 8 kg. l cm² sobre la arista exterior. Los valores intermediarios (entre paréntesis) fueron obtenidos por interpolacion.

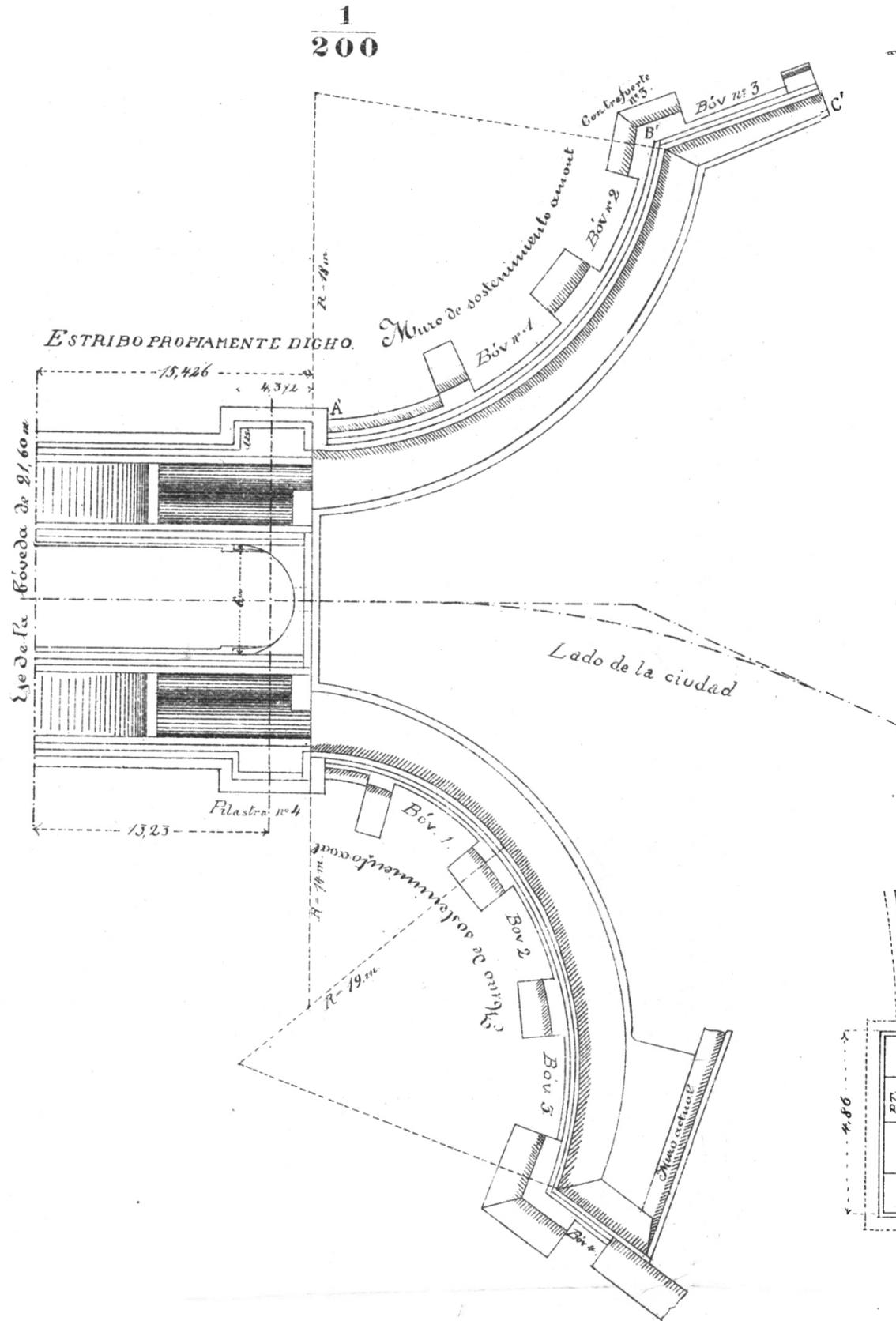
Finalmente, elpliego de condiciones confeccionado por M. Sejourné; i cuya traduccion nos proponemos obsequiar a la biblioteca del Instituto, debe justamente considerarse como el código mas completo que hasta aquí ha sido redactado con el fin de servir de norma a la construccion, i recepcion de puentes de albañilería.

Luxemburgo, Octubre de 1902.

DELFIN GUEVARA
Ingeniero en comision de estudio.

PLANO DE CONJUNTO

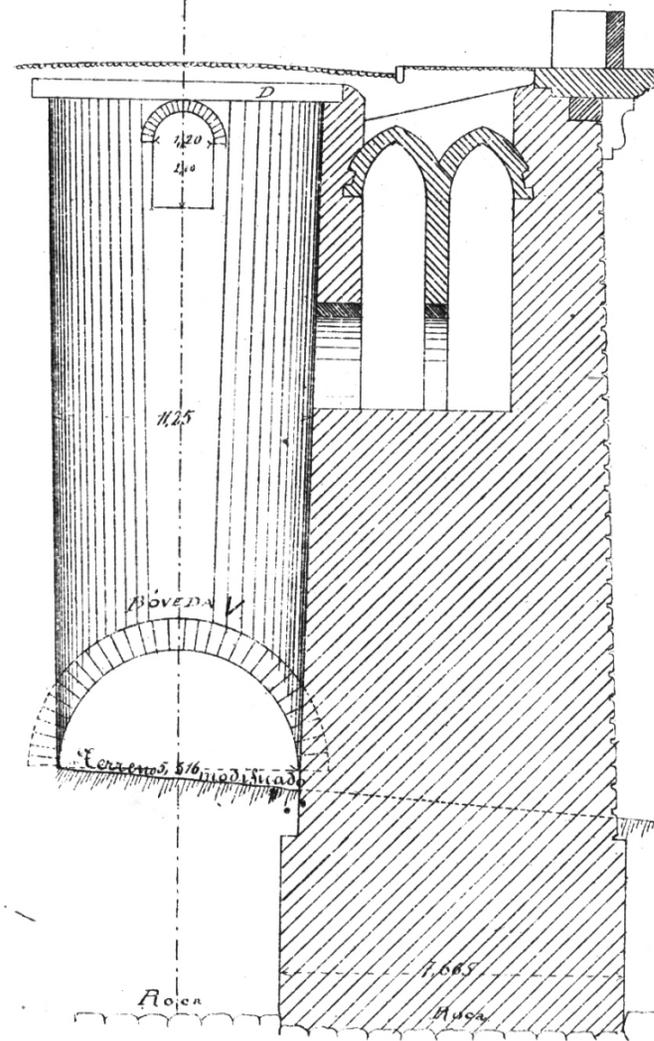
DE LAS ALBAÑILERIAS DESCUBIERTAS I SUPONIENDO QUITADA LA LOZA
DE CEMENTO ARMADO



1/2 CORTE

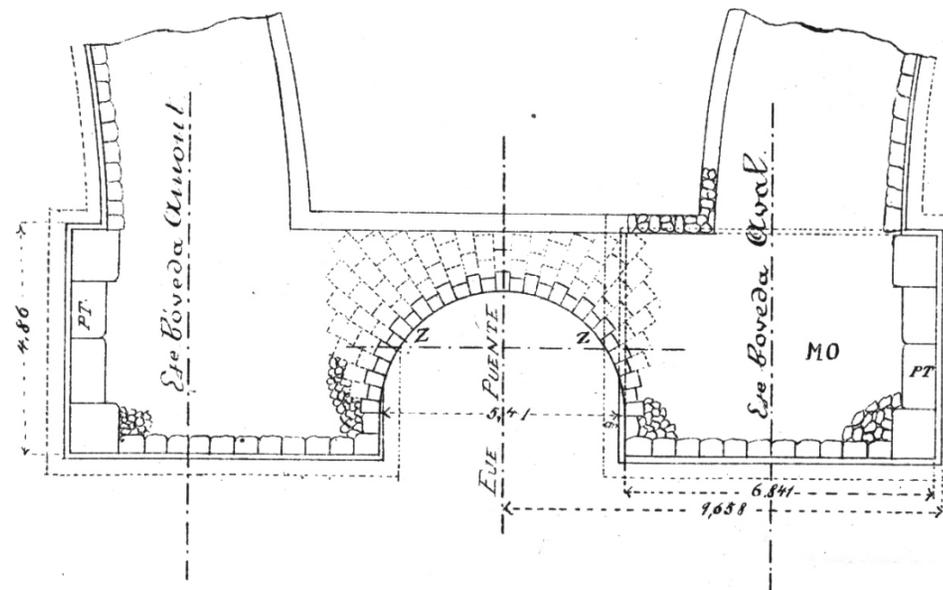
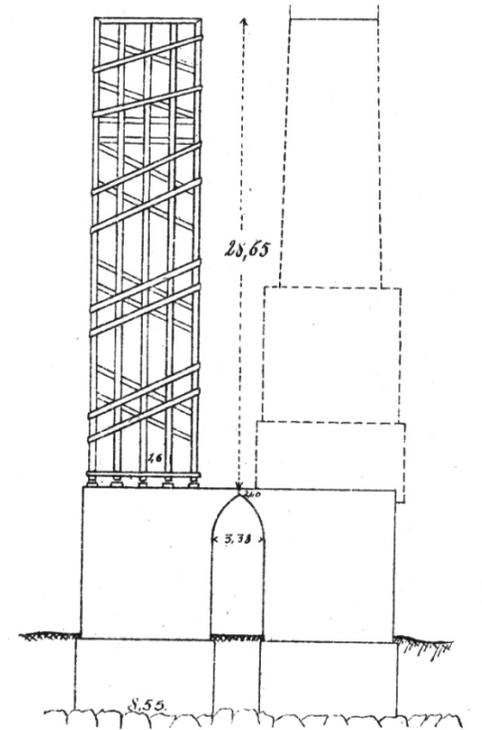
VERTICAL ZZ

1/100



CONTRAVIENTOS

I APOYO DE LA GRAN CERCHA



CORTE HORIZONTAL

EN LOS ARRANQUES DE LA BÓVEDA DE 21,60 m

1/100