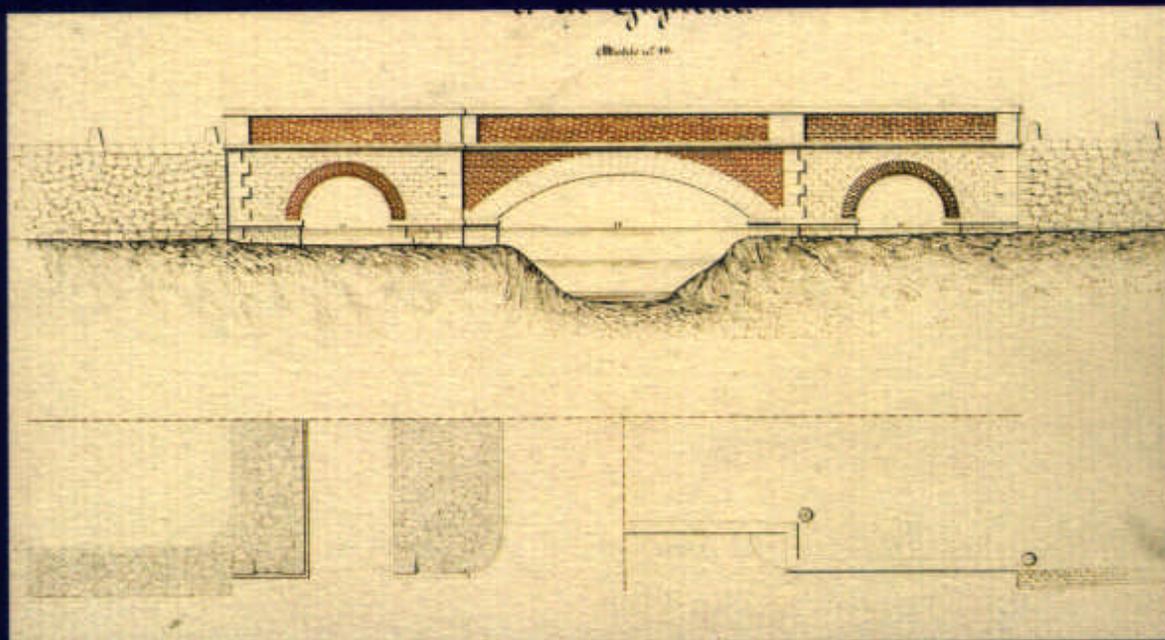


LUCIO DEL VALLE

MEMORIA SOBRE LA SITUACIÓN, DISPOSICIÓN
Y CONSTRUCCIÓN DE LOS PUENTES. 1844



FUNDACION
ESTEYCO

Lucio del Valle fue una de las grandes figuras de la Ingeniería de Caminos del siglo XIX. Proyectó y dirigió alguno de las obras más notables de la época: La Carretera de Valencia, el Abastecimiento de aguas de Madrid y el alarde que constituyó la construcción del Faro de Buda. Fue también Arquitecto y Matemático notable, alcanzando por sus méritos reconocimiento en ambas profesiones al ser nombrado Académico de Honor de la Academia de Bellas Artes de San Fernando y de la Academia de ciencias, Exactas y Naturales.

En vida fue distinguido con prestigiosos nombramientos, participó en numerosas comisiones oficiales u fue galardonado en varias ocasiones, recibiendo entre otras distinciones la Gran Cruz de Carlos III de manos de la reina Isabel II.

Para la difusión y el progreso de la Ingeniería y la Arquitectura





En Mayo de 1991 se constituyó la Fundación Esteyco con la finalidad de contribuir al progreso de la ingeniería y de la arquitectura en nuestro país.

La industria de precariedad e incertidumbre en que se ha estado desarrollando la ingeniería española independientemente ha exigido hasta ahora actitudes básicamente de supervivencia.

El esfuerzo de un creciente colectivo de profesionales y de órganos de la Administración ha ido, sin embargo, consolidando un sector cuyos servicios son considerados indispensables en una sociedad moderna y eficiente.

Es tiempo de pensar en el futuro, confiando en que no tardará en hacerse presente.

Fomentemos, para ello, un clima propicio para la creatividad, en el que se exija y se valore el trabajo bien hecho.

Contribuyamos a una sólida formación de los profesionales de la ingeniería, conscientes de que las organizaciones valen lo que valen sus miembros y de que en la ingeniería el valor de las personas se mide por el nivel de sus conocimientos.

Alentemos mejores y más frecuentes colaboraciones interprofesionales, eliminando fronteras innecesarias.

Reivindiquemos un espacio cualitativamente destacado de la ingeniería en la sociedad e impulsemos la evolución de la imperante cultura del hacer hacia la cultura del hacer pensando.

Consideremos las ingenierías como una prolongación de la Universidad, en la que se consolida la formación de jóvenes titulados, en los años que serán decisivos para su futuro. Sintámonos involucrados en la Universidad y centros de investigación.

Aseguremos la estabilidad y pervivencia de nuestras organizaciones y establezcamos los medios para que su vitalidad, garantía de futuro, no se encuentre lastrada.

Valoremos nuestra independencia, no como un arma contra nadie, sino fundamentalmente como un atributo intelectual inherente a quienes tienen por oficio pensar, informar y decidir libremente.

Javier Rui-Wamba Martija
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de la Fundación Esteyco

Memoria sobre la Situación, Disposición y
Construcción de los Puentes
Valencia, 1844

LUCIO DEL VALLE

Contenido

PRÓLOGO	5
NOTA EDITORIAL	7
AGRADECIMIENTOS	8
MEMORIA SOBRE LA SITUACIÓN, DISPOSICIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LOS PUENTES	9
BIOGRAFÍA	65
CRONOLOGÍA	73

Prólogo

El 1 de diciembre de 1844, Lucio del Valle presentó, con motivo de su nombramiento de Académico de Mérito de la Academia Nacional de Nobles Artes de San Fernando, una "Memoria sobre la situación, disposición y construcción de los Puentes", que ha permanecido inédita y que nos ha parecido interesante difundir ahora que el texto cumple 150 años.

Lucio del Valle fue una de las figuras más deslumbrantes de la fascinante ingeniería española del siglo XIX. Merece la pena leer la nota biográfica que ha preparado Charo Martínez, y constatar la importancia y variedad de sus actividades ingenieriles. Tenía 29 años cuando redactó esta Memoria. Era ya Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y había concluido también la carrera de Arquitecto. Era, asimismo, Académico de Honor de la Academia de San Carlos, Profesor de Matemáticas y Catedrático de Geodésica y Geometría Descriptiva, así como Caballero de la Orden de Isabel la Católica. Pero junto a esta impresionante relación de méritos, que figura en la portada manuscrita de su Memoria y que concluye con un etcétera, etcétera, Lucio del Valle quiso destacar su cargo de "Director de las Obras de la Carretera de las Cabrillas", que le exigió proyectar y construir el paso sobre el río Cabriel ("pasaré: bajaré en carruaje, al galope, sin llanta en las ruedas y volveré a subir cómodamente") asegurando, por primera vez, una comunicación moderna entre Madrid y Valencia.

Lucio del Valle contribuyó decisivamente, también, a resolver el abastecimiento de agua de Madrid y a organizar el Canal de Isabel II, que hizo posible el desarrollo de Madrid y la mejora de la salud y el confort de sus habitantes.

Ahora que se están poniendo en evidencia las dificultades para completar, los pasos por el río Júcar y el río Cabriel y con ellos la comunicación entre Valencia y Madrid, que sustituirá a la construida hace prácticamente siglo y medio, y ahora que

se debate también el Plan Hidrológico Nacional para paliar los problemas que la escasez e irregular distribución del agua provocan en nuestro país, no está de más que aflore el recuerdo de aquellos ingenieros que, con escasos medios y con conocimientos limitados por comparación a los que se pueden tener ahora, fueron capaces de abordar obras de ingeniería que permitieron el progreso y la vertebración de nuestro país.

Lucio del Valle no se puede decir que fuese un especialista en puentes. No se lo podía permitir. Tuvo que saber de carreteras, de hidráulica, de construcción, de organización y supo también de puentes. No hay más que leer la Memoria, que, escrita de su puño y letra, pone de manifiesto la asombrosa extensión de sus conocimientos y la claridad de sus ideas. Al juzgar su contenido no hay que olvidar el foro al que estuvo destinado y que Lucio del Valle, aún, no había alcanzado la treintena. Y es estimulante observar cómo su personalidad, y la credibilidad que inspiraba su demostrada capacidad, le permitieron ganarse la confianza indispensable de sus conciudadanos y de los poderes públicos para llevar a cabo su obra.

En estos tiempos que corren, en los que parece identificarse las obras públicas con los problemas que aparentemente crean y no con los problemas que resuelven; en un país en que tradicionalmente no ha existido el pecado por omisión, en el que nunca ha pasado nada al que no ha hecho nada y en el que incluso se llega a premiar a quienes, agazapados tras el maquillaje de la perfección o de algún otro ídolo moderno, frenan iniciativas de interés generalizado, no está de más volver la vista atrás para recordar la personalidad y las actividades de Lucio del Valle, que encarna a un brillantísimo colectivo que nos tiene que servir a todos, ingenieros y no ingenieros, como estímulo y referencia.

Javier Rui-Wamba Martija
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de la Fundación Esteyco

Nota Editorial

El texto que, a continuación, se publica es la transcripción de un manuscrito que se conserva en el archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando¹. Lucio del Valle lo escribió en 1844 para poder ser nombrado académico de mérito. Esta clase de académicos existieron en la Academia de San Fernando hasta 1846; para serlo, los titulados tenían que realizar un examen práctico y desarrollar una Memoria sobre uno de los tres temas que la Academia les proponía.

Lucio del Valle era arquitecto por San Fernando desde 1840, en 1844 presentó la memoria sobre los puentes, fue aprobada y en 1845 fue nombrado académico de mérito por la sección de arquitectura. A partir de 1868 Valle ocupó la medalla 33 como académico de número y asistía regularmente a las sesiones. En el año académico 1873-1874 se publicó un “Escalafón de los señores académicos según el número de sesiones a que han asistido, desde 1º de Septiembre de 1864” en el que Lucio del Valle el lugar decimmoquinto en una lista de cuarenta y dos académicos. La última sesión en la que estuvo presente fue la celebrada el 6 de julio de 1874.

El trabajo que ahora se publica es un simple ejercicio académico, no pretende ser una aportación esencial al arte de construir puentes, y sin embargo tiene un indudable interés histórico. No puede dejar de tenerlo una revisión de la historia y la técnica de construcción de puentes hecha por uno de los ingenieros más destacados del siglo XIX.

Esta Memoria fue presentada a la sección de arquitectura, aunque trata de una materia hoy tan propia de la ingeniería como la construcción de puentes, lo que da una idea de lo relacionadas que estaban ambas disciplinas en el pasado.

¹ La transcripción reproduce literalmente el manuscrito, manteniendo las peculiares características gráficas, gramaticales y sintácticas del original

Agradecimientos

LA FUNDACIÓN ESTEYCO quiere agradecer la colaboración prestada por la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando por autorizarnos a reproducir el manuscrito de Lucio del Valle; al Archivo del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, y la Biblioteca Nacional por permitirnos reproducir las ilustraciones; y en especial a Fernando Saénz Ridruejo, buen conocedor de la figura de Lucio del Valle, que amablemente se prestó a leer la Nota Biográfica, alentándonos para su publicación junto al manuscrito.

MEMORIA

SOBRE LA SITUACION, DISPOSICION Y CONSTRUCCION DE LOS PUENTES

QUE PRESENTA

A LA

Academia Nacional de Nobles Artes de San Fernando,

D. LUCIO DEL VALLE

ARQUITECTO DE LA MISMA,

Académico de honor de la de San Carlos, Ingeniero S. de Caminos, Carreteras y Puertos, Director de las Obras de la Carretera de las Cabrillas, Profesor de Matemáticas, Catedrático que fue de Geodesia y Geometría descriptiva en la Escuela especial del Excmo. Sr. Caballero de la Real y distinguida Orden de Isabel la Católica, etc. etc.

VALENCIA.

1844.

Lucio del Valle.
Memoria sobre la situación, disposición y construcción de los puentes.
Manuscrito original, Portada interior.
Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Excmo. Sr.

A

Así como y después de haberme a, Excmo. Sr., la empresa que he acometido eligiendo para director de los tres puntos designados por la suerte el que va puesto al frente de esta memoria, cuento vasto, de sumo interés y digno por tanto de ser examinado y tratado por plumas mejor costadas que la mía, por Profesores inteligentes y distinguidos que no desperdiciarán en verdad el afortunado campo que se les presenta para emplear sus bien coordinadas ideas, haciendo resaltar notablemente, a la par que su talento e instrucción, la grandera e importancia del asunto que se discutirá. Limitado yo a mis escasos recursos y conocimientos, y a la práctica que llevo en el difícil Arte de edificar solo mi ánimo a entrar en materia, por una parte, el vivo deseo de aspirar al honorífico título de Académico de Mérito por la Arquitectura, y por otra la benevolencia con que una ilustrada Corporación ha acogido mis primeros trabajos.

El transcurso de los siglos, que haciendo nuevos ép

Memoria

Excmo. Sr.

Ardua y difícil sobremanera es, Excmo. Sr., la empresa que he acometido eligiendo para disertar de los tres puntos designados por la suerte el que va puesto al frente de esta memoria, asunto vasto, de sumo interés y digno por tanto de ser examinado y tratado por plumas mejor cortadas que la mía, por Profesores inteligentes y distinguidos que no desperdiciarían en verdad el anchuroso campo que se les presentaba para esplayar sus bien coordinadas ideas, haciendo resaltar notablemente, á la par que su talento é instrucción, la grandeza é importancia del asunto que discutían. Limitado yo á mis escasos recursos y conocimientos, y á la práctica que llevo en el difícil Arte de edificar solo me anima á entrar en materia, por una parte, el vivo deseo de aspirar al honorífico título de Académico de Mérito por la Arquitectura, y por otra la benevolencia con que esa ilustrada Corporación ha acogido mis primeros trabajos.

El transcurso de los siglos, que haciendo nuevos é importantes descubrimientos al mismo tiempo que desarrollando y perfeccionando los conocimientos humanos, ha hecho una verdadera revolución en los gozos y comodidades del hombre; pero revolución pacífica, útil, benéfica, y necesaria e indispensable ya en la altura á que se halla

establecida la sociedad civilizada. ¿Que seria esta sin la brújula, sin la imprenta, sin el vapor? ¿Que sin la perfeccion á que han llegado las artes por el gran progreso que han tenido las ciencias todas? ¿Cual hubiera sido el desarrollo de la industria sin los medios espeditos de comunicacion que poseemos por tierra y por agua? Sin estos medios ¿como hubieran podido comunicarse sus ideas unos paises con otros civilizandose mutuamente? ¿Que gozes, que felicidad puede disfrutar el hombre que carece de edificios en que albergarse de los rigores de los elementos, y de cuanto es necesario para las demas comodidades de la vida? Y no se crea por esto que ya se ha llegado al maximun de la perfeccion: no, si bien el estado de nuestra civilizacion es muy distinto de los primeros pueblos, aun falta mucho que recorrer á pesar de los constantes desvelos de los grandes hombres que trabajan y estudian sin cesar para ir adelantando mas y mas en los diversos ramos del saber, y aquiene debe mucho la sociedad, que coje el fruto de sus exiduas tareas y meditaciones.

Si nos concretamos tan solo á los puentes y describimos aunque sea ligeramente los adelantamientos que han experimentado estas importantisimas obras, veremos perfectamente marcadas todas las epocas segun el estado en que se hallaban las ciencias en cada una.

Muy natural seria que en los primeros tiempos tratasen de reunirse los hombres en sociedad estableciendose en distintos puntos, que recorrerian de unos á otros para protegerse mutuamente y satisfacer sus necesidades, por sendas abiertas en el terreno mismo guardando en lo posible la linea recta, como la mas corta distancia entre dos puntos dados. Este primer medio de comunicacion entre dos puntos es un camino en su mayor sencillez. De él al establecimiento de los Caminos de hierro con carruages de vapor hay una mínima distancia que no ha podido ser recorrida en menos de diez y ocho siglos.

La direccion de estas sendas debia tener muchas modificaciones por la naturaleza del terreno, desviandose y dando rodeos al atravesar una montaña para evitar la fatiga de una pendiente escesiva, al encontrarse

con un terrero pantanoso difícil de pasar sin peligro; y por fin el salvar los arroyos, ríos y barrancos era una de las primeras y mayores dificultades que se presentaban.

Es indudable que las primeras tentativas que se hicieron para el paso de los ríos consistía en ir examinando cuidadosamente su profundidad en varios puntos, hasta encontrar un paraje en que, estendiéndose las aguas suficientemente, su poca altura y velocidad unidas á la regularidad del cauce, permitía un paso sin riesgos ni peligros, pero con las incomodidades que eran consiguientes.

Estos vados, por donde se atravesaban los ríos de alguna consideración, no eran necesarios para el paso de los arroyos: un árbol suficientemente largo que se apoyase en ambas márgenes bastaba para la continuación de la senda, y he aquí sin duda alguna el primer sistema de puentes establecido por los primeros hombres, sistema el más sencillo que puede imaginarse y cuya comparación con las magníficas obras de esta clase construidas en los tiempos modernos, hacen ver palpablemente lo que puede el hombre en una sociedad ilustrada lleno de recursos y de conocimientos de toda especie, con los cuales acomete empresas atrevidas que honran bajo todos conceptos el entendimiento humano llenando de admiración á cuantos las contemplan.

La costumbre de ver por los ríos cuerpos flotantes debió sugerir la idea de valerse de ellos para atravesarlos con mucha más comodidad que por los vados, pues además de no mojarse evitaban el tener que dar á veces un gran rodeo para dirigirse por aquellos. Al efecto construían balsas con varios troncos de árboles unidos entre sí y cubierta la parte superior con ramaje que formaba el piso. Si el río no era de mucha extensión una sola balsa amarrada á ambas márgenes constituía el puente, cuidando de aflojar las amarras cuando crecían las aguas, mas si aquella no bastaba por la demasiada anchura del cauce la pasaban á remolque de una a otra orilla por el mismo mecanismo que, si bien más perfeccionado, empleamos en el día en las barcas establecidas en muchos ríos en que no existen puentes habilitados para su paso.

El examen de los monumentos que nos han legado el Egipto y la Grecia prueba evidentemente lo mucho que se tardó en la construcción de las bóvedas, así que hasta que estas se generalizaron los puentes que se construían fueron de maderos colocados sobre pilares de fábrica o pilotes, cuyos espacios no podían ser por lo tanto de mucha extensión.

Entre los Egipcios los pilares ó postes de fábrica bastante más próximos unos á otros se solían cubrir con grandes losas de piedra por el mismo estilo que ahora se verifica con las alcantarillas llamadas de tapa.

Si fuera á describir uno por uno todos los puentes y acueductos de alguna importancia que se han construido, si hubiera de seguir su historia con aquella prolijidad y sana crítica que debe emplearse en esta clase de trabajos serían necesarios algunos volúmenes; pero como no sea este el objeto de la memoria, solo me concretaré á manifestar que desde algunos siglos antes de la Era cristiana se han construido puentes y acueductos magníficos, de los que aun se conservan algunos intactos, otros se hallan reducidos á ruinas y escombros, y no pocos han desaparecido completamente.

Sin salir de nuestro suelo, sin necesidad de acudir a visitar los antiguos puentes construidos sobre el Tiber, Tamesis, Elba, Neva, Danubio, Zende=roud, Abin, Sena, La-Loire, Garona, Rodano y demás ríos tenemos suficientes monumentos de esta clase en que admirar el grado de adelanto en que se hallaba la construcción en los tiempos en que nuestra Nación estuvo dominada tantos años por los Sarracenos, como se ve con solo recordar los nombres de Puentes de Alcantara, Almaraz, Merida, Salamanca, Orense, Molins de Rey y otros, los acueductos de Segovia, Merida, Pamplona, etc...

Desgraciadamente no podemos decir lo mismo con respecto á las obras modernas en las que en número, grandiosidad, importancia y novedad nos llevan gran ventaja las demás Naciones de Europa. Si exceptuamos el glorioso reinado de Carlos 3º que tan señalado fué para las artes y en el que se construyeron muchas y buenas obras de todas

clases, apenas conoce nuestra Nacion las ejecutadas ultimamente sobre el Rodano, La-Loire, Sena, Tamesis, etc, etc. Aun carecemos de esos magnificos puentes de hierro formados de dovelas de este metal, que á su mucha solidez reunen la elegancia mas esquisita en sus formas y que adornan ya muchas capitales de Europa; faltannos tambien puentes de madera de Cerchas curvas que como el S. Yory tan buenos resultados estan dando, y como aun no se ha construido en España ninguna linea de camino de hierro, no tenemos tampoco ninguna de las grandes obras que á veces exige la naturaleza del terreno en esta clase de comunicaciones. Los puentes colgados que por su economia y facil construccion tanto se han generalizado en el Estrangero, han empezado tambien ya á introducirse en nuestro pais con muy buen exito produciendo al publico ventajas palpables y positivas. ¡Quiera el cielo que separandose nuestra Nacion de las contiendas civiles que hace años la devoran y consumen, solo piense y se dedique a las mejoras materiales de que tanto necesita para ponerse al nivel de las demas de Europa y aspirar asi al esplendor de que gozó en otros tiempos y á que por tantos titulos es acrededora!

Una de las partes mas principales en el establecimiento de un puente y la primera que debe mirar con suma detencion y cuidado un Arquitecto ó Ingeniero es la eleccion de su emplazamiento ó punto donde deba construirse, de manera que reuna el mayor número de ventajas, ya que á veces no sea posible conseguir todas las que pueden y deben apetecerse en esta clase de obras. Es cierto que en muchas ocasiones esta fijada la situacion de un puente sin que sea facil variarla á no ocasionar gastos enormes y perjuicios de consideracion y en ese caso ya no hay eleccion y el Profesor obligado á construir la obra en el punto fijo debe tener muy en cuenta para su proyecto esta circunstancia, que influirá notablemente no solo en la disposicion y sistema de construccion del edificio sino en su coste. Tal sucede, por ejemplo, en las poblaciones en que la alineacion de las calles, plazas, paseos ó puertas de entrada decide muchas veces del emplazamiento del puente, asi como en el campo la direccion de los Caminos; si bien otras se toma el partido de abrir nuevas calles principalmente cuando las antiguas son estrechas y sinuosas y en los caminos se subordina en direccion al buen

emplazamiento de un puente. Esta ultima circunstancia es la que rigurosamente se observaba en otros tiempos en que no estaban tan adelantadas como al presente las construcciones hidraulicas, mas en el dia en que el arte de edificar cuenta con sobrados y seguros recursos, debe en general sujetarse la situación de un puente á la linea general del camino, cuyo trazado se habra hecho con el suficiente estudio para que reuna cuantas ventajas son apetecibles.

Claro y evidente es que si está á nuestro arbitrio el designar el punto donde haya de construirse el puente elegiremos aquel en que el terreno para la fundacion sea el mas solido posible y el menos dispuesto á ser socabado por la corriente, en que las margenes reunan también esta misma solidez y no sean de una elevacion tal que haga dificil y costosa sus avenidas, prefiriendo en igualdad de estas circunstancias como mas economico el punto en que mas se estreche el rio. Para ello es enteramente indispensable tener un conocimiento exacto del terreno levantando un plano bien detallado del curso del rio en una distancia bastante estensa para formar idea de su regimen y de los cambios que haya sufrido su lecho y pueda experimentar en lo sucesivo por las causas locales que existan y que deben estudiarse con meditacion. A este plano deberán acompañar muchos perfiles transversales que daran á conocer la figura y anchura del cauce y margenes, asi como la altura de las aguas en las diferentes epocas del año, teniendo mucho cuidado de averiguar por hombres practicos y antiguos en el terreno cual ha sido la mayor crecida que ha tenido el rio para acotar escrupulosamente su altura, asi como las de las aguas más bajas. De sumo interes es tambien conocer la pendiente del rio y la velocidad de su corriente, por lo que el Arquitecto no puede menos de adquirir estos datos que, si es dable, debe repetir en diferentes ocasiones y en particular en las grandes avenidas.

Para lo primero practicaré diferentes nivelaciones segun la linea de Thalweg² que comparadas entre si le darán las variaciones de pendientes que experimentará segun la diferente altura de agua que lleve el rio y para la determinacion de la velocidad podrá valerse de cualquiera de los medios conocidos, si bien el que se emplea mas

² Si se unen los puntos más bajos de los perfiles transversales del cauce de un río por medio de una línea, esta se llama thalweg.

comunmente es el del flotador, que determinando la velocidad V en la superficie se deduce en seguida la velocidad media U por la formula $V=0,82U$ resultado de las esperiencias hechas por Dubuat, Prony y otros.

La cantidad de agua que pasa en la unidad de tiempo por un punto cualquiera del rio es evidentemente igual á la seccion en aquel punto, multiplicada por la velocidad media; esta depende de la pendiente, de modo que si fuera posible fijar con exactitud la relacion que debe existir entre estas tres cantidades, facilmente obtendriamos el valor de una de ellas conociendo el de las otras dos. M. Eytelmein á quien debe la Hidraulica tantas y tan buenas esperiencias ha publicado en las Memorias de la Academia de Berlin las que con la mayor escrupulosidad ha practicado sobre este particular y establece por fin la relacion.

$$U = - 0,03319 + \sqrt{0,0011016 + 2735,66 R I}$$

en que U es la velocidad media, R el radio medio ó sea la seccion dividida por el perimetro mojado e I la pendiente por metro.

A los datos generales que llevo dichos debe añadir el Profesor los particulares que en cada paso se le presentaran y cuya enúmeracion seria fastidiosa é inutil, y con todos ellos reunidos determinará la situacion ó emplazamiento del puente y entrará a estudiar la disposicion que ha de dar á la obra, y que variará por una multitud de circunstancias de entre las cuales son las principales las siguientes:

- 1ª. Objeto á que se destina el puente.
- 2ª. Punto de su situacion.
- 3ª. Dinero disponible para la obra.
- 4ª. Materiales; su calidad y cantidad.

Si se enúmeran todos las clases de puentes que pueden construirse se hecharia de ver facilmente lo que acabo de sentar. En efecto ¿Se dispondra del mismo modo un puente que haya de servir solo como tal, que otro que deba dejar libre paso á barcos arbolados que vayan por el

rio? ¿No debiera construirse con mas magnificencia el que esté destinado á immortalizar algun hecho heroico ó situado en una Capital, que los que se hagan en despoblado? ¿Se usaran por fin indistintamente los puentes de barcas, los de piedra, los de madera, los fijos de hierro, colgantes, giratorios etc, etc? De manera alguna, las circunstancias que llevo dichas y las locales obligan al Arquitecto á ceñirse al que llene mejor todos los requisitos, dejandole aun asi mucho campo en donde lucir sus conocimientos en el modo de concebir y disponer el proyecto y su ejecución. Si ha de ser de piedra su decoracion, la esveltez de sus formas, la naturaleza y atrevimiento de sus arcos, el modo de aparejar y construir estos, los cimientos y demas asi como los utiles, máquinas y, aparatos necesarios para ello exigen no solo gusto artistico, sino profundos conocimientos en las ciencias exactas, sin que pueda uno y otros remplazarse por una ciega rutina. Iguales reflexiones poco mas ó menos pueden hacerse para las demas clases de puentes en que tanto pueden lucir los principios de Mecanica, los de construcciones hidraulicas y demas al mismo tiempo que el genio del Profesor en el proyecto que conciba.

Uno de los principales requisitos que debe tener el puente que se proyecte bien sea de piedra, madera, colgante, etc. es que presente una seccion suficiente para el paso de las aguas en todas estaciones, sin que haya que tener recelo ni aun en las mayores crecidas. Esta seccion de paso se determina sin dificultad cuando cerca del punto donde se proyecta el puente haya ya otros contruidos sobre el mismo rio, pues midiendo la seccion de este en las avenidas al paso por ellos y observando la velocidad del agua se puede, comparando estos datos, fijar con bastante exactitud la nueva Seccion ó desembocadura. Cuando en el rio no existen puentes para la comparacion es indispensable para resolver la cuestion determinar: Primero La mayor cantidad de agua que ha de pasar por el puente. Segundo La superficie de la seccion conocida la cantidad de agua:

Para lo primero ya he explicado anteriormente el modo de conseguirlo por un medio sumamente sencillo y mas exacto que el

calculo que se pudiera hacer teniendo en cuenta la cantidad de agua que cae en las grandes lluvias y la superficie de la cuenca que la recoge para dirigirlas al cauce del rio por las lineas de maxima pendiente. En efecto varia mucho la cantidad de agua de las lluvias en las distintas epocas del año y en diferentes lugares y ademas la naturaleza y declive del terreno en que cae influye poderosamente en la velocidad con que se dirige al rio y en la cantidad que se absorbe la tierra.

La determinacion, pues, mas exacta es la de hallar la velocidad media y multiplicarla por la seccion.

La accion que egercen las aguas de un rio sobre sus margenes y fondo combinada con la tenacidad del terreno de que esta compuesto establece siempre un cierto equilibrio que evita las mas veces la alteracion del cauce, tanto en su magnitud como en su figura. Esceptuarse sin embargo los rios que corren por terrenos arenosos y flojos que cediendo con facilidad á la accion corrosiva de las aguas se altera el regimen notablemente en las crecidas, agrandandose el lecho en unos puntos y formandose depositos ó aterramientos en otros, cuando ya las aguas no corren con tanta velocidad.

Cuando por una obra cualquiera se disminuye la anchura de un rio la velocidad se aumenta naturalmente, formanse remolinos, y el lecho socabado por las aguas se profundiza hasta que se establezca una seccion tal, que combinada con el aumento de velocidad, compense la disminucion que haya experimentado el ancho del rio equilibrandose entonces la velocidad con la resistencia del terreno de que esté formado.

Si, pues, al construir un puente no se tiene en cuenta estas consideraciones es muy facil que se experimenten socavaciones en las pilas y estribos por el aumento de velocidad ó bien se formen depositos cuando esta haya disminuido sensiblemente por haber dado demasiada longitud al puente. Si el terreno es de roca ó muy compacto y tenaz no habra socavaciones y solo se formarán á la parte de arriba los remolinos que producirán inundaciones si la seccion de paso fuera demasiado

pequeña. Cuando por el contrario el terreno no es tan compacto y tenaz se debe siempre procurar establecer un radier general que impida las socavaciones que tanto hacen peligrar la estabilidad de los puentes, radier que será tanto mas indispensable cuanto mayor sea el aumento que experimente la velocidad ordinaria de las aguas á su paso por entre las pilas.

Sensible es que en muchos puentes se descuide tanto esta parte tan esencial, por que al fin ha de ser causa de su total ruina, como la experiencia ha demostrado ya con una multitud de ejemplos que seria largo enunciar.

Explicados ya, aunque concisamente, los principios generales que deben tenerse presentes para la situacion y disposicion de los puentes cualesquiera que sea su clase é importancia paso á tratar de la construccion de todos ellos y de cada una de sus partes, usando del mismo laconismo que he empleado hasta ahora, muy dificil por cierto en un asunto tan vasto é interesante y sobre el cual hay escritas tantas obras con cuantos detalles pueden apetecerse.

Barcas

Un barco construido con las dimensiones y calado convenientes para la clase de carruages que tenga que llevar y que por medio de remos ó bicheros que pueden ir en el mismo barco ó en otro mas pequeño que le remolque pase de una á otra orilla del rio constituye un puente movable del mismo modo que cuando está obligado á caminar por todo lo largo de una maroma bien sea impedido por la corriente misma ó por un torno ó cabestante establecido en la margen opuesta ó en fin por barqueros que se vayan asiendo sucesivamente á la cuerda ó maroma.

Esta incomodaria naturalmente en el paso de los barcos de vela en un rio navegable por estar colocada á pocos pies sobre el agua por cuya razon cuando hay que atender á este requisito se la dispone á la altura

conveniente por medio de unas horquillas de madera situadas en las margenes haciendola tomar con tornos la tension que se desea.

En seguida se pasa una corredera de hierro que abraza el cable, á la que se ata una cuerda que va á engancharse al costado del barco hacia la cuarta ó quinta parte. Por este medio es bien claro que con solo cambiar la cuerda de uno á otro costado y dirigir el timon con algun conocimiento, la velocidad de las aguas hara mover el barco que pasara de una orilla á otra resbalandose la corredera sobre el cable.

Otro de los medios que se han ideado para el paso de los grandes rios con barcos es tambien á la par que sencillo muy ingenioso: consiste en hacerle trazar arcos de circulo por la velocidad de la corriente, amarrandole a una cuerda larga que se ancla en medio del rio; las inclinaciones distintas del timon producen este movimiento por el mismo estilo que el aire en las alas de los molinos de viento. La longitud de la cuerda debe ser por lo menos vez y media mayor que la anchura del rio, á fin de que el arco de circulo tenga poca curvatura y pueda obrar el timon.

Algunas veces en vez de un solo barco hay dos unidos con una plataforma de madera sobre ellos, en la cual entran los carruages, debiendo establecerse en este sistema de barcos, como en todos los que llevo descritos embarcaderos comodos y seguros en ambas margenes, para que atraquen allí los barcos y puedan entrar comodamente las pesonas, caballerias y carruages.

Puentes de Barcas

Este sistema de puentes conocido desde muy antiguo, ha estado generalizado por mucho tiempo en todos los paises que conservan aun algunos sin haberlos remplazado. La economia de su primer coste la facilidad de su egecucion y el poco tiempo que se necesita para su establecimiento, son en general las razones que hay en su favor, á pesar

de que en algunos casos son casi enteramente indispensables como sucede en los grandes rios del Norte. Caminando en aquella direccion por la carretera de Maguncia, Foulda, Vaimar Etc, el ultimo puente de piedra que se encuentra de consideración é importancia es el de Dresde sobre el Elba, los demas son de barcas que solo se utilizan en verano pues en invierno se yelan aquellos grandes rios hasta cuatro y cinco pies de profundidad, convirtiendose en caminos por donde transita todo genero de carruages y sobre los que se han dado á veces brillantes cargas de caballeria; asi es que al empezar las heladas hacen conservar el puente por mitades á ambas margenes, en las que quedan atracadas las barcas hasta el estio, cuidando sin embargo de que unos hombres con chuzos de hierro corten el yelo en su alrededor para que haya siempre un pequeño espacio, y evitar de este modo que padezcan y se destruyan por la expansion del agua al congelarse.

Esta probado que puede pasar artilleria de campaña por un rio helado con tal de que tenga siete pulgadas de espesor, mas como el grueso del hielo no es uniforme en toda la anchura, siendo menor en el centro del rio en que es mayor la velocidad de la corriente, no se permite por aquellas autoridades el paso al publico hasta tanto que hacia las orillas no tenga la capa de yelo catorce pulgadas.

Para establecer estos puentes colocanse las barcas que sean necesarias paralelamente entre sí con las proas hacia la corriente y guardando una distancia que varia mucho, pero que está limitada por la longitud de los maderos que han de formar el tablero y la conveniencia de que estos graviten sobre el centro de los barcos para evitar los balances bruscos que harian en otro caso al transito de los carruages pesados. Para que la corriente no los arrastre rio abajo se les sujeta por la proa y á veces tambien por la popa á un grueso cable ó cadena de hierro que atraviesa de una á otra margen ademas de estar anclado cada barco de por sí; evitando los movimientos laterales de los barcos por medio de otros cables llamados barloas que van en forma de cruz de la proa del uno á la popa del otro. Las sancanellas que asi se llaman las grandes maromas ó cables de retencion deben estar solidamente

amarradas á ambos márgenes en las que se establecerá al efecto un grueso pilote ó bien sino bastase se construirá de fabrica un macizo para empotrar en él un pilar de piedra ó hierro, cuyo espesor asi como el del macizo y cables dependerán de la resistencia que tengan que vencer.

Esta disposición de las barcas en nada impide los movimientos verticales que deberan experimentar con la mayor ó menor altura de las aguas, á cuyos movimientos hay tambien que atender al construir los tableros que forman el piso, que deberan tener el juego necesario tanto para que no se rompan, cuanto para que no opongan el menor obstaculo al movimiento ascensional de los barcos.

No dejaré de citar con este motivo el puente que estableci sobre las barcas del rio Jucar en la carretera general de Valencia para el paso de S.S. M.M. en el viage ultimo y que aun continua prestando grandes servicios al publico, que evita las incomodidades y perdida de tiempo que son inherentes al tener que pasar los rios por barcas. La gran sangría que se hace al Jucar por el azud de Antella en que toma las aguas la acequia Real de Alcira, hace que su caudal sea de poca consideracion particularmente en el estio y obligó hace años á estrechar en los embarcaderos el paso del rio á fin de que hubiera suficiente calado para la barca y pudiera esta maniobrar con desembarazo. Distaba pues uno de otro tan solo cincuenta pies y como la manga del barco sea de 22 pies quedaban solo 28 pies que recorrer, por cuya razon fijé perfectamente en el centro del espacio la barca por medio de dos vientos formados de cables de veinte y dos lineas de diametro y setenta y ciento ocho varas de longitud que desde la proa van á amarrarse á grandes pilotes con aspas en su parte inferior empotrados en mamposteria y provistos de los correspondientes tornos para templar aquellos en las avenidas y darles la longitud ó cuerda que requiera la subida de las aguas. Dos esplanadas de piezas de madera cada una de suficiente longitud y escuadria, cubiertas de un entablonado grueso sugeto con tornillos forman el puente, apoyadas en los embarcaderos y en la barca: á fin de que pueda servir cuando crece el rio dispuse unir entre si las piezas de las esplanadas por medio de gruesos pernos de hierro que

pudiesen permitir en 1^{er} lugar el juego necesario á las esplanadas que con la variacion de nivel de las aguas solo varian de pendiente resbalando sus extremos sobre los embarcaderos y girando en el centro al rededor de dichos pernos puedan separarse las esplanadas y sacarlas á tierra cuando se prevea una avenida extraordinaria, ó bien si ni aun diera tiempo para esta operacion la crecida soltarlas al agua en que flotarian como boyas por que se las amarraria con cables a las fuertes argollas de hierro que al efecto tienen en sus ángulos.

Muchos y de consideracion son los puentes de barcas que hay establecidos en el estrangero siendo entre otros de los mas notables el de Varsovia sobre el Vistula que consta de ochenta y cuatro barcas grandes, el de Maguncia sobre el Rhin con veinte y una barcas y el de Oporto sobre el Duero que sobre ser de veinte y cuatro barcas tiene ademas la notable circunstancia de sufrir las mareas del Oceano. Tambien en nuestro pais tenemos el de Tortosa sobre el Ebro, el de Sevilla sobre el Guadalquivir de doce barcas, el de Cullera sobre el Jucar de tres, en los cuales como en todos los puentes de este genero son muy continuas y costosas las reparaciones que ocasionan.

Fundados en el mismo principio que los puentes de barcas, se construyen tambien con otros cuerpos flotantes, como balsas de madera, toneles, haces de cañas cuyo uso es regularmente provisional, y sirve especialmente en campaña.

Puentes Levadizos, de báscula, giratorios, etc.

Siempre que la altura de los puentes no permita la navegación, ó cuando convenga por una causa cualquiera, interrumpir una comunicación, deben emplearse estos sistemas que paso á explicar brevemente.

El mecanismo de todos ellos consiste en hacer mover el tablero o tableros del puente de una manera determinada, para que quede libre y desembarazado el espacio que ocupaba.

En los puentes levadizos cuyo uso mas comun es en las plazas de guerra, muevese el tablero al rededor del eje horizontal que forma uno de sus extremos por medio de cadenas, que atadas al otro, pasan por las poleas fijadas en los muros de la puerta y tienen unos contrapesos que facilitan la operacion. Con poco que se reflexione, se notará, que necesitandose diferentes esfuerzos para mover el tablero, segun su mayor ó menor inclinacion con el horizonte, los contrapesos deberían ser variables, disminuyendose conforme el tablero fuera áprosimandose á la posicion vertical, en que debe quedar, cerrando la puerta, cuyo claro es de las dimensiones del tablero. Esta cuestion ha sido resuelta perfectamente por Bellidor, reemplazando los pesos variables de que he hablado por un peso constante, sugeto á recorrer, no una vertical, como sucederia para aquellos, sino por una curva cuya ecuacion determinó por las circunstancias á que debia satisfacer, y que resultó ser la que en Geometria se conoce con el nombre de Sinusoide.

Con la geometrica aplicacion de esta curva se han desterrado las antiguas flechas ó piezas de madera de que se servian para levantar los tableros, y cuyo uso es sumamente incomodo, como se nota en las que se conservan todavia en algunas plazas.

En los puentes de bascula, que tambien se mueven al rededor de un eje horizontal, se prolonga el tablero mas allá de este eje, para formar asi un contrapeso, de manera que los momentos de estas dos partes se equilibran con respecto al eje de rotacion, en el que debe hallarse el centro de gravedad del sistema. La parte de tablero que baja, entra en un foso, hecho al efecto, valiendose para el movimiento de un torno ó engranage cualquiera.

Los puentes levadizos solo se emplean para espacios de catorce á diez y ocho pies, mientras los de bascula pueden servir hasta para veinte

y cinco reforzando el tablero con tornapuntas, que apoyandose en el muro, impidan el pandeo y fortifiquen el sistema.

Los puentes giratorios de eje vertical tienen también, como los de báscula, su contrapeso formado por la prolongación del tablero, y debe subsistir también la igualdad entre los momentos de las dos partes con respecto al eje. La dificultad de este sistema estriba en poder producir con facilidad el movimiento de rotación, sin que se resienta la solidez del puente, cuando pasen por él carruajes y pesos considerables. Para fortificar la parte voladiza del puente, se establecen también tornapuntas, que se levantan hasta adaptarlas a la plataforma antes de emprender el movimiento del puente. El eje vertical de rotación que debe estar a alguna distancia de la coronación del estribo, no serviría por sí solo, para hacer guardar al tablero una posición constantemente horizontal, y al efecto lleva este por su parte inferior dos juegos de ruedas ó rodillos de fundición que recorren dos trozos de carriles de hierro, el uno colocado cerca del extremo del estribo para la parte voladiza y el otro a donde concluya el tablero que sirve de contrapeso.

Según la descripción que hacen algunos autores, la maniobra de estos puentes se hace por un solo hombre en tres minutos valiéndose de un cabestante, torno u otro aparato análogo.

Aunque con bastantes inconvenientes puede también construirse un puente móvil, de manera que no gire en ningún sentido y si solo avance ó retroceda por medio de ruedas ó cilindros del mayor diámetro posible, que vayan por carriles rectos y paralelos entre sí.

De todas estas clases de puentes que acabo de mencionar, los hay contruidos en el extranjero de madera y de hierro, siendo muy interesante el estudio detallado de cada una de sus partes, que se encuentra en el Bellidor, Sgauzin, Anales de Puentes y Calzadas y otras obras y en cuyo examen no he entrado por no permitirlo los estrechos límites de esta memoria.

Puentes de Madera

Ya he dicho al hablar de la historia de los puentes que desde muy antiguo se establecieron los de madera siendo los mas dignos de citarse de aquella epoca el puente Sublicius, el de Cesar y el de Trajano. El primero construido en Roma en el reinado de Tuco Marcio, era notable segun nos aseguran varios autores por que podia armarse y desarmarse con suma facilidad, no habiendose empleado ninguna pieza de hierro ni clavazon para unir las de madera, que se sostenian con la mayor solidez por su conbinacion y ensamblage. Un entramado de madera colocado sobre filas de pilotes clavados a cierta distancia formaba el puente.

Alberti, Palladio, Scamozzi, Perrol d'Ablancourt y otros nos han dejado varios dibujos del puente de Cesar construido sobre el Rhin y cuya descripcion se encuentra detallada en los Comentarios de Cesar, y si bien aquellos no estan enteramente conformes en todas sus partes, convienen sin embargo en la idea general del puente que consistia en clavar dos filas de pilotes pareados de diez y seis á diez y ocho pulgadas de escuadria y de la necesaria longitud inclinadas ambas hacia el centro del puente y reforzada la de la parte de abajo con fuertes tornapuntas, que aseguraban aun mas el sistema preservandole de la fuerza de la corriente, asi como por la parte de arriba gruesos pilotes clavados verticalmente y á corta distancia de los inclinados servian de tajamar evitando el choque de los troncos de arboles que fuesen por el rio.

Las vigas en que descansaban las carreras del puente estaban apoyadas sobre las piezas que unian con pernos los pilotes pareados de las dos filas y sobre el entablonado ó enfaginado del piso echaban ademas una capa de guijo menudo para su mayor duracion.

El dibujo del puente de Trajano construido sobre el Danubio esta sacado de los bajo=relieves de la columna de aquel nombre, y consiste en tres arcos concentricos de madera que se apoyan en pilas y estribos de silleria por medio de caballetes tambien de madera habilmente

dispuestos. Los arcos estan enlazados entre si y sobre ellos corren por toda la longitud del puente las vigas que sostienen el entramado del piso.

El gran Maestro Palladio en su tratado de Arquitectura presenta perfectamente explicados y detallados algunos puentes de madera que construyó y que son notables por la conuinacion desus partes, y aun cuando no sea mas que por rendir un justo homenaje á aquel celebre Arquitecto haré aqui una ligera reseña de algunos de ellos.

Al pie de los Alpes y no lejos de Bassano establecio sobre el torrente Cismone un puente de madera de un solo tramo de ciento veinte y siete pies de longitud evitando asi la destruccion de los pilares intermedios por la gran velocidad con que corren por alli las aguas arrastrando consigo arboles y piedras de consideracion. Formaban el puente cinco maderos ó cabezales dispuestos según la anchura del puente y sobre las que descansaba el entramado del piso, que si bien no era enteramente horizontal en el sentido de su longitud, presentaba una ságitá tan pequeña que apenas se notaba, haciendo la obra por lo mismo muy buen efecto por su ligereza y atrevimiento.

Todo el entramado estaba suspendido de las dos armaduras que servian de pasamanos y que con las riostras y tornapuntas correspondientes formaban un sistema solido y dificilmente flexible aun con pesos de consideracion pues de la disposicion bien entendida de las diferentes piezas y sus ensamblages resultaban triangulos cuya forma era imposible que se alterase.

Otro puente nos presenta Palladio en que el pasamanos cuya altura es un noveno de la luz del puente era tambien la armadura, compuesta de cinco lados, horizontal el del centro é inclinados los otros hasta morir en los estribos. Los cuatro pendolones que partian de los angulos de la armadura sostenian las vigas transversales en que se apoyaba el entramado del piso, asegurando este sistema con dobles tornapuntas formando cruces de Sⁿ Andres, ademas de las que empotradas en los estribos alibiaban los primeros tramos.

Esta clase de puentes solo sirve para cuando la anchura no escede de catorce á quince pies, pues si fuera mayor seria preciso establecer cuchillos ó cerchones intermedios para sotener los cabezales, mas como esto no fuera facil porque incomodaria para el transito, se han desechado por eso las armaduras superiores al piso del puente remplazandolas con otras por debajo. El mismo Palladio presenta el estudio del puente construido sobre el Brenta de veinte y seis pies franceses de anchura y con cinco claros de treinta y cuatro y medio pies. Las pilas formadas de una sola linea de gruesos pilotes espaciados de dos en dos pies tenian sus tajamares tambien de madera y se aseguraban aquellos por medio de travesaños colocados á diferentes alturas. Sobre los durmientes que descansan en las cabezas de los pilotes y de una á otra pila van las carreras reforzadas con sopandas y tornapuntas y por fin las viguetas y entablonado del piso.

Esta sencillisima disposicion que se ha seguido en muchos puentes modernos presenta la suficiente solidez para tramos hasta de treinta y seis á cuarenta pies, y permite dar al puente la anchura que se desea ó exija el servicio á que este destinado.

Los estribos de los puentes de madera deberán ser de fabrica pero las pilas intermedias unas veces son de filas de estacas y otras de silleria, mamposteria ó ladrillo, que suben hasta el arranque de las maderas ó bien hasta el mismo piso del puente, disponiendose tambien en algunas ocasiones de manera que puedan servir en lo sucesivo para reemplazar los arcos de madera por otros de fabrica. Para calcular el espesor que deba darse á las pilas y estribos debe tenerse en cuenta el sistema que se adopte para combinar las maderas, pues podrá ser tal que no cause empuje alguno y solo deban aquellos sostener el peso de los tramos y cargas accidentales ó bien ocasionarán cierto empuje que naturalmente ha de influir en el espesor. En ambos casos debe conocerse el empuje que han de hacer las tierras sobre los estribos y cuya tendencia es á hacerlos resbalar ó girar sobre su base hacia el rio, y respecto á las pilas se las podra dividir en tres clases Primera Pilas sometidas unicamente á

la presión del piso del puente y cargas accidentales. Segunda Pilas sometidas á empujes laterales iguales y Tercera Pilas-estribos. La destrucción á que están fácilmente espuestos los tramos de madera y la necesidad frecuente de reparar algunas de sus piezas y aun de desarmar completamente un arco ó tramo hace preferible la elección de las pilas-estribos para este género de obras, pues si solo tuvieran el espesor mínimo que puede darse á la segunda clase en que solo se consideran presiones verticales producidas por el peso del puente y un esfuerzo horizontal igual á la diferencia de empujes ocasionada por las cargas accidentales que pueda haber en los dos tramos contiguos ó en uno solo cuando faltan un arco, se perdería el equilibrio de los empujes y la pila no podría resistir al que le produciría el arco inmediato.

Además de las consideraciones que he dicho deben tenerse presentes al establecimiento de un puente para fijar el número de sus arcos, no hay que olvidar otras esenciales cuando deba ser de madera. No basta en este caso que la sección de desembocadura sea suficiente para el paso de las aguas en las mayores avenidas, es preciso que el arranque del maderamen esté á una altura superior al nivel de aquellas, sin lo cual además de la enorme resistencia que tendría que oponer el sistema al choque de las aguas y cuerpos que trajese consigo, se alterarían las maderas por la alternativa de estar al agua y al aire. Aunque los tramos de madera se prestan en algunos casos á mayores aberturas que las bóvedas de fábrica y generalmente con menores sagitas también hay que tener en cuenta que las dificultades de las reparaciones aumentan también con la luz de los tramos, no debiendo olvidar por fin tanto para esta como para la elección del sistema de combinación de las maderas la naturaleza y dimensiones de las que haya disponibles para la obra.

Según la disposición que se dé á cada una de las piezas de madera que han de formar el puente y las funciones que tenga que ejercer así variarían *sus escuadrias*. Estas deberán calcularse con precisión valiéndose de los principios y fórmulas establecidas en cualquiera de los tratados de Mecánica aplicada á las construcciones, sin cuyo requisito es tan fácil cometer graves errores bien dando gruesos desmedidos e

innecesarios ó demasiado pequeños que pongan en peligro la estabilidad de la obra, no sirviendo de manera alguna para estos casos esa ciega practica que suele guiar en ciertas obras á los que se separan enteramente de los principios teóricos ignorando sin duda lo que Vitrubio dice en el capitulo 1º del libro 1º al tratar de La esencia de la Arquitectura.

Como llevo ya dicho anteriormente se ha generalizado la idea de Palladio en el puente de madera sobre el Brenta, para una infinidad contruidos en los tiempos modernos con algunas variaciones necesarias para reforzar mas y mas el sistema en arcos mayores que aquellos por medio de Sopandas, tornapuntas, riostras, travesaños, etc, etc. unos con pilas de silleria, otros con una fila de estacas, ó dos ó tres intimamente ligados entre si con traveseros cepos y dunas, tratando por fin siempre de arreglar un conjunto de piezas sugetas unas con otras por sus extremos y á veces en distintos puntos de su longitud de modo que el equilibrio de este sistema sea estable y por consiguiente invariable en figura. Para conseguir esta invariabilidad deben colocarse las piezas principales segun las lineas rectas que se tiren desde los puntos de apoyo á aquellos en que se ejercen los esfuerzos, pues asi estarán solicitadas tan solo en el sentido de su longitud y no tenderan á girar sobre los extremos en que esten ensambladas, contribuyendo ademas á la trabazon de las piezas de un maderamen cualquiera los cortes bien estendidos que se hacen en ellas para conseguir encajen exactamente ciertas porciones de las unas en las otras.

Son tantos y tan variados estos cortes como que dependen del número, posicion y figura de las piezas que concurren en cada punto de enlace, y tambien de la naturaleza y modo de obrar de las fuerzas á que tienen que estar sometidas. Entrar en un examen detallado de todos ellos seria escesivamente prolijo; su estudio es enteramente indispensable á todo Arquitecto como lo es tambien la Stereotomia, Perspectiva y ciertas aplicaciones de la Geometria descriptiva, de esa parte de las Matematicas que nos sirve para representar con la mayor exactitud los cuerpos cualesquiera que sea su figura y posicion en el espacio, bien

estén aislados bien en contacto con otros ó formando intersecciones entre sí ó con líneas ó con superficies. La Geometría descriptiva es en fin el lenguaje del Arquitecto, sin ella difícilmente puede concebir un proyecto y mucho menos expresarle á los demás con la debida claridad y precisión, viéndose también parado al llevarle á cabo si desconoce sus aplicaciones.

Al principio de este siglo se han construido en Alemania famosos puentes de madera que no es fácil se establezcan en nuestro país por aquel estilo por necesitarse maderas de grandes dimensiones. El que hizo Mr. Wiebehing sobre el Regnitz en mil ochocientos nueve es de un solo claro de doscientos veinte y seis pies luz: tiene únicamente tres cuchillos ó cerchones, los dos de los frentes del puente y otro en el centro, formados de cinco filas de gruesos maderos ensamblados á diente encorvados según la curvatura que se desee é íntimamente unidos entre sí por pernos y cinchos de hierro que evitan además se pierda al pandeo. La altura que forman estos cinco maderos puestos unos sobre otros es de más de siete pies, y á fin de poder renovar alguna pieza ó practicar las reparaciones que se necesiten, son dobles los cerchones de las cabezas, y el del centro está reforzado con tres hileras de piezas también curvas. Sobre esta cimbra curva trasmite su carga el piso del puente ligeramente inclinado desde el centro á los estribos por medio de gruesos maderos normales á aquella ensamblados á cepo y provistos de su herraje correspondiente, además de las riostras, puentes y tornapuntas que enlazan los de un cerchon con otro para fortalecer más el sistema y servir al mismo tiempo para sostenimiento del maderamen del piso.

Para esta disposición es indispensable de antemano doblar las maderas por medio del vapor en aparatos hechos á propósito como los que existen en los arsenales para dar luego á las diferentes piezas de los buques la curvatura que deben tener con mucha más economía que empleando la sierra y el hacha que tanta madera desperdician.

El mayor puente de madera que se ha construido es el de Filadelfia en los Estados Unidos de trescientos setenta pies de cuerda el solo arco

rebajado de que está formado. Llamenle el Coloso y su sistema es una imitación del aparejo de los arcos de sillería pues consta de dovelas formadas por armazones de madera muy bien dispuestos y con pocas ensambladuras pero con muchos tirantes, cinchos y pernos de hierro.

Los sistemas de armaduras introducidos por Philibert Delorme y el Coronel Emy han tenido naturalmente también una grande aplicación en la construcción de los puentes, bien sirviendo de tales ó como cimbras en los arcos de fábrica, y su uso indudablemente se extenderá más y más porque escaseando las maderas de grandes dimensiones es indispensable componerlas artificialmente, como se hace también ya con los mastiles y vergas de los buques según se ve detalladamente en una memoria publicada por M. Boucher, en mil ochocientos treinta y dos.

Philibert Delorme forma sus cerchones con tabloncillos planos y curvilíneos adaptados perfectamente en su superficie de manera que las juntas normales al arco correspondan al medio de los macizos y sujetándolos en seguida con pernos distribuidos con oportunidad. Para mantener cada cerchon en su posición respectiva coloca varios tirantes que los atraviesen fijándolos después con clavijas y cuñas, y es tal la disposición que resulta de este modo que los esfuerzos á que tienen que estar sometidas las piezas obran principalmente en el sentido longitudinal de las fibras, que es lo que debe siempre procurarse en las obras de madera.

El coronel Emy no emplea madera corta de seis á ocho pies como el anterior; maderos largos serrados en tablas delgadas y puestas las unas sobre las otras á la manera de los muelles de los carruages constituye la parte principal de su sistema; que se ha aplicado con muy buen éxito en diferentes obras públicas, si bien tiene el inconveniente como todos los demás puentes formados de cimbras de ensamblaje, de no prestarse á reparaciones parciales siendo preciso para renovar una tabla que se haya podrido, desarmar enteramente una porción de la cercha en que se encuentre.

M. Town ha imaginado en los Estados Unidos un nuevo sistema de puentes de madera que según la relación que hace M. Ponsin en su memoria sobre las obras públicas de aquel país consiste en establecer una red de cruces de Sⁿ Andrés a manera de celosía entre las carreras o vigas que sostienen el piso y las que forman el pasamanos a las que están sujetas sin ensamblaje alguno por medio de clavijas de hierro que evitan los malos efectos que produce la penetración de unas maderas en otras. Además de esta ventaja la acción de las cargas distribuida en gran número de puntos obra siempre en el sentido de las fibras; las pilas y estribos pueden reducirse al mínimo de su espesor por no resultar empuje alguno, la reparación de una pieza cualquiera se hace fácilmente y sin que se altere el sistema y por fin estando cubiertos como muchos de los puentes de Alemania se conservan mucho más las maderas que cuando están a la intemperie, ventajas todas muy marcadas y que harán apreciable la idea de Town cuando se recojan los datos suficientes para comparar la duración de sus puentes con los establecidos anteriormente por los demás sistemas.

Con todos estos antecedentes paso ya a dar una ligera reseña del materialismo de la construcción de estos puentes asunto tan extensamente tratado en varios autores y en especial en la otra que el Ingeniero Emmerly ha publicado sobre la construcción del puente de madera con pilas y estribos de mampostería ejecutado en Yury sobre el Sena obra que por sus muchos y minuciosos detalles es un verdadero Manual en este género.

Cuando las pilas son de madera se forman generalmente de gruesos pilotes azuchadas sus puntas y clavados convenientemente por medio de máquinas o martinets que suelen colocarse de diferentes modos, según las circunstancias locales, estableciéndolas sobre barcos anclados cuando lo exige la demasiada profundidad de las aguas. A esta fila de pilotes se une otra, que llega hasta la parte inferior del puente, de manera que proporcione la debida estabilidad por la parte empotrada en el terreno, sin que para alcanzar al piso del puente sean indispensables maderas de grandes dimensiones que en otro caso deberían emplearse, si

bien sería mucho más difícil atender á las reparaciones parciales, tan comunes y frecuentes en maderas, que están alternativamente espuestas al aire y al agua.

Si la naturaleza del terreno, que se conocerá por medio de la sonda y la mayor ó menor resistencia que esperimenten los pilotes al clavarse, exigiese establecer en vez de una sola fila de pilotes sumergidos, otra ú otras, no se debería dudar en ponerlas, aunque se aumente el coste, para evitar así un accidente funesto en la obra: mas si el terreno fuese tan firme que reusase los pilotes, la línea inferior de estos desaparecería, bastando entonces solo las de sostenimiento del puente que se encastrarían algo en el terreno, para evitar su movimiento, ó bien se sujetaría su pie por medio de un trozo de obra de fábrica ó escollera.

Cuando las pilas tengan que resistir al empuje de los tramos, debe haber por lo menos dos filas espaciadas entre sí convenientemente y unidas con traveseros, tornapuntas y demás piezas para formar un todo resistente.

Para evitar las corrosiones y remolinos suele cubrirse el lecho del río con escollera, enfagados y á veces con un emparrillado de madera.

En los ríos que llevan sus aguas grandes témpanos de hielo ó arrastran piedras, árboles etc, se colocan á la parte superior del río y frente de las pilas unas especies de tajamares de pilotes, que eviten el choque de aquellas masas con el maderamen de la pila.

Para el establecimiento del maderamen sobre las pilas y estribos sirven los andamios suspendidos ó colocados sobre barcos anclados, colocándose por partes las piezas de cada cuchillo, escepto en los arcos á lo Philibert ó por el sistema del Coronel Emy, en cuyo caso se levantan en masa los cerchones por medio de cabestantes que pueden hallarse, bien sea sobre los puentes provisionales que se establezcan ó bien sobre barcos, balsas, etc.

No concluiré esta parte, sin manifestar las grandes ventajas que se consiguen de pintar perfectamente al oleo todas las maderas, pues no solo contribuye á su duracion, sino que proporciona una buena vista, si se combinan bien los tintes, deviendose renovar la pintura con la frecuencia que sea necesaria para que nunca falte esta capa, que disminuye considerablemente los perniciosos efectos de la humedad.

Cuando las pilas y estrivos sean de fabrica, se construiran por el mismo sistema, y teniendo á la vista cuantas consideraciones y precauciones se manifiestan al tratar de los puentes de fabrica.

De los Puentes Fijos de Hierro

Cuantos principios se indican para el establecimiento de los puentes en general y de los de fabrica en particular, deben tenerse presentes para los fijos de hierro.

La gran resistencia que como la piedra, presenta el hierro fundido á los esfuerzos que tienden á romperle por presion y la que tiene el hierro forjado para resistir como la madera á los que tienden á alargar sus fibras, son las bases en que se apoya la construccion de los arcos metalicos.

El hierro forjado no puede dar piezas de grandes dimensiones, tanto en su seccion transversal, como en su longitud, siendo necesario apelar á soldaduras que sobre ser dificiles y costosas alteran la homogenidad de la pieza. La fundicion por el contrario se presta muy bien á adquirir la figura mas conveniente y aproposito para el maximun de resistencia, pero tambien es dificil obtener piezas grandes bien fundidas, sin muchas dificultades y enormes gastos. Por esta razon el profesor que trate de establecer un puente de esta especie, debe combinar de tal manera las partes que deban ser de hierro fundido y las de hierro forjado, que sin necesidad de hacerlas de mayor dimension que las que comodamente se hallan en los talleres y fabricas, presenten por su habil colocacion la

mayor resistencia y duracion, componiendose de trozos enteramente semejantes, para que con la repeticion del trabajo, salgan aquellos con la exactitud y uniformidad que se requiere.

Una ligera descripcion de algunos de los puentes de esta clase, contruidos en el extranjero es en mi concepto, el mejor medio, para explicar los diferentes sistemas que pueden adoptarse.

El primer puente que se ha construido de hierro, es el de Coalbrook-Dale sobre el rio Severn en Inglaterra en el año de mil setecientos setenta y nueve; componese de un arco casi semicircular de unos treinta y dos pies de radio, que arranca sobre los macizos de fabrica que forman los estrivos de manera que la linea de las mayores avenidas solo llega hasta donde empieza el arco de hierro forjado; componese este en toda su anchura de cinco cerchones ó cuchillos metalicos unidos entresi por traveseros horizontales del mismo metal, y otros en diagonal, que fortifican el sistema. Otras dos porciones de arcos concentricos al anterior, y que desde los estrivos ban á terminar al piso del puente, constituyen y completan el armazon, pues estan unidos entre si por piezas tambien de hierro, dispuestas de trecho en trecho en direccion de los radios. Todo el puente esta cubierto por una moldura de hierro, que vuela algo sobre ambos frentes del arco, concluyendo con una barandilla de hierro fundido bastante elegante. El piso ó firme esta formado de una capa de arcilla y escoria de fragua.

En los puentes de Sunderland, Stains y Austerlitz se han formado unos armazones de hierro fundido en forma de dovelas, de manera que su altura esta compuesta de tres arcos concentricos rebajados con porciones de radios, que los unen intimamente ademas de los traveseros horizontales que ligan los dos frentes de cada dovela. Seis cuchillos, perfectamente iguales, forman todo el ancho del puente y sobre ellos descansa el piso por el centro, pues por los riñones se han colocado anillos circulares de hierro, que los rellenan, y por los que se transmite el peso del puente al arco, y con el objeto de disminuir los malos efectos de la trepidacion y del choque que causa el paso de los carruages y