## CAPÍTULO VI.

ACUEDUCTOS, PUENTES, VIADUCTOS.

Cuando un terraplen cruza algun arroyo, ó cuando formando una especie de dique, impide que el agua de las lluvias corra de un lado á otro de la superficie del terreno, es necesario que esté atravesado en ciertos lugares por acueductos, alcantarillas ó puentes pequeños que den paso á las aguas; porque de otra manera, cargándose estas contra el terraplen, lo deteriorarian mas ó menos violentamente y aun podrian destruirlo del todo. El lugar en donde deben colocarse los acueductos ó puentecitos, lo indica la situacion de los arroyos y la configuracion del terreno, en el que siempre es fácil distinguir el curso que toman habitualmente las corrientes de agua temporales. Sus dimensiones dependen de la cantidad de agua que puedan tener que evacuar en un tiempo determinado; y suministrarán los datos principales para calcularlas aproximadamente, la medida de la extension superficial de los terrenos adyacentes cuya pendiente se dirija hácia el terraplen, su inclinacion, su grado de permeabilidad, y el exámen de las observaciones meteorológicas hechas durante una larga serie de años; ó faltando éstas, los informes de los habitantes mas antiguos del lugar, sobre la mayor cantidad de agua que alguna vez hubiere caido; pero siempre convendrá adoptar dimensiones mayores que las que se deduzcan de esos datos, para precaverse en lo posible contra todo evento extraordinario. Vamos á probarlo con un ejemplo: en el terraplen de 1,500 ms. de largo, construido en medio del llano del Espartal, para el ferrocarril de Veracruz á Medellin, habiamos colocado cinco puentecitos, que segun los informes tomados de los vecinos mas antiguos, debian ser mas que suficientes para no interrumpir el paso de las aguas que anualmente filtran de los médanos inmediatos, y casi sin corriente van á depositarse en ese llano en los meses de Junio hasta Noviembre, y luego desaparecen completamente por evaporacion. El terraplen se hizo horizontal en toda su extension, y se le dió la misma altura que la que tenia en el ferrocarril de San Juan, el punto en que el camino de Medellin se unia con aquel, que dista del Espartal unos 400 metros, y está contenido en la PUENTE DE TREILLIS DE OFFEMBURGO.

misma hondonada del terreno. En diez años que tenia de existencia el terraplen del ferrocarril de San Juan, el agua en las mayores crecientes, siempre habia quedado lo menos á 75 centímetros mas abajo del punto de union; y como ademas se habian hecho comunicar los fosos de ambos caminos, todo inducia á creer que el terraplen del Espartal quedaba tan libre de toda peligrosa eventualidad, como lo habia estado durante tantos años el del camino de San Juan. No obstante, en los últimos dias del mes de Julio de 1861, unos copiosísimos aguaceros que cayeron casi sin interrupcion durante 78 horas, en una zona de mas de 100 leguas de largo y 30 de ancho, hicieron salir de su cauce todos los rios que desembocan en la costa del Estado de Veracruz; y entre ellos el Jamapa, que corre á dos leguas de distancia del Espartal; y cuyas aguas llegaron hasta la hondonada, lanzándose en ella con impetuosidad nunca vista, y cubrieron los terraplenes del ferrocarril de San Juan y de Medellin. El primero, gracias á su antigüedad, nada sufrió; pero el segundo, que acabada de levantarse y se hallaba todavía sin revestimiento, cedió á la fuerza del torrente que le abrió dos anchas brechas, y el tráfico estuvo paralizado mas de dos meses. No debiamos desaprovechar la leccion, y en lugar de cerrar de nuevo el terraplen, dejamos las brechas como las habia formado la naturaleza, é hicimos pasar la via sobre puentes de estacas, por donde creemos podrán desahogarse, sin causar daño, todas las inundaciones por venir. Casos semejantes y mucho mas funestos han tenido lugar en otros paises; pero citando el único desgraciado, aunque bien difícil de prever, que hemos experimentado en nuestra práctica, queremos dar á conocer cuánto cuidado exigen los detalles de un ferrocarril, aun los que á primera vista pueden juzgarse insignificantes, y lo que aventura cualquiera que limita sus previsiones á lo que ve ú oye decir, tratándose de obras que han de quedar expuestas á la accion violenta, caprichosa é inconmensurable de los elementos.

La altura á veces considerable de los terraplenes, la sobrecarga producida por el enorme peso de los trenes, cuya accion extraordinariamente aumentada por efecto de la velocidad, se hace sentir ó se suspende instantáneamente; lo difícil que es hacer las reparaciones en una via ya en explotacion, y la consideracion de los graves trastornos y pérdidas que ellas ocasionan, cuando para hacerlas es necesario suspender el tráfico por algun tiempo, obligan á construir los puentes de los ferrocarriles con mas solidez que los de los caminos ordinarios.

La piedra dura labrada, el ladrillo recocido y el

buen cimento hidráulico, son los mejores materiales que pueden emplearse para los acueductos ó alcantarillas; el fierro tambien es bueno. Pero no en todas partes se encuentran esos artículos á precios cómodos, y hay necesidad de hacer uso de otros, escogiendo los de mayor resistencia y duracion. Aun á la madera de mala clase se puede recurrir, con tal que resista hasta que llegando la via férrea á puntos mejor provistos, sea fácil reemplazarla; pero entonces, debe darse á las obras la abertura conveniente, para que en su interior puedan despues construirse las que las han de reemplazar. En los ferrocarriles de Veracruz á San Juan y á Medellin, por la carestía de la cal, de la piedra y de la mano de obra, se adoptaron para hacer los acueductos el chicozapote y el jabí; dos maderas de gran resistencia que permanecen muchísimos años sin alterarse, con tal que estén constantemente en la humedad y fuera del contacto del aire.

No podemos entrar aquí en la discusion de las diferentes formas ó trazos que, segun su tamaño y las circunstancias, puede darse á los acueductos ó puentes de desagüe, para lograr que siempre vaya unida con la solidez, la economía; ni tampoco podemos describir los varios métodos que convendria usar, segun la calidad del terreno, para procurar que estas obras descansen sobre una base perfec-

tamente firme, sin cuyo requisito no podria confiarse en su duracion. Para tratar esta parte interesante del arte del constructor, tendriamos que entrar en detalles técnicos que no cabrian en el plan que nos hemos propuesto: escribir para los que no han de ejercer nuestra profesion. Nos limitaremos, pues, á indicar que toda vez que la altura del terraplen y las exigencias del desagüe lo permiten, los acueductos y puentecitos de mampostería deben hacerse de bóveda; los muy pequeños, sin embargo, suelen construirse como las atarjeas de México, asentando simplemente tapas de piedra dura sobre los dos muros verticales de los costados. El fondo debe quedar bastante bajo, para dejar muy franco el paso de la corriente y evitar toda resaca. Cuando se emplea madera en los cimientos, debe procurarse que siempre quede cubierta con agua, ó á lo menos fuera del contacto inmediato del aire atmosférico. Debe preferirse hacer de mampostería los fondos que tengan que permanecer unas veces en seco, y otras en el agua; pues bajo tales condiciones, la madera no podria durar.

El revestimiento del fondo, debe prolongarse lo bastante fuera de la bóveda, y quedar protegido por delante con estacas, tablones ó piedra, para impedir que el agua se introduzca por debajo, y mine los cimientos. Los muros del frente y los de las alas, ó de retorno, que completan la construccion de estas obras, tienen no solo por objeto despejar el acceso á los cañones de desagüe, sino igualmente el de evitar que en las inundaciones, colándose el agua entre el terraplen y la mampostería, acarrée la muy pronta destruccion de la obra. Es necesario escoger la tierra con que se cubren los puentes de desagüe, y pisonearla fuertemente para hacerla, si es posible, impermeable.

Recordaremos, por último, que se debe dejar que las obras de mampostería hayan hecho su asiento, para cubrirlas con el terraplen, ejecutando la operacion por partes, y por ambos lados á la vez.

Obras de mayores dimensiones llamadas puentes y viaductos, se necesitan, para que un ferrocarril pueda cruzar un rio, una barranca profunda, un canal ú otro camino situado á un nivel mas bajo ó mas alto que el suyo. La madera, la piedra, el ladrillo, el fierro colado, ó el fierro forjado, son los materiales que se han empleado en estas obras; pero sin obtener, por supuesto, con todos ellos, las mismas ventajas de economía y duracion.

La madera, lo sabemos, dura poco, aun en las casas y otros edificios en que no está sometida á cargas fuertes, y se halla al abrigo de la intemperie. Mucho menos puede durar, y la experiencia lo ha demostrado terminantemente, en los puentes de ferrocarril, en donde ademas de las alternativas del sol y de la lluvia, tiene que sufrir continuas vibraciones que aflojan todas las ensambladuras, y desagregan sus fibras. La pintura y los barnices podrán retardar la pudricion y la picadura; pero tambien pueden ocultar la deterioracion interior de las piezas, y exponer á que se siga usando como sólido, un puente que ya no presente realmente ninguna seguridad. La madera está igualmente sujeta á incendiarse, como sucedió con el puente de Asnières cerca de Paris, que despues fué reemplazado con otro hermoso de hierro. Estos puentes han tenido, sin embargo, mucha aceptacion en Europa; y hasta hace poco, casi no los habia de otro material en los Estados-Unidos del Norte; allí la madera era abundante y barata; y la multitud de ferrocarriles que se construyeron al mismo tiempo por compañías que á menudo no contaban con ningun capital, debia necesariamente influir en la calidad de las obras, y darles ese carácter provisional que se nota en la mayor parte de las líneas americanas. (1) Tambien debe esto atribuirse á que en un cortísimo número de años, el inmenso territorio de la Union, no solo quedó cruzado en toda su extension, por ferrocarriles que á veces recorrian distancias de centenares de millas completamente despobladas, sino que por todas partes se construyeron al mismo tiempo canales, caminos carreteros, puertos, edificios suntuosos, y otras obras públicas y privadas de grande importancia, que hicieron subir mucho el precio de la mano de obra y de los buenos materiales de construccion.

Tanto en Europa como en América, el uso de la madera va desapareciendo de los puentes algo considerables, y se reserva para los de poca importancia, ó para los viaductos muy elevados de los ferrocarriles de segundo órden; por la facilidad con que pueden combinarse sus piezas para salvar grandes claros, y la comodidad para las maniobras á grande altura, á que se presta mejor que ningun otro material. Empleada en esas circunstancias, la madera queda fuera de la capa de humedad que cubre siempre la superficie de los rios, y que tanto influye en su pudricion.

Con la piedra de sillería ó ladrillo y buena mezcla, se construyen las obras mas elegantes, resistentes y duraderas; como las que se admiran en casi todos los ferrocarriles de Europa. Estos materiales son en algunas partes los mas económicos; y empleándolos segun los métodos perfecciona-

<sup>(1)</sup> En la L\u00e1mina II, figura 4, puede verse un puente de madera del sistema mas usado en los Estados-Unidos.

dos de nuestros dias, las construcciones pueden erigirse en tan breve tiempo como cuando se hace uso del fierro; sin embargo, la piedra de mejor clase no se presta fácilmente á la construccion de puentes de mas de 50 metros de abertura.

El uso del fierro colado era antes bastante frecuente en los ferrocarriles; principalmente en Inglaterra, en donde Robert Stephenson construyó con ese metal, el gran puente de Newcastle, de 408 metros de largo. Pero en el dia, ya no se emplea sino para pequeñas aberturas; y aun entonces, requiere el mas escrupuloso cuidado; porque está sujeto á sacar muchos defectos en su fabricacion, algunos de ellos, como los vientos ó rebolliduras, enteramente invisibles y tanto mas peligrosos. El metal vaciado en los moldes, se contrae al enfriarse y varía por consiguiente de dimensiones. Si el enfriamiento no es lento y uniforme, si en unas partes se opera bruscamente, y en otras se retarda, como acontece en las piezas que tienen molduras, huecos, ó variedad de espesores; el hierro colado adquiere en todas esas partes, distinta dureza y diferentes temples que afectan diversamente su resistencia. La forma misma de las piezas, está pues limitada por las dificultades de la fundicion; y para obtener la resistencia conveniente, es muy á menudo necesario, gastar un exceso de metal. Tampoco puede darse á las piezas cualquiera longitud, sin exponerse á gravísimos accidentes. Mr. William Fairbairn, despues de haber hecho varias experiencias sobre fierros ingleses de superior calidad; opina, que no deben usarse piezas de fierro colado de mas de 14 metros de largo; y muy acreditados ingenieros, encontrando todavía demasiado grande esa longitud, aconsejan no pasar de 12 metros. Cuando se requieren piezas mas largas, es necesario hacerlas en varios trozos, y pasar por el grave inconveniente de las ensambladuras.

Segun Mr. Eaton Hodgkinson, muy conocido en el mundo industrial por sus experiencias sobre los fierros; una pieza de fierro colado resiste á una fuerza de compresion, seis veces mayor que la que se necesitaria para romperla estirándola; esto explica por qué ya generalmente no se le emplea, sino en donde solo tiene que soportar esfuerzos de compresion. Sin embargo, su uso puede ser ventajoso en algunas circunstancias, aun sometido al estiramiento; así por ejemplo, Mr. Eugène Flachat, hábil ingeniero frances, lo empleó con muy buen éxito en los puentes que para soportar las calzadas, tuvo que hacer sobre el ferrocarril de Paris á Auteuil debajo de algunas calles de Paris. Estos puentes tienen entre los estribos 7 me-

tros de ancho; se componen de trabes ó vigas de hierro colado, de 8.<sup>m</sup> 50 de largo y de 0.<sup>m</sup>60 á 0.<sup>m</sup>80 de peralte, situadas á 2.<sup>m</sup>20 de distancia una de otra, y reunidas trasversalmente por otras piezas que dividen en tres partes iguales la distancia de 7 metros, y reciben unas bóvedas formadas de dos anillos de ladrillos. Estos puentes son muy rígidos y vibran casi nada, por causa de la masa de mampostería que liga las trabes y el peso considerable del puente relativamente á la carga que soporta.

Mr. Couche, el eminente profesor de la escuela de minas de Paris; hablando de los puentes de hierro colado, dice: (1) "No se puede pensar hoy en "rehabilitar completamente las trabes (poutres) "de hierro colado; pero si se les ha bien y debi-"damente condenado para los grandes claros, se "les puede sin embargo, emplear ventajosamente "y con toda seguridad, en pequeña escala. Tra-"tándose de pequeñas secciones trasversales, se "puede contar con la proporcionalidad de las re-"sistencias á las áreas de esas secciones, y evitar "fácilmente las rebolliduras y otros defectos de "fundicion.

"Respecto de los arcos, el hierro colado puede "perfectamente sostener la comparación con la pie"dra, dentro de los límites ordinarios de abertura v "rebajamiento; y lejos de disminuirse, sus ventajas "crecen cuando estos límites se dilatan; de suerte "que puede muy bien emplearse, cuando el uso de "la piedra llega á ser impracticable; debido á que si "por un lado, el peso del hierro colado es mas ele-"vado que el de las piedras mas densas, por otro, "su resistencia es en mucha mayor proporcion su-"perior á la de las piedras mas tenaces. No es, "pues, solamente bajo la forma de trabes ó vigas, "que la introduccion de los metales ha dilatado "los límites de abertura dentro de los cuales te-"nian antes que encerrarse los ingenieros; y si "en otro tiempo pudo disentirse sobre el partido "que podia sacarse del hierro colado para arcos "de grandes claros, la duda no es ya permitida, "en presencia del puente de Beaucaire." (1)

Tratando de utilizar las propiedades diferentes del hierro colado, y del hierro forjado, se ha hecho uso de ellos en la construccion de una misma trabe, poniéndolos en disposicion de que trabajen constantemente, el uno bajo fuerzas de compresion, y el otro bajo fuerzas de estiramiento; pero la ejecucion de esta clase de trabes presenta dificultades no pequeñas para las ensambladuras. Siendo ade-

<sup>(1)</sup> Annales des ponts et chaussées. 1854. Chemins de fer allemands.

<sup>(1)</sup> Este puente tiene 60 metros de claro, 5 metros de montea y 92.º50 de radio de intrados.

mas distinta la elasticidad de los dos metales, las flechas de curvatura que se producen cuando la trabe queda sometida al peso que tiene que soportar, no pueden ser iguales; y muchas ensambladuras tienen que resistir, á esfuerzos á veces demasiado considerables que tienden á destruirlas. Auméntase en fin este inconveniente, con la desigual dilatacion, bajo la influencia de la temperatura. Creemos, sin embargo, que á pesar de tantos inconvenientes, los puentes de esta clase, cuya fabricacion va perfeccionándose de dia en dia, llegarán á ser los mas usados. (1) Los que hemos visto en los Estados-Unidos en el Baltimore-and-Ohio-Railroad, y los del Central-Illinois, del sistema que llaman Whipple-iron-bridge, reunen á la resistencia mas apetecible, gran sencillez y baratura. Tal era la opinion de mi amigo el ilustre general G. B. Mac-Clellan, que entonces se encontraba de ingeniero en gefe en el Ohio and Mississipi railroad; y no hace mucho, era el general en gefe del ejército de los Estados-Unidos de América.

La necesidad de encerrar entre ciertos límites, la inclinacion longitudinal de un ferrocarril, y los radios de las curvas, que podrian hacer muy penosa

y antieconómica la explotacion; las dificultades que se encuentran en muchos terrenos para cimentar obras de considerable peso y elevacion; y la grande amplitud que hacen necesaria en los claros de un puente ó viaducto, las exigencias de una activa navegacion; eran antes de 1850, embarazos que solo podian superarse á fuerza de inmenso trabajo y de cuantiosas sumas de dinero; y que frecuentemente obligaban á variar el trazo del ferrocarril, 6 impedian su ejecucion. Pero desde aquella época memorable, todos los obstáculos, puede decirse, que han desaparecido, gracias á la ingeniosa y admirable aplicacion que hizo del hierro laminado, el célebre ingeniero inglés Robert Stephenson, á quien los ferrocarriles debian ya sus principales adelantos, y cuyo nombre ningun ingeniero puede recordar sin experimentar un vivo sentimiento de gratitud y veneracion. Los mismos lugares de la costa occidental de Inglaterra, frente á la isla de Anglessey en que Telford se habia inmortalizado en 1822, construyendo dos hermo-· sos puentes colgantes; debian hacer brillar el talento y establecer la fama imperecedera del inventor de los puentes tubulares, una de las maravillas de este siglo, tan fecundo en grandiosas construcciones.

ACUEDUCTOS, PUENTES, VIADUCTOS.

Tratábase en 1847 de hacer atravesar al ferro-

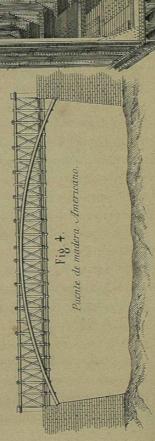
<sup>(1)</sup> En la Lám. III, fig. 7, puede verse el puente echado sobre el Harper en los Estados-Unidos, el cual está construido con las dos clases de fierro.

carril de Chester á Holyhead, la embocadura del Conway y el estrecho de Menai: éste último, de 1,100 piés ingleses de ancho, es muy frecuentado por buques de gran porte, á cuya navegacion no debia crearse ningun obstáculo; en consecuencia, el almirantazgo inglés exigia que el canal quedase libre en toda su anchura, que ninguna de las piezas del puente se situase á menos de 100 piés de altura sobre las mas altas mareas, y que dentro de esa altura, no se levantasen para la construccion, ni cimbras ni andamios de ninguna clase. Unicamente se permitia la ereccion de un pilar sobre la roca Britannia, que viene á quedar casi en el centro del canal, y que ha dado su nombre á la obra gigantesca que vamos á describir brevemente (1).

Las duras condiciones á que era preciso sujetarse, no arredraron ni un momento á Robert Stephenson. Su genio le sugirió un pensamiento atrevido; no pudiendo salvar la distancia por medio de arcos, sin erogar sumas incalculables, propúsose hacerlo por medio de una enorme viga hueca, ó tubo cuadrado de hierro, que debia descansar sim-

<sup>(1)</sup> Bajo la direccion de Robert Stephenson, Mr. Edwin Clark, ha publicado en Lóndres una interesantisma monografía sobre el puento "Britannia," de la que hemos tomado nuestros apuntes. Allí se encuentran cuantos detalles puedan desearse sobre esta empresa gigantesca. A description of the Britannia and Conway tubular bridges, including an historical account, etc., etc.

Fig. 5.
Puente Brilumia



plemente sobre tres pilares y dos estribos; del mismo modo que en los edificios comunes, descansan sobre sus apoyos las vigas ordinarias de madera. Por dentro de esta viga ó tubo habian de pasar los trenes del ferrocarril.

El tubo debia dividirse para su construccion, en cuatro tubos parciales correspondientes á los claros del puente; los que despues habian de quedar unidos de manera á formar una sola pieza de 1,500 piés ingleses de largo (Lám. II, fig. 5 y 6).

Los dos tubos de las extremidades debian ser de 250 piés de largo, 25 piés de altura media y 14 piés 8 pulgadas de ancho exteriormente; y como no quedaban sobre el canal, podian construirse sobre andamios en el mismo lugar en que debian quedar colocados. Los tubos del centro debian tener cada uno 472 piés de largo, 29 piés de altura media, y 14 piés 8 pulgadas de ancho exteriormente. Su peso debia ser de 1,600 toneladas; y como no podia erigirse ningun andamio sobre el canal, Robert Stephenson resolvió construirlos en la costa, y una vez terminados, trasportarlos y alzarlos de una sola pieza, hasta dejarlos asentados sobre sus pilares á una altura de 102 piés.

Los que conocen la ciudad de México, pueden representarse con alguna aproximacion, la magnitud de cada tubo central figurándose su largo, do-