

CUÁLES SON LAS CAUSAS

de la destruccion de los puentes que han caido durante los últimos inviernos i cuáles los medios de combatirlos en los puentes que aún quedan en pié ó prevenirlas en los que se construyan en el porvenir.

Al principio de octubre del año último, con motivo de una conferencia sobre el *cálculo de la desembocadura de un puente*, que leí ante el Instituto, se suscitó un debate sobre el tema que encabeza estas líneas, durante el cual se emitieron ideas mui interesantes, de las que no ha quedado constancia, desgraciadamente, en nuestros ANALES.

Aprovechando la circunstancia de que en la lista de temas para las sesiones jenerales de este año, hai dos que se refieren a la discusion habida entónces, me propongo reunir las diversas ideas que se esplayaron, siguiendo un plan que me parece metódico i lójico.

Como la opinion del compilador no tiene peso alguno, ruego a mis colegas que, a medida que se vayan imponiendo de los remedios propuestos aquí, consignan por escrito su opinion favorable o adversa a dichos remedios. Una vez publicadas estas opiniones en nuestros ANALES, se podrá hacer un balauce i ver cuáles son los medios propuestos que cuentan con la mayoría de los sufragios, para que puedan servir de norma en el futuro.

*
* *

Causas i remedios.—Durante su existencia, un puente tiene que pasar por tres etapas, que son: la elaboracion del proyecto respectivo; su construccion i finalmente su utilizacion i conservacion.

La elaboracion del proyecto de un puente requiere el estudio de las siguientes cuestiones principales:

- 1) la ubicacion;
- 2) la determinacion de la desembocadura;

3) el reconocimiento de la naturaleza del terreno en que se va a fundar i fijacion del sistema de fundacion;

4) la fijacion de la longitud de los tramos;

5) la eleccion de las normas a que se sujetará el cálculo de las vigas;

6) el cálculo de las dimensiones, etc.

La construccion de un puente, entre otras cosas, exige:

1) la hechura de los apoyos;

2) la armadura de las vigas.

Durante el servicio hai que vijilar la obra para hacer las reparaciones i los trabajos de conservacion i proteccion que las circunstancias indiquen.

Un puente puede caerse por errores o faltas cometidas contra cada uno de los puntos señalados en las tres etapas de su existencia o por una combinacion de ellas

Luego, las faltas elementales que directa o indirectamente provocan la caida de un puente, son:

1) La mala ubicacion;

2) la insuficiencia de su desembocadura;

3) la falta de reconocimientos de la naturaleza del terreno en que se va a fundar el puente;

4) la poca longitud de los tramos adoptados;

5) la poca prevision al elegir normas que no consulten un aumento en las cargas que el puente tendrá que soportar en un futuro próximo, etc ;

6) los errores cometidos al calcular las dimensiones, tanto de los apoyos como de las vigas;

7) el clavado de los pilotes, la ejecucion de las albañilerías, la armadura de las vigas, etc , no se han hecho conforme a las reglas del arte o con los materiales debidos, ya sea por falta de vijilancia o de conocimientos técnicos de parte de los encargados de la inspeccion de los trabajos, ya sea por fraudes cometidos.

8) la poca vijilancia despues de construido el puente;

9) lo exiguo de las sumas destinadas a la conservacion i la lentitud en la aplicacion de las medidas que el caso requiere.

Al enumerar las causas de la caída de los puentes, parece increíble que se haya podido darles asidero: tan obvios son los remedios que inmediatamente saltan a la vista. Sin embargo, vamos a pasarles revista para hacer notar los casos concretos en que se han omitido las mas elementales recomendaciones del buen sentido.

1) La mala ubicacion de un puente puede acarrear, ya su destruccion ya su inutilizacion para el tránsito.

Si un puente no ha sido ubicado entre barrancas estables, que reduzcan a justas proporciones el cauce del rio amonte de su situacion, puede ser destruido por las corrientes que, al divagar en un lecho sin límites precisos, ataquen los estribos por sus espaldas i los machones lateralmente, por donde la superficie que ofrecen al embate de las aguas es un máximo i la resistencia un mínimo.

En este caso se encontraron los puentes ferroviarios sobre el Tinguiririca i el Lontué, que han caído en el invierno último.

El puente puede quedar inútil para el tránsito si las corrientes que se establecen paralelamente a la vía, destruyen los terraplenes de acceso que, en talevento, hacen el papel de barreras colocadas trasversalmente al lecho del río.

En este caso se encontró el puente sobre el Tinguiririca el año pasado, en cuyo invierno se formó un nuevo brazo del río, que se separó del cauce principal, yendo a chocar contra el terraplen, que al fin concluyó por cortar, dejando inútil el puente. Otros ejemplos: Cachapoal (Gultro), Antivero, Teno, etc.

La divagacion de las corrientes en un lecho demasiado ancho puede orijinar la destruccion de un puente si las aguas se encauzan en un número mui limitado de tramos. Las aguas se labran entónces en profundidad, una seccion de escurrimiento suficiente a su caudal, llegando hasta descalzar el pié de las fundaciones o pilotajes.

La mala ubicacion de un puente puede resultar, por ejemplo, al hacer economías en la longitud del trazado de la vía; pero esto no siempre sucede. Así, en el caso de la ubicacion del puente sobre el Mapocho en Talagante, se sabe que a corta distancia amonte del punto mal escogido donde se construye, hai un sitio mui aparente, con buenas barrancas, por donde el camino saldria mas recto, sitio que nadie puede explicar por qué no ha sido aceptado por la Superioridad, al recibir las indicaciones de los injenieros residentes allí.

Dos clases de remedios pueden aplicarse a un puente mal ubicado: los remedios temporales i los permanentes.

Un remedio temporal consiste en abrir un cauce artificial que rectifique las sinuosidades de la corriente, cada vez que se noten tendencias a divagaciones que pongan en peligro los terraplenes de acceso a los apoyos del puente. El río, al encontrar un camino espedito, lo tomará i ocupará durante algun tiempo, hasta que la resistencias que opongan los embancamientos que se formarán a una u otra orilla lo hagan serpentear nuevamente.

Los remedios permanentes son varios. En Chile se ha usado la construccion de riberas artificiales que encaucen el río amonte del puente en una longitud mas o ménos estensa. Estas riberas artificiales son constituidas por dos pretiles que nacen respectivamente desde los estribos de los puentes, dirijiéndose hácia amonte i mas o ménos paralelos al eje del río.

Para que esta especie de embudo surta buenos efectos, es menester reforzar los terraplenes de acceso al puente, por medio de enrocados que eviten su destruccion por las aguas que pueden encajonarse detras de los pretiles. La corriente queda obligada así a pasar forzosamente por los claros del puente.

En Europa se ha solido proceder de otra manera, que los textos clásicos describen como aplicado con buen éxito en el puente del Bolmida. Consiste este método en construir, a una distancia amonte del puente igual a su largo, dos espigones sobre una misma normal al eje del río, que dejen entre sus extremos una abertura frente al puente, por donde estarán obligadas las aguas a escurrirse

para embocar en él, siempre con buena direccion. Como los espigones resultan a corta distancia i mas o ménos paralelos a los terraplenes de acceso, no hai necesidad de proteger a éstos con mucho cuidado, por cuanto sólo serán bañados por aguas muertas (2).

En cuanto a las socavaciones del lecho bajo los puentes, hai tambien dos medios de evitar sus malas consecuencias: uno que consiste en proteger aisladamente cada apoyo del puente mediante enrocados arrojados a su pié, i el otro que consiste en reunir a éstos por medio de un zampeado jeneral.

Al sistema de enrocados se le hacen dos objeciones: 1.^a que las piedras que salen ordinariamente de las canteras no tienen el peso suficiente para resistir inmóviles a las corrientes torrenciales de nuestros rios, por lo cual resultan perdidas en gran parte i 2.^a que si las piedras llegan a afirmarse, disminuyen considerablemente la desembocadura del puente.

Mas adelante veremos cómo se puede salvar la primera objeción. En cuanto a la segunda no le concedemos grande importancia, ya que el rio puede abrirse en hondura el cauce que sus aguas necesiten, atacando el espacio que queda libre entre los enrocados de cada par de apoyos consecutivos.

Al sistema de zampeado jeneral se le objeta: 1.^o que, como produce, avalle del puente, una caída de agua, será menester impedir el arrastre del material del fondo por medio de otra barrera jeneral, situada a corta distancia avalle, lo que hará mui dispendioso un remedio caro de por sí; 2.^o que, si se quiere que el zampeado distribuya las aguas del rio entre todos o gran parte de los claros del puente, será necesario construirlo dejando su cara superior a poca hondura, es decir, reduciendo fuertemente la desembocadura del puente.

A mi juicio, ambas objeciones son de verdadera importancia. El zampeado jeneral, por su costo, no podrá emplearse sino en casos mui contados, i cuando la longitud i altura del puente permitan, sin inconvenientes, reducir la superficie libre para el escurrimiento de las aguas.

A propósito de los enrocados conviene aclarar en qué punto de las fundaciones deben colocarse como defensa: ¿amonte o avalle de los apoyos?

El agua al chocar contra un machon, produce un remolino principal de eje horizontal. Al dejar el machon, el choque de las dos corrientes que se juntan produce, a la inversa, un remolino de eje vertical. Este último no puede ejercer una accion mui considerable sobre el fondo, porque, si bien en su circunferencia la velocidad de las aguas podria ser suficiente para socavarlo, en cambio en el centro del remolino se forma un depósito, que tiende a mantener nivelado el fondo, gracias a las oscilaciones que experimenta el remolino en conjunto, por la desigualdad de las corrientes en accion.

Las venas líquidas, que chocan contra el estrenio de amonte del machon, tienen que experimentar una inflexion hácia el punto en que la resistencia sea un mínimo, es decir, hácia la superficie libre de las aguas. Resulta una corriente as-

(2) LECHALAS. *Hydraulique fluviale*, pág. 90.

cedente que tiende a levantar los materiales del fondo, facilitando su arrastre.

Luego, el punto débil de las fundaciones es el extremo de amonte. Ahí está el machon del puente del Maule, tumbado hácia aguas arriba, para comprobar el raciocinio

El mayor espesor de enrocados debe colocarse, en consecuencia, en el extremo de amonte de los apoyos, disminuyendo gradualmente hácia el extremo de avalle.

2) La insuficiencia en la desembocadura de un puente puede provenir: 1.º de la falta de datos i observaciones fidedignas que permitan calcular con exactitud la superficie que se necesita para el escurrimiento holgado de las aguas; 2.º de la limitacion de los créditos que se conceden para la construccion del puente.

Del primer punto i su remedio ya he dicho algo en mi conferencia de 6 de octubre de 1899, publicada en los ANALES (núm. 108, páj. 28).

En cuanto al segundo punto, depende de los injenieros al servicio del Gobierno el evitar que se produzca.

Cuando un Ministro los llame para decirles: es necesario construir un puente en tal parte, que no cueste mas de tantos miles de pesos, deben responderle con toda entereza: haré el proyecto i se llevará adelante la construccion hasta donde lo permita el gasto autorizado; pero yo no puedo responder, *a priori*, de que la cantidad que me indica baste para terminarlo.

Hai que matar esta mala práctica de hacer los puentes para tal presupuesto exíguo, por consiguiente, mui cortos o mui bajos o ambas cosas simultáneamente, en vez de hacerlos para que dejen pasar las aguas de tal rio.

Caso típico de puente demasiado corto es el de Chagres, sobre el Aconcagua, que ha sido proyectado con una lonjitud de 300 metros, necesitando en realidad 500 o mas metros.

Caso típico de puente demasiado bajo fué el que desapareció, ántes de terminado, sobre el estero de Lampa.

Los siguientes son puentes con desembocadura insuficiente, ya que sus tímpanos o sus vigas han sido alcanzados por las aguas: Batuco, Roble, La Noche, Longaví, Chillan, Rio Claro, Renaico, Pichi-Renaico, Quilacoya, Gomero, etc., etc.

El remedio en estos casos es obvio: agregarles el número de tramos que se estime necesarios, darles la altura conveniente, o ambas cosas, si es menester.

En todo caso hai que proteger los terraplenes de acceso con enrocados, miéntras los puentes subsistan en su estado actual, por cuanto cada uno de esos puentes con sus terraplenes constituye una barrera efectiva al paso de las aguas, que se embalsan amonte de su emplazamiento.

3) La falta de reconocimientos de la naturaleza del terreno en que se va a fundar un puente conduce a resultados funestos.

No teniendo los injenieros datos positivos sobre la calidad del subsuelo, se dejan llevar por ideas preconcebidas i se contentan con hacer clavar sistemáticamente los pilotes hasta la profundidad de sólo 3 metros, o bien, cuando se trata de albañilería, si a los 5 metros encuentran que el cascajo, por ejemplo, está compacto, paralizan la escavacion i dan órden de principiar las fundaciones.

Semejantes apoyos, fundados a una hondura insuficiente, están llamados a desaparecer, por muy buenas que sean las albañilerías o por muy bien que se haya ejecutado el clavado de los pilotes.

A este respecto ha habido una mala inteligencia en las discusiones que ha provocado la caída de nuestros puentes. Se ha dicho: algunos machones se cayeron por tener malas fundaciones. Esto no parece efectivo, porque en esas albañilerías no se ha notado nada malo. Lo que se ha notado es que las fundaciones no tenían la hondura necesaria para que su asiento quedase fuera del alcance de la acción corrosiva de las aguas.

Una escavación de 5 metros de hondura es insuficiente, aunque en el fondo se encuentre una capa de cascajo compacto.

Las cajas de nuestros ríos tienen un ancho considerable, donde la corriente serpentea, huyendo de las resistencias que encuentra en el lecho. Si en un punto dado hallamos una capa de cascajo compacto a los 5 metros de hondura, no quiere decir que ese terreno sea inatacable y bueno para fundar, sino que la corriente no ha pasado por allí durante un tiempo más o menos largo, que ha permitido a los depósitos calcáreos concrecionar el cascajo hasta impartirle la compacidad que notamos.

Se sabe que las corrientes de nuestros torrenciales ríos remueven el cascajo hasta honduras de seis, ocho y más metros. Luego las fundaciones de los puentes que, como el Longaví, sólo tenían de 3 a 6 metros de hondura, eran evidentemente muy poco profundas para que su pie se encontrase al abrigo de los socavamientos.

Antes de fijar el sistema y la hondura hasta donde deben llevarse las fundaciones, hay necesidad imperiosa, pues, de hacer varios pozos de cata, que permitan ver la naturaleza del subsuelo, para apreciar experimentalmente su dureza.

En cuanto al clavado de pilotes, es necesario llegar hasta el rechazo, teniendo cuidado de observar que no sea producido por algún bolón superficial de grandes dimensiones, sobre el cual quede apoyada la punta del pilote.

Además para evitar que el frotamiento contra el cascajo produzca el rechazo cuando el pilote está aún poco enterrado, conviene hacer una escavación en el sitio que va a ocupar, siempre que no haya que gastar sumas exajeradas para desviar la corriente, etc.

En los ríos con lecho de arena los pilotes no deben clavarse con martinete sino por medio de chorros de agua, hasta llegar al terreno firme.

En cuanto a la protección de los machones y estribos que se resienten por estar fundados a poca hondura, ya he señalado (pág. 4) los remedios que se han propuesto, como también sus ventajas e inconvenientes. Sólo me queda que explicar cómo se pueden conseguir, a un precio razonable, bloques que resistan inmóviles a las fuertes corrientes, en los ríos cuyo lecho es de cascajo o arena.

La solución de este problema me parece fácil acudiendo al empleo de bloques artificiales, como los que se usan en los trabajos marítimos; pero enteramente diversos de éstos en cuanto a la calidad y cantidad de los materiales constituti-

vos. Sus dimensiones no deben ser exajeradas. Al contrario, sólo deben tener el peso necesario para no ser arrastrados.

Los bloques artificiales que requiere un trabajo marítimo, no sólo deben ser suficientemente grandes para resistir inmóviles el choque de las olas, sino que tambien deben *ser impermeables*, para reducir a un mínimo la superficie donde tiene lugar la nociva accion química de las sales que las aguas del mar contienen.

Esta última condicion no es menester satisfacerla, tratándose de las aguas casi puras de los rios; luego podemos disminuir fuertemente la proporcion de mezcla para formar el hormigon i usar, no la cantidad necesaria para llenar todos los huecos que queden en la piedra chancada, sino sólo la cantidad necesaria para bañar el pedregullo, produciendo su adherencia mutua. De aquí una primera economía.

En la composicion de la mezcla de cemento podemos hacer otra economía. En el mar hai que resolverse a usarse siempre el cemento de la mejor calidad, cueste lo que cueste, por temor a las acciones químicas que acabamos de mencionar; en el agua dulce nada tenemos que temer al respecto.

El cemento extranjero no llega a Chile en buenas condiciones, segun lo demuestran los análisis practicados por el señor P. Lémétayer i publicados en el Boletín del Ministerio de Industria (Año V, Tomo XI, páj. 300), como tambien las pruebas de resistencia llevadas a cabo durante la construccion del dique de Talcahuano, publicadas en el mismo Boletín oficial (Año IV, Tomo IX, páj. 813).

El cemento nacional (¿cal hidráulica pulverizada?), a su turno, no tiene, segun creo, la homojeneidad de composicion de los cementos extranjeros.

Siendo entónces igualmente mediana la calidad de los diversos cementos que se encuentran en el comercio de Chile, el bajo precio del cemento nacional nos obliga a recomendarlo para el objeto de que nos estamos ocupando.

Finalmente, en la clase del pedregullo podemos hacer aun una economía. En vez de seguir la rutina europea de constituir una parte del hornigon con piedra chancada, usemos el cascajo que se encuentra al pié del mismo machon que se quiere proteger, lavándolo si contiene tierra.

El hormigon, compuesto con cascajo redondo de rio, ha hecho ya con feliz éxito sus pruebas en algunas obras de arte de los ferrocarriles que atraviesan la Araucanía. No hai nada de nuevo ni temerario, entónces, en lo que propongo (3).

(3) Los señores Geiger i Maurer cobran, para un contrato en grande, \$ 4.80 por los 170 kilogramos de cemento nacional. El metro cúbico de mezcla de 1 × 4 cuesta, entónces:

1 metro cúbico de cemento.....	\$ 38.40
4 metros cúbicos de arena (a \$ 0.60 el metro cúbico)	2.40
por hechura	1.75

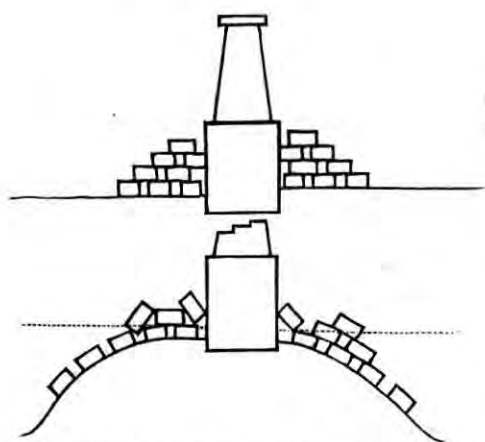
Valor de 4 metros cúbicos de mezcla.....	\$ 42.55
Valor de 1 metros cúbico de id.....	10.64

El precio del metro cúbico de hornigon, en las condiciones que indico en el testo, calculado *grosso modo*, resulta ser el siguiente:

En los ríos con lecho de arena pura, los bloques artificiales se compondrían sólo de cemento i arena, como los que se han usado en los rompe-olas de Port-Said, por no encontrarse piedras en las cercanías.

No habría necesidad de grúas para mover estos bloques, puesto que se pueden fabricar en el sitio mismo que van a proteger. La primera hilada debe hacerse sobre el lecho del río, groseramente nivelado. Después de rellenar con cascajo i arena los vacíos que quedarán entre esos primeros bloques, se fabricará encima una segunda hilada, i así de seguida hasta obtener la protección que se desea.

El efecto de una avenida sobre estos bloques está indicado aproximadamente por el croquis adjunto.



LOS BLOQUES PROTECTORES DE UN MACHON, ANTES
I DESPUES DE UNA AVENIDA, CORTE TRASVERSAL AL RIO

La inspección de los bloques, después de cada avenida, es indispensable para recargar los puntos en que se hayan separado demasiado, dejando espuestos a la acción de la corriente espacios muy grandes del lecho natural.

4) La poca longitud de los tramos adoptados en algunos puentes obliga a construir, en el lecho del río, apoyos muy próximos, en los cuales los árboles i demás materiales arrastrados por la corriente, se van sujetando hasta formar un gran taco que obstruye el paso de las aguas, sometiendo el puente a empujes

extraordinarios, que terminan por destruirlo.

Los puentes sobre el Tinguirica, el Lontué, el Longaví, etc, son de tramos muy cortos.

Los puentes provisionales reúnen, por lo jeneral, varios defectos, siendo uno de los principales el ser constituidos por tramos muy cortos, pecado orijinal que los hace poco duraderos.

5) La elección, para el cálculo de los puentes, de normas poco previsoras del progreso, tanto de la ciencia que, día a día, va reemplazando las suposiciones

3 metros cúbicos de mezcla (1×4)	\$ 31.92
10 metros cúbicos de cascajo (a \$ 1 el metro cúbico).....	10.00
manipulación.....	20.00
colocación en el molde i pisoneadura.....	5.00
	65.92
Valor de 10 metros cúbicos de hormigon.....	\$ 65.92
Valor de 1 metro cúbico de id.....	6.69

Usando mezcla de 1×5, el precio del metro cúbico bajaría casi a \$ 6 i se reduciría notablemente haciendo el hormigon por medio de máquinas.

gratuitas en que está fundado el cálculo de la resistencia de los materiales, por teorías mas i mas conformes con la esperiencia, como de las necesidades comerciales que obligan a emplear máquinas de traccion mas i mas pesadas, es causa de que los puentes sufran esfuerzos que sus vigas son incapaces de soportar, por debilidad de sus elementos constitutivos.

El empleo de vigas continuas, colocadas sobre pilotes clavados en la capa superficial de arena o cascajo suelto, olvidando la condicion esencial, que exige el cálculo de ese tipo de viga, de que los apoyos sean inamovibles i ríjidos, conduce inevitablemente a su ruina.

Es una lástima que gran parte de nuestros puentes carreteros pertenezcan a este tipo de viga, sostenida en condiciones tan inestables.

Hai que prohibir el empleo de las vigas continuas miéntras no se coloquen sobre estribos i machones de construccion estable i definitiva.

Para los puentes que ya tienen alguna edad, se impone la revision del cálculo de su estabilidad con arreglo a los programas modernos de sobrecargas tipos, etc., para reforzar inmediatamente todas las piezas que se reconozcan ser demasiado débiles.

6) Los errores cometidos, ya sea en el cálculo de la estabilidad de los apoyos, ya en el de la resistencia de las vigas, conducen inevitablemente a la destruccion de la obra, si no se reconocen i remedian en tiempo oportuno.

No creemos que esta causa de ruina se presente mui a menudo, pues es difícil que los errores escapen a la atencion de los diversos calculistas que revisan sucesivamente las operaciones, tanto en la oficina de donde emana el proyecto, como en la fábrica que toma a su cargo la ejecucion de la obra.

Sin embargo, se señala como mal calculadas las cepas de los puentes sobre el Rahue i el Vergara, i las vigas de este último i el de Chagres.

Pero, si los errores en los cálculos no son comunes, en cambio suelen ejecutarse proyectos en los cuales la distribucion de las piezas que componen las vigas, por ejemplo, ha sido mal elejida.

Se sabe que es necesario disponer las piezas de una viga de manera que en cada nudo, las fibras medias de ellas, o sea las líneas que unen los centros de gravedad de todas las secciones de cada pieza, se corten en un solo punto. Sin embargo, esta condicion no se ha satisfecho en algunos de nuestros puentes, sometiendo las piezas a esfuerzos de flexion que pueden llegar a duplicar su coeficiente de trabajo.

Sin salir de Santiago tenemos, sobre el Mapocho, el puente por donde pasan los tranvías, por ejemplo, en cuya disposicion jeneral de las piezas se ha faltado a este principio.

Otra falta que se ha cometido con frecuencia al proyectar las vigas de los puentes, es la de no haber elejido la forma mas conveniente para la seccion de las barras que tienen que soportar un esfuerzo de compresion permanente o accidental.

De aquí que, en muchos puentes metálicos del ferrocarril lonjitudinal, se ven las láminas de palastro arqueadas.

El remedio consiste en cortarlas i, mediante un aparato tensor, reducir su largo al justamente necesario (4).

En los puentes futuros conviene no emplear fierros chatos para confeccionar las piezas que tengan que sufrir a la compresion

7) Si el clavado de los pilotes, la ejecucion de las albañilerías, la armadura de las vigas, etc., no se han hecho conforme a las reglas del arte o con los materiales debidos, la ruina del puente respectivo no se hará esperar.

En el caso del puente de Viña del Mar, por ejemplo, a la falta de tener sus pilotes enterrados sólo tres metros, se agregó la pésima circunstancia de que no fueron clavados a martinete sino colocados simplemente en una escavacion de esa hondura. Parece que ni el representante del contratista, ni el inspector de la obra, conocian lo que es un martinete.

A propósito de la falta de conocimientos técnicos de parte de los inspectores, puedo relatar un caso típico. Entre el personal que, por parte del Gobierno, vijilaba la construccion de una línea férrea en el norte, figuraba un caballero que sabia danzar divinamente, por haber sido profesor de baile durante largos años en Santiago; pero que, cuando llegó a dicha línea, ignoraba por completo todo lo que se relacionaba con el empleo que, mediante empeños, habia conseguido. De su propia boca he oido la siguiente prueba de la profundidad de su saber. Recien llegado a desempeñar su puesto, el ingeniero jefe le encomendó la tarea de contar el número de pernos que habia en una bodega medio llena con los cajones que los contenian. Habiendo olvidado la aritmética, no se le ocurrió otro procedimiento que el de contar uno a uno todos los pernos, i en vista del tiempo que demoró para contar los que habian en los primeros cajones, el infeliz ya se veia destituido por no poder dar fin, en un plazo razonable, a la tarea que se le habia señalado.

Júzghese a cuántó ascenderá lo que tiene que pagar el Fisco para costear el aprendizaje de semejantes inspectores

El remedio es fácil de señalar; pero difícil de poner en práctica: *no hacer caso de los empeños* i dejar que el ingeniero jefe, que es el responsable, examine i elija, entre las personas que se le ofrezcan, a las que le parezcan mas aptas i preparadas.

Si los inspectores no ejercen la vijilancia necesaria o permiten que se cometan fraudes, no hai mas que aplicar las penas del caso, tanto a ellos como a los contratistas, persiguiéndolos con mano de fierro (5).

8) Haciendo referencia a la poca vijilancia que reciben las obras de arte, despues de construidas, he dicho en los ANALES (núm. 105, páj. 481): "En Chile, miéntras ménos reparaciones sea necesario hacer a una obra, mas durará, por cuanto *nadie* se ocupa de conservar nada. Está en nuestra sangre. Las revisiones, las limpias, las pinturas, los dragados, etc., quedan ¡ai! en el papel."

(4) *Annales des Travaux Publics*, junio de 1900, páj. 466.

(5) Claro es que sin buenos sueldos no se pueden obtener buenos empleados. A un colega le he oido proponer, con justicia, la siguiente escala: para el Director Jeneral, \$ 24,000 anuales; para los Jefes de Seccion, \$ 18,000 i así de seguida.

Es menester reaccionar contra tan funesta apatía.

Muchos de los puentes destruidos últimamente se habrían podido salvar si se hubiesen vijilado con el esmero debido. No hai obra que se caiga repentinamente, a ménos de que suceda un cataclismo súbito, como un terremoto.

Los ajentes que de ordinario provocan la caída de un puente actúan poco a poco, dando tiempo para que los encargados de su vijilancia, si cumplen medianamente bien con su deber, puedan tomar las medidas precautorias que el caso requiera.

9) Finalmente, no basta vijilar atentamente las obras construidas. Es preciso que los medios de conservacion se apliquen en la oportunidad i cantidad debida.

Si el dinero destinado para conservar un puente es exiguo para el trabajo de proteccion que requiere, si esta proteccion no se hace en el tiempo oportuno i con la rapidez necesaria, el mal seguirá su curso i tarde o temprano acarreará la destruccion del puente.

Tenemos el caso del puente del Longaví cuyos machones, fundados a poca hondura, necesitaban, segun injenieros mui competentes, un zampeado jeneral de proteccion que debió haberse construido cuando recién se notó el mal, el año 1894, con un costo de cuarenta a cincuenta mil pesos.

En vez de emplear ese remedio radical, se ha tardado cuatro largos años en proteger aisladamente los machones resentidos, gastando sólo cuatro o cinco mil pesos.

Como resultado, el puente de Longaví se ha caido en parte, quedando inútiles los 300,000 pesos que ha costado

En cualquier parte del mundo, los injenieros o administradores que han recomendado tan brillantes economías i procedido con tal rapidez, serian separados de sus puestos. No cabe otro remedio.

*
**

Enseñanzas para el futuro.—A mi juicio, lo que primero debe hacerse, para prevenir en el futuro la repeticion de los males que hoi presenciamos, es reorganizar las oficinas que hasta ahora han proyectado, construido o corrido con la conservacion de los puentes, separando todo el personal que haya dado pruebas de inepticia o de inercia en el desempeño de sus cargos, i mejorando los archivos de ellas.

La creencia de que en Chile no tenemos injenieros suficientes, no es exacta. La Universidad ha espedido títulos de injenieros a mas de 300 personas. Suponiendo que hayan fallecido 50, siempre quedan mas del número necesario para desempeñar los puestos que quedarían vacantes, al hacer un barrido jeneral de todos los inútiles.

Aun cuando el Gobierno tuviese que nombrar a los injenieros recién salidos de las aulas i pagar, en consecuencia, el aprendizaje práctico de ellos, siempre

seria mas económico que estar pagando empleados para que contemplen impasibles la destruccion de los puentes, sin aprovechar siquiera la ocasion para tomar los perfiles i medir las velocidades necesarias para hacer algo mejor en el futuro.

La tarea de formar a los nuevos ingenieros, estaria mui adelantada si los antiguos hubieran organizado los archivos de sus oficinas con el método i órden debido. Bastaria estudiar esos archivos para conocer los fracasos sufridos, los remedios aplicados i el buen o mal éxito obtenido.

Por desgracia, en las oficinas no se encuentran ni los planos de las obras de arte: mal podria entónces hallarse allí la historia de éstas.

En vez de índices escritos, es mui comun encontrar en las oficinas un empleado, a cuya feliz memoria tienen que recurrir constantemente los demas, para saber dónde se podrá hallar tal o cual dato, en qué fecha se publicó tal decreto, en qué sitio estará cual plano, por dónde pasará cierta cañería, etc. ¡Ai del servicio el dia en que este archivo viviente llega a faltar!

A pesar de todos los tropiezos que puedan resultar, creo que lo mejor que puede hacer un jefe que recién se hace cargo de una oficina es despedir al archivo viviente que se juzga indispensable. Así habrá necesidad de dar comienzo inmediatamente a la formacion del archivo escrito i documentado, haciendo una clasificacion amplia i metódica, con los índices necesarios para poder hallar, sin tropiezos, los datos que se busquen, ya sea conociendo la fecha, ya el número de órden, ya el carton que lo contiene, ya el nombre de la persona a quien se mandó, o de quien se recibió, ya la materia a que se refiere, etc.

Ésta es la mejor manera de conservar la tradicion, pues el archivo documentado nunca nos podrá inducir en errores o en una falsa confianza; nunca podrá equivocarse para decirnos: "Recuerdo que estas fundaciones se hicieron mui profundas" cuando en realidad están cimentadas a poca hondura, "El nivel de las aguas en tal avenida llegó sólo a esta altura," cuando dicho nivel haya subido muchos metros mas arriba, etc.

Volviendo nuevamente al personal de la oficina, se presenta la cuestion de averiguar si es o no conveniente que los cálculos de las vigas se hagan por ese personal.

Tratándose de los puentes carreteros, creo que una vez determinado el tipo mas conveniente, las vigas deben calcularse en la oficina, para tramos de metro en metro, si se quiere, teniendo cuidado de hacer revisar prolijamente los cálculos.

Es un gasto inútil el de calcular una viga de n metros de abertura cada vez que se requiera su aplicacion en nuestros rios, porque si 100 ingenieros hacen los cálculos de cierto tipo de viga, partiendo de los mismos datos, tendrán que obtener exactamente las mismas dimensiones. Basta que la oficina los haya hecho de una vez por todas.

En cuanto a las grandes vigas de fierro o acero de los puentes ferroviarios, me parece preferible confiar su cálculo a los especialistas o a las grandes casas constructoras que cuentan con un personal idóneo i que responden de la bondad de

las obras que ejecutan. Esto sin perjuicio de que nuestras oficinas revisen las operaciones.

En Inglaterra, por ejemplo, todo ingeniero a quien se presenta el caso de una obra que salga del camino trillado, no se rompe la cabeza en producir algo mediocre: se dirige a un especialista de reputacion universal en materia de puentes, como Max Am Ende, esponiéndole qué es lo que necesita, con la seguridad de ser bien servido.

En Francia, en los casos análogos, se sigue el procedimiento de llamar a concurso, donde los Eiffel, los Seyrig, etc., se llevan la palma, sin ser ingenieros oficiales.

Hai conveniencia en dirigirse a las grandes casas constructoras, sin distincion de nacionalidades, no sólo para obtener una obra de estabilidad garantizada, sino tambien para obtener economías de tiempo i dinero.

Los ingleses, en los casos del puente sobre el Atbara, en Ejipto, i de un puente para uno de los ferrocarriles que el Gobierno británico construye en Burmah, han recibido lecciones que los han dejado admirados (*Engineering*, junio 9, 16 i 30 de 1899).

La premura del tiempo obligó al jeneral Kitchener a desechar las propuestas presentadas por algunos fabricantes ingleses, para el puente sobre el rio Atbara. Se dirijió entónces a los talleres de la Pencoyd Iron Works de Estados Unidos, por cablegrama, para saber si podrian encargarse del trabajo, a qué precio i en qué plazo. El mismo dia los talleres contestaban por cable, aceptando a un precio mas bajo i en un plazo mas corto que todas las propuestas inglesas. El puente consta de siete tramos i tiene un largo total de 1052 piés.

Para el caso del viaducto en Burmah el mas largo del mundo, segun se dice, el Gobierno ingles solicitó propuestas de cuatro fabricantes británicos i dos norte americanos. Tres de los primeros no presentaron propuestas, i una casa, a la cual no se le habia invitado, pidió i obtuvo permiso para presentarse. Así dos casas inglesas i dos norte-americanas, se encontraron en competencia: la propuesta mas baja de los ingleses fué de £ 115,000 i tres años de plazo; la mejor propuesta americana fué de £ 65,000 i un año de plazo.

“No hai patriotismo que pueda justificar una pérdida de £ 50,000 i dos años de espera,” agrega el articulista de quien extracto lo anterior.

En nuestro caso no tenemos ni la escusa de la proteccion a la industria nacional, ya que no hai fábricas chilenas de fierro o de acero.

Los ingenieros chilenos han desechado sistemáticamente los puentes articulados, que permiten hacer tales proezas a los norte-americanos; pero, a mi juicio, sin razones suficientes para justificar ese desprecio.

En los puentes totalmente remachados, NADIE sabe si se verifican o no las suposiciones en que se basa la distribucion de las cargas o esfuerzos.

En los puentes articulados, los tratadistas (RÉSAL, *Ponts métalliques*, T. I, páj. 196, 2.º) se ven obligados a reconocer que se tiene la certidumbre de que las piezas sólo trabajan al esfuerzo normal.

En el cálculo de los primeros, las deformaciones hacen ilusorias la exactitud aparentemente matemática de las fórmulas.

Es verdad que las articulaciones de los segundos constituyen un inconveniente serio, aun mas, un peligro, si no se inspeccionan con prolijidad i constantemente. Esta inspeccion con seguridad no se hará en Chile hasta que el puente respectivo se caiga. Pero, como estamos viendo caer, por causas diversas, los puentes remachados, creo que habria conveniencia manifiesta en presenciar impasibles la caída de los puentes articulados, que por lo ménos costarian algunos miles de libras esterlinas mas baratos.

Por lo demas, para prevenir la caída de los puentes que se construyan en el porvenir, al proyectarlos será menester tomar en seria consideracion cada uno de los puntos que hemos señalado al principiar.

La ubicacion debe elejirse en un sitio donde el río esté encauzado por la naturaleza misma. Si no se encuentra un local aparente dentro de un radio razonable, será menester acompañar al proyecto de puente el proyecto de encauzamiento artificial del río, precisando las dimensiones que debe tener el lecho menor para las aguas ordinarias i las del lecho mayor para las avenidas.

La determinacion de la desembocadura debe hacerse partiendo de observaciones fidedignas de la velocidad de las aguas en las grandes creces i de los perfiles del cauce tomados durante la misma riada. Si no se tienen datos serios, a mi juicio sólo debe construirse un puente provisional de tramos lo mas largos que sea posible, con cepas altas protegidas amonte mediante un tajamar aislado, compuesto por varios pilotes de rieles profundamente hincados i bien arriostrados.

El reconocimiento, por medio de pozos, de la naturaleza del terreno en que se va a fundar, debe efectuarse ántes de fijar la profundidad i el sistema por medio del cual van a hacerse las fundaciones. El empleo del aire comprimido o cualquier otro sistema, por mui bueno que sea en sí, no impedirá que fallen los apoyos, si se edifican sobre una base deleznable i sin proteccion contra la corriente. Es forzoso llevar las fundaciones hasta empotrarlas en el terreno que jamas hayan removido las corrientes actuales. Si dicha clase de terreno se encuentra a poca hondura i no tiene la dureza necesaria para resistir a los choques, frotamientos, arrastres, etc., que va a provocar la presencia de los apoyos, será menester proyectar, al mismo tiempo que el puente, las obras necesarias para proteger o consolidar el terreno que le va a servir de sosten.

El gran costo de las fundaciones basadas en honduras considerables, que es donde se encontrará, por lo jeneral, el terreno férjen, obliga a proponer el empleo de tramos lo mas largos que sea posible. Para salvar largas distancias se recomienda el uso de los arcos articulados, cuyo cálculo está exento de suposiciones gratuitas, i el de los puentes colgantes, que en Europa han caido en un descrédito innecesario.

La fijacion de las normas que deben servir de base para el cálculo de los puentes, es necesario hacerla con amplitud de miras i criterio mui previsor, dejando vasto márgen para el progreso.

Sobre el cálculo mismo, ya he espuesto mas atras mi manera de pensar.

Tambien he detallado las precauciones que deben tomarse durante la construccion i el servicio de un puente.

DOMINGO CASANOVA O.

Santiago, 15 de octubre de 1900.

