

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA 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

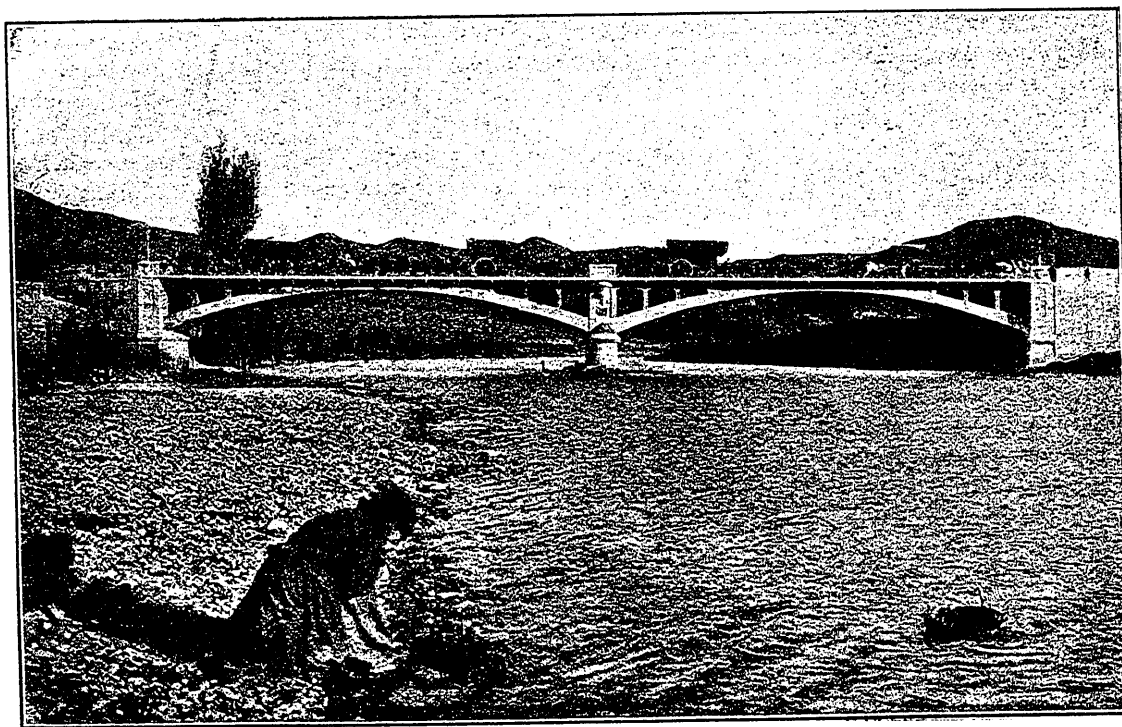
Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO EN LIEDENA (NAVARRA)

La Excma. Diputación de Navarra sacó el año último á concurso la construcción de un puente sobre el río Irati en Liédena, para la carretera de Sangüesa á Jaca, que sustituyera á una antigua barca, con la cual se hacía un servicio muy deficiente

El puente es para la carretera de Sangüesa á Jaca, según ya he dicho; pero después de adjudicada la obra se consideró por la Excelentísima Diputación que era conveniente que también sirviera de paso para el tranvía eléctrico en proyecto de Pamplona á Sangüesa por Aoiz, que tendrá coches de 16 toneladas, y para esa carga se ha reforzado en una parte del mismo.

Su emplazamiento era forzado por tener que unir dos trozos



Puente de Liédena sobre el Irati.—Vista general.

para el tráfico. No he de entrar en detalles del mencionado concurso por carecer de importancia técnica, y sólo diré que entre los proyectos de hierro y de hormigón armado que á él acudieron fué adoptado el presentado y redactado por mí como Jefe del Servicio Técnico de la «Société Générale des Ciments Portland» de Sestao, á la cual se adjudicó la obra que ha llevado á feliz término y que me propongo describir ligeramente, no porque en ella vaya á decir nada que no sepan mis compañeros, sino por si puede serles útil el conocimiento de alguno de sus detalles.

de carretera contruidos, y aunque se hubiera podido variar dicho emplazamiento, las condiciones técnicas del subsuelo no lo hicieron necesario, sino que se ha proyectado y construido en el mismo sitio en que estaba emplazada la barca de paso.

Estudiado el cauce y la importancia del río Irati, deduje la necesidad de un desagüe lineal de 60 metros, siendo la altura del agua en las máximas avenidas de unos 5 metros sobre el estiaje; era, pues, necesaria la construcción de grandes tramos para obtener el desagüe y evitar la construcción de pilas, pero

al mismo tiempo no se debía elevar mucho la rasante por ser bastante bajas las márgenes.

Siendo mi idea la construcción de un puente de hormigón armado por considerarlo más económico que de hierro, tanto en su primer establecimiento como en su conservación, y no siendo tampoco económico el hacer un puente de sillería por no haber canteras á propósito, y en cambio haber mucho guijo y arena en el río de excelente calidad; pensé, desde luego, en que el puente sería en arco y desechada la solución de un solo arco de 60 metros, porque aunque hubiera sido rebajado al $\frac{1}{10}$ daba una altura de rasante de más de 11 metros sobre el estiaje, sólo quedaba discutir si era más conveniente el hacer tres arcos de 20 metros ó dos de 30. La primera solución la deseché, porque dado el perfil transversal del cauce caía una pila en la parte más profunda, y esto unido al deseo de evitar el mayor número de éstas, me decidí á la solución adoptada de dos arcos de 30 metros de luz rebajados al $\frac{1}{10}$ y colocada la línea de los arranques 0,60 más bajo que el nivel de las mayores avenidas extraordinarias, y ese es el puente que se ha proyectado y construido.

Los arcos son empotrados, y he procurado que el empotrado sea lo más perfecto posible, para lo cual la pila y los estribos son también de hormigón y las barras de las armaduras entran mucho en ellos, en la forma que el plano de detalle indica.

Los arcos son continuos y tienen un espesor de 0,60 en la clave y 1,00 en los arranques, y sirven de apoyo á un tablero por medio de montantes de $0,30 \times 0,40$, unidos asimismo entre sí por tabiques. El tablero á su vez está formado por una cuadrícula de vigas y viguetas que soportan un forjado general de 0,12, y he procurado que todas las armaduras de cada uno de los elementos se empotre en los contiguos, á fin de que la unión sea perfecta y se llegue al monolito prácticamente posible, pues ese es en mi concepto el *único secreto del hormigón armado*, unido, claro está, á una ejecución esmeradísima.

Yo no dudo que se podía adoptar para estos puentes la disposición de arcos articulados en la clave y en los arranques, que tiene sobre los empotrados la ventaja de que está completamente fijo y determinado el punto de paso de las reacciones en estos puntos tan importantes de la obra y que por dicho motivo la posición de la curva de presiones queda perfectamente determinada; pero en primer lugar no creo que esa disposición se deba aplicar más que para luces menores de 40 metros, á fin de que el aumento de costo que lleva consigo la colocación de las rótulas quede compensado con la disminución de material, si es que ésta existe efectivamente, y aunque es verdad que algunos autores que se ocupan de construcciones de hormigón armado aconsejan esta clase de arcos y que se han construido algunos puentes importantes como el de Steyr (Austria), de 42 metros de luz, y otros de mayores luces, no se debe, en mi concepto, olvidar que la articulación será siempre un punto delicado de la obra, y que ya se haga de granito duro, ya de acero duro, ha de ser más difícil su unión con el resto del arco que en los metálicos, y ya sabe todo el mundo que en uno de esta clase recientemente al momento de descimbrar se produjo un accidente que hizo salir la rótula de su sitio, y si se hubiera tratado de un arco de hormigón armado se hubiera producido seguramente la ruina total de la obra.

No he de citar en apoyo de mis ideas el sinnúmero de puentes empotrados que se han construido en estos últimos años en Francia, Alemania, Italia y Estados Unidos, habiéndose llegado hasta luces de 60 y más metros, y es indudable que las ideas más modernas del hormigón armado conducen, como ya he dicho antes, á conseguir la mayor continuidad posible de los materiales y el perfecto enlace de cada uno de los elementos de la construcción y que de los diferentes sistemas ideados será preferible aquel que mejor cumpla con esta indicación.

Los andenes van volados, y están, además, sostenidos por ménsulas sencillas, y sobre la pila á la puerta una ménsula ma-

yor que contribuye á la decoración de esa parte importante de la obra.

No doy más detalles de las dimensiones y armaduras, pues creo que están suficientemente detallados en el plano que acompaña.

El puente tiene una anchura de 6 metros entre barandillas, de los cuales 4,50 están destinados á los carros y al tranvía eléctrico, y el resto á los andenes; el pavimento es de asfalto, de 4 centímetros de espesor en su parte central y de cemento de 2 centímetros de espesor en los andenes.

Los estribos son de mampostería hidráulica con mortero de cemento, con un frente de 1,50 de espesor, de hormigón en masa y paramentos de piedra artificial, con objeto, como ya hemos dicho, de poder conseguir mejor empotramiento en las armaduras; la pila es toda ella de hormigón en masa con paramentos de piedra artificial.

Los estribos se han cimentado directamente sobre el terreno formado por un banco de arcilla dura, habiendo tenido que emplear agotamientos, sobre todo en el izquierdo, que se bajó hasta 4,50 metros de profundidad.

La pila está cimentada sobre 46 pilotes de hormigón armado, de unión cuadrada de 0,20 de lado, y armados con 5 barras perfectamente enlazadas entre sí por medio de estribos. La hinca se hizo por medio de un martinete de mano con una maza de 800 kilogramos que se tiraba desde 3 metros de altura, habiendo llegado con todos al rechazo absoluto sin que se haya roto ninguno de ellos, para lo cual se colocó en la cabeza del pilote un capete de chapa de hierro relleno de serrín y virutas y sobre el cual se ponía un falso pilote de roble, que era el que sufría directamente el golpe. Todos los pilotes se han embutido en un macizo de hormigón en masa, y en los sitios en que sobraba algo del pilote se han dejado al descubierto las armaduras, que han quedado metidas en el hormigón del cuerpo de la pila, y de esta manera la continuidad del cuerpo es perfecta.

Creo que este sistema de cimentación puede aplicarse con ventaja en la mayor parte de los casos y que resulta muy económico y con grandes condiciones de seguridad.

Para hacer la cimentación de la pila se ha hecho una ataguía de madera, habiendo agotado durante la ejecución del macizo de hormigón que reúne las cabezas de los pilotes.

El puente está calculado para las cargas que define la Instrucción oficial de los Puentes Metálicos para carreteras, y he comprobado los coeficientes de resistencia en los arcos por medio de la curva de presiones, considerando que el arco es sólo de hormigón y obteniendo así la presión máxima y media de cada junta, y estando, por supuesto, toda la curva dentro del tercio central. En esta hipótesis el trabajo medio en la clave es de 15,5 kilogramos por cm^2 y el máximo 31 kilogramos por cm^2 , y en todas las demás juntas, incluso en la de arranque, es muy inferior y la presión máxima transmitida al suelo 3,75 kilogramos por cm^2 .

La armadura de los arcos la he determinado por comprobación con otras obras análogas, haciendo que su porcentaje sea 1,50 en la clave y 0,90 en los arranques, siendo natural esta variación, pues también es diferente la presión y he deducido que el trabajo de los dos materiales acero y hormigón considerados en conjunto por medio de las fórmulas que tan perfectamente explica Mr. Christophe en su libro *Le Béton Armé*, habiendo llegado para una relación 10 de coeficientes de elasticidad á un trabajo medio para el hormigón de 14 kilogramos por cm^2 y de 1,40 kilogramos por mm^2 para el acero.

Los montantes vigas, viguetas y piso del tablero los he calculado por las fórmulas de la Circular francesa de 20 de Octubre de 1906 que publiqué traducidas del original en la Revista *El Hormigón Armado*, y que también ha publicado la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, no llegando á trabajar en ningún sitio los materiales como medio á 25 kilogramos por cm^2 para el hormigón y á 10 kilogramos por mm^2 para el acero.

Las obras dieron principio el 15 de Junio, día en que se em-

pezó á colocar una pasarela de servicio y se hicieron las primeras excavaciones para los cimientos. La cimentación del estribo derecho no ofreció ninguna dificultad, pero no así la del izquierdo que necesitó, para hacerla á cielo abierto, una sólida ataguía y grandes entibaciones para quitar la capa de fango que cubría la capa de arcilla sobre la parte asiento de estribo, habiendo podido conseguir el 25 de Agosto el terminarla por completo; al mismo tiempo se hizo toda la ataguía de la pila y se procedió á la hinca de los 46 pilotes de hormigón, no empezando la construcción del macizo de hormigón hasta que quedó libre la bomba centrífuga de la Excm. Diputación que se empleó para los agotamientos; durante este tiempo hubo varias crecidas en el río, pero á pesar de ello se consiguió terminar la cimentación de la pila el 15 de Septiembre.

La cimbra empleada para la construcción de los arcos ha sido muy sólida y estaba apoyada en filas de pilotes de madera hincados en el terreno y espaciados 5 metros y perfectamente

componían dichos arcos y sus salmeres de empotramiento, para lo cual se había dispuesto una hormigonera que hacía hasta 25 metros cúbicos diarios y un sistema de vías y vagonetas en una pasarela situada por encima de los arcos y que permitía llevar las masas con toda rapidez al sitio en que era necesario. La construcción del hormigón se llevó por tongadas, aproximadamente, con excéntricas perfectamente apisonadas, con un ligero avance en el arco primero, no siendo perjudicial esta desigualdad de cargas por la rigidez grande que se había dado á la cimbra.

El día 20 de Octubre, es decir, dos días después de terminado el hormigón de los arcos, se produjo una crecida extraordinaria que alcanzó uno de los niveles mayores conocidos en el río y movió todas las cimbras; y á los dos días, ó sea á los cuatro de terminar el hormigón, una nueva crecida mayor que la anterior destruye las cimbras por completo, dejando los moldes de los arcos completamente colgados y arrastrando la mayor parte de



Puente de Liédena sobre el Irati.—Pruebas estáticas.

arriostrados, á fin de que no se produjese ninguna deformación durante la ejecución del hormigón de los arcos que representaba un peso de más de 300 toneladas por arco, pues sabido es que todos los moldes del hormigón armado deben ser de una rigidez absoluta.

La operación de colocar las armaduras principales de los arcos que estaban formados por 6 barras de 40 milímetros fué muy delicada y no exenta de dificultades; dichas barras se habían tirado en trozos de 14 metros de largo en la fábrica de Altos Hornos de Vizcaya y con ellas se había hecho la longitud de 35 metros con sólo dos soldaduras. Cada dos barras estaban unidas por una trenza de alambre de 6 milímetros y resultaban un peso total para cada pareja de unos 770 kilogramos, las cuales se transportaban y colocaban en obra por medio de 25 hombres.

Terminadas las cimbras y moldes de los arcos principales, así como los estribos y pila hasta los arranques, se pudo dar principio á verter el hormigón el día 1.º de Octubre y para el día 18 del mismo mes se habían colocado los 250 metros cúbicos que

la madera; á pesar de tan violento descimbramiento los arcos no sufrieron ni el más ligero deterioro, ni se ha podido apreciar ningún asiento en la clave, á pesar de las nivelaciones de precisión que para comprobarlo se practicaron.

No creo que otro material que no fuese el hormigón armado, ni aun éste construido con menos esmero, hubiera podido resistir una prueba semejante.

Á partir de este momento no se han registrado incidentes dignos de mencionarse, ni tampoco se han presentado grandes dificultades de ejecución, pues no puede considerarse como tal la necesidad que la desaparición de las cimbras ha impuesto de hacer los andenes con moldes sostenidos por la parte superior, ó, mejor dicho, colgados de armaduras puestas en el tablero.

En la pila no se han registrado grandes socavaciones, pero para mayor seguridad se le ha rodeado de unos 230 metros cúbicos de escollera, con la cual queda defendida por completo.

El puente se terminó en la parte de hormigón el día 15 de Diciembre, y por completo, ó sea malecones, barandillas, asfaltado,

adornos, etc., el día 15 de Enero, es decir, á los siete meses de empezado, y aunque no es una velocidad á la americana, creo que es todo lo que se puede pedir en obras de esta clase, en las que sólo la cimentación ha exigido tres meses.

Los ensayos y recepción oficial se han hecho los días 22 al 24 de Enero, y como demostración de las condiciones de seguridad del puente, diré tan sólo que tanto para las pruebas estáticas que se hicieron á razón de 450 kilogramos por metro cuadrado, colocando la carga en todas las posiciones que señala la Instrucción oficial para los ensayos de los puentes metálicos, como en las dinámicas que se hicieron con cuatro carros de 6 toneladas en la forma que también indica la mencionada disposición, la flecha máxima sólo ha llegado á un milímetro y siete décimas, es decir, el $\frac{1}{17.600}$ de luz.

La decoración del puente es muy sencilla, obtenida tan sólo con sus líneas principales, y únicamente en los cuatro pilastres de los extremos de la barandilla, que es de hierro, se han colocado los escudos de España, Navarra, Sangüesa y Liédena, y unos candelabros para las luces.

Las proporciones del hormigón armado han sido 300 kilogramos de cemento Portland lento, 400 litros de arena y 800 de gravilla del río de menos de 3 centímetros, y las del hormigón de masa y piedra artificial 200 kilogramos de cemento por 400 litros de arena y 800 de gravilla.

Las cantidades de materiales empleados en este puente han sido:

37,85 toneladas de arena.

228 ídem de cemento Portland.

600 metros cúbicos de mampostería.

350 ídem íd. de arena.

600 ídem íd. de gravilla.

230 ídem íd. de escollera.

Y se han exvacado 1.090 metros cúbicos de tierra en fango.

ENRIQUE COLÁS.

LAS INUNDACIONES DE OCTUBRE DE 1907

EN CATALUÑA

(CONTINUACIÓN)

Previsiones futuras.

Llegamos ya á la parte final del trabajo, la más interesante para nuestro país, al cual no importa tanto conocer la historia de anteriores y lamentables desastres como evitar su reproducción, lo cual hasta cierto punto es posible si no varían las circunstancias cósmicas actuales, porque si bien nuestra civilización es rudimentaria en cuanto concierne al conocimiento de las inmutables leyes que rigen todo lo creado, aparece en cambio exuberante y poderosa en todo lo que á progresos materiales se refiere.

Debemos, sin embargo, manifestar con igual claridad, que entendemos imposible conseguir la supresión total y absoluta de los perjuicios consiguientes á las inundaciones.

Por un lado los procedimientos propuestos en cada caso estarán sujetos á las imperfecciones inherentes á toda concepción humana, sea ésta de Ingeniero, de Médico, de Estadista, etcétera, etc.

Por otra parte, aun prescindiendo de tales deficiencias y considerando evitado el peligro para una lluvia máxima supuesta en condiciones tan desfavorables como sea lógico presumir, siempre puede presentarse una tormenta más terrible, bastando para convencerse de ello recordar el famoso Diluvio bíblico y

los muchos anteriores que se hallan escritos en las páginas del gran libro de la naturaleza, cuyo examen geológico revela el extraordinario volumen y cantidad de arrastres que en otras épocas formaron los terrenos sedimentarios y diluviales, todo lo que demuestra que las corrientes de agua tuvieron una importancia tal, que los grandes aguaceros de la edad presente son simples lloviznas comparadas con las que anteriormente se precipitaron sobre la superficie del Planeta.

Para proceder con método y partiendo siempre del supuesto de que continúen las condiciones actuales del orbe, comenzaremos por examinar cuáles son los elementos que más influencia tienen en la producción de las inundaciones y qué circunstancias se requieren para que éstas sean destructoras ó perjudiciales.

Se trata de un problema de capacidad, pues en tanto el cauce sea capaz para contener la corriente acuosa ésta no rebosará, y por ello ya se comprende que nos interesa conocer todos los elementos que puedan contribuir al aporte de caudal, esto es, primero el gasto de la crecida por un lado y en segundo lugar al estudio del álveo ó parte del talweg en que debe ir contenida la corriente fluvial.

El caudal de agua que afluye á un río en un punto dado es la cantidad de ella que al mismo concurre procedente de diferentes partes de la cuenca, siendo esa cantidad la diferencia entre la que la misma recibe y la que de ella se pierde por varias causas.

Interesa, por tanto, para lo primero conocer:

A, la cantidad media de agua de lluvia, nieve derretida, etcétera, etc., que por segundo recibe la unidad de superficie en toda la tempestad, así como:

B, la duración de ésta.

C, la dirección de la tempestad respecto de la marcha de la inundación, la que hace el efecto aceleratriz si ambas son idénticas y retardatriz si de sentidos contrarios.

D, influye también la extensión ó área de la cuenca; y

E, la forma de la parte abarcada por el temporal.

También importa conocer el tiempo *F* que tarda en llegar al cauce el agua de las distintas procedencias, para deducir si habrá ó no simultaneidad en las crecidas de los diferentes afluentes.

G, la cantidad de agua perdida, la cual depende de las condiciones meteorológicas de la comarca y del coeficiente de evasión del agua en el terreno, en la que influyen, de un lado, el grado *H* de permeabilidad relativa del terreno, y de otro la capacidad *I* de éste para recibir las aguas, la cual será tanto mayor á igualdad de las demás condiciones cuanto menos agua tenga el terreno y más lenta sea la velocidad de caída de la lluvia y la velocidad de evasión del agua, la que á su vez influye en la rapidez de afluencia al cauce, en la que influye también la forma de la cuenca, toda vez que siendo la misma la superficie y las circunstancias de un temporal, el agua se reúne mucho más pronto en un punto del talweg, si los distintos afluentes concurren á él en forma radial ó de abanico correspondientes á una cuenca redondeada, que en el caso de entroncarse éstos al cauce principal en la forma escalonada que se presenta en las cuencas largas y estrechas.

Entre los factores que afectan á la capacidad del cauce, tienen la mayor transcendencia:

J, la pendiente del mismo.

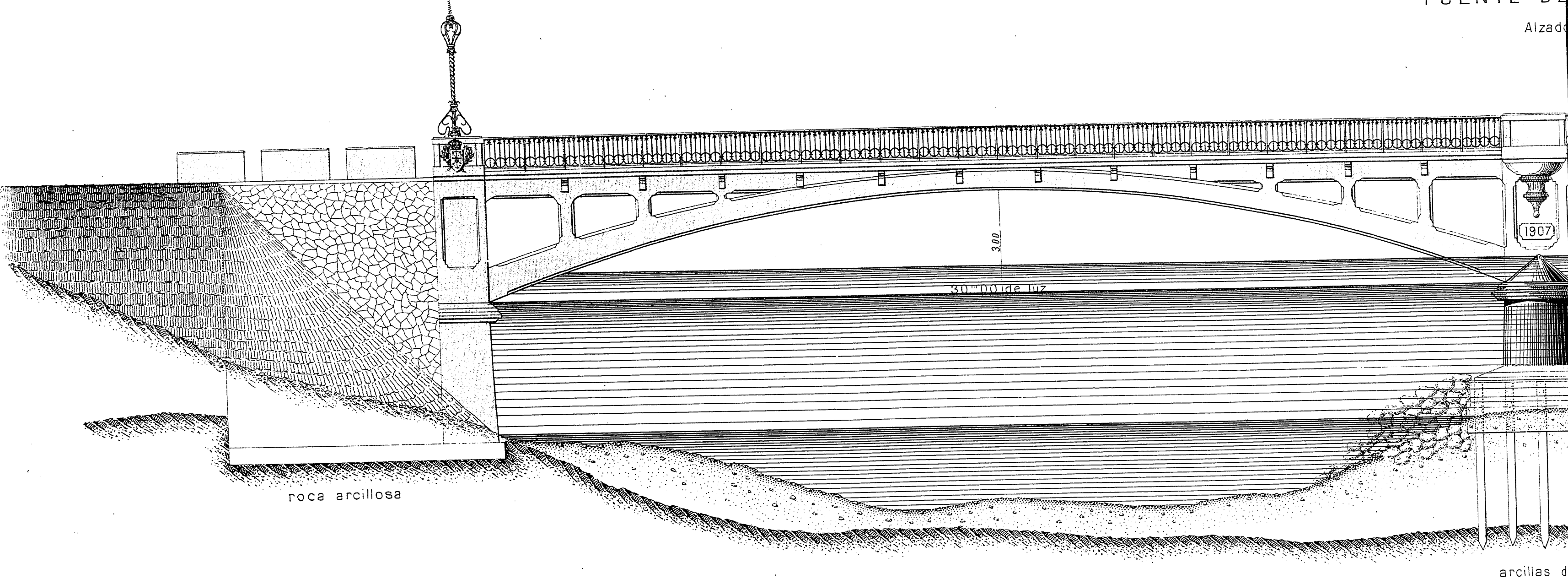
K, la disposición rectilínea ó curvilínea del tramo que se considere.

L, los obstáculos naturales ó artificiales *M* que se opongan al expedito paso de las aguas, y

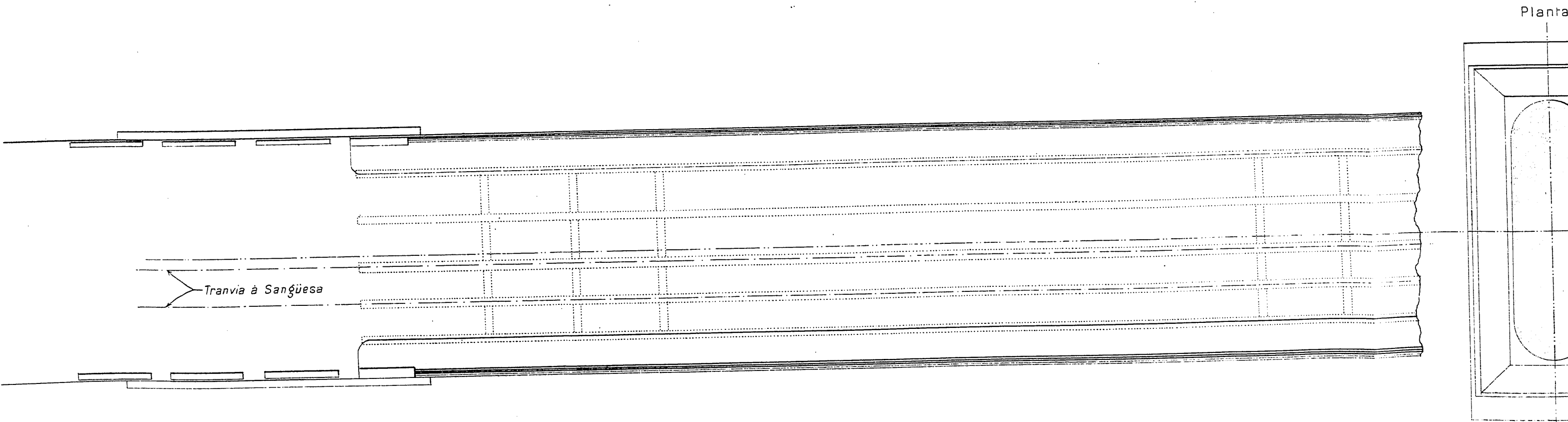
N, la forma de la sección transversal del talweg.

Finalmente, hay inundaciones debidas á causas accidentales, como, por ejemplo, las debidas á la rotura de una presa, etcétera, etc., de las cuales no hemos de ocuparnos por no tener relación con nuestro objetivo.

Inapreciable ó nula es la influencia que podamos ejercer en lo concerniente á los extremos A, B, C y G, que dependen de

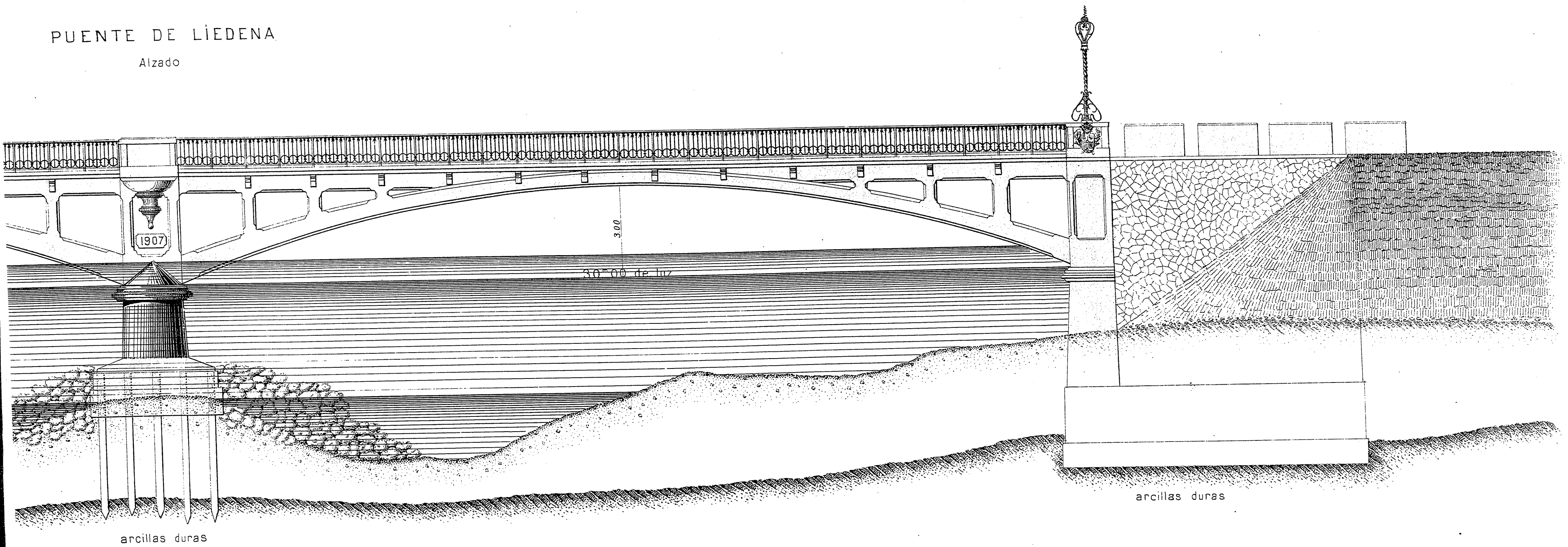


arcillas du

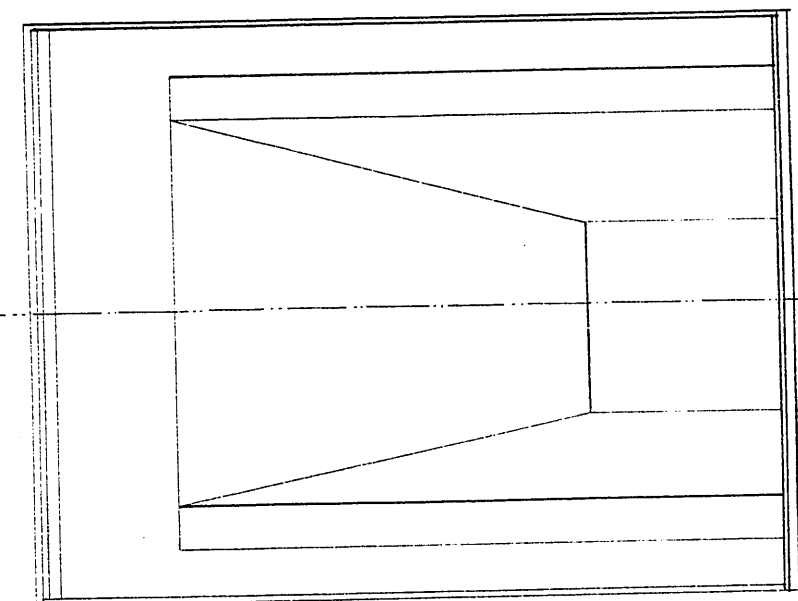
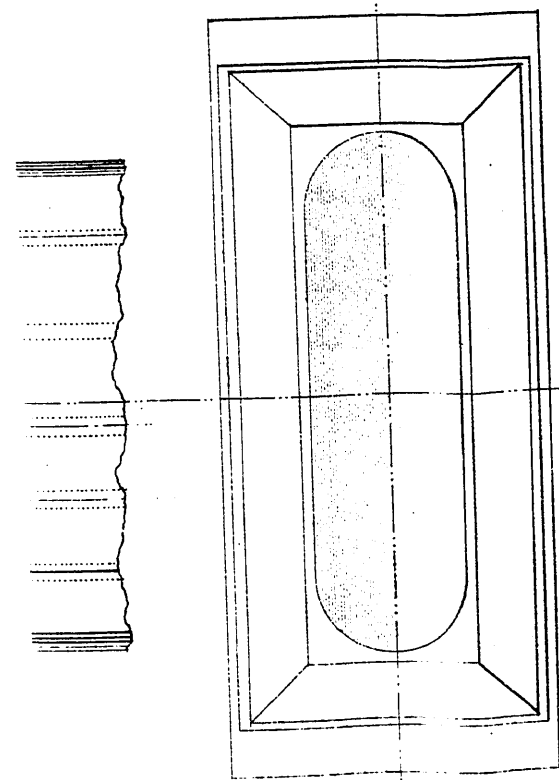


PUENTE DE LIEDENA

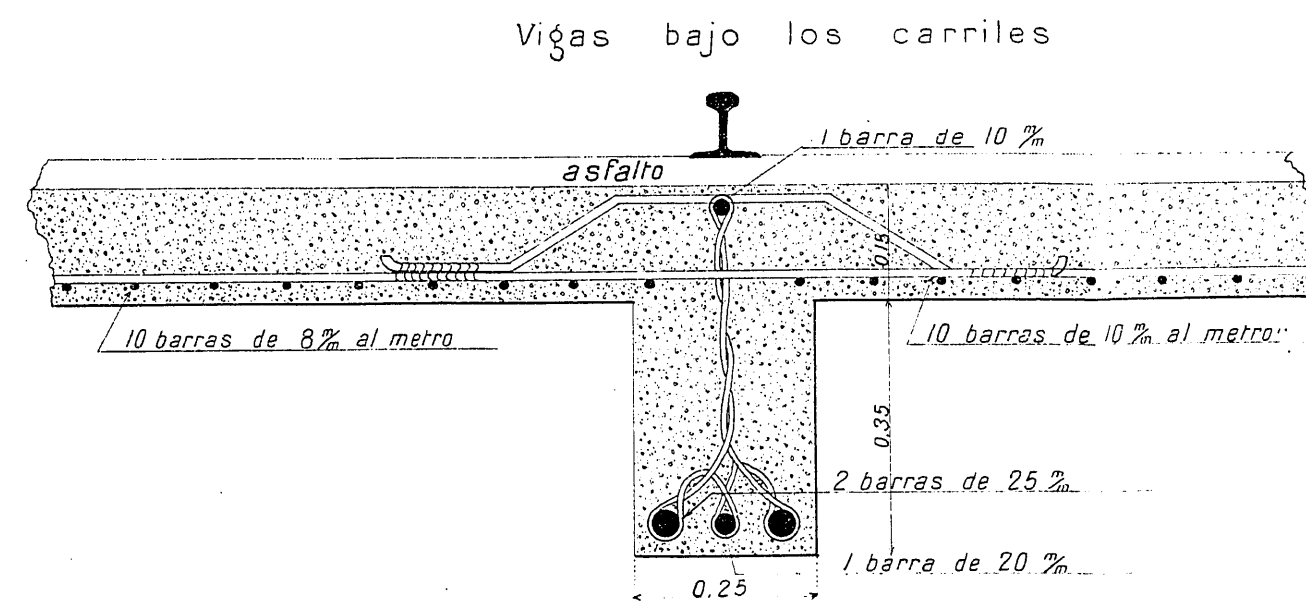
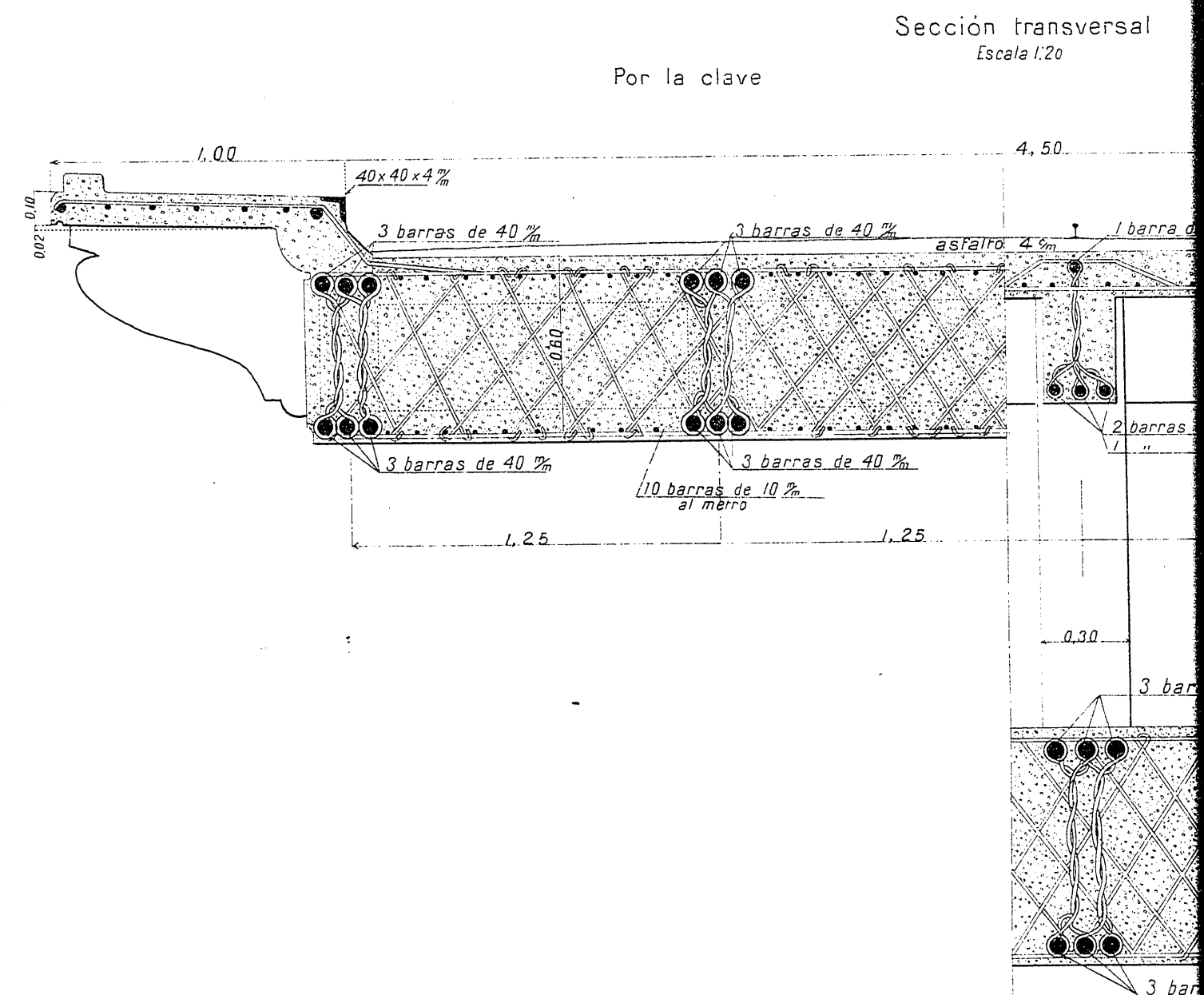
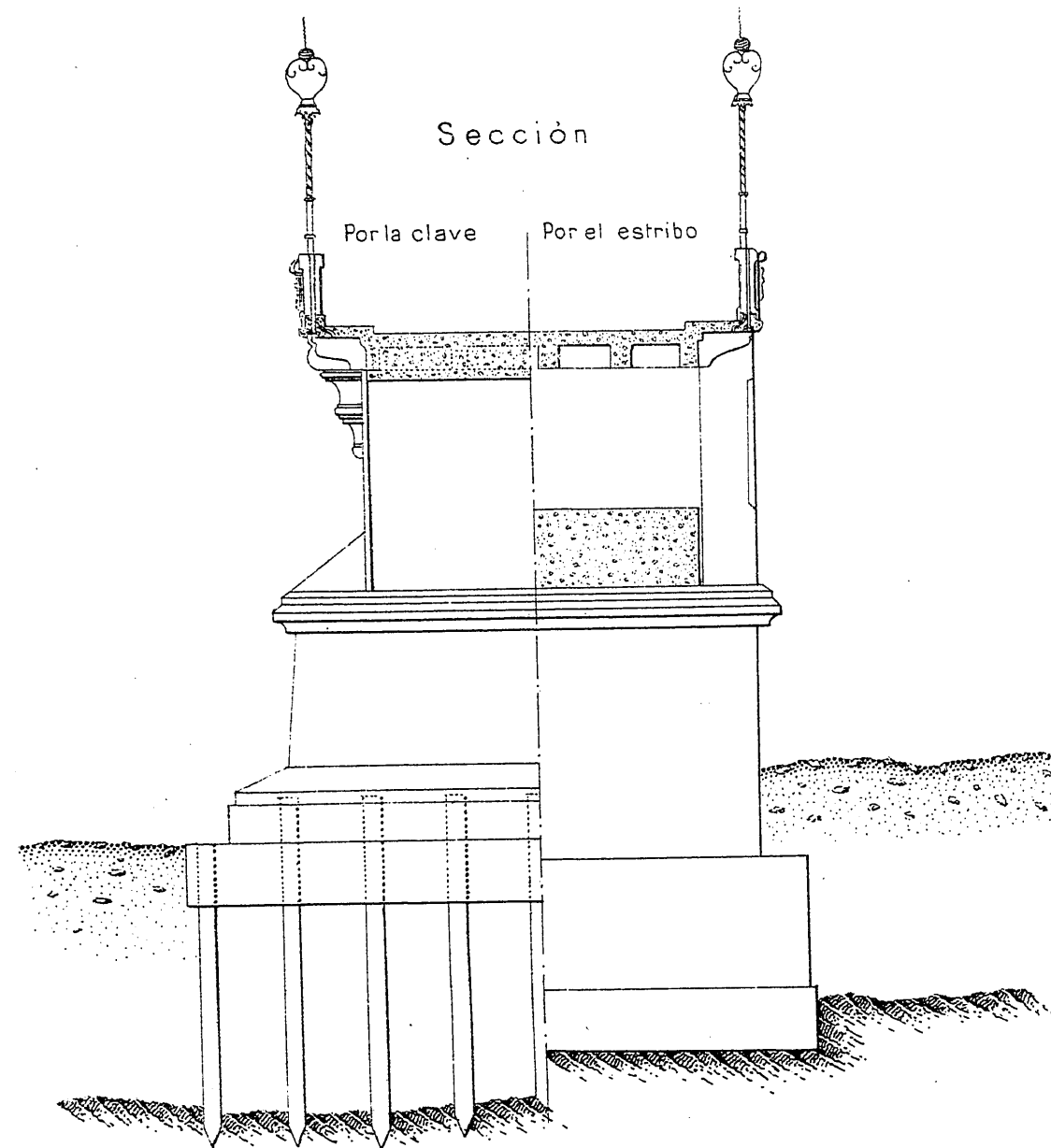
Alzado



Planta



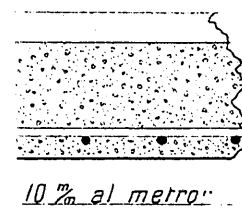
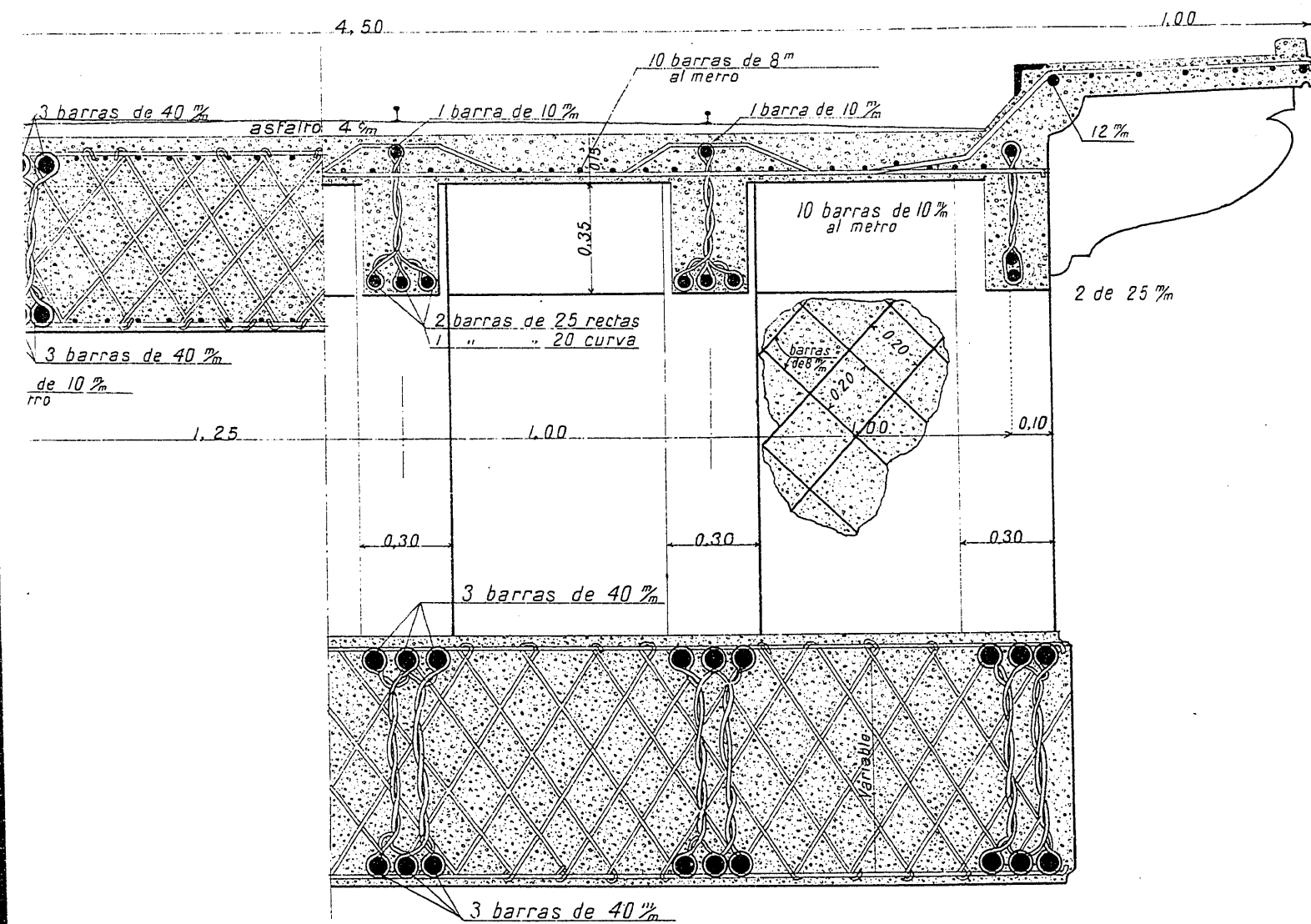
Escala de 1:100



Escala de 1:10

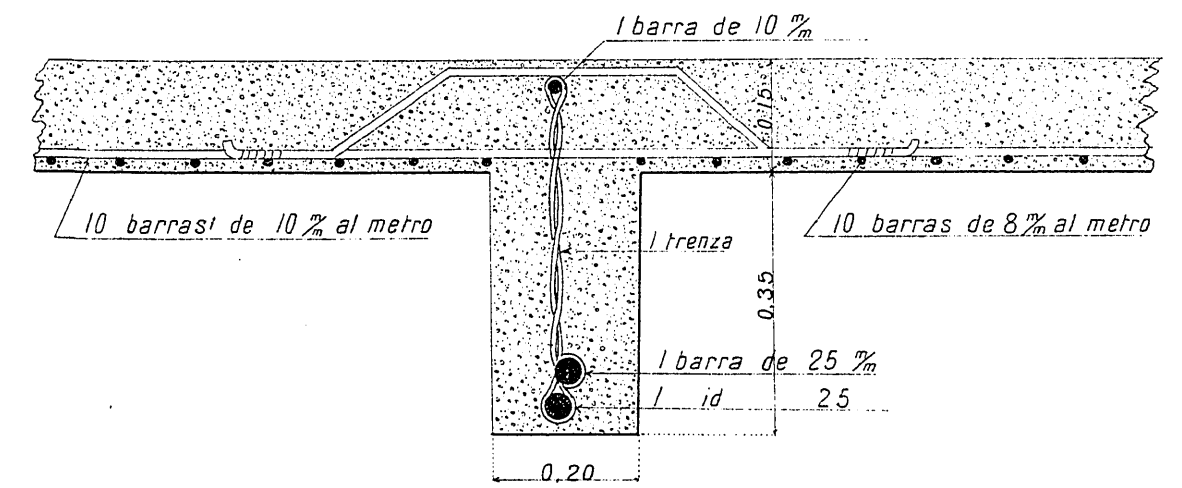
Sección transversal
Escala 1:20

Por a.b.



Escala de 1:10

Vigas corrientes



Viguetas

