

transeuntes, hay establecido un entramado de madera, dispuesto de manera que proporcione la debida estabilidad.

Los puentes de hierro forjado sin nada de fundicion, no se han egecutado sino de corta estension, formandose de arcos de círculo divididos en dovelas, cuyos armazones cuadrilateros tienen para su inalterabilidad las correspondientes cruces de S. Andres por la parte interior.

M. Polonceau Ingeniero de Caminos en Francia ha dado un gran paso en los puentes fijos metalicos, con el que ha construido de fundicion en Paris conocido por el puente de Carrousel, pues si bien ya se habia anunciado por algunos la utilidad de emplear tubos huecos de fundicion, para disminuir el peso de los armazones de las dovelas de hierro, no se habia pensado, ni menos puesto en practica la substitucion de estos armazones por grandes tubos huecos de seccion eliptica, como él lo ha verificado. Los tres arcos, de que consta el puente tienen de luz cada uno mas de doscientos cuarenta pies con una sagita de diez y ocho pies y están formados de cinco cuchillos, compuestos cada uno de una gran cimbra hueca de seccion eliptica dividida en once piezas cuyo ege mayor de treinta y dos pulgadas es vertical y horizontal el menor de diez y ocho. Para unir la parte inferior de maderamen del piso con el trasdos del arco metalico, colocó anillos circulares tangentes á ambos, unidos invariablemente entre si y disminuyendo sus diametros desde los estrivos y pilas al centro de los arcos. Algunos tirantes de hierro horizontales y otros en diagonal aseguran completamente unos cuchillos con otros dando la necesaria estabilidad á este puente, que es uno de los mas lindos en su genero.

La disposicion mas conveniente de cada una de las piezas, y las dimensiones que deban tener, se deducen sin dificultad, haciendo ensayos de la resistencia del hierro que se haya de emplear, y aplicando en seguida las formulas que nos suministra la Mecanica.

Las pilas y estribos en esta clase de puentes deben ser de fabrica, pues la oxidación y aun la descomposición interna que parece sufrir la fundicion, cuando esta mucho tiempo en el agua, son inconvenientes, que unidos por otra parte al exceso de coste, hacen que se deseche para aquel objeto.

Algunos autores, al mismo tiempo que aplauden la ingeniosa invencion de estos puentes, se oponen á su establecimiento, aunque en algunos paises presenten ventajas de economia; por no considerarlos con la solidez necesaria en esta clase de monumentos, que deben perpetuarse, si es posible. En mi concepto, aun no es tiempo de fijar definitivamente esta cuestion: es preciso para ello, que pasen bastantes años para que las observaciones que se hagan con esactitud y sin espíritu de partido, puedan tenerse en cuenta, al mismo tiempo que el coste primitivo, el de conservacion, la mayor ó menor dificultad al construirlo y las demas circunstancias que deben figurar en esta importante cuestion.

Puentes Colgantes

Los puentes colgantes mas antiguos que nos refiere la historia son los que hacian de bejuco los Americanos en las Indias Occidentales y los de la China y del Indostan en que segun manifiesta Reunel existen aun muchos y uno de mas de seiscientos pies. En Europa no hace todavia treinta años que se empezaron á establecer pudiendo asegurarse que á pesar de haber transcurrido tan corto tiempo han experimentado mejoras é innovaciones utilisimas, hasta el caso de haber ya algunos que llaman justamente la atencion de los inteligentes por su atrevimiento, ligereza y elegancia.

La principal ventaja que presentan los puentes colgantes, la que por mas que los opositores á este sistema no pueden negar ni remplazar comodamente por otro, es la de poder construirlos sin necesidad de apoyos ó pilas intermedias aunque la anchura del rio ó barranco sea de

trescientos, seiscientos y aun mil pies, desapareciendo así completamente una de las mayores dificultades que hay en la construcción de los puentes de piedra, madera ó hierro sobre ríos en que las aguas corren con una velocidad espantosa capaz de socavar y destruir cuanto se le oponga á su libre curso ó sobre barrancos de una profundidad considerable en que sería casi imposible el establecimiento de las pilas. Por otra parte como estos puentes pueden hacerse tan altos como se quiera la navegación queda espedita y sin necesidad de tocar la arboladura de los barcos que no es corta ventaja si el río es navegable.

El principio fundamental en que estriba la construcción de estas obras consiste en la propiedad que tiene un polígono funicular, una curva catenaria ó parabólica en equilibrio de transformar las presiones verticales en tensiones longitudinales siempre que las diferentes articulaciones ó ensambles tengan la suficiente fuerza para resistir á aquellas. De aquí el empleo de cuerdas ó maromas de esparto y cañamo, las cadenas de eslabones de hierro y los cables de alambres. Este metal, generalmente de los más abundantes y baratos, tiene la propiedad cuando está forjado de resistir mucho más á la tracción que á la compresión y por eso su grande y útil aplicación á estas obras bien sea en forma de cadenas ó construyendo cables con alambres, dejando el uso de las cuerdas de cañamo para los puentes provisionales y militares.

Demuéstrase en Mecánica que la rigidez de un polígono funicular es tanto mayor cuanto lo es la relación de la sagita á la luz, y sino se atendiese más que á este principio convendría aumentar indefinidamente la flecha: pero por una parte aumentando esta aumenta la longitud de la cuerda y por otra son mucho mayores las oscilaciones tanto en el sentido vertical como en el horizontal que deben evitarse en lo posible por lo perjudiciales que son para el puente. La relación que más comúnmente se emplea es la de $1/10$ de la luz del arco ó sea $1/5$ de la semianchura.

En los primeros puentes colgantes, los más rústicos, el entramado del piso descansaba directamente sobre las curvas catenarias de manera que se tenía que bajar hasta el centro del arco y luego subir para salir por el

otro extremo, á cuya incomodidad se agregaba el inconveniente de que transmitiéndose directamente á las cadenas de mas presion las percusiones y vibraciones ocasionadas por el transito comprometian su estabilidad y duracion. En el dia un viaducto ó puente colgante se compone de dos ó mas catenarias sueltas por sus extremos en las margenes y de las cuales cuelgan pendolas que sostienen el piso ó se apoya este en algunas columnas ó pilastrillas que descansan sobre las cadenas.

La naturaleza de las margenes no permite generalmente sugetar directamente á ellas las cadenas siendo necesaria la construccion de los pozos de amarre en que entran aquellas despues de haber pasado sobre unos pilares para cambiar de direccion. Si los extremos superiores de estos pilares y los que pudiera haber intermedios estuviesen en una misma horizontal la curva seria completa y simetrica respecto al punto mas bajo que estaria en el centro del tramo; á mas si uno de los pilares fuese mas corto que el otro el punto mas bajo de la catenaria se aproximaria á el, y coincidiria cuando la sagita fuese igual al desnivel que hubiese entre ambos pilares.

Los apoyos intermedios ó sease las pilas pueden hacerse solo como tales ó como estribos: en el primer caso solo se atenderia á la presion que ocasionase el puente, mas como las cargas accidentales rompen el equilibrio de la tension haciendo mayor la de los cables ó cadenas á cuyo lado gravitan es indispensable tener en cuenta esta circunstancia, lo que no seria necesario si la pila fuese pila-estribo por que entonces por si podria resistir perfectamente a toda la tension en su maximum de efecto.

El número de tramos, la disposicion de estas pilas y de las curvas catenarias depende de una infinidad de circunstancias locales y economicas que debe el Arquitecto pesar con mucho pulso examinando y comparando cuantas sean posibles y resuelvan el problema para elegir luego de entre ellas la que presente mayores ventajas, y entrar en

seguida á calcular las dimensiones de las diferentes partes atendiendo al objeto á que estan destinadas.

Este calculo se hace con la mayor sencillez teniendo á la vista las formulas que presentan los autores que han escrito sobre el particular como M.Seguín, M. Navier, Dⁿ Celestino del Pielago y otros que ha recopilado con mucho acierto y utilidad el Ingeniero Le-Moyne en un tratadito que ha publicado en mil ochocientos veinte y cinco sobre los calculos para averiguar el coste y dimensiones de las partes que constituyen los puentes colgantes.

El peso del puente y de las cargas accidentales debe ser el primer dato pues que de él depende esencialmente la tension que experimenten las cadenas, y se conocera cubicando las diferentes partes del puente que se multiplicarán por las respectivas gravedades especificas, así como la mayor carga sera la que resulte de suponer lleno de gente el piso del puente ó sea en un peso de ciento cuarenta libras por cada cuatro pies cuadrados.

Calculada la maxima tension de toda la curva facil es determinar el grueso ó seccion que deberan tener los cables así como el macizo del fiador cuyo peso debe ser bastante mayor que la tension para la debida solidez ya que no sea posible hacerlos de una sola pieza.

Como por ensayos anteriores se debe conocer la resistencia á la tension de una barra ó alambre de hierro de una seccion dada facil nos es tambien averiguar la que correspondera á cada pendola cuando sabemos el número de ellas que ha de sostener el puente y conocemos el peso de este y el de las cargas accidentales.

Ademas de estos cálculos deben hacerse tambien los de las demas partes del puente para saber así positivamente que si hay peligro por las dimensiones dadas, ni son estas tan escesivas que graven sin utilidad el presupuesto de la obra, circunstancia que no debe olvidar nunca el

Facultativo pues á veces es causa de que no se lleve á efecto irrogandose los perjuicios consiguientes a su falta.

Dada una ligera idea de la teoria de estos puentes paso á dar algunos detalles sobre su construccion. En los de Cadenas formanse estas unas veces de barras cuadradas de hierro aisladas, otras de barras redondas ó de seccion rectangular, algunas veces de anillos ó eslabones oblongos y tambien se suelen emplear barras pareadas de dos en dos adaptadas la una sobre la otra: la forma de los anillos se altera con facilidad especialmente en los cambios de direccion sino se intercala entre ellos unos dados de hierro fundido que mantenga constantemente la distancia de los dos lados del eslabón. Las barras de seccion rectangular puestas de canto no tienen este inconveniente y presentan ademas la ventaja de poderlas abugerear en frio con un sacabocados no necesitandose por lo tanto caldearlas para hacer las argollas que han de unir sus extremos con las barras inmediatas por medio de pequeños anillos oblongos en los que entran gruesos pernos de hierro con cabezas obaladas por un lado y sugetos con tuercas por el otro.

La pendolas suelen ser barillas de hierro forjado de seccion circular cuyo extremo superior esta fijo con un péño á la cadena y el inferior sostiene las cabezas de los maderos traveseros del piso ó de los cerchónes de hierro que suelen remplazarlos con muy buen exito. A fin de que puedan obrar todas las pendolas deben disponerse sus extremos inferiores con una rosca y tuerca de manera que pueda aumentarse ó disminuirse su longitud.

La porcion de cadena, que descansa sobre los soportes de los pilares está formada de pedazos de barras curvas que formen el cambio de dirección, empleandose algunas veces con este objeto cadenas flexibles formadas de eslabones pequeños. De todos modos unense estas á las cadenas de retencion que deben ser mucho mas fuertes y que están sugetas solidamente en el estribo ó pozo de amarre si bien con un mecanismo tal que puedan aflojarse ó estirarlas cuando lo exigiere el estado de tension de las cadenas.

Cuando en vez de cadenas se emplean cables de hierro se construyen estos comunmente de alambres que se disponen entre si como si se construyese una maroma de cañamo ó mejor aun formando un haz del número de alambres de que haya de constar y á los cuales se les sujeta por medio de ligaduras de alambre cocido de tres á cuatro pulgadas de largo y espaciadas de dos á tres pies. Con el obgeto de que todos los alambres de que consta el manojo contribuyan igualmente á sostener el peso del puente no deben hacerse las ligaduras, hasta despues que fuera de la obra se haga afectar á aquellos la curva, que ha de formar puesto en obra el Cable.

Las pendolas pueden ser de hierro forjado como las que he descrito ó bien de alambres con tal de que en la parte inferior ó superior puedan tener movimiento para que no quede ninguna sin egercer el esfuerzo que le corresponde.

El número de cables ó cadenas de que ha de constar un puente varia segun las circunstancias; cuando por cada lado deba tener dos ó mas pueden disponerse de modo que se proyecten verticalmente segun una sola curva, ó varias de distinta de distinta sagita procurando que por entre ellas pasen las pendolas que irán unas veces en direccion vertical y otras oblicua.

Calculado de antemano lo que ha de bajar el centro del puente deberá darse una curvatura ó sagita en este punto tal que no quede nunca horizontal y si con una suave pendiente longitudinal que permita facilmente la salida de las aguas del entablonado del piso.

La suspension del puente no debe empezarse de manera alguna, hasta tanto que las obras de fabrica no esten perfectamente consolidadas en especial las de los pozos de amarra y entonces si los cables ó cadenas no fueran de un peso considerable se colocarían pasando uno de sus extremos de una orilla á otra del rio subiendolos encima de los pilares por medio de tornos hasta hacerlos tomar la sagita que se haya

calculado: si el peso de las cadenas ó cables fuese demasiado grande tendria mas cuenta establecer un puente provisional de poco coste, formado de cuerdas de cañamo ó esparto y cuyo piso que podia ser movable constituiria el andamiage.

Puestas las cadenas se colocan facilmente por ellas mismas las pendolas y se fijan todas las partes del piso del puente, siendo digno de llamar la atencion los minuciosos detalles que sobre este particular refieren las obras publicadas por los varios profesores que han dirigido este genero de puentes.

Muchas son las cuestiones que se han suscitado al comparar los puentes de cadenas con los de alambre introducidos por el distinguido Ingeniero M. Seguin y los partidarios de ambos sistemas alegan sus razones en pro y en contra siendo en mi concepto mucho mayores las de este y por lo tanto preferible en igualdad de circunstancias. En efecto: primero siendo de alambre se obtiene una economia de bastante consideracion, pues segun asegura el Ingeniero Lebran el ahorro que resultaria en un puente en que se empleasen cuatromil quintales de alambre seria tal que despues de veinte y tres años produciria capitalizando los intereses una suma suficiente para volver á renovar enteramente todo el sistema de suspension quedando ademas un capital mayor que el economizado. Segundo: Ha habido y es mas facil que haya roturas en las cadenas que en los cables, bien sea al tiempo de probar los eslabones, al tiempo de probar las cadenas ó al tiempo de provar el puente.

Tercero. La fuerza del hierro en barras es menor bajo un peso determinado que la del alambre.

Cuarto: Es mas dificil hacer pruebas parciales en las cadenas sin alterar el hierro, mientras que pudiendose hacer facilmente con cada alambre y con los cables sin que pierda su elasticidad, al tiempo de ponerlos en obra tienen las circunstancias que se desea y que no reunen las cadenas cuyo hierro puede haberse alterado.

Quinto: La mayor facilidad en el manejo de los cables y su colocacion en obra.

Sesto :La conservacion ó entretenimiento de los cables es mas facil que en las cadenas, por que en estas es imposible introducir en las articulaciones la pintura al oleo que evita la humedad y por lo tanto la oxidacion mientras que en los cables puede formarse con mas facilidad una capa exterior impermeable que liberte de la humedad á los alambres.

De los Puentes de Fabrica

Si los puentes por su escesivo coste deben ser permanentes y duraderos, si por medio de estos monumentos de interes general ha de permanecer un hecho heroico ó sublime es preciso procurar construirlos con todo conocimiento y con los materiales mas apropósito sin cuyos requisitos no será larga su duracion. Las mayores obras de esta clase y de los demas ramos de la Arquitectura que nos legaron los antiguos muchas de las que aun se conservan en muy buen estado eran de fabrica de silleria, que es sin duda alguna el material mas a propósito para la construcciones por su riqueza, resistencia, facilidad en adquirir distintas formas, por no alterarla ni el agua, ni los yelos, ni el calor cuando es de buena calidad, prestandose por fin á la intima union de unas piezas con otras para formar un todo lo mas compactado y homogéneo posible.

Por todas estas razones confirmadas ya por la esperiencia de muchos siglos no decaerá nunca la construccion de los puentes de Silleria por mas adelantos que se hagan en los puentes colgantes, en los de madera y hierro, y sean aplicados oportunamente y con preferencia á los primeros en muchas circunstancias.

Las partes principales que constituyen el puente son primero los cimientos, segundo pilas y estribos, tercero las bovedas, cuarto coronación y piso, de las cuales paso a tratar por separado.

Cimientos

Los cimientos al mismo tiempo que son la parte mas esencial de la obra, son á veces la mas costosa y casi siempre la mas dificil de construir y en la que el profesor debe poner el mayor esmero por ser casi incorregibles en lo sucesivo los defectos que se cometen en la fundacion. Esta debe ser tal que pueda resistir perfectamente y sin ceder no solo á los esfuerzos permanentes de la precision y empujes sino á los producidos por la corriente y los cuerpos que arrastre en sus avenidas. Si la naturaleza del suelo no se prestase á ello por carecer de la consistencia necesaria es indispensable conseguirla artificialmente, pero aun apareciendo terreno firme se debe estar seguro que mas abajo de aquel no hay otro flojo ó existe alguna cavidad que con el tiempo resienta la obra, como sucedió en Paris con los muros de la Iglesia de Val-de-Grace, que aunque cimentados en firme se hundieron porque á algunas varas de profundidad habia un gran hueco de una cantera que debio ser explotada algunos siglos antes.

Pocas veces podrá abrirse en seco las zanjas para los cimientos y será preciso entonces ó ver de variar el curso de las aguas por otro punto ó aislar el espacio que áquellas hayan de ocupar por medio de ataguías que permitan hacer la escavacion con alguna comodidad auxiliados con algunas bombas para achicar el recinto que se vaya formando y en que naturalmente entrará alguna agua por el fondo á los costados. Hecha la zanja dos ó tres pies mas honda que la superficie del terreno firme se procederá á rellenarla de gruesa mamposteria con mortero hidraulico cuidando de macerarla suficientemente y de rellenar con ripio cuantos huecos formen las piedras, a no ser que se quiera remplazar la mamposteria con un buen hormigon hecho de grava ó piedra menuda y de mortero tambien hidraulico, cuyo resultado es asi mismo muy bueno por conseguirse un cimiento solido é incompresible.

Si el terreno no fuese suficientemente solido se estableceria un pilotage espaciado convenientemente coronado con un buen emparrillado de madera sobre el que se empezaria á sentar la obra de fabrica.

Por poco que se reflexione sobre este modo de fundar con ataguías que es el que mas generalmente se ha empleado y con muy corta practica que se tenga en las construcciones hidraulicas se nota facilmente lo pesado y costoso que es este sistema y lo inseguro en muchas ocasiones pues el mas leve descuido en la construccion de las ataguías ó la existencia de filtraciones y manantiales copiosos hace penosísimo el desagüe por muchas bombas que se empleen retrasando considerablemente unos trabajos que deben hacerse con la mayor actividad en las aguas bajas.

Tambien suelen fundarse las pilas y estribos sobre escollera de bastante talud cuyo pie queda sugetado con pilotes, otras veces se establece un pilotage rodeado de tablestacas, se rellenan las cuadrículas con mamposteria ú hormigon hidraulico hasta enrasar las cabezas que pueden llegar un pie mas bajo de las menores aguas y de alli empieza ya la obra. Fundase tambien con cajones mucho mas perfeccionados que los que se emplearon por la primera vez en el puente de Westminster y recientemente en los puentes de Roma y Burdeos y cuyo medio tambien ha servido en algunas esclusas de navegacion, en otras de limpia y aun tambien para los muelles de los puertos como el de Tolon en Francia y el del Grao de Valencia en nuestro pais. Los cajones son de madera; su fondo horizontal y sus paredes verticales estan formadas de maderos perfectamente ensamblados y calafateados y dispuestas aquellas de manera que puedan levantarse y sacarse desu lugar cuando ya no sean necesarias. Construyense estos armazones á las orillas del rio, colocandolos luego en los sitios que corresponda haber pila ó estribo y cuyo fondo (si es que no va el cajon sobre pilotage) se habrá procurado limpiar con dragas para dejarlo horizontal tirando los barrenos necesarios en el caso de que el fondo fuese un banco de piedra inclinado que no permitiese buen asiento. Asi que está lastrado y enteramente sumergido se empiezan los agotamientos y la construccion de la mamposteria, si bien algunos autores aconsejan dejar flotando el cajon que se irá sumergiendo por el peso de la fabrica, sistema qué si bien merma los agotamientos y no exige tanta resistencia en las paredes del cajon espone el maderamen á cuantas variaciones haya en el regimen de

las aguas y lo que es peor puede perderse é inutilizarse toda la mamposteria si cuando se sumerge no sienta bien en el fondo, lo cual puede corregirse facilmente si se coloca vacio y se lastra.

Para evitar la corrosion en los cimientos de los puentes no basta solamente encajonarlos en una fila de pilotes y tablestacas, es utilisimo ademas y muchas veces indispensable formar entre las pilas un radier ó rastrillo general que haga inalterable el fondo. Estos se construyen de varios modos segun las circunstancias y las localidades; unas veces estan formados de escollera de grandes bloques colocados con cierto orden, otras se establecen con faginas, algunas se forman con pilotage y emparrillado cuyas cuadrículas se rellenan de piedra en seco ó mamposteria, y hacense tambien por fin de hormigon, mamposteria y aun de Silleria.

Cuanto he tenido ocasion de establecer en los puentes, pontones y alcantarillas que he construido en la carretera de las Cabrillas se han hecho de gruesas piedras en seco bien maceadas y ripiados los huecos y contenidas ademas á la entrada y salida del puente con cadenas de mamposteria con cal dispuestas en arcos convexos á la direccion de la corriente.

Para el trazado de los cimientos de un puente se empieza por marcar las dos lineas principales, que son, el eje del puente y el del rio. Señalase el primero por medio de pilotes clavados á ambos margenes, asi como el segundo por otros dos establecidos en medio del cauce cuya anchura se habra medido exactisimamente; bien sea por los medios trigonometricos ó por cualquiera otro. El mismo sistema de pilotes se empleará para fijar las paralelas á los ejes que marcarán las dimensiones, teniendo cuidado de trazar sobre un punto fijo e invariable todas las cuotas de las alturas de las diferentes partes para obtener luego la mayor exactitud tirando por estos puntos lineas horizontales.

De las pilas y estribos

Fijado en el proyecto de un puente el número de arcos de que ha de constar y la forma de estos, se determinará el espesor que deban tener las pilas y estribos; estos deberán resistir al empuje de los arcos que tenderá á hacerlos resbalar sobre su base ó girar sobre su arista inferior siempre que se considere formando una sola masa. El empuje de las tierras debe tenerse muy en cuenta, pues si el puente fuese de demasiada altura podría tal vez aquel exceder al empuje del arco y mal podría resistir si su espesor solo se hubiese calculado en este concepto.

Respecto al espesor de las pilas variará segun las funciones que deban desempeñar: si se quiere, que resistan al empuje de los arcos deberá ser aquel el mismo que para los estribos, mas si las pilas solo hubieran de soportar los pesos de las cargas fijas y moviles y resistir la diferencia de empujes de los dos arcos laterales en el momento en que uno de ellos esta cargado accidentalmente, es evidente que las dimensiones deberán ser mucho menores.

El primer sistema, no se emplea generalmente, escepto en los puentes de muchos arcos en que se suele establecer alguna pila-estribo en el intermedio; pudiendose asi economizar el establecimiento de todas las cimbras á la vez lo que seria indispensable si los apoyos fueren solo pilas.

El no emplearse las pilas-estribos, no solo ocasiona una gran economia de materiales, sino que contribuye generalmente á la solidez de los puentes disminuyendo por el menor espesor de las pilas, las causas que producen las socabaciones y remolinos que ocasionan la ruina de estas obras. De aqui, el haberse empleado en los puentes modernos, esas pilas tan ligeras, como atrevidas, que sorprenden verdaderamente al que las contempla, cuando no tiene conocimientos en la materia.

La construcción de las pilas y estribos exige sumo cuidado, excelentes materiales y una unión íntima con las bóvedas que deben sostener. Siendo muy conveniente también, darles más ensanche en su parte inferior como se practica generalmente por medio de las gradas de las primeras hiladas que se establecen sobre los cimientos.

Los frentes, de las pilas se defienden del choque de los cuerpos, que pueda arrastrar la corriente, por medio de las partes avanzadas que se llaman tajamares. Muy varia ha sido la figura, que se les ha dado consistiendo en los puentes antiguos en prismas de base triangular cuyo triángulo isósceles unas veces era rectilíneo y otras mistilíneo, componiéndose de dos arcos de círculo, cuyo radio, era el espesor de la pila que formaba la base. En la actualidad se prefiere la figura semicircular; no solo, por la mayor resistencia que presenta al choque de los cuerpos, sino porque es muy propia, para cortar las aguas de la corriente.

La altura de los tajamares debe siempre ser mayor que la de las grandes avenidas, coronándose su parte superior con molduras sencillas terminadas por un semicírculo muy aplastado, al que se da el nombre de sombrerete.

En algunos puentes monumentales y en otros ricamente decorados las pilas las formaban columnas empotradas que á veces llegaban hasta la imposta del puente.

En cuanto á los estribos debe procurarse que su planta no perjudique de manera alguna al libre curso de las aguas; y por esta razón suelen establecerse unas medias pilas, que se unen á los muros de ala, que fortifican y resguardan las márgenes al mismo tiempo, que dirigen suavemente las aguas.

Inútil es decir, que la mejor fábrica para las pilas y estribos, es la formada de sillaría, mas su excesivo coste en general hace que se economice en muchas ocasiones reduciéndola solo á los paramentos y

aun á veces unicamente a los zocalos, aristones y tajamares, haciendo el resto del paramento de ladrillo, mamposteria concertada ú ordinaria segun los casos. La solidez y duracion en cualquiera de estos sistemas, depende esencialmente del esmero con que se agecuten sin faltar en nada á los buenos principios de construccion.

Los muros en ala, pueden tener su paramento vertical ó con un ligero talud para su mayor resistencia, haciendose tambien cuando lo exigen las circunstancias de superficies ganchas llamadas paraboloides sin que en ninguno de los casos pueda ocurrir la menor dificultad en la construccion, estableciendo con conocimiento los reglones que hayan de servir de directrices.

De las Bovedas

Entre la infinidad de superficies, que pueden formar el intrados de una boveda, se ha elegido generalmente para los puentes, aquellas que ademas de ser mas propias para el objeto á que estan destinadas, reunen la sencillez de su generacion y proporcionan mas facilidad y esactitud en el corte de las piedras. Las bovedas cilindricas reunen estas ventajas y mucho mas si la curva directriz es circular y de aqui su uso tan comun para los puentes desde los primeros que se construyeron de fabrica. Si el puente es recto las generatrices rectilineas del cilindro son perpendiculares al plano de la curva directriz, de manera que los lechos que pasarán por ellas y por normales á esta, serán tambien normales á la superficie, que es lo que debe procurarse en todas ocasiones y puede conseguirse haciendo aplicacion del problema general de Geometria descriptiva de trazar una superficie normal á otra en una linea de esta. A si es que, en la actualidad se aparejan ya perfectamente los arcos oblicuos, sin resultar angulos agudos, ni el inconveniente que antes se presentaba en la trasmision de las presiones y empuges.

Los arcos pues que se usan mas comunmente como Directrices de las superficies de los puentes son la semicircunferencia, el arco gótico ó

apuntado, el escarzano, el adintelado y el elíptico que suele remplazarse por el carpanel. El profesor al tiempo de hacer el proyecto eligirá de entre ellos, el que sea mas adecuado segun las circunstancias locales, la altura que deba tener el puente y demas, pudiendo tambien ensanchar la seccion de paso de las aguas á la entrada y salida del puente por medio de los Cuernos de baca que tan oportunamente dispuso el celebre Perronnet en el de Neully.

Fijada ya la curva directriz y teniendo los demas datos necesarios se calculará el espesor de la clave, los empujes del arco, el espesor de los estribos, las presiones que sufren las dovelas y cuanto tienda en fin á asegurar el buen exito del proyecto, para no necesitar luego que se está seguro de la exactitud de las dimensiones señaladas, que atender esclusivamente á la parte material de las construcciones.

Debiendo ser los lechos y planos de junta perpendiculares entre si y al intrados de la boveda se dividirá esta, segun sus dos lineas de curvatura unicas que en toda superficie pueden satisfacer aquellas condiciones. Cuando es cilindrica y recta, la generatriz rectilinea y el arco, son las lineas de curvatura, siendo muy sencilla por consiguiente la forma de las dovelas, cuyas plantillas, que deverán ser de hierro, se sacaran al hacer la montea de la boveda sobre un plano á proposito para el objeto, y que sino le hay se prepara en el suelo con mamposteria enlucida con una capa muy lisa de yeso para poder trazar las lineas con facilidad y precision. Si la boveda fuese algo oblicua aun podria construirse como si fuera recta mas si la inclinacion fuese de veinte y cuatro a veinte y siete grados se trazarán los lechos de la cabeza segun planos normales á la curva del frente los cuales se prolongan hasta que encuentren á los correspondientes de la boveda recta.

En algunos puentes se han cortado los lechos de muchas dovelas parte segun el plano normal al intrados y parte segun el plano horizontal de la hilada, formando lo que se llama saltacaballo, que si bien no ofrece inconveniente cerca de los arranques, es muy facil se rompan en

las dovelas mas separadas, sobre todo cuando la boveda tiene que aguantar grandes cargas.

Para la construccion de las bovedas se emplean cimbras compuestas de varios cerchones de madera espaciados entresi segun el peso que tienen que aguantar, los cuales estan terminados por una curva paralela al intrados y distante de él de seis á diez pulgadas, en cuyo intervalo se colocan de una cercha á otra viguetas de canto y sobre ellas van cargando las hiladas de dovelas, no debiendose olvidar de poner antes cuñas de madera para el asiento asi como entre las viguetas y las cerchas. Suelen apoyarse las cimbras sobre los machones en canes salientes que se dejan al efecto, sobre los que se establecen una ó dos filas de soleras, si bien en algunos puentes se ven aun los mechinales que se hicieron para en ellos empotrar pedazos de madera que sirvieran de canes ó bien descansar directamente los puentes de la cimbra. En mi concepto lo mas comodo es el empleo de postes de madera arrimados a los machones, medio que con muy buen exito he empleado en cuantas obras de esta clase he construido.

Descansando cada hilada de dovelas sobre una vigueta horizontal apoyada en las cerchas ejercerá sobre ellas en el sentido de las juntas un cierto esfuerzo que deberá calcularse para cada punto á fin de dar á las piezas todas las dimensiones que exija la resistencia que tienen que vencer asi como estudiarse su disposicion para que no se altere mientras se cierra la boveda, no debiendo por lo tanto estar aquellas solicitadas por fuerzas que tiendan á hacerlas girar sobre las uniones y ensambles.

Si la cimbra tiene sus puntos de apoyo al pie de los estrivos se dispone de manera que la presion normal de las dovelas que actua sobre la vigueta se descomponga en dos, una en el sentido de la tornapunta que desde la misma irá á parar al apoyo y que por lo tanto quedará destruida y la otra en el sentido horizontal del puente que une dicha vigueta con su simetrica al otro lado que á su vez tendrá otra componente horizontal destruyendose ambas. Esto mismo sucederá respecto á las demas

viguetas y el equilibrio subsistirá en el sistema colocando las hiladas por ambos lados á la vez.

Para consolidar mas y mas las tornapuntas y puentes que constituyen la cimbra suelen ponerse algunas manguetas que las enlazan.

Cuando la cimbra tiene puntos de apoyo entre los pilares las presiones son trasmitidas á estos por puntales colocados en la misma direccion que ellas obran, y á fin de que no puedan doblarse se colocan algunas riostras.

En el puente de Waterloo de ciento veinte pies de luz iban de cada vigueta á los puntos de apoyo dos tornapuntas, en las que obraba toda la presion destruyendose completamente en aquellos, y por cuyo medio se consigue un equilibrio estable, no estando la cimbra solicitada á cambiar de figura aun cuando se sienten mas dovelas de un lado que de otro.

Las cimbras á la Pitot aunque no son tan buenas como las que se acaban de describir se usan sin embargo con bastante buen exito en los arcos de medio punto, elipticos y carpaneles y se establecen del siguiente modo. Tiradas las tangentes horizontal y verticales en el centro de la clave y arranques, se hace pasar por las intersecciones rectas normales á la curva y en los puntos en que lo sean se dispone el puente sostenido sus extremos por tornapuntas que descansan en las soleras que hay á la altura de los arranques ademas de otras colocadas hacia el tercio del puente y que sostienen al mismo tiempo la sopanda que le refuerza. Sobre el puente hay cuatro pares é igual número de piezas curvas sobre que descansan las viguetas, cuyo conjunto se halla fortificado ademas con manguetas.

Las cimbras de Perronet son mas faciles de cambiar de figura, consistiendo en cerchones de varias carreras de piezas que forman porciones de poligono, cuyos angulos corresponden cada uno al centro de los lados inmediatos estando todos enlazados entre si por manguetas

normales al intrados, en las cuales se ensamblan los extremos de las piezas.

Cuando las bóvedas son de hormigón es conveniente hacer la cimbra con cerchones ligeros sobre los que se boltea una chuerda de ladrillo simple, ó doble ó triple según la luz y sagita de la bóveda; estas chuerdas tienen mucha resistencia y se dejan generalmente muchos años logrando así que el hormigón, que debiera ser hidráulico, se consolide perfectamente.

Cuando la bóveda es de ladrillo se le da el nombre de rosca y podrá ser de uno ó más ladrillos de espesor; su construcción debe ser muy esmerada y á fin de que el grueso del tendel sea constante es muy conveniente hacer los moldes de los adobes á propósito en forma de cuñas, sistema que va introduciéndose ya para ciertas obras como pozos, arcos pequeños, etc y que debe generalizarse pues como se ve claramente resultan grandes ventajas para la solidez.

En muchas ocasiones se hacen de sillería las boquillas de las bóvedas y el resto de ladrillo ó sillarejos, fabrica que bien construida es sumamente sólida y produce grandes economías.

Para fijar la posición de cada dovela deberán calcularse y señalarse las coordenadas de la arista del trasdós referidas á dos ejes rectangulares colocados en ambos frentes el uno horizontal y el otro vertical á no ser que se pueda por medio de un cintel establecer la inclinación de cada lecho en cuyo caso se hará el asiento con mucha facilidad puesto que sobre la cimbra estarán marcadas las aristas del intrados.

Cuando las cimbras no ofrezcan una completa seguridad respecto á variar de forma es conveniente dejar algo mayores las juntas hacia los sitios en que deben comprimirse en el asiento de la bóveda y estrecharlas más en donde deban abrirse, poniendo además algunos pequeños calzos de madera de pino para que no se desportillen las aristas al tocarse.

Algunos autores aconsejan se proceda á descimbrar el arco tan luego se haya cerrado con el objeto de que los morteros no adquieran consistencia hasta que la boveda haya tomado por el asiento la figura en que ha de quedar despues de la construccion. Este metodo produce mas asiento que el seguido por otros constructores de dejar puesta la cimbra muchos meses hasta que se haya endurecido el mortero y puesto que ninguno de los dos ha tenido mal resultado lo mas prudente es tomar un termino medio y ni bien descimbrar el arco al cerrarle ni tardar tampoco muchos meses.

De todos modos esta operacion se debe de hacer muy despacio y con cuidado para evitar los choques y movimientos bruscos y que la masa entera de la boveda adquiera alguna velocidad que podria romper algunas dovelas. Empiezase por ambos lados desde los salmeres hacia la clave á quitar las cuñas y viguetas, lo cual se logra con facilidad hasta los riñones pero desde alli ya es necesario un escoplo para verificarlo pues hacia la clave oprime fuertemente la boveda á la cimbra.

Los senos de los arcos que iran á terminar al trasdos se hacen comunmente de mamposteria cubriendo en seguida todo con una capa de dos ó tres pulgadas de espesor de buen mortero hidraulico perfectamente mezclado y batido con ripio menudo el cual se pone por tongaditas delgadas que se trabajan bien de palustre para que no quede ninguna grieta cubriendo con paja toda la superficie cuando está concluida esta operacion para conseguir se sequen lentamente. Por este medio se consigue no penetren las aguas que filtrarán del camino y se introducirían en los lechos y juntas de las dovelas.

Estas terminarán en los frentes en las hiladas horizontales de los timpanos sin prolongarlos hasta encontrar la imposta como se observa en algunos puentes con muy mal efecto, debiendose tener tanto mas cuidado en esto cuanto que en ello estriba principalmente la decoracion de estos edificios que repelen en general los adornos y molduras delicadas siendo su principal caracter la solidez. En los puentes que se construyan en

despoblado la decoracion debera ser aun mas sencilla y severa que en los que establecen á las inmediaciones ó en el interior de las poblaciones, y siempre las molduras de las cornisas deben ser pocas y bien pronunciadas.

Coronanse los puentes con una baranda ó pretil que deberá ser de silleria en los que se hagan de esta fabrica ó de ladrillo ó manposteria con albardilla de silleria cuando entra aquel genero de construccion en el puente. De todos modos su altura no deberá esceder de cuatro á cuatro y medio pies con un espesor de pie y medio procurando por medio de los cortes que se den á las juntas verticales asegurar los sillares unos con otros para impedir los vuelquen y tiren al rio ó barranco.

Tanto la imposta como los pretiles no se deberan sentar en obra hasta despues del descimbramiento para no esponerse á que se desportillen los vivos y aristas cuando verifique su asiento el arco: mas si deberan hacerse antes de aquel los terraplenes y afirmado, cuidando de no establecer este encima mismo del trasdos del centro del arco porque las percusiones de los carruages trasmitidas directamente le serian perjudiciales, por lo que se procurará que haya una capa de tierra intermedia de un pie lo menos de espesor que proporcione la debida elasticidad.

En cuanto al firme se construirá por el mismo sistema de piedra machacada que se verifica en los caminos y cuyos buenos resultados ha acreditado ya la esperiencia, cuidando de dar salida á las aguas que caigan sobre su superficie por medio de canelones que se establecen de varios modos segun el gusto del que dirige la obra.

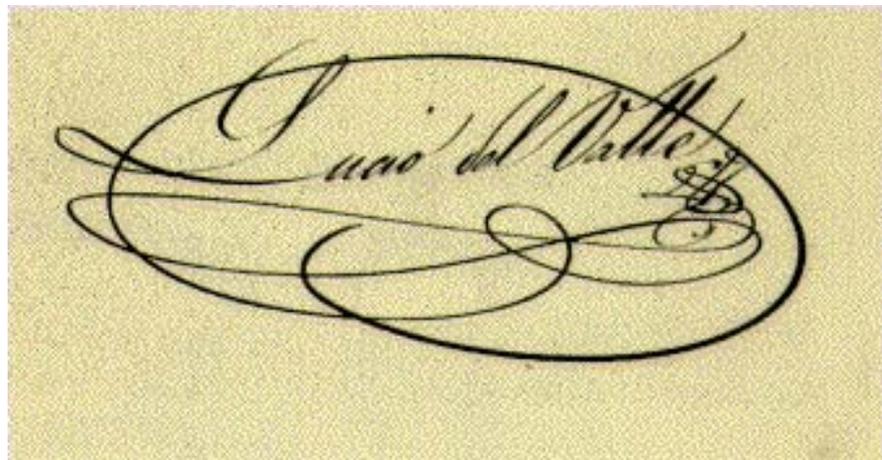
La anchura de los puentes entre los pretiles varia segun la concurrencia que haya en el lugar en que este situado. En los que se construyen en las carreteras lejos de grandes poblaciones se les suele dar veinte y cuatro pies en vez de los treinta y seis que tienen aquellas, con lo que se economiza mucha en la boveda: uniendo este retiro con el camino por medio de unos recodos unas veces en angulo recto, otras con

porciones de circulo, formando á veces plazas circulares, ovaladas, etc.. que contribuyen, estando bien dispuestas, a hacer mas grandiosa la obra, y dar mucho mayor desahogo al puente. Finalmente deben resguardarse los angulos de estos recodos por medio de guardaruedas de piedra que varian tambien mucho de forma pero que generalmente suelen ser cilindros ó conos truncados.

Si el puente esta á la inmediacion ó en el interior de una poblacion de importancia ademas de ser mas ancho es muy conveniente que tenga andenes á ambos lados para la gente de á pie dejando el centro para los carruages y caballerias.

No concluiré estos ligeros apuntes sin repetir á la ilustrada corporacion á que me dirijo lo dificil que es recopilar en pocas paginas lo que tantos autores celebres han escrito sobre el punto que he discutido; así es que me he limitado tan solo á los principios mas generales que deben tenerse presentes para el establecimiento, disposicion y construccion de los puentes.

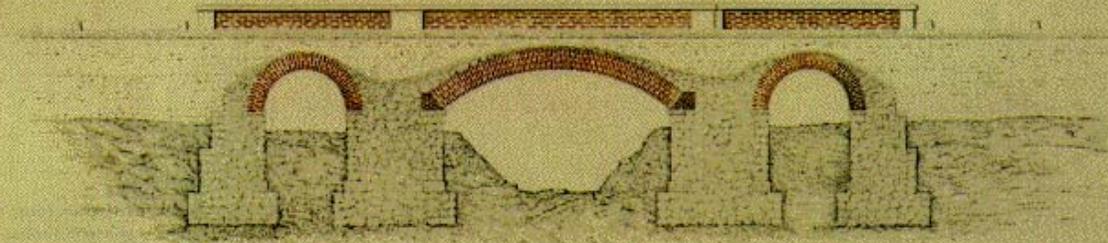
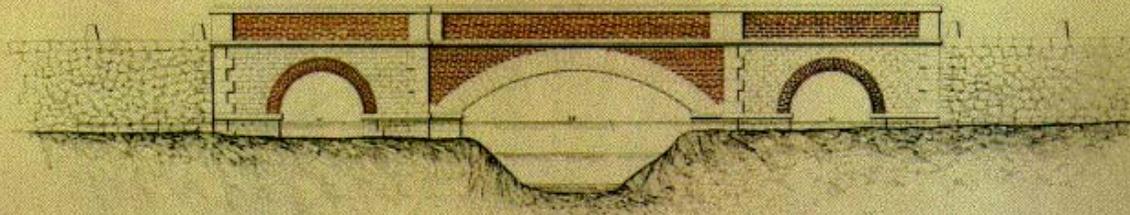
Valencia 1º de Diciembre de 1844

A handwritten signature in black ink on a light-colored, textured paper. The signature is written in a highly decorative, cursive script. The name "Juan del Valle" is clearly legible in the center, with elaborate flourishes extending above and below the text. The signature is enclosed within a large, oval-shaped loop.

PONTÓN

sobre
el río Cigüela.

Modelo nº 10



Escala 1/1000



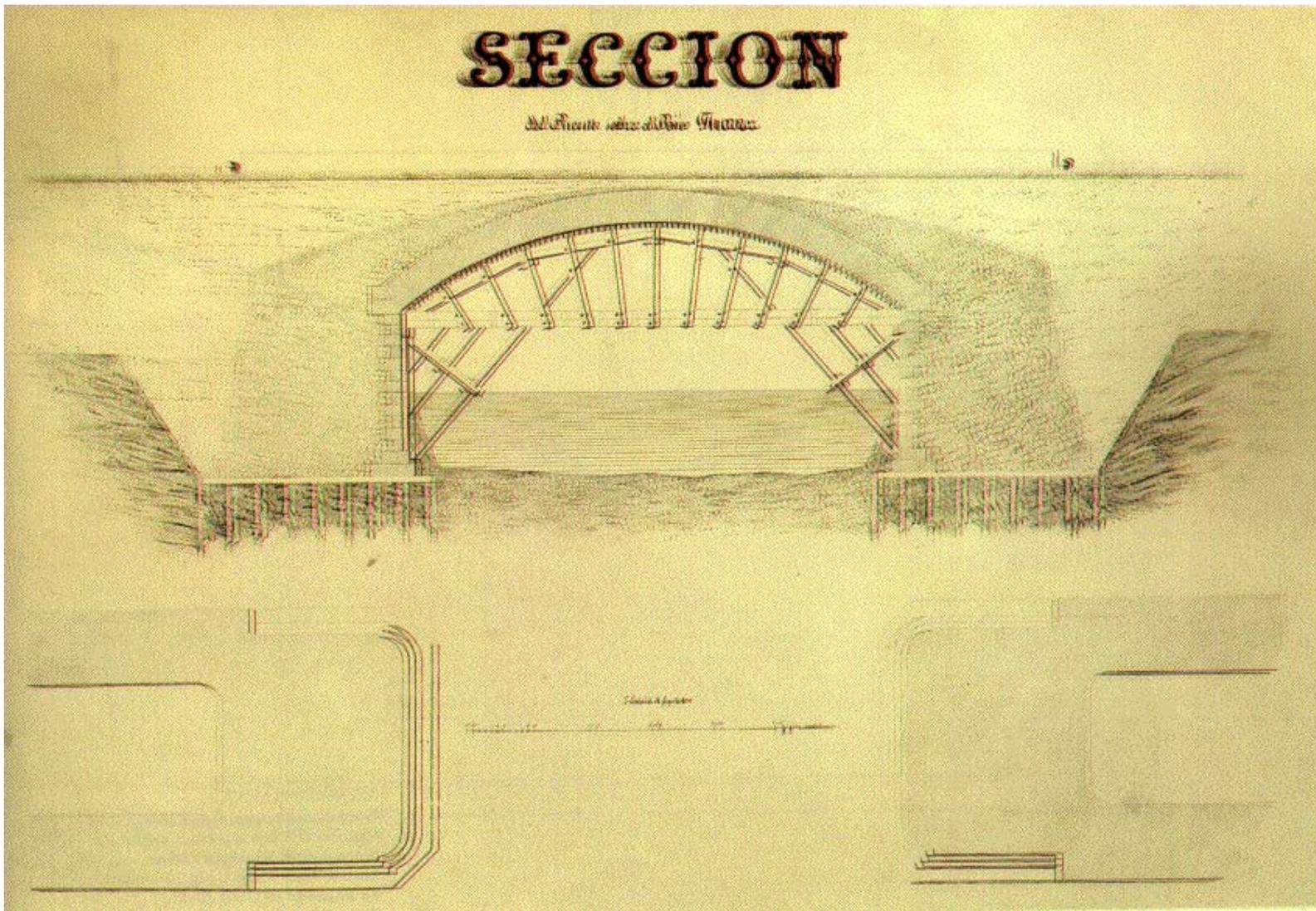
ALZADO, PLANTA Y SECCIÓN
LONGITUDINAL

Pontón sobre el río Cigüela. Carretera de Valencia
por las Cabrillas. Proyecto desde Requena a Saelices.
Madrid, 1845.

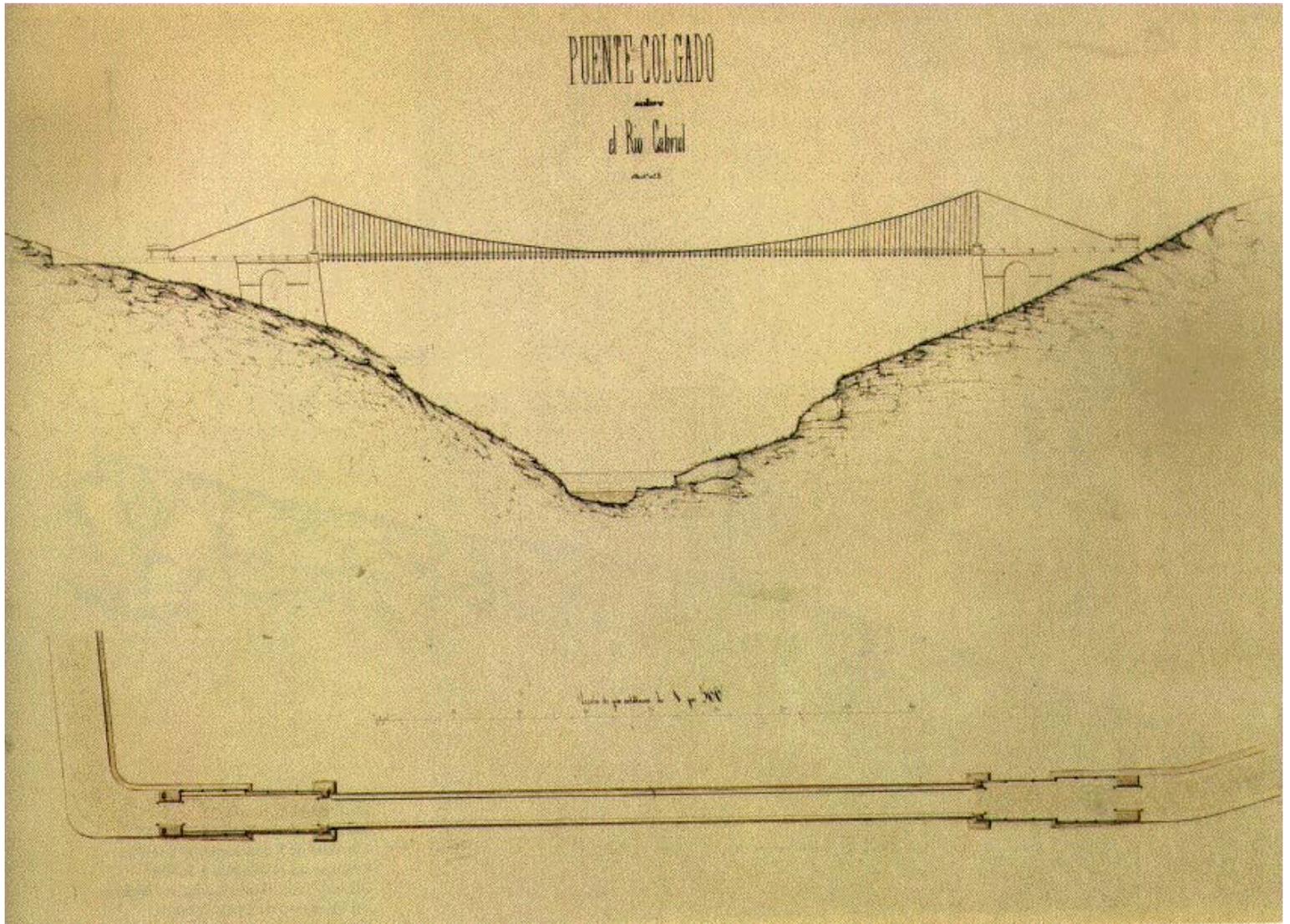
Tomo I. pág. 52. Archivo del Ministerio de
Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

SECCION

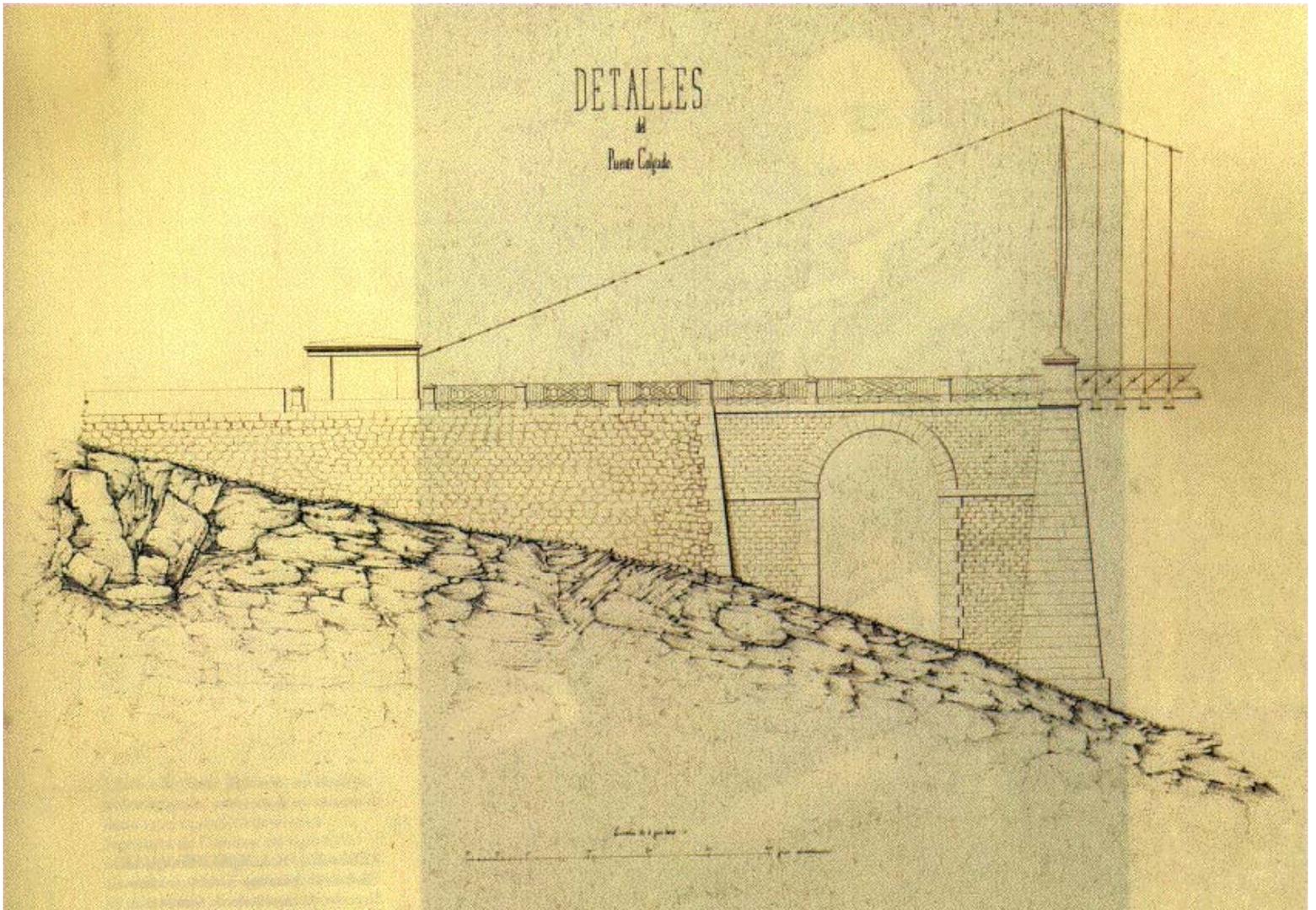
del Puente sobre el Rio Júcar



SECCIÓN
Puente sobre el río Júcar. Carretera de
Valencia por las Cabrillas. Proyecto desde
Requena a Saelices. Madrid, 1845.
Tomo I. pág. 49. Archivo del
Ministerio de Obras Públicas,
Transportes y Medio Ambiente.



ALZADO Y PLANTA
Puente Colgado sobre el río Cabriel.
Carretera de Valencia por las Cabrillas.
Proyecto desde Requena a Saclices.
Madrid, 1845. Tomo I. pág. 38. Archivo
del Ministerio de Obras Públicas,
Transportes y Medio Ambiente.



DETALLES
Puente Colgado sobre el río Cabriel.
Carretera de Valencia por las Cabrillas.
Proyecto desde Requena a Saelices.
Madrid, 1845. Tomo I. pág. 39. Archivo
del Ministerio de Obras Públicas,
Transportes y Medio Ambiente.



RETRATO DE LUCIO DEL VALLE
Oleo de G.Maureta. Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de
Madrid.