

CAUSAS DE LA CAIDA DE LOS PUENTES

En la sesión pasada prometimos ocuparnos en ésta de algunos de los puntos tocados por nuestro compañero Casanova en su bien estudiada conferencia acerca de la caída de nuestros puentes.

La primera causa de la caída de un puente, i que vamos a analizar, es la que se refiere a la ubicación, íntimamente ligada con la que se refiere a la falta de reconocimiento de la naturaleza del terreno de fundación, ya que en un gran número de casos será ésta (la naturaleza del terreno) de una influencia decisiva. Se comprende en efecto, que un cálculo comparativo deberá ser el que fije hasta qué límite será ventajoso, económica i científicamente hablando, desviar la dirección jeneral de una vía para conseguir una mejor situación de la obra de arte que ha de salvar el paso de una corriente. Casi todos los tratadistas establecen, es cierto, que el puente ha de ubicarse entre *barrancas estables* i que su situación fija un punto de pasaje obligado. No estamos de acuerdo en esta apreciación. Creemos que la ubicación de un puente es consecuencia de circunstancias locales que deben aquilatarse cuidadosamente en cada caso particular. ¡Qué aspecto sinuoidal mas injustificado hubiese tomado nuestra línea central si la ubicación de cada uno de sus puentes hubiese impuesto un punto de pasaje obligado! Cuánto hubiese aumentado su longitud con perjuicio de la explotación i de las propias poblaciones que reclamaron su establecimiento.

Puede, pues, llegar frecuentemente el caso de no ser posible echar el puente en un sitio estrecho del cauce, entre *barrancas estables*, i verse obligado a ubicarlo en una parte ancha, con riberas débiles i aun con la circunstancia de tener fondos de terreno removible. En tal evento, necesario es confesar que aparecen inmediatamente todos los peligros provenientes de las variaciones de la corriente en un lecho sin *límites precisos*: ataque de terraplenes de acceso; ataque de los machones por el costado, etc. Es, pues, necesario conjurar esos peligros; i esta es, a nuestro juicio, la primera obligación del ingeniero: proyectar simultáneamente con el puente, las obras de defensa necesarias para asegurar su estabilidad i construir esas obras conjuntamente con el puente, i si posible fuese, con anterioridad.

Por lo demas, esta mala ubicación, si mala puede llamarse cuando no hai otra mejor, impone al ingeniero el deber de dedicar una atención preferente i mui cuidada al sistema de fundación que ha de adoptar para los apoyos.

Ni la mala ubicacion, ni la mala calidad del terreno de fundacion, son, a nuestro juicio, causas que determinan por sí solas la caida de un puente. Las causas podrán, en este caso, tener su origen en la falta de las obras necesarias para mantener el perfil de la corriente, en plano, aguas arriba, en condiciones adecuadas para el buen escurrimiento de las aguas a su paso por los tramos del puente, de la mala eleccion o de la mala ejecucion de las fundaciones o de otras circunstancias ajenas a este primer punto (la ubicacion i la naturaleza del suelo) o bien, esa causa puede provenir de la mala conservacion de las obras antedichas, si ellas han ejecutado primitivamente con el cuidado debido.

“*Dos clases de remedios pueden aplicarse*, ha dicho el señor Casanova, *a un puente mal ubicado: los remedios temporales i los permanentes,*” pasando, en seguida, a indicar en qué consisten ellos.

En nuestra opinion, el primero es costoso e inadecuado a nuestros hábitos. De aquí que sea, entre nosotros, relativamente ineficaz. Por lo demas, es sabido que esos cauces artificiales, labrados a gran costo, son *borrados* en un periodo muy corto, tanto mas corto cuanto mayor sea la cantidad de sedimentos arrastrados por la corriente.

En cuanto a los remedios permanentes, diferentes en cada caso particular, son los que deben adoptarse entre nosotros, a condicion de que sean construidos a tiempo, con todas las precauciones i tomando en cuenta todos los factores que intervienen en esta clase de trabajos. i que ellos no sean despues abandonados a la inclemencia del tiempo.

Encauzada la corriente i bien dirigidas las aguas a su entrada al puente, subsiste aún el peligro de las socavaciones del lecho. Dos medios ha indicado tambien el señor Casanova para evitar sus malas consecuencias. “Uno que consiste en proteger aisladamente cada apoyo mediante enrocados arrojados a su pié, i el otro que consiste en reunir aquéllos por un zampeado jeneral.” Este último método, que como procedimiento de fundacion aplicable a terrenos *resistentes alterables* (cascajo, arena, tosea blanda, etc.), cuando no se quiere llevar las fundaciones hasta el terreno firme, persigue dos objetos: repartir la presion sobre el terreno i defender los apoyos contra las socavaciones, ha sido ya completamente abandonado. La razon de este abandono se justifica por su costo excesivo, amen de que el primer objeto sólo lo consigue en parte cuando la distancia entre los apoyos es considerable.

Entre nosotros los inconvenientes que presenta, dada la naturaleza de nuestros rios, justifica aun mas su poco uso. En efecto, la experiencia ha indicado que su empleo es inconveniente cuando la velocidad de las aguas es considerable, llegando a considerarse peligroso oponer a las corrientes de régimen torrencial un suelo firme que impida a las aguas labrar su lecho entre los apoyos, privando al puente de un aumento suplementario en su desembocadura, produciendo, en consecuencia, aguas arriba un levantamiento del eje hidráulico, lo que se significa un aumento en la altura de caida aguas abajo del radier.

No es raro, pues, que la Comision de Ingenieros que últimamente ha inspec-

cionado las líneas de la red central de los Ferrocarriles del Estado haya recomendado su empleo sólo en aquellos puentes que habian sido primitivamente contruidos con radier jeneral, i que, como el Teno Sur, el Lampa, etc., peligraban, ya sea por insuficiencia del zampeado, ya sea por desperfectos ocasionados por las creces, o que, como el Tinguiririca, el Rabuco, etc., han sido cortados por la dislocacion de algunos de sus apoyos.

Las consideraciones anteriormente espuestas nos conducen a rechazar, en términos jenerales, el sistema de radier jeneral en nuestros puentes que deben construirse sobre suelos removibles i cuando la velocidad de las aguas puede adquirir un valor considerable. Este es nuestro caso mas corriente, salvo unas pocas excepciones.

I para fortalecer esta opinion. escúchese lo que M. Croizett Desnoyer dice, comparando el sistema por radier con el sistema de apoyos aislados:

“En résumé la disposition qui consiste à fonder sur piles isolées à des grandes profondeurs, en laissant aux eaux la faculté de creuser leur lit autant que le permet la nature du terrain, doit incontestablement être adoptée de préférence pour les grands ouvrages, et devient imperieusement nécessaire lorsque le régime de la rivière est torrentiel ”

Discurriendo para el caso de nuestros puentes ya contruidos i en los cuales las fundaciones de los apoyos aislados no han sido llevadas hasta la profundidad necesaria, hai muchos medios eficaces i económicos para defenderlos aisladamente. Pensar en estos casos, en el radier jeneral, sobre todo tratándose de puentes largos, equivale poco ménos que a pensar en rehacer las fundaciones; tal es el costo que resultaria para este remedio. Recuérdese sólo que para que el sistema sea eficaz debe presentar en corte, un ancho considerable, casi siempre mas de dos i media veces el largo del machon, que el enlozado de 0.50 metro de espesor como mínimo debe colocarse sobre una capa de concreto, tambien de 0.50 metro de espesor como mínimo; que es necesario iniciar i terminar el radier con barreras formadas por dos filas de pilotes o tablestacas separadas de unos 2 metros; que el espacio entre las dos filas debe rellenarse con concreto hasta una profundidad de 4, 5 i mas metros; que es necesario enrocar por delante la barrera de aguas arriba o por detras la de aguas abajo; que la ejecucion de la obra debe hacerse por trozos, trabajando en cada uno de ellos con atagúa casi siempre, i con agotamiento, ya que la obra debe hacerse en seco.

En resumen, como procedimiento de fundacion, el sistema de emplantillado sólo puede admitirse en rios de poca pendiente o cuando la fundacion por apoyos aislados tendria que ir a una profundidad tal que el sistema de quitar la capa alterable fundando aun por el aire comprimido, llegara a ser demasiado gravoso: mas que el radier; i como sistema de defensa de machones ya fundados, aun en rios de poca pendiente, es inaceptable por su costo excesivo.

Entre los sistemas de defensa aislada de cada apoyo, está el sistema de enrocados contruidos por piedras sueltas arrojadas al pié de los machones; es mas económico que el radier, deja a la corriente la facultad de labrar su lecho entre

los apoyos sin descalzar las fundaciones en las creces, i es de una eficacia indiscutible.

La única precaucion que este sistema requiere es atender a su conservacion renovando, despues de cada crecida, los bloques que hayan sido arrastrados, o los que hayan penetrado en el terreno removible; i éstos estarán en mayor número si sus dimensiones han sido fijadas para resistir el arrastramiento.

Ninguna de las dos objeciones que contra este método han sido señaladas tienen tal importancia que obliguen a tomarlas seriamente en cuenta, como lo ha hecho notar el mismo señor Casanova. La primera, porque los bloques naturales de dimensiones deficientes pueden ser reemplazados por bloques artificiales, o encerrados en un recinto de pilotes si este método resultare mas económico que el anterior; la segunda porque es de suponer que para el cálculo de la desembocadura, el desagüe en altura deberá haberse contado a partir del nivel superior de las fundaciones, de manera que el aumento orijinado por las socavaciones es sólo suplementario, con el cual no se debe contar al proyectar el puente. No hai, pues, inconveniente en reducir este aumento de desagüe, en el sentido lonjitudinal al espacio libre entre los enrocados de cada par de apoyos consecutivos.

Una observacion respecto a los bloques artificiales.

Avaluando el costo del metro cúbico de hormigon para la confeccion de esos bloques, el señor Casanova introduce una notable economía disminuyendo la proporcion de mezcla a la cantidad necesaria para bañar las piedrecillas, "produciendo su adhesion mutua," sin preocuparse de llenar todos los huecos. El hormigon así preparado se designa con el nombre de *hormigon hueco*, i se emplea mucho en las construcciones en seco; no sé si en las obras sumerjidas haya sido empleado. Sea como sea, en nuestra opinion, que mantendremos en tanto que la esperiencia no nos enseñe lo contrario, las proporciones de piedrecillas i de mezcla que deben entrar en la composicion del hormigon que se emplee en obras hidráulicas dependen de los huecos, i parécenos que en esos bloques que deben quedar espuestos a las corrientes de agua, la dosis no sólo ha de ser normal (es decir un volúmen de mezcla igual al volúmen de los huecos) sino que es necesario forzarla proporcion de mortero para prever el debilitamiento orijinado por la corriente, debilitamiento tanto mas considerable cuanto mayor sea la cantidad de calibre contenida en el cemento que se emplea. Aun mas, en la fabricacion del hormigon hai siempre entre las superficies de contacto de las piedrecillas una cierta interposicion de mortero, que, aunque débil, produce un aumento en el volúmen de los huecos. En consecuencia, creemos que, aun para el hormigon normal, el volúmen de mortero debe ser un poco superior al volúmen de los huecos

Para las piedras chancadas de 0.06 metro, el volúmen de los huecos representa un 45 a un 50%. Para el casajo, un 33 a 38%.

Para tomar en cuenta las pérdidas, las imperfecciones de las mezclas, etc, el volúmen de los huecos se suele estimar en un 10% mas de lo que da la observacion directa. De aquí proviene que casi todos los tratadistas aconsejen como mejor proporcion la de *dos volúmenes de mortero por tres de piedrecillas* para el

hormigon que ha de quedar sumerjido en el agua corriente. Es ésta la d6sis que fija el pliego frances, i es ésta la d6sis empleada en un sinn6mero de casos en Francia, B6ljica, Inglaterra, etc., siendo los tres vol6menes de piedrecillas constituidos por una i media parte de piedras chancadas i una i media parte de cascajo limpio, i esto con el objeto de conseguir el m6ximum de peso para un vol6men dado.

La d6sis de 3 por 10, o sea 2 por 6 66, recomendada por el se1or Casanova, aun empleando buen cemento i piedras chancadas limpias, que se adhieren mejor, debe, pues, considerarse deficiente. ¿Cu6nto mas no lo ser6 trat6ndose de un hormigon preparado con cemento mediocre i cascajo medio lavado?

Por lo demas, la mezcla en la proporcion: una de cemento por cuatro de arena, parece, as6., un poco atrevida, trat6ndose de mal cemento i de arena un tanto terrosa, que as6 se la encuentra i as6 se la usa.

As6, pues, si se toma mezcla de uno por tres i hormigon de dos por tres, el precio del metro c6bico alcanza a duplicarse, como es f6cil verificarlo

Las proporciones indicadas equivalen a la d6sis:

1 de cemento

3 de arena.

4.5 de cascajo (1).

Tratadistas exigentes i pr6cticos mas escrupulosos hablan de no pasar de cuatro de piedras chancadas por una de cemento i tres de arena. Trat6ndose de cascajo, que deja m6nos vol6men de huecos, parece que podria irse hasta cinco por uno de cemento i tres de arena.

Otro punto que queremos examinar es el que se refiere a la desembocadura o desag6e, factor tan importante que 6l s6lo es capaz de producir la caida de un puente.

Es fuera de duda que estas obras de arte deben proyectarse asegurando el f6cil escurrimiento de las aguas en toda 6poca i en toda circunstancia (salvo en los puentes sumerjibles); pero para llegar a este resultado, necesario es conocer el r6jimen de la corriente, que, a su paso por el puente, debe ser lo suficientemente fijo para asegurar la estabilidad de la obra. Sabido es que, siendo variables la pendiente del lecho i la velocidad de la corriente, el r6jimen de los rios no puede ser estable como gasto, en una seccion dada. El perfil que satisficiera las condiciones de velocidad i caudal en estiaje, no bastaria para satisfacer esas condiciones en las crecidas. Por otra parte, dependiendo el r6jimen de la accion combinada de la pendiente, del caudal i de la naturaleza del lecho, no puede modificarse en una seccion ninguno de estos tres elementos sin producir, aguas arriba o aguas abajo,

(1) $x = \text{Cemento}, 3x = \text{arena}$

$$\text{mezcla} \left(\frac{x + 3x}{4} \right) 3 = 3x$$

$$\frac{3x}{2} = \frac{y}{3}$$

$$y = 4.5x$$

una ruptura del equilibrio de las fuerzas que fijan el régimen. De aquí la necesidad de conocer en detalle estos tres factores en las vecindades del punto en que va a situarse el puente. No podrá el ingeniero proyectar concienzudamente su obra si no conoce de antemano la altura máxima de las aguas en las mayores creces observadas, su desagüe lineal en las mismas épocas, la velocidad, el caudal, etc., i como dato suplementario, entre nosotros de suma importancia, los cuerpos flotantes que trasporta la corriente.

A este respecto, debemos confesarlo con pena, estamos completamente a oscuras. Yo pregunto ¿qué oficina tiene en sus archivos la estadística de nuestros cursos de agua? ¿qué órdenes, qué circulares ha pasado al respecto nuestra Direccion de Obras Públicas a sus representantes en las provincias?

Las crecidas pasan sin dejar otros vestijios que los destrozos que orijinan. En las vías férreas como en los caminos ordinarios arrastran puentes, destruyen terraplenes, interrumpen el tráfico, en fin; pero las enseñanzas que traen consigo las despreciamos. El público protesta i nos acusa porque se vé perjudicado; los ingenieros lamentan los destrozos, proyectan en las oficinas medios de defensa para mas tarde, i el Estado archiva esos proyectos; otros deducen enseñanzas para el futuro; pero nadie aprovecha las lecciones de precaucion i métodos de estudio que nuestros rios nos están enseñando periódicamente.

Por otra parte, cabe aquí observar que nuestros puentes provisionales no han llenado, hasta hoy, la parte mas importante de su mision. Es sabido que dichos puentes se construyen no sólo para servir el tráfico, sino tambien, i esto es para el ingeniero un punto de vista mas interesante, para estudiar el régimen de las corrientes en sus vecindades, a fin de tener datos seguros para proyectar mas tarde el puente definitivo.

No se concibe como ha podido desperdiciarse la ocasion de anotar en las últimas crecidas, que seguramente no volverán a repetirse en tal magnitud sino dentro de algunos años, todos los datos hidrométricos necesarios para fijar, con otros análogos tomados en otras épocas, el régimen de nuestras corrientes.

Si en orden a esta cuestion nada se ha hecho ¿por qué el Instituto de Ingenieros no tomaria la iniciativa pidiendo a sus miembros el mejor tipo de rejistro destinado a inscribir las anotaciones convenientes para hacer la estadística de nuestros cursos de agua?

Se podria, en seguida, recomendar al Supremo Gobierno la adopcion de ese rejistro, que la Direccion de Obras Públicas i la de los Ferrocarriles del Estado deberian llenar en épocas prefijadas, por intermedio de sus ingenieros.

Entrego esta idea a la consideracion del Instituto, que le dará forma práctica si la estima conducente.

Antes de terminar, voi a hacer una observacion sobre un punto relacionado tambien con la caida de nuestros puentes.

Se ha manifestado en este recinto el deseo vehemente de conocer la estadística de todas i cada una de nuestras obras de arte, i para satisfacer este deseo justo i que acusa interes por la profesion, se ha pedido datos escritos sobre lo que cada

uno de los miembros del Instituto conozca personalmente o por informaciones que merezcan fé.

Laudable es el propósito que se persigue, digno de aplauso todo trabajo que se haga por conseguirlo; pero, desgraciadamente, nada completo podremos realizar. Lograremos algunos datos aislados; pero la estadística de cada una de nuestras obras de arte, sus orígenes, las dificultades de su jénesis, las peripecias o accidentes sufridos durante su existencia, el modo como han desaparecido, todos esos datos, que reunidos darian la historia de las obras públicas, esos, digo, no los conseguiremos.

Ya que no podemos conocer el presente ni el pasado, preparémosnos para el futuro.

Recomiende, pues, el Instituto de Ingenieros al Supremo Gobierno, el servicio de visita a nuestras obras públicas. Hágase la estadística de esas visitas anotando en libros especiales todas las observaciones que sirvan para apreciar el estado de cada una de esas obras, los desperfectos que hayan sufrido i sus causas, los remedios que se le hayan aplicado i sus efectos, los remedios que deban aplicarse, etc.

A la vista de todos esos antecedentes podrán los ingenieros proyectar con mejor acierto las obras de reparacion o de defensa necesarias para asegurar la existencia de nuestras construcciones públicas.

Yo tengo fé en el futuro; paréceme que de este abrazo estrecho con que el Instituto de Ingenieros i la Sociedad de Ingeniería despiden al siglo XIX, es posible esperar grandes bienes; paréceme que la nueva Corporacion está destinada a ser para el Estado un consejero seguro, fiel i desinteresado que salvaguardará el interes nacional i prestará al pais servicios importantes.

Empecemos, pues, nuestra obra poniéndonos en íntimo contacto con el Gobierno i con el público.

Empecemos por ofrecer al Estado nuestro concurso i el Estado terminará por solicitarlo.

FRANCISCO MARDONES.

Noviembre de 1900.

