

PUENTES CHILENOS

§ VI

FUNDACIONES DIRECTAS

El estudio de las fundaciones anteriores nos ha puesto de manifiesto la gran fuerza socavadora de las aguas de los ríos torrenciales; i que sus remolinos, etc., pueden, cuando canalizan, remover el fondo hasta profundidades de 6 a 8 metros, según las velocidades superficiales de las aguas i las resistencias de los suelos. Hemos visto también que las corrientes de nuestros ríos hacen que sus cauces sean esencialmente variables de tal manera que no es raro encontrar un machón atacado por dos corrientes contrarias, que vienen a chocar contra las dos caras planas de los paramentos de las mamposterías, produciéndose así en esos puntos un *máximo* de remoción de fondo. Luego, para nuestros ríos, en jeneral, con- vendrá:

1.º Disminuir al *mínimo* el número de machones, para perturbar lo *ménos* posible el régimen normal de las aguas; i, por otra parte, construir machones que presenten la menor superficie de choque, es decir, cilíndricos cuyo diámetro se encuentre en proporción con la altura i esfuerzos que tienen que soportar, i al decir altura, tenemos que tomar en cuenta también la profundidad de remoción del suelo, que se suma con la altura disponible de la desembocadura, para formar la altura total que debe fijar los diámetros de las columnas.

2.º Evitar las grandes escavaciones a cielo abierto, que, por causa de sus chaffanes remueven mucho el suelo alrededor de la fundación, haciéndose indispensable entónces rellenar los huecos M. M. (fig. 1) con piedras gruesas de cerro, o mejor con bloques de gran tamaño, para tratar de construir un suelo resistente que reemplace el removido. Por consiguiente, lo mejor será bajar con enmaderaciones que dejen los heridos necesario, para la buena ejecución de los trabajos, rellenando siempre los huecos con piedra gruesa.

3.º Que, dadas las velocidades de fondo que se producen en nuestros ríos, ni las toscas, en jeneral, ni los conglomerados pueden considerarse como inatacables por las aguas i, por consiguiente, que son suelos bastante firmes para establecer una fundación directa a poca hondura.

Estas tres consideraciones jenerales que se presentan naturalmente como consecuencias del estudio de los zampados, veremos que se encuentran enteramente

confirmadas con los hechos ocurridos en los puentes construidos con fundaciones directas, i que pasamos a detallar.

Siendo tan anchos los álveos de nuestros rios i tan variables los cursos de las aguas en ellos, se hace mui difícil, en la jeneralidad de los casos de Santiago al sur, pensar en proteger el lecho en toda su estension con un zampeado jeneral que inspire entera garantía; porque su costo seria excesivo. Por eso, a pesar de las dificultades, se ha preferido profundizar de tal manera la fundacion que sus cimientos queden arraigados en suelos firmes e insocavables. Para ello se tropieza con no pocos inconvenientes, tanto porque estas escavaciones en terrenos arenosos con gravas mas o ménos gruesas, son mui filtrantes i ocasionan fuertes subjecciones para sus agotamientos; cuanto porque es mas difícil aun *determinar donde se encuentra el suelo insocavable*. A veces se llega a capas subterráneas de conglomerados o pudingas mui resistentes, que forman un subsuelo que puede estimarse como insocavable; pero en la mayoría de los casos se llega a *toscas* mas o ménos duras, o a gravas mas o ménos gruesas ligadas con arcilla, que tienen aspecto de no haber sido removidas, i que dejan la duda si serán o no atacadas por las grandes creces, sobre todo cuando las aguas acanalan acumulándose sobre una seccion determinada del álveo. En esos casos el estudio de la intensidad de las corrientes *máximas* superficiales conjuntamente con la *hondura máxima* de estos canales locales del álveo, son los únicos datos que pueden darnos una idea mas o menos exacta de la profundidad de la fundacion para dejarla a salvo de las socavaciones, como los veremos en los ejemplos que dan los puentes existentes.

Puente de los Maquis. - No por las dificultades de sus fundaciones, las que fueron ejecutadas en roca viva, sino por sus antecedentes i otras deducciones principiaré por citar el puente viaducto de Los Maquis, de la línea férrea de Santiago a Valparaíso. Puente curvo i compuesto de 5 tramos: 4 de 30 metros, i el central de 52 metros, con vigas de alma llena; sobre cepas metálicas tubulares colocadas i ancladas en una basamenta de mampostería. Fué construido el año 1879, i las vigas de cajon fueron bien remachadas de tal manera que 10 años despues, cuando se revisó el puente, se encontró lleno de agua el cajon central (fig. 2) i se sacaron 50 toneladas del cajon del tramo central de 52 metros de largo, o sea una capa de agua de 0.38 metro de alto.

Últimamente, atendiendo a las mismas consideraciones que hicieron cambiar las cepas metálicas del puente de Lampa i teniendo en vista que era mas económico construir un terraplen que cambiar el puente, se procedió a rellenar toda la quebrada i, derivando las aguas por los faldeos (fig. 3), se hacen pasar por un túnel construido en uno de los lados, que reemp'aza ventajosamente toda alcantarilla que se hubiese querido construir para la evacuacion de las aguas de la quebrada. Presenta, pues, interes este puente por la cuestion de conservacion: es indudable que debió atenderse i evitarse esas acumulaciones de agua en el cajon de la viga, que aumentaba enormemente el peso muerto del puente, fatigando indebidamente todas sus ferreterías. Por otra parte, hai quienes creen que, sin que

los ingenieros de la conservacion se lo sospechasen, fué ventajosa para el puente estas circunstancias, por cuanto, aumentando su peso muerto, hacia mas pequeña la influencia del peso móvili, por lo tanto, las trepidaciones i oscilaciones de sus eepas, amortizando, por decirlo así, la circunstancia agravante de estaren curva. Yo no me atreveria a acompañar a los que sostienen esta teoría. Creo francamente que esa circunstancia no puede ménos que perjudicar una ferretería, i conviene evitarla de todas maneras en casos semejantes.

Puente la Ferica.—Ubicado tambien en la línea del Ferrocarril del Norte, está formado con 6 tramos, con vigas metálicas, de alma llena i continua. El puente está muí abiajado i esta circunstancia hace que sus ferreterías sufran i hagan peligrar el tráfico. El fondo es de cascajo grueso i las fundaciones son directas i enterradas de 4 metros: los estribos i machones de mampostería. Dada la intensidad de las creces del año 1900, se ha visto que las fundaciones pueden ser atacadas: para prevenir un accidente i ántes que se descubra el fondo de las fundaciones, se le va a poner un zampeado jeneral sujetado por barreras que estarán enterradas de 3 metros i con 1.50 metro de ancho, poniendo piedras grandes acomodadas a mano, como baldosado formando el zampeado entre las dos barreras.

Pero, como hemos dicho, el principal inconveniente del puente es su abiajamiento excesivo, que ha exijido se pongan los pilotes *a a* de doble riel. El exceso de inclinacion, ocasiona momentos de torcion en las vigas maestras del puente i se saltaban todos los remaches de las costuras del alma llena. Gracias a la colocacion de los pilotes soportes *a* (fig. 4) formando escuadra con las puntas de apoyo de las vigas con los machones se ha quitado este defecto. Pero, en cambio, la presencia de estos pilotes aislados en el lecho del rio son un entorpecimiento donde se enredan ramas i basuras de las que arrastran las aguas.

Por otra parte, dada la variabilidad de las corrientes en el lecho de nuestros rios, resulta que, con ese exceso de inclinacion en, mas de una ocasion las aguas vienen a chocar casi perpendicularmente contra los paramentos de los machones. No es, pues, un ejemplo que convenga imitarse i es una advertencia para no admitir puentes tan sumamente inclinados con relacion al eje de la vía férrea.

Puente de Batuco.—El caso que se presenta en el puente de Batuco, ubicado entre las estaciones de Lampa i Batuco, es enteramente distinto de los que hemos examinado. En este puente sus fundaciones no han dado nada que hacer: se compone de un solo tramo de rieles de 5 metros de luz. Como el puente está ubicado en un campo de inundacion que viene formando lo que se llama la laguna de Batuco, no era posible estimar exactamente su desembocadura, como pasa siempre en estos casos; i la práctica ha demostrado que es enteramente insuficiente para dar paso al caudal de inundacion, i mucho mas en los casos como el que se ha constatado en las creces del año 1900, en que este caudal se encuentra aumentado con los derrames del rio Colina. En estas ocasiones, la deficiencia de desembocadura del puente es tal, que provoca una diferencia del nivel bien notable entre ambos lados de la laguna, en la parte que está cortado

por los terraplenes de la línea del norte, i las aguas rebalsan sobre la línea, dañando los terraplenes en largos trechos.

El medio mejor de salvar estas dificultades, es construir por lo ménos otro puente en el extremo de la laguna. Lo mejor sería hacer pasar la vía sobre una palizada metálica sobre grandes trozos del campo de inundacion (fig. 5), conservando los terraplenes solamente en los trayectos en que ellos se encuentren perfectamente estables. De esa manera se perturbaria lo ménos posible el réjimen del campo de inundacion i no se provocarían esas corrientes derivadas que corren a lo largo de los terraplenes, maltratándolos, (fig. 6), i lo que es peor, ocasionando aguas abajo de los puntos *B* de descarga, correntadas que van a formar cauces de esteros que atraviesan todas las propiedades de aguas abajo, causando no pocos perjuicios.

El caso anterior, el mas adecuado para hacer construcciones ligeras i baratas son cepas de pilotes de rosca. El señor Budge me dió el dato de que estos pilotes habian sido ensayados en este trayecto; que las roscas no habian dado firmeza suficiente; pero, examinando el problema, vimos que las roscas ensayadas fueron las mismas que se trajeron para ser puestas en fondos de arenas en las Cucharas de Batuco. En la laguna se necesitan pilotes con roscas casi planas i con mui corto paso. Seria tambien del todo conveniente en este caso hacer un sondaje i reconocer la profundidad de los médanos, lo que vendria a fijar completamente todas las ideas tanto respecto a la profundidad a que deberian tomar apoyo los pilotes como a las dimensiones mas adecuadas de las roscas.

Puente del Chacabuco.—Compuesto de dos tramos de 17.80 metros cada uno, con viga continua de fierro, seccion doble T. Fundado en toasca bastante resistente i haciendo penetrar los cimientos de sus estribos i machon hasta 6.5 metros bajo el fondo del estero.

Como la desembocadura del puente es suficiente para dar libre escurrimiento a las aguas que pueden acumularse en la cuenca del Chacabuco i la pendiente del lecho no es fuerte, no se han formado nunca correntadas ni remolinos capaces de atacar sus fundaciones i se mantiene perfectamente, no demandando mas cuidados que la pintura o conservacion ordinaria.

Puente de Colina.—Este puente, ubicado al norte de la estacion de Colina, consta de 10 tramos de fierro, con una lonjitud total de 70 metros. El año 1900 se encontró con su cauce completamente embancado, de modo que no pasaba el rio por debajo del puente. Esto es causado porque el álveo del rio Colina no tiene propiamente hablando una línea de máxima pendiente, sino una faja plana con la misma inclinacion por donde las aguas oscilan, ya embancando a un lado ya al otro. Por eso se ven desbordarse constantemente sus aguas e inundar la línea, la estacion i aun gran estension en los campos vecinos. En este caso hai que procurar que las aguas vuelvan a su cauce, limpiándolo, i evitar que la superestructura del puente pueda chocar contra las aguas i servir de estorbo i por otra parte, que la línea sea inundada; por consiguiente subir la superestructura

hasta el nivel de los andenes de la estacion. Ahora, como se ha diseñado ya desde hace años un nuevo brazo del rio entre Colina i Batuco, se hace inútil tener los 10 tramos al norte de la estacion; basta dejar ahí cuatro de ellos i destinar los seis tramos restantes para la construccion de un nuevo puente en el nuevo brazo. Además, para atender a los derrames de los regadíos de los fundos i excedentes de aguas del rio, se hace necesario construir otro puente en el lado sur de la estacion. En una palabra, distribuir los puentes en esta zona que constituye actualmente el álveo del rio Colina, tomando como base los puntos indicados por las mismas corrientes.

Como sigue hácia el sur el campo de inundacion del rio, hai que completar las obras anteriores con dos puentes menores en los bajos de la localidad denominada Pajonales.

Las fundaciones de todas estas construccion no son dificiles ni presentan ningun punto interesante. El Colina es rio poco correntoso i el subsuelo es de tosca mas o ménos resistente a poca hondura.

Si ántes de seguir al sur examinamos los puentes del ramal de Calera a Cabildo, veremos que el *Aconcagua*, ubicado entre la Calera i la estacion de Nogales, no ha sufrido en sus fundaciones. El álveo del rio en ese punto es mui grande, i las aguas se reparten en varios brazos, los que jeneralmente toman un curso anormal. Así las creces pasadas han atacado principalmente los terraplenes del estribo sur, i las de agosto de 1900 destruyeron los terraplenes de acceso del lado norte. No he podido obtener datos ni aproximados de las velocidades de las creces i es imposible deducirlas, puesto que, como hemos dicho, las aguas no tienen un lecho fijo, sino cauces locales, formando brazos mas o ménos grandes i torrentosos segun su direccion, su hondura i ancho.

Las fundaciones fueron directas, haciendo heridos con chaffanes naturales las primeras 2 metros i despues enmaderaciones para evitar derrumbes; se desviaban las aguas superficiales lo mas posible con tacos de piés de cabras, etc. Los cimientos de los estribos i machones están a 7 metros bajo el fondo, ménos el del primer machon, que, segun datos recojidos, no se pudo bajar mas de seis metros. La parte del suelo removida se rellenó con piedra de cerro de grandes dimensiones. No se ha oido decir que haya habido tendencia de socavaciones i, sin embargo, hai machones que, por su situacion con respecto a las obras de defensa de los terraplenes, tienen que recibir fuertes golpes de agua i, por consiguiente, que es del todo prudente defenderlos, para *restablecer los fondos de fundacion donde el rio ha acanalado* i evitar que se repitan accidentes como los del puente del Mapocho en San Francisco del Monte.

Las creces, como hemos dicho, hasta la fecha sólo han cortado los terraplenes de acceso. El estribo sur fué atacado por la espalda en 1897 i fué defendido con bloques, que se sumerjieron con las creces de 1898 i, por lo tanto, para atender a la conservacion del puente, fueron reconstruidos en 1899. Habiéndose formado así una base de bloques, las creces de 1900 no han hecho daños en ese terraplen. Aunque los machones no se notan socavados i no tienen desnivelaciones, es

indudable que en las partes donde el lecho se ha canalizado el empotramiento de fundacion con que actualmente se puede contar está reducido a un tercio i, por consiguiente, que es urgente defenderlos, i para dejar esta construccion bien se necesita:

1.º Construir dos espigones: uno anexo al estribo sur, aguas arriba, i el otro a media distancia de los nuevos terraplenes que se han formado en las inmediaciones del mismo estribo.

2.º Reforzar i alargar el espigon que existe actualmente aguas arriba del estribo norte.

3.º Protejer el mismo estribo i defender el cono de aguas abajo con fuertes enrocados de piedra grande i bloques.

4.º Hacer igual defensa para el primer machon del lado norte, que dicen no tener mas de 6 metros de hondura en sus fundaciones.

La superestructura del puente de Aconcagua es metálica, de acero. No debe imitarse, por cuanto hace trabajar el material con un exceso de fatigo: 10 kilos por m/m² de seccion bruta; i, por otra parte, los pesos adoptados para las cargas de pruebas no son las que últimamente se recomiendan en los pliegos de condiciones suizas u otros estudiados con relacion a las necesidades actuales de la resistencia de materiales.

Puente del Litre.—Ubicado poco mas al norte del Aconcagua, ántes de llegar a la estacion de Nogales. Las fundaciones son suficientes i no han sufrido con las creces de 1900 i las anteriores; pero su desembocadura es enteramente insuficiente, i por este motivo las aguas acumuladas atacaron i destruyeron los terraplenes de acceso. La zanja de desagües que corre paralela a la línea juntó un caudal de aguas tal, que hizo desbordar las aguas del estero del Litre al juntarse con ellas.

Para evitar estos inconvenientes, debe construirse al norte del puente del Litre un puente destinado a recojer i dejar pasar por debajo de la línea las aguas del zanjon del lado, para que vengan a unirse con las del Litre, aguas abajo del puente de la línea. Al mismo tiempo para reponer los desperfectos ocasionados por el arrastre de terraplenes, etc., prolongarse los estribos i conos del puente que fueron averiados, con bloques i piedra suelta i levantar los terraplenes al sur del puente.

Quebradilla.—Ubicado entre Catapilco i Ligua. Como en el caso anterior, sólo los terraplenes sufrieron i para evitar estos inconvenientes, bastará rectificar el curso de las aguas, ensanchando el cauce actual i defender con piedra suelta los terraplenes frente a la cancha del pozo de lastre que está inmediato al puente. El suelo dondo están encastradas las fundaciones es conglomerado duro.

Puente de Pataguas.—Situado entre las estaciones de Ligua i El Injenio. Como puente no presenta nada de particular. Tiene fundaciones de mampostería, que fueran encastradas en suelo firme rocoso i, por consiguiente, no ha sufrido con las creces. Mas bien podria hacersele el reproche de ser corto i exijir mucha defensa en los terraplenes del estribo oriente *D* (fig. 7). Este terraplen se ha defendido

con fuertes enrocados de piedra de cerro puestos en A, i últimamente con una serie de bloques de concreto, escalonados i formando como pequeños espigones, BB, para que boten las aguas hácia el centro del puente. Los resultados no han sido del todo satisfactorios, porque los bloques fueron mui livianos i los removieron las aguas. Si se estudia bien el caso, se vé que habria sido mas económico alargar el puente de *dos tramos* mas hácia el oriente que hacer toda la defensa que actualmente tienen esos terraplenes. Pero si se considera el caso bajo otro punto de vista que el de la economía inmediata, quizás la solución dada es la mas ventajosa. El álveo del río es mui pendiente i las aguas que en él se acumulan, no pueden ser muchas porque su cuenca es mui limitada. No es, por consiguiente, por el volúmen de agua que se necesitaría mayor desembocadura: sería simplemente para atender al serpenteo de esas aguas en un lecho en el cual buscan la línea de igual resistencia de fondo: i así como en una crece pueden irse las aguas contra la baranca poniente E, otras veces se vendrá contra la oriente, haciendo estragos a uno u otro lado i ensanchando cada vez mas su lecho. Los terraplenes CD i su defensa fijan ahora la desembocadura e impiden se sigan atacando las barrancas BC, i ensanchando el álveo por ese lado, hai una ventaja que no es despreciable. Sin embargo, quizás se pudo obtener los mismos resultados con ménos costo alargando uno o dos tramos mas el puente. Esa opinion es la que me parece la mejor, pero este caso pone bien de manifiesto lo difícil que es desde el primer momento fijar bien una desembocadura en esteros tan torrenciales. Si se hubiese hecho un puente provisional por uno o dos años, él habria fijado completamente las mejores condiciones de desembocadura en este caso, i muchas veces cuando no se tengan antecedentes precisos de un río o un estero, será una solución acertada darse tiempo para estudiar el régimen del río. Por otra parte, entre nosotros estas soluciones de puentes provisionales en el primer momento tienen la gran ventaja de acelerar las enrielladuras de las líneas i hacer que la explotación principie cuanto ántes se pueda; i despues, facilitar el acarreo de las ferreterías, cementos i demas materiales que exigen las construcciones definitivas.

Puentes sobre el Mapocho.—Despues del puente de *Calí Canto*, que ya hemos estudiado, se fundó el puente llamado *de Palos*, ubicado frente a la avenida de la Recoleta, i que servía solamente para peatones. No he podido recojer datos precisos sobre las fundaciones de ese puente. Las indicaciones mas verídicas que he obtenido atribuyen a esas fundaciones 6 varas de hondura, o sean 5.016 metros bajo el fondo del río. El puente tenía un tercio mas desembocadura que el de *Calí Canto* para no provocar aumento en la altura de las aguas, puesto que, en esa época, no habia tajamar del lado de la Recoleta i cualquier rebalse de las aguas habria provocado la inundacion de ese barrio. Esa circunstancia debió ser mui favorable para la buena conservacion de las fundaciones, las que sólo fueron atacadas cuando se construyeron los tajamares del lado norte i las aguas canalizaron los dos primeros machones del sur. Se restableció provisoriamente, por cuanto ya se estudiaban los proyectos de canalizacion i no tenia objeto ocuparse de ese trabajo. Esa misma circunstancia hizo que no se prestase ninguna aten-

cion en él i son los datos de la canalizacion del Mapocho los que mas me inducen a creer que esas fundaciones no tenian mas de 6 varas de profundidad, es decir el doble del zampeado del puente de *Cal i Canto*, coincidencia que aun confirma mas este parecer.

Puente del Ferrocarril del Norte.—Cuando se construyó el ferrocarril de Santiago a Valparaíso, no queriéndose hacer el gasto de un zampeado jeneral para las fundaciones del puente sobre el Mapocho i, por otra parte, teniéndose la seguridad de que si se encontraban las fundaciones de 7 a 8 metros, se llegaba a un suelo insocavable: se recurrió a un sistema de fundacion verdaderamente económico, i es raro que no se haya jeneralizado mas i no haya servido de modelo para tantos puentes carreteros cuyos pilotajes han sido constantemente averiado por las creces.

Las fundaciones son tubulares (fig. 8) i los tubos son hechos con planchas de palastro i con 6', o sea 1.82 metro de diámetro. Para evitar las grandes escavaciones i las fuertes filtraciones que ellas provocan se abrieran pozos perfectamente enmaderados de 2 m X 2 m: es decir de las dimensiones necesarias para que los operarios pudieran trabajar con libertad i despues sumerjir los tubos en ellos. Los pozos se trabajaron de la manera corriente instalando tornos etc. para la elevacion de los desmontes, i las tuberías i trasmisiones del caso para las bombas de desecacion. Los tubos tenian 40' = 12.192 m. de largo: i por consiguiente, segun las inflecciones del perfil del rio, quedaron enterrados de 25 a 28 piés, o sea de 7.62 a 8.53 metros bajo el nivel del fondo del rio. Se tuvo cuidado de *centrar* bien la ubicacion de los pozos, para de esa manera tener perfectamente colocadas en los puntos necesarios las columnas que iban a servir de machones; se hicieron descansar convenientemente, por medio de un anillo en el fondo de los pozos perfectamente nivelados, i se rellenaron con hornigon de buena clase. Los pozos se rellenaron con piedra de cerro en lo que se pudo i grovas del mismo rio. Estos tubos no han sufrido nada i, por consiguiente, este sistema de fundaciones es mui aceptable i económico para construcciones semejantes.

Ahora, como todo el problema en las fundaciones aisladas está en llegar con el cimientto de la fundacion a una profundidad tal que quede a salvo de las socavaciones, se vé tambien que, con el sistema de pozos es mas fácil i seguro poder llegar a grandes honduras, que con el sistema de heridos a tajo abierto o enmaderados para fundar un machon de mampostería. Hai ménos superficies filtrantes i no hai temores de los derrumbes por cuanto un pozo puede siempre enmaderarse en buenas condiciones de resistencia.

Otra ventaja no despreciable de este sistema: es la de *no presentar ninguna superficie plana al choque de las corrientes, cualesquiera que sean las variaciones que ellas sufran en el álveo de los rios* i, por consiguiente, no provocar sino el *mínimum de remolinos i acciones socavadoras*. Para los efectos de los choques la superficie que hai que considerar en los cálculos es 0.50 de la diametral i, por lo tanto la mas ventajosa posible. Es indudablemente la solucion ventajosa para muchas de las fundaciones de nuestros puentes carreteros.

Puente de la Purísima.—Cuando se trató de la construcción del puente llamado *De la Purísima*, la dirección de Obras Municipales de Santiago, no quiso imitar el sistema de fundaciones del puente del ferrocarril, alegando que, dado el ancho de un tablero de un puente carretero de doble vía, exigía cuatro tubos por lo ménos cada machón: se creyó que la apertura de 4 pozos en una misma línea longitudinal al río i tan cerca unos de otros serían mas costosos que hacer una sola escavación. Se desviaron las aguas superficiales lo mas posible i se abrieron los heridos con chaffanes de $\frac{1}{2}$: 1 a 1: 1 en los primeros metros i despues enmaderados hasta encastrar las fundaciones de 6 metros. En el fondo se encontraba una capa de grava mui gruesa que en parte formaba como pudinga con liga arcillosa. Se puso un basamento de 6.60 de buen hormigon i sobre él se levantó la mampostería de los estribos i machones; rellenándose despues los heridos con piedras de cerro de grandes dimensiones. Las filtraciones no ocasionaron grandes molestias de modo que el trabajo pudo ser continuo i no costoso. Estas fundaciones se mantuvieron siempre buenas; sólo el estribo sur se encontró dos veces amagado i para evitar una socavación tuvo que echarse en este punto grandes cantidades de piedra de cerro. Este hecho puso de manifiesto de que los 6 metros de profundidad eran escasos cuando las aguas canalizando el lecho se cargaban hácia un punto dado. En las creces sub-siguientes fueron defendiéndose con enrocados los machones i el estribo norte segun la dirección predominante de las aguas.

Se vé, pues, que las fundaciones del puente de "La Purísima," si no fallaron, no quedaron tampoco convenientemente encastradas en suelo insocavable, sino que estaban casi al límite de la acción de los remolinos i, por consiguiente, su conservación tenía que ser costosa i mui atenta.

El enrocado que rodeó desde un principio las fundaciones del puente de la Purísima, como tomaba una gran superficie, puesto que los dos primeros metros de escavación se hicieron casi con el chaffan natural de 1×1 , ha sido sin disputa una de las mejores defensas de esas fundaciones, i probablemente la causa de que ellas, a pesar de no tener mas de 6 metros de profundidad, pudiesen resistir todas las creces ayudada con las piedras que despues se ponian para reemplazar las que se hundían o eran arrastradas por el río. No es aventurado formarse esta opinión cuando se ha visto la eficacia tan grande de estos enrocados en el estribo sur del puente del Ñuble, que se salvó gracias a ellos. I, por otra parte, que el fondo *artificial de rocas* que así se va formando, resiste mucho mejor los excedentes de velocidad de fondo, que las gravas redondeadas que forman los lechos de los ríos. Ninguno de los machones del puente de la Purísima se tumbó, como se tumbaron los del puente de Palos: además estas últimas tenían sus espolones triangulares (fig. 10), que son los mas desfavorables para la formación de remolinos.

Puente del Mapocho en San Francisco del Monte.—Al construirse el puente del Mapocho, en la línea de Santiago a Melipilla, se fijó como profundidad mínima de fundación 7 metros, tomando por norma la profundidad de los tubos del

puede del Ferrocarril del Norte i los mismos del puente de la Purísima, i con tanto mayor razon cuanto es sabido que la velocidad de las aguas del Mapocho en ese punto es menor que la que adquiere en la travesía de Santiago.

Dada la altura de los machones, no se adoptó el sistema de pozos i tubos (fig. 11) (i ese fué sin disputa un error) por cuanto teniendo que quedar uno debajo de cada viga maestra, que están colocadas a 45 metros de centro a centro, i los tubos necesitando por lo ménos 2.30 metros de diámetro cada uno los pozos iban a quedar casi colindantes: los pozos, tomando el diámetro mínimo para asegurar buena estabilidad a machones tan altos, iban a quedar a 1.8 metro menos de otros. A pesar de ello: hoy todo hace creer que esa solucion habria sido completamente afortunada i tanto mas cuanto con pozos aislados no habria habido el menor inconveniente para haber bajado los tubos de 8 a 9 metros de hondura.

Se emprendieron las escavaciones con enmaderacion para no tener derrumbes i poder instalar cómodamente varias bombas centrífugas al mismo tiempo; siendo las arenas i gravas en esa parte del lecho del Mapocho mas finas que las que hai frente a Santiago, prometian dar filtraciones mui abundantes: i, a mas de eso, no era posible desviar mucho las aguas superficiales del lecho. Las escavaciones se llevaron a cabo sin grandes dificultades, a pesar de la abundancia de filtraciones, las que durante algunos dias exijieron el funcionamiento constante de cuatro bombas centrífugas de 0.30 centímetros de diámetro de tubo de descarga i trabajando simultáneamente. Así se llegó hasta 7.50 metros de profundidad, donde se habia encontrado una grava gruesa, hecha pudinga i que no daba muestras de haber sido atacada por las socavaciones. Se puso sobre ella una base de hormigon i se levantaron las fundaciones de mampostería, rellenando los heridos con piedra de cerro de grandes dimensiones.

Estas fundaciones, dados los datos que se tenian, parecia que debian haber sido suficientes para asegurar la solidez de la obra; la realidad ha demostrado lo contrario: uno de los machones fué socavado en las creces de 1900, a causa de haberse canalizado el rio en una estension de poco mas de 40 metros, que era la luz de los tramos. Así estas fundaciones deben ser perfectamente estudiadas por cuanto son una leccion para el porvenir; la remocion de las gravas del fondo del rio ha sido mayor de 7.50 metros probablemente, no de una sola vez, sino por zonas o fajas en las diversas creces sucesivas, puesto que las del año 1899 fueron tambien sumamente fuertes i las fundaciones del puente *no fueron examinadas* despues de ellas.

Se produjo en el Mapocho, en el puente de San Francisco del Monte, el mismo fenómeno que el señor Leballeur observó en el Tinguiririca; dos corrientes encontradas que atacaron simultáneamente los paramentos del machon, produciéndose así el máximum de remocion ocasionado por los remolinos. La superestructura es de viga continua, la que, resbalando sobre el plano inclinado que formó la cabeza superior del machon socavado, fig. 12, cayó en parte aguas arriba de los machones, formando así una barrera para el libre paso de las aguas i tan-

to mas eficaz cuanto junto con ella cayeron los coches del tren de pasajeros que en esos momentos pasaba sobre el puente.

Las aguas arresadas por estas ferreterías i estos coches, se cargaron hácia el norte, amenazaron i destruyeron los conos de defensa del estribo norte i concluyeron por romper los terraplenes, embocándose por el paso o alcantarilla del canal que está en ese punto. La superestructura tomó una ondulation hácia aguas arriba, arrastrada en su movimiento por el machon cuando se inclinaba al ser socavado. Despues, faltándole el apoyo, se trasformó en tramo doble de 100 metros de luz, sufriendo, por consiguiente, tensiones de momentos cuatro veces mayores que los estáticos calculados, i toda clase de esfuerzos de torcion, provocados por las desnivelaciones, i se rompió, como era natural, el centro, cayendo así conjuntamente con el tren que tan imprudentemente atravesaba el puente en esos momentos.

Entremos ahora a los detalles, con todos los datos que he podido obtener de personas que vieron la crece i la caida del puente i los antecedentes que da el puente de *La Purísima*.

Ya vimos que el puente de *La Purísima*, con 6 metros de fundaciones, estaba casi al límite de las socavaciones. Ahora bien, la velocidad superficial de las aguas del Mapocho en ese punto, ántes de la canalizacion no pasó de 6 metros por 1", como ya lo hemos visto: pero, como el puente de *La Purísima* estrechó el cauce, formando una verdadera cintura en el lecho del rio, el que se ensanchaba aguas arriba hácia el Seminario i aguas abajo hácia el puente de Palos, no es exajerado suponer que en esa seccion tomase hasta 7 metros de velocidad (fig. 13.)

$$v = 7 \text{ m} \quad 7.00 - 4.55 = 2.45 \quad \frac{2.45}{3.5} = 0.70$$

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 4.55 \\ v_2 = 1.80 \end{array} \right\} v_3 = 2.75 \quad \frac{2.75}{0.70} = 3.92$$

Es decir, la accion de los remolinos sólo debia sentirse hasta los 4 metros de profundidad. Las fundaciones tenian 6 metros, por consiguiente no pueden tacharse de deficientes i, dados los cálculos i deducciones que hemos venido desarrollando, no se puede decir que ese puente quedó mal fundado, i en realidad, como hemos visto, nunca se desnivelaron sus machones; luego nunca fué removido su fondo. Ahora bien, en las creces de los años 1887 i 1888, se notó que por efecto de los embancamientos del cauce del Mapocho, ocasionados por esa cintura que formaba el puente de *La Purísima*, estrechando el cauce en una seccion dada, se cargaron sus aguas hácia el sur, canalizando esa parte del álveo del rio. Por efecto de esa canalizacion la altura de agua contra el machon sur i estribo sur, habiendo quedado casi en seco el primer tramo norte del puente, fué de 4 metros, (fig. 14) i su velocidad superficial aumentó, como lo manifestaron las observaciones directas llegando en el canal a 8 metros por segundo. Éstas fueron las creces que amenazaron estas fundaciones. Calculando, tenemos:

$$v_0 = 8 \text{ m.} \quad 8.00 - 5.2 = 2.80$$

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 5.2 \\ v_2 = 1.8 \end{array} \right\} v_3 = 3.40 \quad \frac{2.8}{4} = 0.70$$

$$\frac{3.4}{0.7} = 4.86 \text{ m.}$$

Es decir que los remolinos se hacían sentir a 5 metros más o menos i como las fundaciones tenían 6 metros, se vieron realmente amenazadas, por cuanto todos estos cálculos, como hemos dicho, no son sino aproximaciones de la realidad. Un poco más blando que sea el suelo en un punto con relación a otro cercano del lecho del río, provoca mayor socavación i facilita las canalizaciones que son tan peligrosas. Fué, pues, medida enteramente prudente i sus resultados, podemos decir, concuerdan con las indicaciones de las fórmulas, el haber echado grandes piedras de cerro para defender las fundaciones del puente de La Purísima en las creces de 1887 i 1888.

Si no hubiesen venido las obras de la canalización a demoler el puente de La Purísima dados los embanques que estaba provocando en el lecho del río i, por consiguiente, acumulándose más i más las aguas en los tramos del sur, el procedimiento de conservación estaba perfectamente marcado; habría sido del todo necesario protegerlo con un zampeado jeneral, con barreras enterradas a 4 metros para protegerlo contra las canalizaciones locales provocadas por sus propios embanques i aun de las perturbaciones que ocasionaban constantemente los canales artificiales que se hacían en el cauce del río para sacar arena para las construcciones de la ciudad.

Apliquemos los mismos cálculos al puente de *San Francisco del Monte* i tenemos:

$$v = 8 \text{ m.}$$

$$4.50 = \text{aguas máximas de 1877}$$

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 5.20 \\ v_2 = 1.50 \end{array} \right\} v_3 = 3.70$$

La altura de las aguas máximas observadas ha correspondido siempre entre nosotros, ántes de las creces de 1900, a las de 1887 i, por consiguiente, eran las que todos los ingenieros han tomado como punto de partida para sus estudios. La velocidad superficial mayor observada en San Francisco del Monte fué 8 metros por segundo (fig. 15). Tenemos entonces una velocidad de fondo de 5.20 más o menos. Siendo la grava del lecho del Mapocho en ese punto más fina que frente al puente de La Purísima, la velocidad que puede soportar sin arrastre no puede estimarse en más de 1.50 metros por segundo; por consiguiente hai un

excedente de 3.70 metros i, por lo tanto, la accion de los remolinos se hará sentir hasta

$$8.00 - 5.2 = 2.80 \quad \frac{3.70}{0.62} = 5.96, \text{ o sean } 6 \text{ m.}$$

$$\frac{2.8}{4.5} = 0.62$$

Luego las fundaciones a 7.5 metros estaban conformes con las indicaciones de las creces observadas i el *punte no podia considerarse mal fundado si el lecho del rio se hubiese mantenido el mismo desde el año 1877 para adelante.*

El olvido, si lo hubo, en esta construccion fué no haber tomado en cuenta la variabilidad del lecho de los rios torrenciales: pero no podemos olvidar tampoco en este caso que el ingeniero debe contar tambien el poder combatir esas eventualidades de variabilidad del lecho con los recursos de una buena conservación, como se hizo con las fundaciones del puente de La Purísima: miéntras que las fundaciones del puente de Talagante no fueron atendidas ni examinadas absolutamente, ni durante las creces de 1898, i fueron atacados por las del año 1899, quizas cuando en muchos de sus puntos el lecho del rio habia dejado sólo un encastamiento de 3 a 4 metros. Es ésa indudablemente la principal causa, a mi juicio, de esa catástrofe. Si esas fundaciones hubiesen sido atendidas oportunamente, *restableciendo el fondo donde habian canalizado las creces de 1898*, el puente no habra caido, minado por las creces de 1899 i para ello me fundo en lo siguiente: Las creces de 1898 manifestaron que en San Francisco del Monte, como en todos los lechos de nuestros rios, los obstáculos naturales de vegetaciones, etc., que crecen en sus lechos, provocan fuertes desviaciones de las aguas i *canalizaciones locales mui peligrosas para las fundaciones de obras de arte.* Este hecho, que fué examinado por muchas personas i muchas veces i cuya importancia no podia escaparse al personal de conservacion, puso enteramente de manifiesto *que debia tenerse cuidado con esas fundaciones* i, por lo ménos, por prudencia, tratar de borrar las canalizaciones locales i restablecer los fondos primitivos, con un enrocado conveniente. En los ferrocarriles del Estado hasta 1888 hubo costumbre de hacer estos enrocados despues de las grandes creces, es decir, se sabia la eficacia de estos procedimientos puestos tan en evidencia con la salvacion del estribo sur del Ñuble en esas grandes creces. Desgraciadamente, por falta de fondos o por falta de elementos no se ha seguido prestando la misma atencion a las obras de arte i hemos tenido que lamentar la caída del puente de San Francisco del Monte i tendremos que lamentar quien sabe cuantas otras mas

Pero sigamos nuestro razonamiento: hemos dicho que quedó constatado que en 1898 se canalizó el rio Mapocho en San Francisco del Monte sin que se tomasen precauciones para correjir este desperfecto. Cuando vinieron las creces de 1899 la masa de agua del rio tomó entónces en esos puntos (fig. 15 a) 5.50 metros de hondura con una velocidad superficial de 8 metros.

$$\begin{aligned} 8 \text{ m.} &= v \\ v_1 &= 5.20 \\ v_2 &= 1.50 \\ v_3 &= 3.70 \end{aligned}$$

$$8.00 - 5.20 = 2.8 \qquad \frac{3.7}{0.5} = 7.40 \text{ m.}$$

$$\frac{2.8}{5.5} = 0.50$$

Es decir que la accion de los remolinos en esas condiciones desfavorables debian hacerse sentir a 7.40 metros, o sea hasta el pié de las fundaciones del puente. ¿No es un caso enteramente semejante el de La Purísima? Creo que sí, que si se observara el puente con cuidado i se atiendiera oportunamente se habria evitado la catástrofe. Debo tambien hacer presente, que, a mi juicio, hai tambien otra circunstancia agravante, por decirlo así, para las fundaciones del Mapocho en San Francisco del Monte Hemos visto que en el puente de La Purísima los heridos de las escavaciones, hechas 2 metros con chaflan natural i relleno el hueco con un enrocado de piedra de cerro, se formó con ello una verdadera defensa que debia amortiguar mucho el choque de las corrientes. Los machones del puente del Monte no tenian esa defensa: hechas sus escavaciones con fuertes enmaderaciones, desde el principio bajaron casi verticales i no hubo despues una masa sólida que reemplazase ventajosamente el suelo removido. Atribuyo no poca importancia a ese hecho por cuanto el suelo es mas blando en el Monte. Debió, pues, haberse completado esas fundaciones con un fuerte enrocado de bloques que no pudiesen ser arrastrados por las corrientes o haberlos puesto inmediatamente despues de las canalizaciones hechas por las creces; tales son las medidas que los hechos han puesto de manifiesto como necesarias en esta clase de construcciones i que debemos tener presente para casos semejantes.

Estos dos hechos, del puente de La Purísima i el de San Francisco del Monte son suficientes para poner en relieve la influencia enteramente perniciosa de la velocidad de las masas de agua, cuando, por efecto de canalizaciones locales de lecho, se acumulan en una seccion dada del álveo de nuestros rios. Ahora como evitar que se formen estas canalizaciones, en lechos con fuertes pendientes i donde bastan meses para que las vejetaciones produzcan obstáculos parciales, etc., es imposible; i como, por otra parte, no se puede pensar en las construcciones con zampeado jenerales, en todos los casos, hai que pecar *por prudencia, es decir, nunca creer demasiado exajerada la hondura de una fundacion aislada i sobre todo atenderla i cuidarla en relacion con las indicaciones de la práctica, como se han atendido i cuidado los puentes de Limache, Curimon, San Felipe i otros con zampeado*, los que, como hemos visto, si se hubiesen dejado abandonados a sí mismos i no se hubiesen reparado los fondos oportunamente ya estarian tan destruidos o mas que el de San Francisco del Monte.

Producida la catástrofe, se presentó el problema de la reconstrucción. El puente de Talagante a San Francisco del Monte se componía de una superestructura metálica con 5 tramos de 50 metros cada uno sobre apoyos de mampostería i, como lo hemos dicho, la avenida del 13 de agosto de 1900 socavó uno de sus machones, inclinándolo, lo que produjo la caída de dos tramos de la superestructura i del tren que con sus trepidaciones sin disputa ayudó i contribuyó al desastre.

Parece a primera vista que la solución de la reconstrucción no fuera difícil; defendiendo todos los machones existentes i reconstruyendo el socavado, pero hai otra circunstancia que tomar en cuenta i que aún no hemos considerado por ser enteramente ajena a las fundaciones. La superestructura metálica del puente era débil, calculada con suma economía i haciendo trabajar sus aceros a 10 kilos por milímetro cuadrado de seccion bruta i por otra parte, calculada para resistir un peso de prueba sólo de 4.000 kilos por metro corrido de puente, esa ferretería trabajaba forzosamente. Sus remachaduras, las grietas que ya se notaban en varios puntos, etc., todo ponía enteramente de manifiesto esta deficiencia i de tal manera que ya se pensaba en la urgencia de reemplazarlo por otro o de reforzarlo convenientemente.

Al reconstruir el puente, despues del accidente del 13 de agosto de 1900, es evidente entónces que debía pensarse en un *cambio total* de esas ferreterías, las que podrian ser aprovechadas por la empresa de los ferrocarriles en otros puentes de menor luz. Puesto el problema en su conjunto i teniendo presente que naturalmente las defensas de los machones existentes, para dejarlos en condiciones de no ser sorprendidos por las acciones de las canalizaciones locales son siempre costosas i por lo tanto, que sólo habrian sido recomendables, en el caso de haberse podido utilizar todo el resto del puente, sólo reconstruir las ferreterías de los dos tramos caidos; se impone, por decirlo así, como mas fácil i mas económica la reconstrucción total. A mas de eso, con la reconstrucción total, en este caso, sólo se pierden los valores de los machones, en la parte enterrada, puesto que toda la mampostería superior se deshace i se aprovecha el material i toda su piedra canteada, i con ello se facilita enormemente el trabajo. Otro factor tambien de consideracion entra en juego a favor de la reconstrucción total, la lijereza de operaciones (aunque con nuestra desidia ya ese factor no puede contarse, se pasó un verano entero sin hacer nada). Siembre es mas lijero operar libremente en faenas vírjenes que principiar por demoler i levantar escombros, para reconstruir en el mismo punto. Este hecho, de importancia primordial para la reconstrucción del estribo sur, conjuntamente con los anteriores, hacen que sea mas económico i mas práctico en este caso la reconstrucción total del puente.

Para que la construcción de los machones no coincida con los antiguos, que tienen que demolerse para aprovechar sus materiales, el puente se puede reconstruir con 6 tramos de 45 metros de luz, aprovechando el estribo poniente.

Como defensa de este último estribo para normalizar el curso de las aguas i defender los terraplenes, debe construirse un espigón de bloques i piedra grande, aguas arriba del estribo hasta plegarse a la puntilla del cerro del Monte.

Los nuevos machones serian tubulares que, como hemos visto, son los mas adecuados para nuestros rios.

Puente del Maipo. - Con apoyos de mampostería tiene once tramos metálicos con un largo total de 363 metros i está ubicado ente las estaciones de Nosi Guindos. El álveo del rio Maipo no sólo tiene la grava i la arena de nuestros rios; sino que, siendo siempre sus aguas mui turbias i cargadas con arcillas etc., se formen verdaderas pudingas mas o ménos impermeables: las capas inferiores, comprimidas con el peso de las superiores i por la accion del tiempo, forman un suelo mui resistente, que no puede ser atacado sino con velocidades de fondo de 2 metros por segundo. Por otra parte, esa clase de pudingas son bastante impermeables i, por consiguiente, facilitan las fundaciones directas; i como el lecho es mui ancho, las aguas serpentean con facilidad i hai pocas tendencias a las canalizaciones locales i profundas.

Por otra parte, la pendiente jeneral del lecho del Maipo presenta claramente dos inclinaciones; la jeneral de oriente a poniente, i la de norte a sur del valle central. De ahí la tendencia que tienen sus aguas de cargarse contra las barrancas i estribo sur i las defensas constantes (fig. 16) que ha sido necesario ejecutar en A (fig. 17) con piedra suelta al principio i javas de rieles despues, i con bloques de hormigon. El estribo sur se ha visto por eso amenazado aunque tiene fundaciones en terreno firme i hasta 8 metros de profundidad. Si se cotejan los perfiles del rio en las diversas épocas en que ha sido observado por los injenieros de los ferrocarriles del Estado, veremos que el Maipo, en la crece del 14 de julio de 1877, socavó 4 metros en el estribo sur i fué entónces cuando se defendió la barranca i el estribo con javas de rieles de 4×4 , rellenas con piedras de cerro, javas que actualmente se encuentran *enterradas* al pié del estribo; lo que prueba que la constancia de las aguas en atacar ese punto ha minado las javas i las ha hecho descender. Es urjente, por lo tanto, restablecer el fondo con fuertes bloques de hormigon, para impedir esos movimientos.

Las fundaciones del Maipo primitivo no tienen una hondura igual, sino que varían de 5 a 7 metros. Se principiaron con 5 metros i durante la construccion una avenida botó dos machones; por eso los demas se bajaron a 7 metros. Ya hemos dicho que los perfiles de la crece de 1877, comprueban de que el rio puede canalizar 4 metros; no llama la atencion entónces que las fundaciones primitivas de 5 metros fueran destruidas, puesto que, sorprendidas durante la construccion las atacaron las aguas sin estar protegidas i teniendo el terreno removido i sin consolidor. Desde entónces tambien se resintió el estribo sur. No he podido encontrar ningun dato seguro relativo a la velocidad de las aguas. Si hacemos los cálculos inversos tomando como datos los 4 metros de socavacion constatadas i poniendo al fondo de pudingas de gravas gruesas una resistencia capaz de contrarrestar correntadas de 2 metros por segundo haciendo uso de las fórmulas anteriores, deducimos que la velocidad superficial de las aguas en las creces del Maipo debe estar comprendida entre 8 i 9 metros, lo que, dada la pendiente del lecho de uno por ciento en término medio, es mui probable que se realice i sobrepase.

La superestructura primitiva de este puente era de fierro tipo americano, con montantes i la cabeza superior de las vigas de fundicion. Fué calculada para el servicio de locomotoras de 50 toneladas de peso, creyéndose que así se atendia con prodigalidad al aumento probable de la línea del sur, la que en sus primeros años fué servida por máquinas de 25 toneladas. Pero el tráfico de la línea aumentó de tal manera que en 1888, el puente se hizo insuficiente. Sus piezas fundidas se quebraban constantemente por el exceso de fatiga i fué forzoso pensar en la renovacion de sus ferreterías.

El puente de Maipo, para evitarse machones mui altos, fué construido con pendientes de acceso mui fuertes i mui largos. Cuando se trató de su reconstruccion se estudió la manera de subsanar esta dificultad levantando (fig. 18) el nivel de los rieles AB a $A'B'$, haciendo los terraplenes de acceso AA' i BB' . Como no era posible seguir la mampostería de los machones, se aprovechó la parte baja de ellos para base de unas cepas metálicas i de ahí la combinacion que tiene el actual puente construido por el Creusot. Al acomodar las mamposterías i restablecer las faenas, no hubo mas que una solucion que dar a la cuestion para reconstruir el puente sin interrumpir el tráfico, i era el ensanchar los estribos i machones i contruir el nuevo puente al lado, dejando los otros para armar en ellos el puente para construir la doble vía que se hace necesaria entre Santiago i Rancagua.

Las faenas se establecieron entónces aguas arriba del puente viejo: se descubrieron las fundaciones de los machones sin dificultades, teniendo pocas filtraciones, i se descendieron las nuevas fundaciones a 9 metros bajo suelo, o sea 2 metros mas que las antiguas.

Sobre estas nuevas fundaciones, enteramente ligadas con las otras, se armaron las cepas metálicas, que constituyen los apoyos del puente actual, de viga continua de acero, tipo San Gotardo construido por el Creusot. Cuando se desarmó el puente antiguo americano, se recortaron i acomodaron las mamposterías de esos machones i se colocaron las anclas del caso para que ellos puedan recibir cepas metálicas análogas a las del puente actual i completar así el puente de doble vía.

Las ferreterías del puente actual son desgraciadamente deficientes i se hace urgente su reforzamiento. Por economía se pidieron sólo para soportar una sobrecarga de prueba de 4,000 kilogramos por metro corrido de puente i haciendo trabajar sus aceros a 10 kilogramos por milímetro cuadrado de seccion bruta. Como el servicio exige hoi el uso de fuertes locomotoras de 70 a 80 toneladas de peso, el puente sufre con el tráfico i ya sus piezas se han resentido en varias ocasiones. El puente está soportando pesos rodantes que desarrollan un esfuerzo de 6,000 kilogramos por metro corrido; por consiguiente esos aceros, que estaban calculados para soportar una tension de 10 kilogramos por milímetro cuadrado con una carga de prueba de 4,000 kilogramos por metro corrido, están en realidad trabajando con 12 a 14 kilogramos por milímetro cuadrado, lo que es un exceso.

El estribo sur del puente tiene actualmente una rajadura vertical, pero este desperfecto no compromete la seguridad del puente; se ha producido sólo por la discontinuidad del trabajo i por lo heterojéneo de los materiales de las mamposterías, cosas inherentes a la diversidad de los proyectos ejecutados. Como el río se carga siempre con fuerza contra ese estribo, es necesario establecer defensas serias que afiancen la construcción i garanticen su seguridad para lo futuro. Por otra parte, como se ha constatado que las avenidas son capaces de socavar hasta 4 metros, conviene proteger los machones, puesto que las fundaciones antiguas no descienden mas de 7 metros bajo el suelo *que tuvo el río año 1878*, i no bajo el actual. Atendiendo a estos hechos para la completa seguridad de este puente, se hacen necesarios los trabajos siguientes:

1.º Rodear los machones con enrocados de bloques grandes de hormigón, en terrados a dos metros de profundidad bajo el lecho del río, dejando a la vista la cara superficial de los bloques.

2.º Colocar al pié del estribo sur un enrocado de bloques de grandes dimensiones i de piedra de cerro de grandes dimensiones, que sirvan como de relleno a los intersticios dejados por los bloques

3.º Construir un espigón inmediato a cada uno de los estribos norte i sur, para normalizar hácia el puente las corrientes de las aguas, que ahora atacan directamente los estribos.

4.º Al ejecutarse los trabajos indicados debe ponerse especial esmero en los que corresponden al estribo i al machon sur.

Las dimensiones i proporciones de mezcla que se usan jeneralmente para la confección de estos bloques de hormigón son las siguientes (fig. 29): 3.50 metros de base por 2 a 2.5 metros de altura i 3.50 metros de ancho. Los hormigones se fabrican al pié de obra con buena piedra de río bien lavada, usando una proporción de 1 : 8 para la parte exterior con un espesor de 0.60 metro i de 1 : 11 para el relleno del interior. Con la proporción de 1 : 8 entra jeneralmente un quintal español de cemento por metro cúbico de hormigón. No conviene usar cales en estas mezclas.

Las indicaciones anteriores se hacen tanto mas urjentes cuanto no habiéndose restablecido nunca los niveles del fondo despues de las creces *las socavaciones sucesivas* minaron el machon número 2, contado del sur, i fué preciso defenderlo con bloques.

El puente carretero del Maipo, denominado de "Los Morros," que tiene machones i estribos de mampostería, está fundado en una angostura del lecho del río mui propicia para el establecimiento de obras de artes, porque, en ese punto, se encuentra la roca superficialmente en las barrancas del norte i el estribo del puente i demas construcciones anexas para dar pasos a los canales que sacan sus aguas poco mas arriba, están todas fundadas en roca dura. Por eso el puente de "Los Morros" no ha sufrido con las creces del Maipo i sólo hai que atender a la renovación de las maderas de su superestructura, la que, por desgracia, siempre se hace con poca oportunidad, de modo que ya desde hace tiempo atras, ese puen-

te, llamado a prestar tantos servicios a un rico vecindario, pocas veces se encuentra en buen estado. Se ha recurrido al arbitrio de apuntalar las vigas i subdividir los tramos con cepas de rieles intermedias, las que, mal clavadas i sirviendo de tacho a las corrientes, son constantemente averiadas. Es mayor el gasto que se hace en querer evitar la renovacion de las maderas con los recursos i paliativos de los pilotes, que el que exige una buena superestructura de fierro como la primitiva que tuvo el puente de "Los Morros" formando vigas de enrejado americanas i que duraron 30 años en servicio. El empleo del roble, mas barato en apariencia, no ha hecho mas que exigir acomodos constantes hechos con deficiencia i dejando el puente casi siempre inadecuado para el paso de carretas.

Puente de Angostura.—Este puente tiene 147 metros de largo, compuesto de 4 tramos metálicos de acero, los que, por tener el mismo defecto que los del Maipo, fueron reforzados. Sus apoyos son de albañilería i no han sufrido con las creces; pero, como el estero cambia constantemente el perfil del fondo, es necesario, para evitar socavaciones sucesivas que puedan llegar a descubrir los cimientos, reforzarlos todos con buenos enrocados de piedra de cerro de grandes dimensiones.

Puente de San Francisco.—Dos tramos metálicos de 20 metros de luz cada uno, situado a la salida sur de la estacion de San Francisco, con apoyos de mampostería bien fundadas en subsuelo toscoso del fondo. Las avenidas de 1900 hicieron subir las aguas mas que todas las anteriores conocidas i amenazaron las fundaciones. Deben, pues, reforzarse con enrocados para evitar nuevas socavaciones i defender igualmente los terraplenes i conos de los estribos.

Puente del Cachapoal.—Con un largo total de 250 metros i ubicado entre Rancagua i Gultro. Tiene como superestructura 9 tramos metálicos, los que hechos desde hace cerca de 40 años, se encuentran en buen estado i prestan buenos servicios.

El puente del Cachapoal fué construido como carretero por el señor Manuel Valdes Vijiil, con estribos i machones de mampostería i superestructura de madera de pino, con arcos de 35 metros de luz parecidos a los del puente d'Ivry, en Francia. Este puente se mantuvo en buen estado de servicio mas de 30 años, no exijiendo sino las reparaciones corrientes a esta clase de construcciones. Posteriormente, cuando se trató de un cambio total de sus maderas, por economía no se imitó lo hecho i se cambió la superestructura del carretero por otro de vigas rectas sistema americano i con madera de roble. Aunque esta nueva superestructura, aprovechándose de la altura de las vigas i del enriastriamiento superior, se ha encontrado siempre protegida por un techo de fierro galvanizado, ella ha exijido constantes reparaciones de importancia; hechos que, como el notado en el puente de "Los Morros," viene a demostrar que nuestra madera de roble, que no se consigue nunca seca, i que tuerce, por lo tanto, con las influencias de las lluvias i el sol, dislocando así todas las articulaciones de las vigas, no es una madera adecuada para construcciones de la importancia de los puentes de "Los Morros" i del Cachapoal.

Cuando se construyó el ferrocarril del sur, por economía se hizo que el puente de la línea férrea ocupase *una de las vías* del puente carretero construido por el señor Valdes Vijiil, quedando así acoplados los dos puentes i el nivel de los rieles se colocó casi al del nacimiento de las arcas del puente carretero. Esta solución no fué feliz, porque obligó a la línea férrea a tener una pendiente de subida hacia el puente por ambos lados i, además, porque, quedando las chimeneas de las locomotoras casi a la altura del tablero del puente carretero, resulta que si en los momentos que pasa un tren se encuentra un coche o animales espantadizos, ellos se asustan con el humo i ruido de los trenes i ocasionan accidentes. El más grave fué la caída de un carruaje, el que fué arrastrado contra las barandillas del puente, chocando con tal fuerza que las quebró i cayó carruaje con sus cabalgaduras cochero i pasajeros. Con el cambio de superestructura del puente carretero estos hechos no pueden repetirse porque el enrejado de las vigas lo impide; pero no se puede impedir que los piños de ganado que pasan por el puente sean espantados por los trenes i maltraten dichas vigas estrellándose contra ellas. Por eso el acoplamiento de los puentes carreteros i ferroviarios, si bien trae economías de ejecución en el primer momento, no son las soluciones más convenientes en la mayor parte de los casos.

El lecho del Cachapoal, como el del Maipo, a más de su pendiente jeneral de oriente a poniente, tiene una pendiente marcada de norte a sur. Por eso el Cachapoal tiene una tendencia marcada a cargarse al sur, i para impedir que fuesen atacados los terraplenes *A C* (fig. 20) que unen el puente con el brazo seco *C D* se habia construido la defensa *A B*. Esta defensa fué debilitada notablemente por el vecindario, el que la destruía para sacar i llevarse las piedras de cerro para cimientos de casas, etc. En el Cachapoal presencié la crece de 1888 i pude ver su álveo lleno de estribo a estribo del puente; i esta crece atacó la defensa en un punto débil *f*, donde habia sido muy maltratada i en su cabecera oriente *B*, por que las aguas del rio fueron desviadas por unos duques de Alba i otros restos de las boca-tomas de los canales que están más aguas arriba de la defensa. Por eso las aguas se dividieron agolpándose parte de ellas contra los terraplenes *A C* i amenazando el puente chico *C D*. Rota la defensa en *F*, una gran masa de agua atacó el estribo sur, formando a su alrededor fuertes remolinos de tal manera que las socavaciones alcanzaron a amenazar el estribo. Se salvó dicho estribo gracias al haber podido, durante toda la noche, botar constantemente piedras de cerro de grandes dimensiones i contrarrestar así los efectos destructores de las canalizaciones locales.

Ésta fué la primera vez que a las órdenes de mi jefe señor Carlos Hillman pude ver perfectamente los efectos desastrosos de una crece. Observé entónces en el Cachapoal, en el canal formado contra el estribo sur, una velocidad superficial de 8.5 metros por segundo, con 4 metros de agua. Las fundaciones tienen 6 metros de profundidad. Con las fórmulas tenemos: $v = 8,5$ $v_1 = 5,52$ i $v_2 = 1,40$, porque el fondo es resistente con conglomerado de grava gruesa.

$$v-v_1=2.98 \qquad 5.52-1.4=4.12$$

$$\frac{2.98}{4}=0.745 \qquad \frac{4.12}{0.745}=5.53$$

Como las fundaciones tienen 6 metros quedaron 0.47 metros para ser completamente descubierto i por consiguiente como protegerlas echando grandes piedras que no fuesen arrastradas por corrientes de 2.20 a 2.30 metros por segundo, ¿fué lo que se hizo. ¿Podría llamarse ese puente mal fundado? Pero si no se hubiese atendido oportunamente habría sido comprometido.

La gran crece de 1899, se repartió mucho en el cauce del río i, por lo tanto, no amagó ningún punto determinado.

En julio de 1900, como por efecto de las creces anteriores i que los vecinos continuaron sacando todas las piedras de los restos que quedaban de la defensa *a b*, el río destruyó los terraplenes de acceso del estribo sur del puente carretero, es decir el lado oriente del estribo del puente. Con este motivo la línea estuvo seriamente amenazada; pues la muralla divisoria de los terraplenes de ambos puentes quedó con los cimientos descubiertos enteramente por el lado del río. Además el estribo mismo volvió nuevamente a quedar en peligro, como en 1888, por la destrucción de los terraplenes i socavaciones tomadas por la espalda.

Es indispensable, por lo tanto, para atender a eventualidades i reparar los efectos de las socavaciones, enrocar convenientemente el estribo con bloques de grandes dimensiones. Como en ocasiones hai brazos del Cachapoal que se estrellan contra el estribo norte, es también conveniente hacer enrocados de defensa en este punto, los que, a más de eso, deben tener condiciones tales que sirvan para normalizar las corrientes que chocan contra la ribera norte.

El puente del *Cachapoal* en la línea de Pelequen a Peumo, tiene 8 tramos metálicos de 50 metros, de centro a centro, viga continua, apoyada sobre estribos de mampostería i machones de tubos de fierro; está ubicado entre las estaciones de San Vicente i Peumo. Como se vé, es mayor que el de la línea central i se encuentra en un punto donde las corrientes son menores; pero el lecho está compuesto de gravas i arenas gruesas, i como el volúmen de agua que se junta es mayor que en la sección de la línea central, las socavaciones son tan temibles, si no más que en dicha línea. Por eso se descendieron las fundaciones a 8.5 metros de profundidad. No han sido atacadas por los remolinos. Las columnas de un mismo machon estaban unidos (fig. 21) por cruces de San Andrés i riostras. En las creces de 1900 se enredaron ramas de árboles i basuras en estas amarras i formaron tacos i concluyeron por destruirse completamente en la mayor parte de los machones, no quedando más que la pieza *q*, que une las columnas por la parte superior, i con ello es bastante, dada la poca altura libre de las columnas, i sería inútil restablecer dichas amarras. Es indudable también que la fundación tubular, provocando menos remolinos que los machones de mampostería, es más adecuada para nuestros ríos. Visitando el puente dos meses después de las grandes creces, se pudo ver que las canalizaciones locales habían provocado corrientes

das que atacaban las fundaciones normalmente, es decir correntadas paralelas al eje longitudinal del puente. Si hubiese tenido machones de mampostería ellas habrían chocado contra los paramentos de dichos machones, provocando los mismos efectos observados en el Tinguiririca i otros: miéntras que, con los tubos a lo sumo formaban al interior de ellas un canal secundario.

Pero si las fundaciones del puente son seguras, las barrancas no lo son, i para que el estribo oriente no se encuentre amenazado por la espalda, debe construirse un espigón de piedras i bloques aguas arriba del estribo oriente para dirigir normalmente las aguas hácia el puente.

Tripaune —Este puente tiene 4 tramos independientes de 15 metros de luz cada uno, con vigas parabólicas de alma llena. Sus fundaciones establecidas en un suelo caseajoso se llevaron hasta los 4 metros de profundidad; pero, como poco despues de construido se vió amenazado, se defendieron sus fundaciones con un zampeado de piedra suelta, arreglada a mano, formando como enlozado. Como las creces del año 1888 maltrataron este zampeado, se concluyó la protección colocando barreras de pilotes de rieles aguas arriba i aguas abajo del zampeado. Despues de este último trabajo, el puente se ha mantenido mui bien con sólo la conservacion ordinaria del zampeado i los enrocados de piedra suelta para los terraplenes de acceso.

La vía estaba establecida al principio en este puente sobre longuerinas de pino de 30×30, por cuanto sus piezas de puente están espaciadas de 0.60 en 0.60 metro, de centro a centro. Pero como esta clase de enrieldura era odiosa i ofrecia peligros para los casos de desrieles dentro del puente, se ha colocado despues la enrieldura ordinaria para puentes, es decir con durmientes especiales i juntos i con los contra-rieles del caso, dándole así a la superestructura mayor rijidez.

Estero de Mendoza.—Es un puente igual al del Tripaune, pero en el zampeado. A este puente, construido por el señor Jequier, al iniciarse los trabajos de la línea férrea del sur, se le dió tambien 4 metros de fundaciones, reposando en gravas gruesas como las que se encuentran en la mayoría de los cauces de nuestros rios. El señor Jequier se guió para ello en las mayores creces que le contaron los vecinos de la localidad i fundó con relacion a los datos recojidos. Pero el estero de Mendoza, el Claro i el Clarillo, de esa misma zona, no son mas que tres brazos, se puede decir, que tienen el mismo orfjen i, por lo tanto, segun los años i las circunstancias locales, las aguas se cargan arriba, mas sobre un lecho que otro; i de ahí las creces tan violentas i fuera de toda prevision espermentadas por estos esteros.

En las creces de 1888 casi todas las aguas se cargaron al lecho del Mendoza i, por consiguiente, el cauce de éste se hizo estrecho, i estuvieron amenazadas, no sólo sus fundaciones, sino tambien los terraplenes de acceso del estribo sur. Fué preciso, como en el Cachapoal, defenderlos botando en esos dias cantidades enormes de piedras de cerro de grandes dimensiones. Tan pronto como pasaron las creces el señor Hillman hizo revisar las fundaciones i viendo que habian sido casi descubiertas por completo, formuló inmediatamente un proyecto de zam-

peado jeneral para defender ese puente como el Tripaune. La administracion no atendió este proyecto; las creces del año 1896 acumularon nuevamente las aguas sobre el lecho del Mendoza i el puente fué destruido por completo. El puente duró desde 1854 hasta 1896, es decir 42 años, i se habria mantenido hasta ahora, si hubiese sido bien cuidado, i la defensa siempre habria sido mas barata que su reconstruccion, sin ocasionar las perturbaciones en el tráfico que ocasionó la caida del puente el año 1896. Son casos característicos de economías, que pueden llamarse propiamente descuidos mal entendidos.

Se rehizo el puente con pilotajes de rieles clavados a 11 metros de profundidad, colocando 16 pilotes bajo cada machon sobre los pilotes una capa de 0.80 metro de hornuigon i despues las albañilerías. Este puente no ha exigido despues sino la defensa de sus terraplenes con algunos enrocados con piedra de cerro.

Antivero.—Situado entre las estaciones de Barreales i San Fernando, con superestructura metálica i machones i estribos de mampostería. Fundado en tosca, que es el subsuelo que se encuentra bajo el ripio del fondo del rio. no ha sufrido nunca nada. Por lo demas el Antivero no es correntoso; en 1899 el rio destruyó los terraplenes de acceso del norte i en 1900 rompió los del sur, porque no tenian defensas. Se hace, por lo tanto, necesario completar la obra con esas defensas.

Puentes del Ramal de Palmilla.—Los puentes del Ramal de Palmilla, pueden tomarse como tipos de buenas construcciones, *salvo calcular las ferreterías en conformidad con los pliegos de condiciones suizos i las cargas de prueba adecuadas para nuestro equipo.* En realidad esos puentes no tienen mas reproches que el haber sido calculado el trabajo de sus aceros a razon de 10 kilogramos por milímetro cuadrado de seccion bruta, con una carga de prueba insuficiente a la fecha. En el Ramal los aceros no se han resentido, porque el exceso de peso, debido al tráfico de trenes de carga pesados sólo se hace sentir de Palmilla al poniente, por ahora, que aun no llega la línea a la costa, sólo durante una corta temporada. Tan pronto como ese ramal se concluya, indudablemente que será necesario reforzar todas las ferreterías de sus puentes, como pasa con el Maipo i demas construidos bajo la misma base *económica*. Las fundaciones de esos puentes están todas llevadas mas abajo que las socavaciones i no han sufrido. Sus mamposterías son bien ejecutadas i, por consiguiente, no demandan mas atenciones que las defensas de las barrancas, como pasa en todos nuestros rios. El puente del Ligüeimo es un bonito tipo de tramo de 60 metros de luz, de viga de rejilla i con contravientos superior e inferior.

Los puentes de las *Cadenas* números 1 i 2, situados a poca distancia el uno del otro entre las estaciones de Manchigüe i Alcones, no pueden considerarse como tales. Sólo son recursos para hacer pasar la línea i deben ser rehechos en las mismas condiciones que el Chimbarongo i el Ligüeimo, ya que se prosiguen los trabajos del ferrocarril hasta el puente, i esa línea tendrá entónces que tomar importancia, siendo la salida de los productos de la provincia de Colchagua i parte de Curicó.

El puente sobre el *Lontué* tiene superestructura metálica dividida en 7 tramos cortados i en todos semejante a los del Teno Norte, i con un largo total de 224 metros. La superestructura reposa sobre machones i estribos de mampostería i está ubicado entre las estaciones de Curicó i Lontué un tanto al sur del puente del estero de Guaiquillo.

Segun los planos de ejecucion las fundaciones se proyectaron con 7 metros de profundidad; i, por lo tanto, con una hondura suficiente para contrarrestar las socavaciones. Pero, durante la ejecucion de los trabajos, se vió que aparecia la tosca mas o ménos dura, a los 3 i 3.5 metros; guiados entónces por un espíritu de economía mal entendida, detuvieran las fundaciones a los 4 i 4.5 metros por haber llegado a un suelo firme, sin advertir que, entre nosotros, dado el carácter esencialmente torrencial de nuestros rios i las pendientes de Lontué, todas las toscas corrientes son atacadas por las aguas.

Las creces de los años pasados sin duda minaron poco a poco el empotramiento de los machones en la tosca, hasta que las de mayo de 1899 botaron uno de los machones, arrastrando en su caída dos tramos de la superestructura, i como siguieron las creces sin que tratase de auxiliar el resto del puente, en julio de 1900 se repitió el accidente en otro machon. De esa manera, a fin de 1900 teníamos el puente del Lontué con *cuatro tramos* ménos, faltando los machones número 1 i 5 (fig. 22) contados de norte a sur. Es evidente que si no se protege el resto i continúan las creces tendremos que lamentar la caída total del puente. Dos soluciones pueden aceptarse para la defensa i restablecimiento del puente, que son:

I. Un zampeado jeneral de estribo a estribo cuyos muros de barreras fundadas a 6 metro, protejan toda la construccion i reconstruir los machones caídos, dándoles la misma hondura. Las ferreterías de la superestructura se restablecerian como estaban ántes. Esta solucion no es mala, pero es costosa por cuanto el zampeado entre los dos muros de barreras tiene que tener por lo ménos 1 metro de espesor i ser ejecutado o con buena mampostería hidráulica o con bloques grandes que no sean arrastradas por las correntadas.

II. La otra solucion es mas barata en lo tocante a fundaciones i mas cara en lo relativo en a la superestructura; pero tiene la ventaja de perturbar ménos el réjimen del Lontué, i consiste en las medidas siguientes:

1.º Poner dos tramos de 60 metros de luz en reemplazo de los 4 tramos chicos de 30 metros que se han caído, evitando así restablecer los machones caídos i quitando dos estorbos al libre curso de las aguas. Es efectivo que los tramos dobles valdrán cuatro veces tanto que los chicos i si las ferreterías viejas estuviesen en estado de aprovecharse con poco costo nada justificaria este aumento de costo; pero no es así: las ferreterías caídas se pueden aprovechar sin disputa pero, como fueron calculadas con las cargas reglamentarias antiguas, están fatigadas con el actual servicio i, por lo tanto, conviene aprovecharlas en puentes mas cortos, dándoles así el aumento de resistencia, i poner nuevas calculadas con los pesos adecuados al actual material rodante: esta circunstancia hará que las nue-

vas ferreterías tengan un recargo de peso como 30% sobre las que se van a reemplazar.

2° Para proteger los machones, establecer defensas dictadas para cada uno de ellos por medio de un recinto de pilotes de rieles i enrocado de grandes piedras. Los pilotes que formen el recinto deben elevarse 7 metros por lo ménos.

Puente del *Rio Claro*, ubicado al sur de la estacion de Molina. Cuando se construyó la línea de Curicó al sur, el ingeniero en jefe señor Poisson ordenó la fundacion del puente del Claro con una profundidad de 3 metros, fundándose en que ese rio no tenia nunca correntadas i que, por consiguiente, sus aguas no podrian socavar el suelo. El ingeniero residente señor Vivanco, protestó de esta medida, i su protesta la tomó el señor Poisson como insubordinacion de su subalterno i fué el motivo de la separacion del señor Vivanco.

Para mayor curiosidad i para poner en relieve lo pernicioso que es que las autoridades administrativas den órdenes absurdas, no tenemos mas que agregar que el señor Budge ingeniero del contratista señor Hoter en aquel entónces, *tambien protestó de la poca fundacion del puente salvando la responsabilidad del contratista si se caia*. A pesar de esto, el señor Poisson, que tenia la orden de concluir la línea de Curicó a Angol en 5 años, por no atrasar i activar los trabajos, ordenó la fundacion a 3 metros de profundidad. Los señores Vivanco i Budge tuvieron mucha razon. A los tres metros de profundidad en algunos puntos del lecho del rio no se habia alcanzado siquiera a fundar en la tosca que el subsuelo que se encuentra despues de las gravas i en las barrancas. Ahora, si bien de ordinario las aguas del Claro no tienen corrientes, porque sus creces se hacen sentir despues de las del Maule i las aguas se arreprezan, hai casos en que sucede lo contrario, i deben entónces temerse las socavaciones. Por eso recién construido el puente, se cayó el 2.º machon del sur. Como las bóvedas del puente son de medio punto, esta caida no arrastró mas que con los dos tramos vecinos. El puente se reconstruyó dándole a las fundaciones 6 metros de profundidad i se defendieron las de las otras en conformidad al proyecto de don A. Lastarria. Como el subsuelo es tosca, las escavaciones no ofrecieron dificultades i hubo pocas filtraciones.

Las albañilerías del puente son buenas, pero tienen un defecto grave: los tímpanos no tienen barbacanas i las aguas que se acumulan sobre la vía i atraviesan el lastre, filtran por entre las albañilerías, provocando su destruccion i la formacion de musgos en los paramentos.

Sobre este mismo *Rio Claro* tiene un puente la línea de Talca a Constitucion, que es de 1 metro de trocha, aunque sus terraplenes, cortes, etc, se han hecho consultando la posibilidad de ensancharla i ponerla de la trocha normal de 1.68 metros. Este otro puente del Claro tiene 200 metros de largo, con superestructura metálica de viga continua subdividida en 5 tramos de 40 metros cada uno. Las vigas son de acero i sus apoyos tienen los aparatos del caso para repartir las dilataciones sobre sus dos estribos. La colocacion del tablero es de vía inferior i el peso de la superestructura es de 1,000 kilogramos por metro corrido de puente.

Los estribos i machones son de mampostería de piedra en bruto con paramentos de sillería: los machones tienen cabezas cilíndricas i los estribos muros de vuelta para sujetar los terraplenes de acero.

Las fundaciones tienen 6 metros de profundidad i para atender a los agotamientos de las filtraciones se reunieron los heridos de dos en dos por medio de canales de derivacion que concurrían a un pozo donde se encontraban instaladas cinco bombas centrífugas de 0,30 metro de diámetro en sus tubos de aspiracion i repulsion, accionadas por locomóviles, las que botaban sus aguas en el mismo lecho del rio aguas abajo de las excavaciones.

El puente se construyó en seco, aprovechando un codo del rio que existía cerca del lugar de la ubicacion del puente. Terminada la obra, se enderezó el cauce del rio, rellenando el cauce por donde pasaba ántes con terraplenes de 5 a 6 metros de altura que guían las aguas, i defendiendo los orillas del nuevo cauce por medio de muros de revestimiento de piedra en seco hasta 200 metros mas o menos hácia aguas arriba del puente i 80 a 100 metros hácia aguas abajo.

Para armar la viga se hizo uso de un andamio continuo establecido de un machon a otro por medio de gatas i dándole el alza de seguridad correspondiente. Despues de armado un tramo, sirviéndose de las mismas gatas se desarmaban los andamios para restablecerlos en el tramo siguiente i así sucesivamente. No he tenido datos precisos de los estragos que las creces hayan hecho en este puente; pero debo advertir que el resultado obtenido con la union de dos excavaciones por un canal de derivacion es *malo*. Se remueve indudablemente el lecho del rio en toda su seccion trasversal i, por otra parte, estos canales de derivacion que llevan las aguas de los heridos al pozo comun filtran ellos mismos i aumentan notablemente el volúmen de agua por extraer. No es, pues, una medida o recurso que pueda aconsejarse para otros trabajos; por el contrario, es peligroso, si esos canales de derivacion que han removido toda la seccion trasversal del lecho no son rellenados despues con bloques o piedras grandes. La construccion del puente se puede decir, en un canal de derivacion, en este caso fué admisible por las condiciones locales; de ordinario, los trabajos suplementarios que exige el canal de derivacion son tales que su ventaja es dudosa. Por eso, entre nosotros no encontramos otro caso de construccion de un puente, en seco, en derivacion, sino éste por sus circunstancias especiales.

La otra obra de importancia que tiene la línea de Talca a Constitucion es el puente del *Estero de los Puercos*. Este puente es de viga recta de 60 metros de luz, descansando en sus extremos en estribos de mampostería ordinaria, es decir, de piedra bolon corriente. La superestructura reposa sobre una rótula en uno de sus apoyos i sobre aparatos con rodillas de dilatacion en el otro.

El estribo poniente ha sido fundado en roca firme; pero el estribo oriente, por el contrario, se fundó mal i en malos terrenos. Queriendo alcanzar el suelo firme, se recurrió a un pilotaje de roble pellin con un emparillado de madera; los pilotes tenían 6 metros de largo i 0 20 de diámetro: eran de seccion circular.

Cada uno de ellos, segun los cálculos que se hicieron, debía soportar 16 tone-

ladas i *debían haber sido clavados hasta el rechazo absoluto*. Sin embargo, los ingenieros residentes dicen que los pilotes fueron demasiado cortos i que no alcanzaron a dar el rechazo absoluto, sino una penetración de 0.05 metro con el último golpe de la masa al concluir la hincadura, en muchos de ellos.

Este hecho fué criticado por algunos ingenieros i lo señalaron como un defecto de construcción. Sin embargo, si examinamos detenidamente esta circunstancia, veremos que ella no pudo traer consigo la ruina del puente, i, para ello, basta hacer los cálculos de penetración admisibles para el pilotaje.

Tomando la fórmula empírica holandesa

$$Q = \frac{H P^2}{n e (P+p)} \dots\dots\dots (1)$$

de donde

$$e = \frac{H P^2}{n (P+p) Q} \dots\dots\dots (2)$$

en la cual n es un coeficiente variable con la naturaleza del trabajo i clase del martinete que se emplea. Haciendo $n=17$, coeficiente que se usó para las fundaciones del Palacio de Justicia de Gantes, edificio pesado edificado a orillas de los ríos Escalda i de la Seysa en terrenos muy húmedos i blandos, i, por lo tanto, en condiciones semejantes al del estribo del puente del Estero de los Puercos, tenemos $n=17$. $P=450$ kilogramos. $H=3.50$ metros. $Q=16,000$ kilogramos. Para determinar el peso p del pilote tenemos:

$$p = \frac{\pi \bar{D}^2}{4} \times L \times \delta = \frac{\pi \times 0.2^2}{4} \times 6 \times 900 = 170 \text{ kilogramos}$$

i, por lo tanto:

$$e = \frac{3.5 \times 450^2}{17 (450 + 170) 16000} = 0.042$$

es decir que la penetración con los últimos golpes no debió exceder de 0.04 metro. Pero, si tomamos como valor del coeficiente $n=10$, $\sigma=6$, como es costumbre hacerlo en Holanda para trabajos de puentes, siendo la cifra $n=10$ la más preferida, tendremos:

$$e = \frac{3.5 \times 450^2}{10 (450 + 170) 16000} = 0.071$$

es decir que, aplicando la fórmula en las condiciones ordinarias, sólo exige para los últimos golpes una penetración de 0.07 metro; los pilotes del Estero de los Puercos

penetran los mas débiles 0 05 metro; luego no puede tacharse el pilotaje, puesto que ellos pueden resistir al peso del machon i algo mas, *sin que se produzca el hundimiento*. Pero, si queremos dejar a un lado las dudas de la aplicacion de los *coeficientes* de la fórmula holandesa, podemos determinar la penetracion mínima por golpe basándonos en el teorema del trabajo que dice que la accion de los rozamientos de los pilotes, multiplicada por la penetracion debe ser igual, por lo ménos, al trabajo de la carrera de la masa del martinete multiplicada por su peso. i como tenemos que la hincadura de los pilotes se hizo con martinetes de 4 a 5 metros de alto i con 3 5 metros por lo ménos de *caida* con masas de 450 kilogramos de peso actuadas por escape i movidas por un torno a vapor, i por lo tanto:

$$M = 450 \text{ kgm.} \quad h = 3.5 \text{ metro}$$

i como cada pilote debe resistir un peso de 16.000 kilogramos, i si tomamos como seguridad $\frac{1}{2}$, o sea $16.000 \times \frac{1}{2} = 8.000$ kilogramos, i, por lo tanto, $f = 16.000 + 8.000 = 24.000$ kilogramos, i hacemos que los frotamientos sean iguales, por lo ménos, a $f = 240.00$ kilogramos, tenemos:

$$M \cdot h = f \cdot e = 450 \times 3.50 = 24000 \times e$$

$$e = \frac{450 \times 3.50}{24000} = 0.065$$

Luego, desde que los pilotes mas desfavorables dieron sólo 0.05 metro como penetracion posterior, tenian una seguridad mas que suficiente. Si determinamos el frotamiento que se ha desarrollado en su penetracion, tenemos:

$$450 \times 3.50 = f \times 0.05$$

$$f = \frac{450 \times 3.50}{0.05} = 31500 \text{ kilogramos}$$

lo que pone mas en relieve que el fracaso no vino por la poca penetracion de los pilotes puesto que sus rozamientos desarrollaban un esfuerzo de 31,500 kilogramos, casi el doble del peso que tenian que soportar.

La causa de la caida del estribo oriente fué otra. Las aguas del Estero de los Puercos (fig. 23) suben hasta siete metros sobre el fondo, llegando a 1 50 metro, mas o ménos, bajo el nivel de las vigas de la superestructura. Son aguas sin corrientes, por cuanto son arrepresas por las creces del Maule; pero estas aguas se estacionan por algun tiempo i remojan i ablandan los terrenos adyacentes, i ese fenómeno *no fué tomado en cuenta* durante la construccion i fué el que trajo la ruina del estribo, como es fácil explicarlo.

La tierra A que está detras del estribo oriente, es gredosa i poco permeable; pero, una vez embebida de agua, forma un barro pegajoso e inconsistente.

En aguas bajas, se hizo la escavacion *a b c d* sin gran dificultad, por la impermeabilidad de las gredas; pero, a medida que se bajaba bajo el nivel de las aguas bajas, las tierras del fondo de la escavacion, se hacian mas i mas blandas i barrosas por las pocas filtraciones que aun las gredas dejaban pasar. Fué esto lo que determinó detener la escavacion, porque, aunque estaba toda ella enmaderada, formando, por decirlo así, una verdadera ataquia, no inspiraba confianza. Como es costumbre entre nosotros iniciar fundaciones sin tener sondajes del terreno, no es de estrañarse en casos imprevistos i que sólo al ver como se presentaba el suelo de las escavaciones fuera cuando se resolvió buscar el suelo firme con un pilotaje de 6 metros de largo. Estos pilotes, desde los 3 metros de enterrados, dieron siempre indicaciones de haber llegado a un suelo mas resistente i, por lo tanto, llegaron a tener sólo 0.05 metro de penetracion con los últimos golpes en los casos mas desfavorables.

Pero el ingeniero calculó el espesor del estribo como muro de sostenimiento para una altura H de empuje de tierras: es decir, desde el plan del emparrillado del pilotaje hasta el nivel del suelo. Ahora bien, como en realidad los pilotes atravesaron una capa de 3 metros en arcilla fangosa enteramente comprensible, los empujes se produjeron por lo ménos en una altura de $H + 3$ en todas las fundaciones i por consiguiente fueron superiores a los calculados i, *a mas de eso*, no se puso ningun jabalcon que contrarrestase los empujes horizontales, creyéndose tal vez que el enrocado de piedra de cerro con que se rellenó la escavacion seria suficiente. Los resultados desfavorables no se hicieron esperar: a las primeras aguas altas del estero, se ablandaron las arcillas en una estension mayor, se produjo un fuerte empuje horizontal al nivel del emparrillado i, como los pilotes trabajando como piezas cargadas de punta en una estension de 3 metros, no tuvieron un suelofirme que impidiese el movimiento, se inclinaron de *c* hácia *b*; la base del estribo cedió i la obra fué comprometida de tal manera que hubo que reconstruirla íntegramente.

Puente del Lircai.—Ubicado en la línea férrea del sur, poco al norte de la estacion de Talca, tiene un largo total de 150 metros la parte de mas al norte, dividida en 8 tramos de 15 metros de luz cada uno, o sea con 120 metros de luz efectiva. La superestructura es metálica, con vigas rectas de vía superior. Las fundaciones de los estribos i machones correspondientes a la parte mas al norte, donde están los 8 tramos de 15 metros, no tienen ninguna particularidad, ni como dificultad de agotamiento, ni como fundaciones. El Lircai es rio poco correntoso, i la velocidad máxima de sus creces no excede de 5 metros por segundo. En el lecho, despues de una capa de gravas regularmente gruesas, de 4 metros de profundidad media, hai un conglomerado bastante firme e insocavable, donde se encuentran encastrados los cimientos de los machones i estribos de 2 metros.

El puente del Lircai se proyectó de mampostería i para poner los machones siguiendo el eje de las corrientes del rio, se hizo abiajado de cerca de 45 grados. La ejecucion de las bóvedas abiajadas era costosa dado el precio que alcanzó entónces la piedra tallada, i para salvar este inconveniente, se resolvió

quitar las bóvedas i poner la superestructura metálica. Ahora, como el puente tenía 8 tramos, se consultaba su machon central, como machon estribo, i de ahí que ese machon tenga dimensiones que en nada se justifican actualmente que la superestructura es de ferretería.

El puente del Lircai se construyó abiajado para tomar la direccion jeneral del lecho i de las corrientes en la época de la construccion; pero, como el rumbo jeneral de las aguas oscila tanto en el álveo de nuestros rios, el año 1900 la mayor parte de los brazos del Lircai habian cambiado de rumbo i las aguas chocaban casi normalmente con algunos de los machones. Esta osilacion constante de las direcciones de los canales de escurrimiento o brazos de los rios, hace que sea de dudosa aplicacion entre nosotros el abiajamiento de los machones, porque con ello, si bien se consulta la mejor solucion en la época de la construccion, esa inclinacion no se explica desques cuando cambian las correntadas, i aun llegan a ser inconvenientes. Ésta es una razon mas que pone en evidencia que entre nosotros los machones tubulares, que presentan la misma seccion, sea cual sea la direccion de las correntadas en los álveos de los rios, es la mas adecuada para las fundaciones en torrentes.

Las vigas maestras de los tramos de 15 metros, como son abiajadas, trabajan descontrapesadamente: para contrarrestar los esfuerzos anormales ocasionados por esta circunstancia se cruzaron los diagonales en todos los compartimientos de las vigas, para aumentar su rijidez i evitar deformaciones. Todos los tramos están bien amarrados con un fuerte enrostramiento horizontal i vertical i gracias a ellos las vigas se mantienen en perfecto estado, sin que se noten saltaduras de remaches, como pasa con frecuencia en estos puentes abiajados. Por un error quedaron las vigas maestras espaciadas de 1.50 metro de centro a centro i no de 1.68, como deberia ser, para que el centro de cada riel coincidiera con el centro de las vigas; pero, como las cabezas de las vigas son de 0.30 metro de ancho i los durmientes especiales que se usan en las enrielladuras de los puentes, reparten bien las presiones, no se ha notado tampoco ninguna anomalía por esta circunstancia i el puente se mantiene en mui buen estado.

Ademas de los ocho tramos de 15 metros cada uno, se construyó en el brazo sur del Lircai, un puente de 30 metros de luz, (fig. 24), separado del anterior por un fuerte terraplen defendido con enrocados. Como de costumbre todos estos trabajos se tuvieron que proyectar por las apariencias exteriores de los terrenos, puesto que se ha creido innecesario, hasta hace mui poco tiempo, que los ingenieros sepan por medio de sondajes qué suelos se van a encontrar en las fundaciones. En el brazo sur se presentó una anomalía: el escape *AB* de la barranca sur es mui fuerte i de tosca mas o ménos dura i, por consiguiente, el estribo sur se pudo hacer con su escavacion casi en seco hasta los 6 metros de profundidad, bajo el lecho del rio. Pero ese escape sigue casi con la misma inclinacion i a 30 metros mas al norte, cuando se hizo la escavacion para fundar el otro estribo, i a los 4 metros de profundidad no sólo no habia el menor indicio de encontrar la tosca, o la capa de conglomerado que se habia encontrado en las otras fundaciones del

puente del norte, sino que la grava parecía hacerse mas fina. Se sondeó con un pilote i sólo se encontró resistencia a los 4 o 5 metros. Como las bombas de agotamiento no permitian en las condiciones en que estaban instaladas bajar 10 metros, se resolvió poner a los 4 metros un pilotaje de madera con su emparrillado, puesto que el nivel de las aguas mínimas de filtracion se habia encontrado a los 1.70 metros de profundidad. Los pilotes se clavaron de 6 metros para que todos ellos quedasen en firme i su penetracion mínima fué calculada por la fórmula holandesa que hemos mencionado en el puente del Estero de los Puercos i poniendo el coeficiente 10: la penetracion efectiva de los pilotes fué siempre como $\frac{1}{2}$ menor de la indicada por dicha fórmula. Esa fundacion no ha sufrido ninguna alteracion. La escavacion se rellenó con piedra de cerro de grandes dimensiones.

El trabajo de la mampostería de elevacion del estribo sur fué enojoso por cuanto tenia que hacerse por entre las palizadas del puente provisional de madera que allí existia i sin interrumpir el tráfico de los trenes. Estas circunstancias obligaron a levantar esas mamposterías en dos porciones. Como, por otra parte, las exigencias del tráfico i la inestabilidad de las palizadas provisionales obligaron a precipitar la entrega al servicio del nuevo puente, aun cuando sólo hacian cuatro días que se habian concluido la segunda parte de las mamposterías del estribo sur, las trepidaciones de los trenes, etc. produjeron una grieta en la union de los dos cuerpos de mampostería la que no ha tomado la menor importancia despues, ni debilita la estabilidad de la obra.

La armadura de la ferretería de este tramo de 30 metros, como tenia que hacerse sin interrumpir el tráfico, no pudo efectuarse sobre andamios continuos, como los de los tramos de 15 metros. Se hizo entónces en un andamio especial colocado aguas abajo del puente provisional tan pronto como estuvieron concluidas las ferreterías i los machones: por medio de prensas hidráulicas se subió todo el tramo al nivel deseado; i tan pronto como pasó el último tren de pasajeros, a las 5 P. M., se aserrucharon los pilotes de madera de la palizada provisional i con cables de acero se les hizo tumbar con superestructura i todo hácia aguas arriba. Botado así el puente provisional, que ocupaba el eje de la línea férrea, se armó un andamio trasversal apoyado en los mismos restos de palizadas i por él se corrió horizontalmente el tramo de ferretería de 30 metros que, con las prensas hidráulicas, habia sido levantado al nivel correspondiente. A las 2½ de la mañana, el tramo de 30 metros reposaba sobre los estribos por medio de sus aparatos de dilatacion, i se principiaba el desarme de los andamios horizontales que habian servido para correrlo i la enrieldura i colocacion de la vía superior, completar los terraplenes, etc., i a las 7 A. M. pasaba el primer tren de Talca a Santiago por el nuevo puente.

Puente del Maule.—Ubicado entre las estaciones de Maule i San Javier, con superestructura metálica de vigas rectas continuas de 220 metros cada una, subdivididos en dos tramos de 50 metros i dos de 60 metros de centro a centro; de manera que el puente completo tiene cuatro tramos de 50 metros i cuatro tramos de 60 metros reposando sobre estribos i machones de mampostería de pie-

dra en bruto, no teniendo de piedra tallada mas que las aristas de los estribos conos i cornizas i piedras de asiento de los aparatos de dilatacion. Dado el carácter de las creces del Maule i el costo de sus fundaciones, era lójico pensar desde el principio en la construccion de un puente con tramos largos, i desde que por comodidad para la armadura, se subdividió el puente en dos secciones de 220 metros cada una, la distribucion de los tramos en cada una de las vigas continuas de 220 metros se hizo de manera que los momentos de los tramos de ribera fueran los mas iguales posibles con los de los tramos centrales, para así facilitar la distribucion de los palastros en las vigas, las ensambladuras i demas detalles. Como esta condicion se realiza teniendo los tramos centrales una luz de 1.20 comparada con los de rivera, se vé inmediatamente que para tramos de rivera de 50 metros, correspondian tramos centrales de $50 \times 1.2 = 60$ metros. En realidad, consultados los depurados de los momentos de flexion, se vé que con esta medida se consiguió el objeto que se deseaba de normalizar los esfuerzos solicitantes de los diversos tramos i, por lo tanto, llegar a un *mínimum en el peso de la superestructura* por la simetría i buen aprovechamiento de las ferreterías. Esta consideracion es importante, cuando los tramos pasan de 25 metros de luz: porque si no se toma en cuenta al hacer la distribucion de los tramos de las vigas continuas, se tiene por causa de la diversidad de trabajo de las piezas, un aumento de peso que puede estimarse en un 10 por ciento. Así en la superestructura del Maule, si se hubiesen puesto tramos iguales, como el puente actual pesa 1,110 kilógramos por metro corrido, en números redondos, o sean 266,400 kilógramos los 440 metros: habríamos tenido de excedente, al ponerlos tramos iguales un 10 por ciento, o sean 26,400 kilógramos de ferreterías, que, al precio de 27 centavos el kilógramo, que fué el de la contrata, habrian representado un aumento de precio de \$ 7,128. El puente del ferrocarril es jemeo con el carretero, que tambien tiene superestructura metálica, dividido en dos vigas continuas i en tramos como los del ferrocarril, puesto que reposan en los mismos apoyos. Las vigas rectas del puente carretero tienen rejilla simple i las del ferrocarril tienen rejilla múltiple; las piezas de puentes i longuerinas que forman el tablero del puente del ferrocarril son de ferretería; miéntras que las del tablero del carretero son de madera de pino. Como esas piezas de puente tienen 8 metros de largo cada una, están formadas con vigas armadas con tirantes de fierro redondo

Cuando hablamos del puente del Cachapoal, anotamos los inconvenientes de estos puentes carreteros acoplados con los puentes de ferrocarriles; en el puente del Maule se han hecho sentir estos mismos inconvenientes. El tablero del puente carretero tiene dos veredas para peatones, con sus correspondientes soleras, que sirven tambien de guarda ruedas, para que las masas de las ruedas de las grandes carretas u otros vehículos puedan estrellarse contra las cruces de San Andres de las vigas maestras. Pero, en una ocasion pasaba un piño de bueyes por el carretero en los momentos en que un tren atravesó por el puente del ferrocarril; el piño se asustó, se subió a las veredas del poniente del puente i muchos se estrellaron contra las vigas maestras: de éstos, los que se estrellaban con las

escuadras de las cruces de San Andres las doblaron i las maltrataron, i los que no alcanzaron a estrellarse con ellas, se pasaron por los huecos i cayeron al rio, perdiéndose completamente. Despues de este incidente se le hizo poner una barandilla de alambres al puente carretero i se han evitado así las caidas de animales al rio, pero no el que no sea maltratada la viga poniente con los choques de los animales asustados.

La razon que se tiene para acoplar estos puentes es la economía en las fundaciones. Esa razon *es efectiva cuando se trata de fundaciones de mampostería hechas como las del Maule: no es razon cuando se trata de fundaciones tubulares por pozos o por aire comprimido*, puesto que el mismo costo ocasionan los tubos al enterrarlos en condiciones para hacer puentes acoplados, que *para formar grupos aislados correspondientes a los soportes de cada puente en particular*. Ahora, estudiando el caso de mamposterías, hai aun que pensar si la economía que se obtiene en las fundaciones se encuentra compensada con las otras dificultades que acarrea el acoplamiento de los servicios; esto i seguro que de ordinario convendrá mas hacer los puentes separados.

Las fundaciones del puente del Maule fueron ejecutadas a cielo abierto i salvando los terrenos socavables de arenas i gravas, con heridos enmaderados en su mayor parte para evitar los derrumbes i estraccion inútil de escombros; se combatieron las aguas de filtraciones con bombas centrífugas.

Como no se conocia el subsuelo del lecho del rio, porque, por una anomalía bien rara, nunca se ha autorizado a los injenieros entre nosotros, cuando tienen que hacer estos proyectos, para hacer los gastos necesarios de sondeos para saber de antemano i con seguridad la clase de fundacion mas adecuada al caso: por semejanza con algunos vecinos se proyectaron las fundaciones para bajar con mamposterías hasta los 4 metros i ahí defenderlas i apoyarlas con un fuerte pilotaje sobre el cual se pondria el emparrillado, etc. Era de presumirse, no teniéndose mas antecedentes que los débiles pilotajes de los puentes provisionales que habian sido construidos ántes. que, en un rio tan caudaloso como el Maule, no se encontrase el terreno adecuado para una buena fundacion sino mas abajo de los 10 metros, i difícilmente a tajo abierto i con bombas centrífugas podria bajarse hasta esa profundidad.

Sin embargo, en realidad el lecho del rio presentó, desde el primer momento, ventajas para las fundaciones. Al hacer el estribo norte, a los 4 metros de profundidad, se encontró una capa de pudinga amarillenta i consistente, pero siempre mas o ménos atacable por las aguas; i a 1 metro mas abajo otra pudinga verdosa i ya con consistencia i aspecto de roca; el estribo norte quedó empotrado 2 metros en esta capa de pudinga

Entre las personas que se encontraban ahí no faltó quien dijese que esa capa de pudinga amarillenta era enteramente semejante al manto aurífero de la mina del Chivato, que se encuentra a unos cuantos kilómetros al norte del rio. Con este motivo, saqué unos cuantos sacos de esas tierras i las hice analizar en Santiago: dieron realmente una lei de 5 a 7 centavos por metro

cúbico. Al mismo tiempo ese análisis sirvió para conocer la naturaleza de la pinga, que se dijo que era de gravas con liga de arcillas volcánicas o ditritus de lavas.

Pero las dificultades graves que hubo que vencer en estas fundaciones, fueron las filtraciones, por una parte, i las construcciones de *ataquías* para desviar las aguas i dejar despejados los recintos necesarios para las instalaciones de las bombas, acumulacion de los materiales, instalaciones de gruas, etc, alrededor de cada herido que por su naturaleza, puesto que se hacian acopladas las fundaciones del puente carretero i el del ferrocarril, tenian dimensiones exajeradas—18 a 20 metros en el plan de fundacion. Como el Maule tiene creces periódicas de verano, provocadas por los deshielos, estas *ataquías* debian ser bastante consistentes para resistir a ellas en tiempos normales, si no se queria ver las faenas interrumpidas constantemente. Todas ellas fueron hechas con grandes duques de alba (fig. 25) rellenos con piedra de cerro i puestos de 2 a 3 filas, rellorando sus intervalos con piedra grande de rio. Detras de la *ataquía* principal, que determinaba la desviacion de las corrientes de agua, se ponía siempre otra mas débil para recojer filtraciones. I siempre se ayudaba la desviacion construyendo en el lecho del rio cauces artificiales, profundos que ayudasen las formaciones de corrientes i canales por las direcciones que dejaban libres las instalaciones de faenas, i se cuidaba siempre quitar los embanques que pudieran producirse. Sin embargo, el mantener libre el espacio necesario para cada escavacion fué una lucha constante de atencion i refuerzo de estas *ataquías*, porque las piedras de cerro, aun de $\frac{1}{4}$ de metro cúbico, eran arrastradas por las corrientes de las creces de verano, las que llegaron a producir 1.20 metro de desnivelacion entre un lado i otro de los duques de alba que tenian 3 a 2.5 metros (fig. 26) de alto. Por lo tanto, para el servicio i atencion de estas *ataquías* hubo siempre un personal compuesto de 25 a 30 hombres, con sus mayordomos, i se hacia uno o dos viajes diarios con 6 carradas de piedra de cerro para atender la que se llevaban las corrientes. I aun con esas precauciones, en una de las creces fué rota una de esas *ataquías* i dos escavaciones fueron barridas por completo, en las cuales no se habia alcanzado a hacer sino la base i la mitad del plinto de la fundacion. La restauracion de esas *ataquías* i volver a reanudar los trabajos, sacando las bombas, etc, que habian sido precipitadas dentro de las escavaciones. fué obra seria, pero ménos costosa que lo que se puede imaginar, porque las *ataquías* fueron rotas en dos puntos i presentaban trozos intactos i bastante resistentes para ir apoyando i amarrando los duques de alba que deberian reconstituirlos. I, por otra parte, como las escavaciones estaban enmaderadas por completo, al abrirlas de nuevo no hubo sino que sacar el cubo de gravas i arenas con que se relloraron. Los gastos mas serios de este accidente, a mas de la reposicion de las *ataquías*, fueron las composturas de los motores, bombas i gruas, que no habian alcanzado a retirarse de las escavaciones, puesto que al romperse las *ataquías*, las aguas vinieron como avalanchas sobre las escavaciones. Ese accidente demandó un gasto de \$ 18,000 en números redondos.

Como después de los primeros reconocimientos ya supimos que existía la capa de pudinga verdosa que atravesaba de lado a lado el lecho del río, porque un pozo hecho en la ribera sur nos lo había dado a conocer también, pero a la profundidad de 8.5 metros, se supo inmediatamente que el mínimo de fundación no debía ser menos de 9.5 a 10 metros, si es que esta capa no presentaba ondulaciones i depresiones en los puntos donde se estableciesen los machones. Fué preciso entonces preparar las bombas para poder llegar, en todo caso, a 10 metros de profundidad

Como con las centrífugas aspirantes no podíamos colocar su centro de aspiración a más de 7.2 metros sobre el nivel de las aguas del pozo de aspiración, so pena de disminuir mucho sus rendimientos, se combinaban las instalaciones de manera que ganábamos dos metros con una zanja abierta en el lecho del río, a la cual se le daba $\frac{1}{4}\%$ de pendiente en su fondo (fig. 28) i como la pendiente natural del lecho del río era de 1.5 metro más o menos, después venía el pozo enmaderado, i ganábamos dos metros entre la altura del tubo de salida, alto de bomba e instalación, i, por fin, seis metros de tubos de aspiración más un canastillo de aspiración de 0.5 metro que se ahogaba en un pozo de 0.70 a 1 metro de profundidad. De esa manera teníamos seguridad de llegar a 10 metros bajo el suelo, o, más bien dicho bajo el nivel de las primeras filtraciones, que siempre aparecieron como a los 2 metros del nivel más bajo del lecho. Por eso, donde había embanques en el lecho del río, el foso de desagüe tenía mucho más de dos metros de profundidad, puesto que esos dos metros sólo se referían a las primeras capas de filtración, i encima de ellas solía haber uno a 1.5 metro de embanques. Las bombas en estas condiciones movidas por motores de 10 caballos de fuerza cada una i 30 centímetros de diámetro de la cañería de aspiración i de salida, dieron 160 litros por segundo cada una. Hubo dos escavaciones que exijieron la instalación i trabajo simultáneo de cuatro bombas constantemente, o sea que sus filtraciones representaban un gasto de agua de 640 litros por segundo. Sólo en uno de los machones, la capa de conglomerado verdoso, que se buscaba para la fundación, debía tener una ondulación (fig. 29) porque exigió bajar la fundación a 11.5 metros, para dejarla arraigada como las demás de 1.5 metros en dicha capa. Para conseguir los agotamientos en estos 1.5 metros más, fué necesario hacer trabajar las bombas como aspirantes e impelentes, i, por consiguiente, disminuyendo su rendimiento; por esa causa, i no por el aumento de agua de filtraciones, una de las escavaciones exigió el auxilio de unas cinco bombas de (8") 0.20 metro de diámetro en sus tubos de aspiración i repulsión. Esta bomba, averiada en una de sus paletas i movida con un motor de ocho caballos, ayudó con un volumen de extracción de cerca de 100 a 120 litros por segundo. Es de advertir también que, durante toda la temporada que duró la escavación i colocación de los cimientos de fundaciones en este metro i medio suplementario, se forzó la presión corriente del vapor en los motores de las bombas de 0.30 hasta 100 libras, i, por consiguiente, los gastos de consumo, etc., se aumentaron sensiblemente.

Si aplicamos a las fundaciones del Maule la regla empírica que he dado ante-

riormente, para determinar la hondura probable del suelo de socavacion i ver su estabilidad, tenemos lo siguiente:

De ordinario el Maule, en sus creces de verano, por las observaciones que hice, tiene una velocidad superficial de siete metros por 1'', i su altura de agua es de 4.20 metros. Por consiguiente, tenemos (fig. 30):

$$V = 7 \text{ m.} \quad v = 0.65 \quad v = 4.55 \text{ m.}$$

$$V - v = 2.45 \quad H = 4.20$$

$$d = \frac{V - v}{H} = \frac{2.45}{4.20} = 0.583$$

$$u = 1.80 \text{ grava}$$

$$H' = \frac{v - u}{d} = \frac{2.75}{0.58} = 4.75$$

De esto se deduciria que, de ordinario, sólo trabajarían 4.75 metros de sus fundaciones.

Si tomamos ahora la crece del año 1877, que fué la que sirvió de base para todos los cálculos de altura de aguas máximas, etc., puesto que era la mayor conocida hasta la fecha de la construccion, tenemos:

La corniza de todos los machones es el nivel de las aguas de la crece de 1877, i, por consiguiente, de cinco metros libres sobre el fondo mas bajo del rio.

$$V = 7.30 \text{ (fig. 31)} \quad v = 0.65 \times 7.3 = 4.745$$

$$V - v = 2.555 \text{ m. por 1''}$$

$$d = \frac{V - v}{H} = \frac{2.555}{5.00} = 0.5110 \text{ m.}$$

$$u = 1.80$$

$$H' = \frac{4.55 - 1.80}{0.511} = \frac{2.75}{0.511} = 5.38 \text{ m.}$$

La crece del año 1899 ha superado a la de 1877, i, segun los datos que se me han suministrado por personas que la presenciaron, las aguas subieron hasta tapar las cornizas de los machones, es decir, 5.60 metros, o sea 0.60 metro mas altas que las del año 1877. La velocidad superficial no fué observada; pero es indudable que debe haber sido tambien mayor i la supondremos de ocho metros por segundo (fig. 32). Si con estos datos determinamos la socavacion, tendremos:

$$r - r_1 = 8 - 5.20 = 2.8 \qquad \frac{2.8}{5.6} = 0.50$$

$$h_1 = \frac{5.2 - 1.8}{0.50} = 6.8 \text{ m.}$$

Es decir, que las fundaciones trabajan en las creces sobre 6.8 metros de profundidad. Estos cálculos, que están en esta ocasion, como en las anteriores, conformes con la realidad, demuestran que esas fórmulas son buenas para dar la profundidad mínima de fundacion en terrenos de socavacion; pero que tienen que ser cuidadas en sus aplicaciones. La fórmula empírica puede fallar i dar indicaciones menores que la realidad, porque no puede tomar en cuenta la variedad de resistencias del subsuelo o depresiones de las capas mas o ménos firmes, como las que vimos en la fundacion de uno de los machones. Otro de los datos que es difícil obtener es la altura de agua en los canales que se forman en el fondo, puesto que, pasadas las creces, jeneralmente se embancan un tanto, i de esta altura depende la masa de agua que realmente ataca los fondos de los rios

En rios como el Maule de ancho álveo i gran pendiente, se forman en su lecho canales parciales que tienen sus fondos tanto mas bajo cuanto mas intensa ha sido la avenida que las formó i las aguas buscando el estado de equilibrio entre su poder de arrastre i las resistencias de los suelos, oscilan de un lado a otro. Por esas oscilaciones el Maule ha tenido muchas veces tendencia de cargarse al norte: por eso el estribo norte del puente fué defendido (fig. 33) con un muro *a* que protejia el cono de tierras de los terraplenes de la línea férrea. Año a año, la barranca *a a'* se socavaba mas i mas, hasta formar un arco mui marcado *a a'' a'* sin que se tomase la menor precaucion para impedirlo. Las creces del año 1899, que, como hemos dicho, superaron a las de 1877, destruyeron la barranca norte en un fuerte trecho i fueron a atacar el terraplen de la línea férrea en la estension *f b*: cortaron ese terraplen a la entrada del estribo norte, i el mismo estribo habria sido destruido totalmente, si los terraplenes del puente carretero acoplado con el del ferrocarril, i el muro longitudinal *c d*, que separa ambos terraplenes, no hubieran impedido la accion destructora de las aguas. Pero si el estribo no se vió atacado por la espalda, lo que habria ocasionado su ruina, no por eso dejó de sufrir bastante i estar seriamente amenazado, porque los remolinos que se formaron en la parte *A*, a mas de arrastrar las tierras del terraplen del ferrocarril, concluyeron por formar una cascada, que derribó la defensa del cono de proteccion de tierras i socavó un tanto las fundaciones, ocasionando el agrietamiento de la mampostería del estribo. Se sujetó el movimiento del estribo arrojándole piedra de cerro de grandes dimensiones que amortiguaron los efectos de las cascadas i remolinos. Pero, pasada la crece, la administracion no ha vuelto a reforzar esos puntos débiles. Se han contentado con los enrocados de piedra con que restablecieron los terraplenes para restablecer el tráfico i aumentar el enrocado de piedra suelta al frente del paramento del estribo. Como las corrientes del Maule i su vo-

lúmen de aguas, son capaces de arrastrar con esos enrocados, la defensa no puede considerarse completa ni segura tal como está.

Estando el puente en esas condiciones, es decir, después de haber sido atacado fuertemente su cabecera norte por las creces de 1899 i sólo defendido el estribo sur en lo necesario para restablecer el tráfico, vinieron las creces de 1900 casi tan poderosas como las de 1899. Estas creces encontraron las fundaciones del machon número 2 ya resentidas, puesto que, aunque tienen 10 metros, ellas habían sido descubiertas por lo ménos en 6.5 metros en las creces anteriores, sin que se tomase la precaución de arrojar algunas piedras i formar un enrocado para restablecer un tanto el fondo perdido i proteger así eficazmente los 3.5 metros de empotramiento que aún quedaban a la fundación i, según el señor Henríquez, dados los embanques, se produjeron en el lecho del río desnivelaciones que formaron como cascadas contra los flancos del machon, las que se mantuvieron como 3 meses sin haberse detenido su acción con enrocados. No fué raro, por lo tanto, que las creces de 1900, cargándose nuevamente al norte, i tomando al machon entre correntadas opuestas, como se ha dicho por las personas que vieron las creces, ese machon fuese socavado de tal manera, que después, en una de las creces secundarias, como me ha dicho el señor Henríquez, i cuando el volúmen de agua del Maule aun no podía inspirar temores, se vino una corriente de derivación contra el machon número 2, i provocó un hundimiento en su cabecera oriente. Inmediatamente que se notó el desperfecto la administración ha hecho defender el machon con un fuerte enrocado de piedra gruesa i, gracias a esa medida, se ha contenido, i sirve para mantener el tráfico por el puente. El machon atacado por una fuerte corriente ha tenido dos movimientos: el zócalo común del machon $e'' e'$, (fig. 3) del ferrocarril i de la columna e , del carretero se ha quebrado en $a b$, i el eje $e o'$ del machon ha virado desde e'' hácia el sur como de 0.50 metros; conjuntamente con este movimiento, ha descendido la cabecera oriente de 0.30 metros sobre la horizontal. Esta desnivelación vertical hizo que faltase el apoyo a la viga en uno de sus costados i, por consiguiente, que se deformasen las piezas de puentes i contravientos, formando una superficie gausa; otro tanto pasó al carretero por estar apoyado uno de sus extremos en el machon del ferrocarril; i el carretero sufrió mas por cuanto ese apoyo, un tanto artificial, se desprendió mas con el movimiento i porque sus piezas de puentes, siendo de madera, contrarrestaban ménos el movimiento de las vigas maestras. Pasadas las creces, i defendido provisoriamente el machon con un enrocado, se se han vuelto a nivelar los apoyos de las vigas, enderezando las ferreterías lo mejor posible, i como ellas no han tenido ninguna avería de trascendencia, el puente ha seguido prestando sus servicios sin que se note aumento en la flecha con el paso de los trenes.

Hemos dicho que si consideramos las socavaciones dadas por las fórmulas empíricas que indican que el lecho del Maule puede ser removido por las creces de 5.38 a 6.8 metros de profundidad, estas cifras se encontraban confirmadas con los hechos prácticos i vamos a demostrarlo. Si cotejamos el perfil del cauce

norte actual con el perfil del río en la época de la construcción del puente, encontramos: que si se sobreponen estos dos perfiles, hai actualmente un *canal* con una profundidad de agua de 6.25 metros *en tiempo* corriente (perfil levantado por el señor Henríquez comparado con el levantado por los señores Vivanco i Santa María en la época de la construcción); por consiguiente, este canal, en las creces del Maule queda, por lo ménos, con 10.5 metros de agua. Es evidente entónces que las creces de 1899 que abrieron ese canal cuando se cargaron las aguas al norte amenazando el estribo, socavaron los 6.25 metros de diferencia que se encuentran entre los dos perfiles, o sea las cifras apuntadas mas arriba i sacadas del cálculo.

Si comparamos ahora el perfil del río levantado por el señor Poisson cuando construyó el primer puente sobre el Maule, con el perfil levantado para la construcción del puente definitivo, veremos que el lecho del río con las creces sucesivas habidas entre estas dos épocas, ha cambiado de tal manera que, en los puntos en que los perfiles primitivos (fig. 35) marcan el lecho con una cota de 4.20 metros sobre el fondo nuevo, hoy está el fondo 6 metros mas bajo que esa cota de fondo nuevo. Luego es evidente que, tomando la línea de *fondo nuevo* dada por los perfiles del señor Poisson, como referencia, las socavaciones en la seccion *CB* no sólo arrasaron con el embanque *AB*, sino que removieron el fondo de 6 metros en *CA*. Además de estas dos constataciones bien claras, tenemos una tercera mas reciente: si comparamos el perfil del río cuando se hizo el puente definitivo con el levantado últimamente por el señor Henríquez, despues de las creces de 1900, que socavaron el machon número 2, tenemos que, tomando como puntos de referencia la línea de fondo nuevo marcada en el perfil de construcción que se encuentra (fig. 36) a 1.62 metros mas abajo que la línea de fondo nuevo del perfil del señor Poisson, vemos que, donde el perfil de construcción marca 4.10 de terreno encima de la línea, el perfil del señor Henríquez marca 4 metros bajo la misma línea. Si tomamos el conjunto diríamos que el río ha socavado 8.10 metros, i no es así, por cuanto la parte *CB* no puede tomarse sino como un embanque, siendo propiamente socavacion o remocion del suelo, la parte $CA = 4 + 1.62 = 5.62$ metros, lo que está conforme con las fórmulas.

He querido poner bien en relieve estos hechos porque realmente es curioso que estas coincidencias entre las cifras de las fórmulas empíricas i los datos prácticos se repitan en casi todas las ocasiones que he tenido de donde sacar datos exactos para hacer los cálculos.

Sin embargo, no me hago ilusiones respecto de la bondad de las fórmulas empíricas, por cuanto ellas no han sido comprobadas *con toda clase de suelos*; ruego, por lo tanto, a mis colegas que, siempre que puedan, junten los datos del caso para continuar su estudio i ver hasta donde ellas pueden estimarse como buenas. Pero, de todos modos, sea cual sea su valor *real en absoluto*, despues de las coincidencias constatadas, no se puede negar que ellas darán siempre, a los ingenieros que quieran determinar la profundidad *mínima de fundacion*, datos que no deben ser despreciados, sino que, por el contrario, le servirán de guía en

todos sus ante-proyectos hasta que las observaciones directas le den las cifras definitivas.

En vista de los hechos, si se trata ahora de estudiar *la manera de reforzar el puente actual*, ya que en dos veces sucesivas, no habiéndose atendido a sus fundaciones, se socavó el machon número 2, lo que prueba que si no se toman precauciones de buena conservación, se seguirán socavando los demas a medida que las oxilaciones de las aguas en el álveo del río vayan canalizando sucesivamente otros puntos. Dos sistemas se presentan para ello: El primero, hacer la defensa aislada de cada machon por medio de un zampeado parcial con pilotajes i bloques de hormigon de grandes dimensiones; este sistema es el que primero se presenta a la mente i que seria, sin disputa, eficaz llevándolo a cabo en conformidad con las reglas del arte; es mui costoso, dada la base enorme de los machones que hai que proteger. Ahora cotejando los costos de estas defensas con el de un proyecto de *traslacion del puente* colocando la superestructura sobre machones nuevos de tubos de fierro fundados a bastante profundidad, se vé que todas las ventajas están por este segundo sistema.

El costo de traslacion es solamente de \$ 220,000, miéntras que hacer las defensas necesarias para garantizar la estabilidad de las fundaciones actuales, *sin interrumpir el tráfico del puente*, para no causar enormes perjuicios a los acarreos, seria indispensable ejecutar trabajos estraordinarios que impondrian un gasto de \$ 320,000.

Trasladándose el puente, las obras de defensa que se ejecutarian para proteger las actuales fundaciones, asegurando así el puente carretero i el tráfico por el del ferrocarril miéntras se hacen las obras nuevas, no importan mas que \$ 50,000, los que de todos modos tendrian que gastarse, puesto que no es posible abandonar el puente carretero.

Trasladada la actual superestructura del puente a nuevos apoyos sobre columnas, quedan despejados los actuales machones del puente del ferrocarril, teniendo este hecho la gran ventaja de dejar listos los apoyos para el puente de la doble vía, cuando las exigencias del tráfico lo exijan, exigencias que bien pueden no estar mui léjos. Efectivamente, la ferretería actual, aunque calculada ampliamente para satisfacer las condiciones exijidas por la circular francesa del año 1888, vijente entre nosotros cuando se construyó el Maule, puede luego ser deficiente dado el aumento constante del peso del material rodante de los ferrocarriles del Estado. En tal caso, lo mas corto seria calcular i construir una nueva superestructura en conformidad con todas las nuevas exigencias del tráfico i colocarla sobre los actuales machones, despues de haberlos modificado i defendido como sea conveniente. Entregado al servicio el nuevo puente, siempre habria medio económico de reforzar convenientemente la otra superestructura, como se hace ahora constantemente en los puentes europeos que se encuentran en estas condiciones i quedaria de hecho el puente del Maule de doble vía prestando mui buenos servicios al tráfico.

Por otra parte, el establecimiento del puente nuevo aguas arriba del actual,

haría que las fundaciones tubulares del primero facilitasen en parte la protección del actual puente.

Antes de concluir con el puente del Maule, voy a hacer una crítica para evitar que se imite una disposición que no es favorable. Como la construcción del puente carretero fué ordenada un año después de la del puente del ferrocarril, para evitar gastos extraordinarios en la construcción de los machones de este nuevo puente, se resolvió hacer reposar la superestructura del carretero sobre vigas metálicas *CD* (fig. 37) que descansarían al poniente en una columna de mampostería, circular, de 3.03 metros de diámetro inferior en el plan del zócalo de los machones del puente del ferrocarril, en su lado oriente *D* sobre los conos de los machones del puente del ferrocarril. La plancha del apoyo *a* de la superestructura del carretero daba como 1.50 metro del paramento del cono: i se calcularon las 3 vigas *CD* que soportan esas planchas haciendo trabajar los fierros solamente con 3 kilogramos por milímetro cuadrado, para que no se provocasen deformaciones en ese punto. Después de entregado al tráfico el puente, se notó que se quebraban constantemente las planchas de apoyo en *a*, por las vibraciones que tomaba la superestructura. Fué necesario entonces colocar los jalalcones *a b* perfectamente encastrados i amarrados con sunchos en los machones del puente del ferrocarril para evitar estas trepidaciones en los puntos de apoyos i sus fatales consecuencias. Como se vé, siendo la superestructura de viga continua, exige que sus apoyos intermedios no sufran alteraciones de nivel sin lo cual hai perturbaciones aun en los esfuerzos que tienen que soportar las ferreterías. Este hecho quedó patentizado en el carretero del Maule, puesto que las únicas planchas que nunca sufrieron fueron las del machon central que recibe las cabezas de las dos vigas continuas que forman la superestructura. Por otra parte, no puedo ménos de dejar constancia, que la construcción de la columna poniente ha sido una solución feliz que ha economizado mucha mampostería. Esa columna fué calculada para recibir los empujes de las aguas con una velocidad de 7.50 metros por segundo i de tal manera que la resultante de ese empuje, combinada solamente con el peso de la columna, sin contar el de la superestructura, pasase por el tercio central de la base de la columna. Así, si no es de imitar el apoyo volado *a*, las columnas creo que podrían en muchos casos dar una solución ventajosa i económica para una fundación.

Poco al sur del Maule se encuentra el puente de *La Vertiente*, sobre un brazo, puede decirse, del mismo Maule i aumentado por unas vertientes de las márgenes del sur. Para evitar que las aguas del Maule puedan acumularse sobre este brazo se hizo un botador i pretil con duques de alba i piedras que hasta la fecha ha dado muy buen resultado. El puente de *La Vertiente* tiene superestructura metálica de vigas rectas de rejilla de 15 metros de luz en los tramos extremos i una viga recta de alma llena de 30 metros de luz, en el tramo central, que era uno de los tramos del río Teno, como ya lo hemos manifestado. Las fundaciones de este puente se hicieron a tajo abierto, enmaderado hasta 8 metros de hondura, sin ninguna dificultad. Sus machones i estribos son de mampostería.

DOMINGO V. SANTA MARÍA.