

PUENTES CHILENOS

VI

FUNDACIONES DIRECTAS

Puente del Achibueno.—Ubicado entre la estacion de Linares i de paradero de Miraflores. Puede citarse como una de las buenas obras provisionales i económicas, que deben usarse en las líneas férreas secundarias, para ser reemplazadas despues por puentes de carácter mas definitivo cuando el tráfico de esas líneas se haga importante. El puente del Achibueno tiene superestructura de madera, reposando sobre cepas de rieles i tiene 400 m. de longitud. Las cepas son compuestas, en su parte baja, de 4 pilotes dobles cada una perfectamente amarrados i entrecruzados con riostras de rieles. Algunas de estas cepas se clavaron abiajadas con relacion al eje de la via; hoi se ha visto que esto no tiene utilidad; las aguas del Achibueno oscilan tanto en el alveo del rio, que atacan las cepas en todos sentidos. El puente actual no está malo; pero dada su naturaleza, no permite la circulacion con gran velocidad i, por consiguiente, todos los espresos i trenes de pasajeros, deben sufrir una perturbacion en su marcha normal a causa de este puente. Esta circunstancia se está haciendo onerosa para el tráfico, i, por lo tanto, ya es tiempo que sea cambiado por otro, que, aunque económico, pueda ser atravesado por los trenes con la velocidad normal de plena marcha. Para ello ya en años pasados la administracion habia contratado un puente definitivo metálico de 320 m. de largo, compuesto de 11 tramos de 32 m. Este puente, aunque llegaron todas sus ferreterias, no se armó, porque al hacerse las escavaciones a tajo abierto i enmaderados, dieron un exceso de filtraciones i no se pudo agotar con los elementos que tenia la Empresa. El lecho del Achibueno es mui arenoso, i sus aguas mínimas de verano poco se pueden desviar de un lado a otro del alveo del rio; por eso no fué raro que, iniciados los trabajos de fundaciones, como es costumbre entre nosotros, sin haber hecho los sondajes del caso, tuvieran que abandonarse, gastándose sumas indebidas en obras inadecuadas. Este mismo fracaso ha servido de sondaje un poco caro i moroso, que ha puesto de relieve que conviene en el Achibueno un puente de tramo largo i con fundaciones de otro tipo que el proyectado. Por eso actualmente se consulta un nuevo puente metálico con 9 tramos de 40 m. de luz cada uno, reposando sobre machones tubulares i estribos de mampostería. Las fundaciones tubulares son las mas adecuadas en estos casos por la direccion tan caprichosa de las corrientes, que, como lo hemos dicho, cruzan las cepas del actual puente en todas di-

recciones. El fracaso de las fundaciones a tajo abierto ojalá sea una lección para que, antes de proyectar puentes, se hagan sondeos en los lechos de ríos.

Los 11 tramos de la superestructura de acero mandada por el Creusot, los va a aprovechar la Empresa de los Ferrocarriles del Estado en puentes mas chicos: porque, como todos los otros mandados por la misma fábrica, han sido calculados con cargas de prueba ya insuficientes dado el peso del nuevo equipo de los Ferrocarriles del Estado. La nueva ferreteria de los tramos de 40 m., se calculará en conformidad a estas últimas exigencias: haciendo trabajar los frenos i aceros en conformidad con los pliegos de condiciones suizas, que son los mas recomendados.

El puente del Liguai.— Ubicado entre el paradero de Miraflores i la estación de Longaví. Tipo económico como el del Achibueno, con 113 m. de largo, con cepas de pilotes bien armados i en buen estado. Este puente se encuentra en las mismas condiciones que el anterior, perturbando ahora el servicio porque obliga a disminuir la marcha normal de los trenes. Por lo tanto, ya es tiempo que sea reemplazado por otro, que, aunque económico, permita grandes velocidades. Por eso se consulta ahora, en este punto, un puente metálico de tres tramos con 50 m. cada uno, con vigas rectas i vía inferior; i siendo costosas sus fundaciones, se consultan machones tubulares i estribos de mampostería.

Las creces del año 1900 maltrataron un poco los terraplenes de acceso del puente, desperfecto que desaparecerá con las defensas de los nuevos estribos.

Puente del Roble.— Situado al sur del Ancoa entre Linares i Miraflores. Era un puente de 7 m. de luz, i en las últimas avenidas del año 1900 las aguas se acumularon de tal manera, que rebalsaron i destruyeron el puente. Para restablecer el tráfico se puso uno provisional sobre caballetes de madera. Como todo el defecto del puente fué su poca desembocadura, se ha consultado en reemplazo del caído otro de 25 m. de luz, utilizando así uno de los tramos caídos en el puente del Tinguiririca.

Puente de la Noche.— Ubicado al norte del Longaví, puente de albañilería compuesto de tres arcos de medio punto de 8 m. de luz cada uno. Sus fundaciones empotradas en terrenos mas o menos toscos. Las creces extraordinarias de 1900 hicieron que las aguas se acumulasen contra las bóvedas, botando dos de los arcos. Basta para reconstituir el puente, en buenas condiciones, reemplazar los dos arcos de 8 m. cada uno i el machon caído, por un tramo de ferreteria de 20 m. de luz, que se haría reposar sobre estribo nuevo.

Puente del Longaví.— Ubicado entre las estaciones de Longaví i Membrillo, de albañilería, compuesto de 14 arcos de 20 m. de luz cada uno i rebajados a 1/10. Las fundaciones del Longaví i su caída son otra lección dada por el descuido de conservación; sea por falta de fondos o por cualquiera otra causal, el hecho es que el puente del Longaví ha caído por falta de atención oportuna, i ahora su reconstrucción costará tres o cuatro veces mas que lo que habría costado su defensa hecha a tiempo. I la razón es obvia: ahora, hai que gastar en los trabajos de defensa de la parte que queda en las mismas condiciones que se habría hecho hace cuatro años si se hubiera actuado oportunamente, i a mas de esto, como gastos suplementarios todos los ocasionados por los puentes provisionales para restablecer el tráfico; todas las sumas perdidas en sacar escombros de la parte caída i, por fin, las sumas que se invertirán en la reconstrucción de lo destruido. Se

ve, pues, que tomando solo estos factores i sin contar con las *pérdidas que sufre la explotación por las interrupciones del tráfico*, las que no pueden ser despreciables, no es exagerado decir que la falta de cuidado oportuno de una obra de arte como el puente del Longavi, costará el desembolso de sumas tres veces superiores. Esta misma dolorosa observacion la podemos hacer respecto a tantas otras obras de la misma naturaleza; lo que es peor, no han bastado a la administracion las lecciones del Lontué, en que año a año se ha caído un machon, arrastrando cada caída con dos tramos del puente; que ya en dos creces sucesivas, puentes como el Maule han sido averiados i poco atendidos; que los dos tercios que quedan del antiguo puente Longavi, pueden ser destruidos de un momento a otro si no se atienden ántes que las nuevas creces produzcan aun efectos mas fatales; no han bastado, como digo, ninguna de estas lecciones que cuestan algunos miles de pesos, i se continúa en el mismo estado. Qué de raro será entónces que si tenemos un invierno fuerte tengamos que lamentar la caída de los pocos que aun han aguantado los azotes de las aguas?

Las fundaciones del puente del Longavi se llevaron hasta un suelo de tosca bastante dura e igual a la que se vé en su barranca sur, dándoles 6.50 a 7 m. de profundidad. La capa de tasca debe tener una ondulacion cerca de la barranca sur, por cuanto algunas de las fundaciones, apesar de tener 7 m., no alcanzaron a llegar a la tosca i quedaron en un conglomerado de gravas que no tenia indicio de haber sido removido. Los trabajos se efectuaron como en los demas puentes, *sondeando* el terreno con las escavaciones mismas i con heridos a tajo abierto convenientemente enmaderados para reducir los cubos de estraccion i evitar derrumbes. Solo en la cuestion de agotamientos de las aguas de filtraciones, hubo una circunstancia particular, *sui generis*. No teniéndose a mano mas bombas centrifugas, que las que en esa época estaban ocupadas en las faenas del Maule, Perquilauquen i otras, u otras bombas convenientes para atender esta necesidad, se facilitó a las faenas del Longavi una de las bombas de grandes dimensiones que recién llegaban para el dique de Talcahuano; pero como esa bomba era capaz de levantar hasta 2,000 litros por segundo con su carrera máxima i 1,000 a 1,200 *con la mínima*, i una sola escavacion no daba filtraciones bastantes aun para alimentar el minimum de la bomba i asegurar su funcionamiento continuo, se reunieron, por medio de un canal longitudinal, las aguas de tres i aun cuatro escavaciones en un solo pozo de agotamiento. Como la bomba exijia un fuerte motor que no se encontraba en plaza, i no era posible pensar en armar, ni aun provisoriamente, los motores fijos que venian con ella para el dique, se hizo servir de motor a una locomotora convenientemente suspendida i desacoplando sus ruedas motrices. Se adaptó a la rueda motriz en movimiento un aparato adecuado para recibir una polea i la correa de trasmision.

Por último, como las correas de trasmision, aun las mejores, de cuerda i de gutapercha, etc., se destruian mui lijero, se recurrió a fabricar correas con cables de manila dándoles varias vueltas i formando correas; tampoco este recurso fué mui eficaz, i por consiguiente, se hizo un aparato adecuado de trasmision especial i directa que, si bien no era capaz de dar a la bomba el maximum de velocidad, la hacia funcionar bien con su carrera media.

La zanja colectora de las aguas de filtraciones que seguia el eje longitudinal del puente, i naturalmente a un nivel *inferior* al plan de fundacion, puesto que necesi-

taba pendiente para llevar las aguas de varios heridos al pozo de agotamiento, *interrumpió la continuidad* del suelo firme; i no han faltado quienes atribuyan a esta circunstancia una influencia nociva i una causa, que si bien no ha provocado desperfectos, por lo ménos es desfavorable para resistir a la accion socavadora de las aguas. Esa zanja fué rellenada con piedras de cerro de grandes dimensiones, i es de suponer que ese enrocado haya impedido los socavamientos.

Sin embargo, el desideratum en este caso habria sido rellenar con hormigon o de cualquier otro modo para formar un monolito, reemplazando el suelo firme natural que se habia cortado, i que servia de base a las fundaciones. En todo caso no parece ser este un procedimiento que deba imitarse; es preferible el agotamiento de cada herido aisladamente.

El señor Vivanco, al fijar la profundidad de las fundaciones, tuvo mui en cuenta las creces máximas conocidas el año 1877, i el arranque de los arcos del puente fijan el nivel de las aguas máximas de esa crecida. Los arcos del puente del Longaví, tienen la particularidad de no formar una bóveda continua, sino por el contrario, ser arcos aislados de 1.10 m. de espesor por 1 m. de ancho, colocados debajo de los rieles de la via i dos arcos aislados de 1.10 de alto por 0.80 de ancho para las cabeceras. Los arcos se construyeron con dovelas de piedra artificial, fabricadas a molde en las mismas faenas, evitándose así el gran costo de las piedras canteadas de grandes dimensiones i obteniéndose casi la misma resistencia.

Los ensayos de esas piedras artificiales dieron mas de 201 k. por centímetro cuadrado, a la ruptura (ver ANALES DEL INSTITUTO DE INJENIEROS). Dos arcos estan ligados entre sí, por bovedillas de ladrillo, tirantes de fierro; los tímpanos i barandillas son de albañilería i ahuecados, para descargar su peso, en los machones estribos, que subdividen el puente en tres secciones independientes.

Posteriormente, el Longaví, en una de sus creces del año 1898, cargándose las aguas en una parte del lecho, lo canalizaron en una estension de dos tramos, provocando así una fuerte socavacion, de tal manera que descubrió los cimientos de dos de los machones del puente, provocando aun pequeñas desnivelaciones que pudieron comprometer las bóvedas si hubiera seguido acentuándose.

Este hecho puso entónces enteramente de manifiesto que el suelo que se habia considerado como insocavable estaba espuesto, siempre que las aguas tomasen un volúmen tal que dieran una altura de 1 m. mas que las creces de 1877. Era, pues, evidente i eminente la necesidad de proteger esas fundaciones con un zampeado jeneral, puesto que no se podia asegurar si en otra crece las aguas no irían aun mas léjos en sus estragos. La administracion, por economía, se limitó a hacer defensas locales con zampeados parciales i deficientes alrededor de los machones, cuyas fundaciones fueron descubiertas. Los resultados no tardaron en hacerse esperar desgraciadamente; las creces de 1899, las mayores conocidas ahora, no solo tomaron tanta agua, que su nivel subió de 0.60 encima del nacimiento de las bóvedas de los arcos del puente, sino que canalizó otra seccion del alveo del rio i trajo la ruina de la parte central del puente. Si el puente del Longaví no hubiese estado dividido en secciones, por medio de machones estribos, se habria arruinado por completo.

Si el año 1898, despues de producidas las desnivelaciones en dos de los machones,

se hubiesen protegido inmediatamente las fundaciones del puente con un zampeado jeneral gastándose unos 10,000 pesos, hoy tendríamos el puente en pié a pesar de las creces posteriores. Ahora, la reconstrucción de lo caído i defensas de lo que queda, *sin contar lo gastado en puentes provisionales ni las pérdidas por las interrupciones del tráfico, están valorizadas en 200,000 pesos.* I como pasó la época de hacer los trabajos de defensa, como para el Maule, Lontué, etc., quién sabe si para el año próximo la reconstrucción del Longaví no nos costará 400,000 pesos, o mas, sin contar las pérdidas de interrupciones del tráfico, etc., etc. Francamente, que no se puede comprender esta lentitud en atender i conservar las principales obras de arte de los Ferrocarriles del Estado, lentitud que cada dia está ocasionando pérdidas de todo jénero i perturbaciones inadmisibles en los servicios de explotacion. (Actualmente hai trabajo en el Longaví.)

No tengo, desgraciadamente, ningun dato de las velocidades superficiales de las aguas del Longaví en sus creces, i, por lo tanto, no puedo en este caso ver si se comprueban aun las fórmulas empiricas que he apuntado respecto a la intensidad de las socavaciones; i es tanto mas sensible este hecho por cuanto el lecho del Longaví, teniendo tosca en el subsuelo, es distinto de los que hemos visto, con subsuclos de gravas i conglomerados arcillosos mas o ménos duros, pero siempre formados con piedras redondas de acarreo de los mismos rios. Ademas el lecho del Longaví tiene una pendiente trasversal, como el Maipo i el Cachapoal, de norte a sur, de 0.008 por metro.

Destruída la parte central del puente, parecia lójico pensar en reconstruirlo en la misma forma que ántes, despues de haber defendido todas las fundaciones con un zampeado jeneral; pero como se ha notado ya, por las últimas creces, que la desembocadura del puente es deficiente, por cuanto las aguas han subido de 0.60 sobre el nacimiento de las bóvedas i éstas son sumamente rebajadas; i por otra parte la dificultad de bajar a buscar las nuevas fundaciones a hondura en los mismos puntos donde se encuentran los escombros de las antiguas, es una subjecion bastante fuerte que hace difíciles i costosos los trabajos, aunque se hagan valiéndose del aire comprimido, dificultades que hacen que el costo de estas reconstrucciones sea exajerado comparándolo con el costo de la reposicion de machones tubulares bajados con aire comprimido i superestructura metálica, han determinado la adopcion de este último procedimiento que no tiene subjeciones de fundacion i aumenta la desembocadura del puente.

Para que los cilindros que formarán los nuevos apoyos, no tengan que enterrarse encima de escombros del antiguo puente, lo que dificultaria enormemente su descenso, se han proyectado tramos de 32.50 m. de luz cada uno; de esta manera uno solo de los machones cae encima de escombros. La parte cortada mide 130.50 m., i por consiguiente, con cuatro tramos tenemos: $4 \times 32.5 = 130$ m. Como los caídos son 5 tramos de 20 m. de luz cada uno o sean 120 m. de desembocadura, con 10.5 m. para espesor de machones: se ve que, con la nueva combinacion, se gana en luz efectiva el espesor de un machon i el no estrechar la seccion mas arriba de la cota del nacimiento de los arcos. La vía tiene que ser superior i por consiguiente las vigas rectas que soporten el tablero del puente, dada la altura disponible, no pueden tener el $\frac{1}{6}$ de la luz como jeneralmente se usa: así para tramos de 32.5 m. les correspondia vigas de 3.2 m. de alto: pero solo se les dan 2.8 m. teniendo, por consiguiente, que reforzar convenientemente las cabezas de estas vigas i no ser por eso el tipo mas económico. Dando tambien a las vigas maestras 2.8 m.

de alto, las cabezas inferiores quedan sobre el nivel de aguas máximas de las últimas creces.

No se puede pensar en defender el fondo del río con un enrocado de piedra suelta que formase zampeado, por cuanto tienen en este caso el grave inconveniente de obstruir los ojos del puente, levantando el fondo del lecho del espesor del enrocado i está probado que el puente tiene poca desembocadura: por consiguiente, si se pone zampeado de fondo debe ser, por lo ménos, al nivel del plan actual del lecho del río para no desmejorar la desembocadura del puente. Lo primero que se ocurre es poner un zampeado con bóveda inversa, para echar las aguas al centro de los tramos i aumentar la desembocadura del puente; pero un zampeado semejante seria mui costoso. Recurrir al zampeado parcial alrededor de cada machon, es mas costoso aun porque el desarrollo de cada una de estas defensas parciales es tal que sumadas todas ellas dan mas cantidad de obra por hacer que el jeneral de ribera a ribera. I por otra parte, caeríamos en el gran defecto de dejar el centro o espuesto a canalizarse; ahora bien, si seguimos las buenas reglas de construccion, tenemos que la parte protegida alrededor de cada machon *no debe pasar de $\frac{1}{4}l$* o sea en este caso $\frac{1}{4} \times 20 = 5$ m. como distancia máxima para formar las palizadas *BB* del recinto de los zampeados parciales i esas palizadas *B* deberian quedar enterradas mas abajo que toda socavacion, lo que sale mui costoso. Por eso se ha consultado la reconstruccion con las condiciones siguientes:

I. Construir una barrera de rieles en toda la estension del puente, de dos filas, formando cajon a 5 m. aguas abajo i otro a 5 m. aguas arriba de las fundaciones actuales.

II. Colocar un zampeado jeneral con bloques entre estas barreras, en toda la parte del antiguo puente, colocando el nivel superior de los bloques al plan del lecho del río.

III. Fundar dos machones que faltan para colocar los 4 tramos de ferretería, con columnas con aire comprimido a la mayor hondura posible i proteger el lecho en esa parte con piedra suelta de grandes dimensiones, acomodada a mano, para que el plan del enrocado así formado no levante el plan del lecho del río. Estos trabajos son los que se han estimado en 200,000 pesos.

Puente del Membrillo.—Ubicado entre las estaciones de Membrillo i Parral, de albañilería de ladrillo, con tres tramos, de 6 m. de luz cada uno, fué hecho sumamente débil, de modo que cuando se pusieron las tierras de los terraplenes se rajaron los muros. Aunque este puente tiene buenas fundaciones, todas sus albañilerías estan ya deterioradas i se mantienen en estado incierto hasta ahora i lo curioso es que se construyeron estas albañilerías débiles por orden del injeniero de Gobierno con protesta del contratista, i como uno de sus tramos sirve de paso inferior i tiene su plan mucho mas alto que el lecho del estero, las aguas se arrepresan demostrando que conviene aumentar un tanto la desembocadura, resulta que no vale la pena atender a esas fundaciones, sino que será mas económico poner un solo tramo de 24 m. de luz, demoler el machon de mas al sur i recortar el de mas al norte a la altura del plan *AB*, del camino, dejando el pedazo de machon como muro de sostenimiento del camino. Por otra parte, los estribos de este puente hai que reforzarlos completamente; tienen 7 m. de alto i sus muros de vuelta son mui delgados i se abrieron con el empuje de las tierras. Para que no se cayesen se les pusieron tirantes *t* de fierro que con sus anclas ligan un muro con otro. La Empresa puede usar en este puente una de las vigas del antiguo puente de los Maquis, haciéndole

las transformaciones necesarias para adaptarla a las dimensiones de 24 m. de luz, como se ha indicado.

Puente del Perquillauquen.—Ubicado en la línea central, entre las estaciones de Parral i Niquen; fué fundado directamente con heridos a tajo abierto, enmaderados i agotando las filtraciones con bombas centrifugas hasta una profundidad de 5 a 6 m. sin encontrar ninguna dificultad. Solo un accidente casual, la cortadura de uno de los vientos de una de las gruas de servicio que bajaban los materiales a las escavaciones, arrolló al ingeniero residente don Nicolas Tanco, arrojándolo violentamente al fondo de la escavacion, accidente que casi costó la vida a dicho ingeniero, vino a perturbar la marcha ordinaria de esas faenas.

El puente tiene superestructura metálica, compuesto de 7 vigas rectas independientes, formando 7 tramos, con 125 metros de desembocadura. Los machones i los estribos fueron ejecutados de mampostería, i para evitar grandes acarreos se usó la piedra de la cantera de Putagan, que depreciablemente resultó alterable con los agentes atmosféricos, i se descompuso con bastante rapidez al cabo de 10 años. Fué preciso entónces emprender la reconstruccion de esas mamposterías, trayendo para ello piedra granítica de las canteras del Maule.

La reconstruccion de los machones se hizo sin ninguna dificultad en la misma forma que su construccion, solamente trabajando bajo las alza-primas que sostenian provisoriamente, las ferreterías para no interrumpir el tráfico de la línea férrea. Se descubrieron i demolieron una a una todas las fundaciones que tenian piedra de la cantera de Putagan, la que, ya sea al aire libre o bajo tierra, se encontró siempre podrida i deteriorada. Se demolieron i se reemplazaron por buenas mamposterías con piedras graníticas i morteros hidráulicos. Solo dos de estas fundaciones que se habian hecho con piedras graníticas se encontraron frescas i sin alteracion. En otro de los machones las piedras del interior de las mamposterías, que podia suponerse que deberian estar al cubierto de las acciones de la humedad i de la atmósfera, i por lo tanto en buen estado, se encontraron tan averiadas i podridas que dejaban huecos enormes, donde se habian reducido a arena i polvo.

Este hecho, único por fortuna entre nosotros, en los puentes del ferrocarril, pone perfectamente de manifiesto la necesidad de emplear materiales de primera calidad, aunque ellos *parezcan caros en el primer momento*. La economía que se obtuvo en las primeras mamposterías del Perquillauquen, costaron, 10 años despues, dos i media veces mas, por tener que trabajar bajo alza-prima con mas molestias que en una faena sin subjecion.

Las agnas del Perquillauquen, como la de todos nuestros rios centrales oscilan en su alveo, canalizando ya al sur ya al norte i atacando los terraplanes de acceso del puente. Como estas fundaciones tienen 5 m. de profundidad i desde que se trabajó el puente el perfil del lecho ha cambiado notablemente, es del todo conveniente tratar de restablecer los puntos donde se haya canalizado i no esperar *que las socavaciones sucesivas boten el puente como han botado el Lontué i ya amenazado el Maule*.

Por este motivo se necesita para asegurar esa obra:

1.º Poner defensas aisladas al rededor de cada machon i estribos con enrocado de bloques de 3 i medio metros de ancho i enterrados de 2 metros de profundidad;

2.º Defender los terraplenes de acceso con cestos de mimbres rellenos con piedras de río o con zarzas de ramas de mimbre, colocados aguas arriba de los terraplenes. I sobre estos cestones o zarzas se botará piedra de cerro.

El otro puente sobre el *Perquilauquen*, se encuentra en el ramal de Paríal a Cauquenes, tiene superestructura metálica compuesta de tres tramos de 45 metros, reposando sobre estribos de mampostería i machones tubulares de fierro. Está ubicado entre las estaciones de Parral i Quella. El nivel del riel quedó colocado a 3 m. sobre la cota de las aguas máximas del año 1877, i como la vía estaba a media altura en las vigas del puente, sus cabezas superiores se encontraban a la cota 128.99 i las cabezas inferiores solo a 1.50 metros sobre el nivel de aguas máximas de 1877. La cota de fondo del río era de 116.00 i las fundaciones de los estribos fueron bajadas a 112.95, o sea 3.95 m. bajo la cota de fondo, pero quedando empotradas en las barrancas del lecho de 8 m. Los tubos de los machones quedaron en suelo firme a la cota 113.50, o sea enterrados de 3.40 m. Se abrieron heridos enmaderados los que se agotaban con bombas centrífugas, puesto que en verano el lecho del *Perquilauquen* queda casi en seco, en el mismo herido se pusieron los dos tubos gemelos de este machon. A la hondura de 3.40 se puso una capa de 0.60 de hormigon i los tubos quedaron unidos en su base i encastrados en esta capa de hormigon. Despues se rellenaron las excavaciones con piedras de cerro, habiendo quitado las enmaderaciones. Tal fué la construccion de este puente.

Cuando se fijó la desembocadura en 135 metros, el ingeniero tuvo en cuenta el cauce ordinario del río o sea la parte *A B* del perfil i colocó la superestructura 1.50 m. mas alta que las aguas máximas conocidas a la fecha de la construccion; pero no tomó en cuenta el gran campo de inundacion, que queda al poniente del cauce *A B*, por cuanto creyó que esas eran aguas muertas i que bastaria para su escurrimiento, con una gran alcantarilla en los terraplenes de acceso del poniente. Este error ha sido la causa de la caída del puente, como vamos a verlo.

En las creces del año 1900 el agua subió hasta quedar 0.50 bajo el nivel del riel, es decir, a la cota 126.88 i por consiguiente quedando 0.89 sobre las cabezas inferiores de las vigas del puente, las que interceptando las ramas de árboles, etc., que arrastraban las aguas, formaron un taco de 2 m. mas o ménos, colocado de lado a lado del lecho del río. El empuje ocasionado por estas aguas fué lo que motivó el arrastre de la superestructura sobre sus rodillos i rótulas de dilatacion i la tronchadura de las columnas del machon oriente. El croquis siguiente muestra la colocacion en que quedaron los tramos del puente despues de las creces. El tramo núm. 1 viró al rededor de su estribo i quedó casi al pié en 1', el tramo del centro fué arrastrado al frente a 2' i el núm. 3 viró al rededor de su estribo i quedó en 3'. Fué el tramo 3' el que al caer chocó contra las columnas del machon i las tronchó, quedando en pié solamente como 1.50 a 2 m. sobre el suelo. Como los estribos estan bien fundados en tosca dura, lo mismo que los tubos, el suelo no pudo ser socavado por las aguas i ejercieron todo su empuje sobre las ferreterías. Ahora si hacemos un cálculo aunque sea sumario sobre el levantamiento del eje hidráulico del río, que deberian provocar los terraplenes del poniente, que entorpecen el escurrimiento de las aguas de inundacion en todo el campo *A C*, que tiene mas de 600 metros, veremos que, suponiéndole a la crece de 1900 el mismo volumen de agua de la del año 1877, como esta última se escurrió por una desembocadura *C A B*, i la del año 1900 se le obligó a pasar

solo por la seccion A B, no es raro que su nivel subiese a la cota 126.88 o sea 2.50 mas alta que la crece de 1877. El error ha estado en contar como aguas muertas las aguas de inundacion, las que, si bien desbordan sobre el lecho normal, no por eso dejan de escurrirse i exigir desembocadura. I tanto mas sensible ha sido este hecho cuanto que durante la construccion se pensó, realmente, en poner en los terraplenes del poniente un tramo de descarga de 20 m. de luz. Pero, temiéndose que este tramo de descarga, provócase la formacion de canales laterales del rio i en un momento dado sus aguas pudiesen salir del alveo actual i tomar por esos canales rompiendo los terraplenes i dejando el puente en seco, no se quiso construir el tramo de descarga. Las creces de 1900 han puesto de manifiesto que se necesita el tramo de descarga de mas de 30 metros de luz, en los terraplenes del poniente, sin embargo, hai quienes, aun despues de los acontecimientos pasados, encuentran preferible dejar esos terraplenes unidos por el temor de que ellos formen cauce i lleven un gran volúmen de agua hácia esos tramos i los boten, como aconteció con las creces de 1900 en los terraplenes del puente del Bio-Bio, que quedaron cortados por esta causa.

Ahora si hacemos tambien un cálculo sumario sobre el empuje que las aguas ejercieron sobre la viga i determinamos la velocidad superficial, por medio de las fórmulas hidráulicas ya que desgraciadamente no fueran observadas: se encuentran los datos siguientes:

1.º Que la velocidad *mínima superficial* de las aguas en la seccion del rio donde tuvieron 9.98 metros de altura, teniendo el lecho del Perquilauquen una pendiente de uno i medio por mil, i calculada por la fórmula $hi = b u^2$ tenemos para la velocidad media $u = 3.67$ m. por segundo i una velocidad superficial de 4.58 metros por segundo i que sin disputa es menor que la real, pero que la tomaremos como base de los cálculos para que no se puedan tachar de exajerados, ya que no tenemos las velocidades dadas por la observacion directa.

La seccion de viga espuesta al choque de las aguas es de $0.89 \times 45 = 40.05$ metros cuadrados si toda ella hubiese estado obstruida, pero como la viga es de simple rejilla i considerando por otra parte que las aguas quedando a 0.50 bajo el riel, alcanzaban a chocar con las longuerinas las basuras i ramas que formaban taco i la superficie de choque de la otra viga de aguas abajo, no pecaremos por exajeracion, si consideramos con superficie de choque un 0,70 de la anterior o sean 28.049 metros cuadrados.

Como cada metro cúbico de agua pesa por lo ménos 1000 kilogramos, no contando los materiales en suspension i el esfuerzo de choque es igual a la masa por el cuadrado de la velocidad del cuerpo chocante: por otra parte la masa es igual al peso $\frac{P}{g}$, tenemos, como esfuerzo de choque de las aguas en la superestructura del puente del Perquilauquen

$$\frac{28049}{0.88} \times 4.58^2 = 59533 \text{ kilogramos.}$$

Por otra parte, segun los planos i datos del contrato con el Creusot el peso de las ferreterías de cada tramo es de 63.570 kilogramos, agregándole el peso de la enrieladu-

ra, durmientes etc. tenemos 68.000 kilogramos en números redondos. Luego el frotamiento de las cuatro rótulas ofrecen una resistencia al arrastre horizontal de

$$R = 1.4 \times f. \times P.$$

puesto que siempre el frotamiento inicial de resbalamiento es 1.4 veces superior al coeficiente f . de los cuerpos ya en movimiento. Tomando ahora como coeficiente de resbalamiento de acero contra fundición $f=0.20$, es decir, un máximo para tomar en cuenta no solo que esas piezas no estaban lubricadas sino aun un tanto oxidadas tenemos

$$R = 1.4 \times 0.20 \times 68000 = 19040 \text{ Klogs.}$$

o sea la resistencia tres veces menor que la fuerza solicitante. Luego, es evidente que esa ha sido la única causa de la caída del puente. Por lo demás, las distancias a que han caído los tramos arrastrados, demuestran claramente que las masas de agua i las velocidades que han intervenido en la caída, son mayores que las que he hecho intervenir en los cálculos.

He querido detallar un tanto este fenómeno para poner bien de relieve el defecto de la poca desembocadura de un puente i las consecuencias fatales que de él se deducen, cuando la altura de las vigas es muy poco superior a la de las aguas máximas, puesto que, guiados siempre por economías tenemos la tendencia de acortar los puentes.

Tratándose ahora de la reconstrucción, es evidente que, siendo el Ramal de Parral a Cauquenes, una línea de poco tráfico i enteramente secundaria, mientras no se le prolongue hasta la costa, debería ponerse en ella puentes enteramente económicos. Ahora, dadas las circunstancias existentes que muestran que pueden utilizarse la mayor parte de las fundaciones i de los materiales del antiguo puente (siempre que no los dejen años botados en el lecho del río oxidándose i maltratándose) hai verdadera conveniencia en reconstruir el puente caído, i para ello es necesario:

I. Restablecer el machon que falta.

II. Reforzar los apoyos existentes i trasformar la superestructura metálica para colocar la vía inferior i levantar así las cabezas inferiores por lo ménos de 2.50 sobre aguas máximas.

III. Levantar el nivel de los rieles de un metro mas si es posible que el nivel actual, puesto que, no se puede pensar que, ni aun colocando ahora tramos de descarga en los terraplenes del poniente, el nivel de las aguas en creces semejantes a las de 1900 que no es muy superior a las de 1877, las aguas bajen mucho sobre el nivel adquirido últimamente.

Ahora, como los terraplenes fueron cortados a alguna distancia al poniente del puente por las aguas de inundación es indispensable, por mas temores que se tenga, que se construya un puente de 30 metros de luz, en estos terraplenes.

Los otros puentes de la línea de Parral a Cauquenes, *Titinivilo*, *Unicaven*, etc., tienen superestructuras metálicas, con vigas rectas de alma llena, puesto que sus tramos no son superiores a 15 m. de luz. Todos tienen estribos de mampostería i machones for-

mados con cepas de pilotes de rosca. Estas construcciones son mui económicas i por lo tanto mui adecuadas a las condiciones del servicio de la línea del ramal de Cauquenes.

La construccion de las primeras cepas fué dificultosa, no por la clase de suelos que se encontraban, sino por la falta de esperiencia para manejar los pilotes de rosca, i siempre por las economías mal entendidas. No queriendo gastarse en pilotes con roscas adecuadas a los suelos que se presentaban, que eran fangos i despues de ellos una tosca de regular dureza; se dió orden de colocar ahí los mismos pilotes de rosca que habian sido traídos para la línea de Valparaiso, para suelos cascajosos. El resultado negativo nos hizo esperar: las resistencias que se desarrollaron fueron excesivas i ocasionaron la ruptura de los cabrestantes, etc., fué preciso, por lo tanto, perder lo hecho i lo gustado para recomenzar con pilotes con roscas adecuadas a los terrenos i aparatos de torsion calculados para esas roscas. Hecho esto (Ver Anales del Instituto de Ingenieros) los trabajos dirigidos por el ingeniero señor Máximo Dorhiac marcharon con toda regularidad i economía. Yo no dudo que este sistema de fundacion, tan aprovechado en el estranjero, esté destinado entre nosotros a prestarnos excelentes servicios en puentes, tanto de ferrocarril como sobre todo en los carreteros, para reemplazar el pilote de martinete donde con él no se puede conseguir un resultado satisfactorio. En ese sentido, los puentes de Titinivilo i Unicaven serán siempre buenos modelos de puentes económicos i de fácil construccion.

Puente del Butro i Llalbun.—Ubicados en la línea central entre las estaciones de Parral i Niquen. Son viaductos de albañilería de ladrillo con arcos de medio punto i de 10 metros de luz. Las bóvedas son de 4 hileras de ladrillos de los llamados ladrillos fiscales. Los machones son de mampostería i bien fundados en las toscas del subsuelo directamente con bombas a 6.5 de profundidad i por lo tanto no han sufrido por socavacion. El puente se ha mantenido bien hasta 1883; el año 1884 apareció una rasgadura longitudinal que tiene tendencia a abrirse por los fuertes rellenos de los riñones. Se le botaron las barandas. Es evidente que a mas de la atencion de los terraplenes conviene en este puente examinar cuidadosamente las bóvedas, para ver si bastarán simples amarras para asegurarla por completo o bien si el movimiento sigue, demoler i restablecer la bóveda averiada.

(Continuará)

