

PUENTES CHILENOS.

I.

Como ejemplo i para gravar mas las ideas respecto a las soluciones para el porvenir, vamos a examinar detalladamente las fundaciones de los puentes chilenos.

Ántes de entrar en los detalles voi a llamar la atencion sobre dos hechos fundamentales. Nuestros rios, exceptuando los del Tolten al sur, tienen *régimen torrencial* i, por consiguiente, el curso de sus aguas en el álveo de los valles que atraviesan se rije jeneralmente por los *caractéres del régimen torrencial*: *esta circunstancia es esencial para el ingeniero que trata de buscar la mejor ubicacion de un puente i conocer toda su desembocadura, cuando la ubicacion, como pasa en la mayor parte de los casos, es mas o ménos impuesta por las condiciones jenerales de los trazados de las líneas férreas o de los caminos que van a servirse de esos puentes.*

Por consiguiente, apuntaremos sumariamente las relaciones que se han constatado entre las curvaturas de los cauces de los rios i sus profundidades, i la de la formacion de canales en los lechos, o causas que orijinan un cambio de lecho en los álveos de los valles. Estas consideraciones jenerales relativas a los rios torrenciales estudiados conjuntamente con la accion socavadora de los torrentes i la accion de los remolinos que producen todos los obstáculos que impiden el libre paso de las corrientes, nos darán las mejores indicaciones respecto a la ubicacion i defensa de las márgenes de los rios, i estribos de un puente i de la profundidad *indispensable* de sus fundaciones, dada la naturaleza de los suelos en que se encuentran. Por otra parte, la serie de desgracias que hemos tenido que lamentar en los puentes de nuestros ferrocarriles del Estado i carreteros ponen de manifiesto, como lo veremos, que las condiciones jenerales que vamos a esponer se cumplen en casi todos nuestros rios de régimen torrencial i, por lo tanto, que ellas deben gravarse mui bien en la mente de nuestros ingenieros, i tenerse mui presentes al hacer el estudio de las fundaciones de estas obras de arte.

La experiencia ha sido larga i costosa i, por lo tanto, no se justificaria que fuera olvidada en lo futuro.

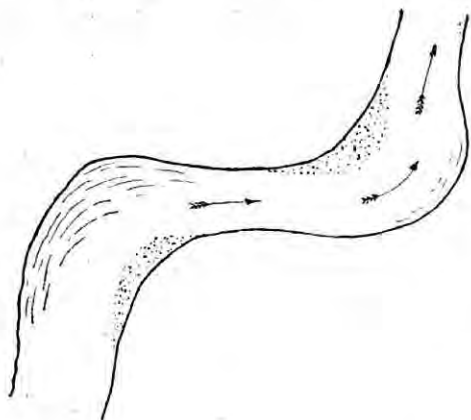
II.

Si buscamos *las relaciones que se han encontrado entre las curvaturas de los cauces de los rios i sus profundidades* (datos que sirven mui eficazmente para decidir la ubicacion de los puentes; o sus desembocaduras, cuando esta ubicacion se encuentre mas o ménos fija por otras circunstancias; i que, *en todo caso*, darán siempre indicaciones referentes a las profundidades de agua que se obtendrán i, por consiguiente, *a la masa de agua que provocará la socavacion* de las fundaciones, i los remolinos que contribuyen al aumento de socavacion i arrastre de las materias socavadas), encontraremos las siguientes:

I.—*El ancho medio de un rio* crece bastante regularmente desde su nacimiento a su desembocadura. Pero los anchos locales están distribuidos mui irregularmente i los puntos mas defectuosos son:

a) Los ensanches en las inflexiones, que hacen disminuir jeneralmente las profundidades.

b) Las angosturas donde hai exceso de pendiente, i que ocasionan profundidades excesivas. Estas angosturas son mui perjudiciales bajo el punto de vista de la navegacion de los rios; pero, en jeneral, son mui favorables bajo el punto de vista de la construccion de obras de arte, por cuanto, de ordinario, todas las angosturas tienen barrancas mui firmes.



Estos hechos se esplican fácilmente i son tanto mas pronunciados cuanto mas torrencioso es el rio que se examina, porque las barrancas en los codos están tanto mas espuestas a las erosiones cuanto mas velocidad tengan las masas de agua que chocan contra ellas; i tanto mas resistentes i rocosas tienen que ser las paredes de las angosturas, cuanto mas vertiginosa sea la velocidad del rio cuyo volúmen de agua se vé obligado a pasar por una seccion mui estrecha. Ejemplos notables de estos hechos los tenemos nosotros en el Salto del Soldado en el Aconcagua, donde todo el rio pasa por una angostura de 8 metros de ancho, para tener pocos kilómetros mas hácia aguas abajo, un ensanche exorbitante en el lecho, donde se acumulan cantidades enormes de piedras i cascajos de todas dimensiones, provocando así asperezas en el fondo i disminucion de profundidades hasta obtener el equilibrio entre los rozamientos de la masa de agua i cascajos arrastrados, i la resistencia del fondo así formado.

Pero, si se examina el *ancho medio* del rio, ya el señor Pissis lo habia anotado, crece mas o ménos regularmente de su nacimiento a su desembocadura. Por otra parte, pocos puntos mas adecuados i mas favorables para la construccion de obras de arte, que el Salto del Soldado; el puente del ferrocarril en ese punto és insignificante.

Ahora, tomados en su conjunto, pocos rios tienen caractéres mas torrenciales que el Aconcagua, cuya pendiente jeneral media es de $\frac{4}{1000}$ entre su desembocadura i Quillota, la parte mas regular de su álveo: de $\frac{7}{1000}$ entre Quillota i San Felipe: de $\frac{2}{1000}$ entre San Felipe i Los Andes; de $\frac{2}{1000}$ entre Los Andes i la confluencia del rio Colorado i de $\frac{5}{1000}$ entre esta confluencia i el Juncal.

Otro ejemplo notable de las reglas jenerales anteriores es el Rio Maipo. Con caractéres ménos torrenciales que los del Aconcagua, presenta en su lecho angosturas i ensanches anormales, etc.; pero, tomado en su conjunto i estudiando su *ancho medio*, es tambien mas o menos progresivo del nacimiento a la desembocadura. Desde la confluencia de la Cruz de Piedra hasta el Rio Blanco, su pendiente media es de $\frac{3}{1000}$, desde ahí hasta la confluencia con el Rio Yeso, su pendiente media es de $\frac{4}{1000}$; es tambien en este trayecto donde se encuentran sus mayores angosturas, a los 14 kil6metros de la junta del Rio Volcan, angosturas labradas en roca viva, lo que ha facilitado enormemente la ejecucion de un buen puente carretero.

Otra angostura perfectamente aprovechada con una obra de arte es la que presenta el lecho del Maipo en el paso de los Morros, donde se encuentra ubicado el puente de este nombre, desde hace muchos años.

Otro tanto podemos decir del Tinguiririca; del Teno; del Rio Colorado, etc., que, todos ellos, tienen en sus álveos angosturas, mas o ménos alternadas con sus anchos desproporcionados, resultados de la dureza del suelo que han tenido que atravesar las aguas i de las velocidades que ellas han adquirido i adquieren actualmente en sus creces, provocando erosiones enormes en las barrancas i, por consiguiente, ensanches locales i exajerados del lecho a continuacion de las angosturas, siempre que las barrancas no sean de por sí algo resistentes.

II.—*Si examinamos ahora la distribucion de profundidades*, veremos que ellas *no dependen solamente de las variaciones de curvaturas de los codos, sino que se encuentran influenciadas naturalmente por las variaciones i excedentes del ancho de la caja del rio.*

Es casi imposible, por lo tanto, dar una lei para estas variaciones en un rio torrencial, que, de crece en crece, varía su cauce dentro de su propio lecho; pero, sí se pueden estudiar estas variaciones en un rio cuyo réjimen *no sea torrencial*, i ese réjimen dará la norma de las variaciones de profundidades que se pueden esperar i de detalle en los lechos torrenciales. Con este objeto se han hecho estudios mui detenidos de las principales influencias de las curvas i de los anchos de los lechos de los rios (*Annales des Ponts et Chaussée*), i despues se ha hecho un estudio comparativo i atento de las relaciones que se verifican entre estos elementos i de ahí se deducen los hechos principales siguientes:

a) Las relaciones observadas entre las sinuosidades i el ancho medio, que es *mayor que 5*, aparecen jeneralmente *relaciones directas entre las curvas i las profundidades*; por consiguiente, las aguas son tanto mas profundas cuando una curvatura cóncava es tanto mas pronunciada: i *por consiguiente, el máximum i el mínimum de las curvaturas de sus inflexiones corresponden con el máximum i el mínimum de sus profundidades.*

b) Estas correspondencias no tienen lugar en las mismas secciones relativas de las curvas; por el contrario, *la profundidad mayor está aguas abajo de la cúspide de la curva cóncava*, i la profundidad *mínima* está aguas abajo de la *inflexion*: así los puntos de máxima i mínima quedan distantes de la cúspide de las inflexiones entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ del largo de las curvas; por otra parte, se ha notado que las variaciones de aguas mínimas son *mas fuertes* que las de aguas máximas.

c) El rio es estable i profundo donde la curvatura de sus barrancas es cóncava i varía de una manera suave i continua.

Las observaciones anteriores relativas a las profundidades de los rios de réjimen mas o ménos permanente, se encuentran alteradas en los rios torrenciales, por el hecho característico en estos casos, de la tendencia que tiene toda masa de agua animada de una *velocidad excesiva*, que provoca erosiones de las barrancas i del fondo del lecho, *de buscar la solucion de equilibrio* entre esta accion destructora i la resistencia de los suelos que atraviesa. Por lo tanto, si una masa torrencial en una curva cóncava cuya relacion entre el ancho del lecho i la sinuosidad sea mayor que 5, encuentra barrancas resistentes, las aguas tendrán su máximum i mínimum como en el caso anterior; pero este máximum i este mínimum estarán *influenciados* con el exceso de corriente, el que provocará en esos puntos una socavacion tanto mas fuerte cuanto ménos resistente sea el fondo del lecho de los rios. Así se concibe la formacion de esas angosturas profundas, como las del Salto del Soldado i sus similares, que tienen casi todos nuestros rios en su oríjen.

Por el contrario, si las barrancas no son resistentes, el exceso de profundidad provocado por las inflexiones unido con la velocidad torrencial concluyen por precipitar las aguas sobre el álveo del valle horadando las barrancas i ensanchando el lecho hasta que, disminuyendo el espesor de la masa, se obtenga *el equilibrio entre las fuerzas de horadacion i la resistencia de los suelos*; los anchos *a* i *b* serán proporcionales a la fuerza viva horadadora del agua i resistencias del suelo en el álveo del valle.

Este mismo hecho es el que hace que, si un rio de réjimen permanente sigue un curso *a b c d e*, tomando la línea de *máxima* pendiente del álveo de un valle; un rio de réjimen torrencial, en este mismo caso, teniendo su máximum de profundidad i *con exeso de velocidad poco mas allá* del punto o cúspide de la curva convexa, tienda a tomar rio de línea de *mayor pendiente del álveo*, si no, por el contrario, *tienda a aumentar el largo de su cauce* por *a' b' c' d'*, etc. para establecer *el equilibrio* entre su fuerza destructora i las resistencias de los suelos que atraviesa.

Este fenómeno, lo vemos nosotros en muchos de nuestros rios, i citaremos como uno de los casos mas característicos el Chillán. Ahora bien, como no todas las crecidas de los rios torrenciales tienen igual intensidad; las tendencias destructoras de las barrancas; o mas bien dicho, *las soluciones de equilibrio* entre las resistencias del lecho i el impulso de las aguas no son las mismas, i de ahí *la variabilidad constante del curso de aguas en el lecho mismo de los rios*, o en los álveos de los valles; de ahí tambien las canalizaciones profundas que se producen *localmente*, aun dentro de un mismo lecho, de un momento a otro. Basta que en un punto cualquiera del lecho se produzca una resistencia ocasional mayor que la del suelo inmediatamente vecino, para que las aguas de una crece canalicen i profundicen exajeradamente una parte del lecho hasta encontrar el equilibrio entre la accion i la resistencia.

III

Estudiado el régimen de los rios torrenciales, veamos como podremos determinar *la profundidad de socavacion* que provocarán las masas de agua en movimiento.

Un problema semejante es enteramente complejo; se vé *prima facie*, que tienen que desempeñar un rol mui importante *la masa de agua en movimiento* por una parte i *la resistencia del fondo* por otra. Inútil es buscar fórmulas exactas en estas cosas; por cuanto, aun suponiendo bien conocidas las acciones socavadoras de las masas de agua en movimiento, tendríamos que valernos del empleo de coeficientes variables i completamente aproximados al considerar las resistencias de los terrenos del fondo. A mas de eso, tendremos siempre otro elemento de una apreciacion exacta mui dudosa, como son los rozamientos de las aguas con los cuerpos que ellas llevan en suspension i *que arrastran* sobre los fondos de los rios. I, sin embargo, son éstos los elementos que se ponen en juego en el lecho de un torrente i las que determinan el equilibrio de las fuerzas socavadoras con las resistencias de los fondos; equilibrio que fija la hondura máxima de la masa removida en el lecho de los rios.

Daremos, por lo tanto, una fórmula empírica para apreciar estas profundidades, fórmula que, aunque empírica, está basada en las mismas consideraciones teóricas ya espuestas, i que, habiéndola aplicado a varios casos de nuestros rios, donde he tenido los elementos de cálculo necesarios, he visto que sus resultados coinciden con los hechos examinados en la práctica.

La masa de agua en movimiento, se hace entrar por su *profundidad* i su *velocidad superficial*; las resistencias del fondo se hacen entrar considerando las velocidades del agua *capaces de arrastrar* o destruir los materiales que lo componen.

Con estos datos, son dos los problemas que vamos a resolver:

1.º Teniendo un rio una masa de agua de una profundidad h i con una velocidad superficial observada v metros por segundo, sin ningun obstáculo en

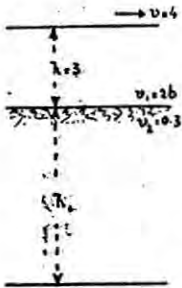


su lecho ¿cuál es la profundidad h , en que el cascajo o materiales del fondo son removidos i arrastrados? Para este caso, determinaremos la velocidad v_1 del fondo (en función de la profundidad, de las paredes, etc). Según la naturaleza del fondo del río, conoceremos también la velocidad v_2 que es capaz de arrastrar o deteriorar sus materiales. Tomemos la diferencia $v_1 - v_2 = v_3$ i esa velocidad v_3 es indudable que es la que hai que amortiguar con los rozamientos i socavaciones. Es evidente que si la velocidad v_1 es menor o igual a la que provoca los arrastres del fondo, el equilibrio está establecido i no hai socavacion; pero si v_2 es menos que v_1 , no puede haber equilibrio en el fondo i tendremos que h_1 es una *media proporcional* con la altura h de la masa de agua i v_3 la diferencia de velocidades que hai que amortiguar i, por consiguiente, tenemos:

$$h : h_1 :: v_3 : h_1 \text{ de donde } h_1 = \sqrt{h \times v_3}$$

2.º El mismo problema anterior, pero teniendo un cuerpo que interrumpe la corriente, que provoca, por lo tanto, las acciones de los remolinos combinados con las anteriores; es el caso de los machones de los puentes. Ya es debido (*Annales de ponts et chaussées*) que la accion de los remolinos crece mas que el cuadrado de la velocidad de las aguas que chocan. Sumadas entónces estas acciones con las anteriores, llegaríamos a profundidades enormes de socavaciones que no se realizan en realidad, por cuanto entra en juego como elemento perturbador las *mismas masas de materiales socavados*, que quedan en suspension o son arrastradas por las aguas, produciendo choques de los cuerpos flotantes i toda clase de resistencias.

Tomando en cuenta todos estos elementos es como se llega a la conclusion siguiente, para determinar la profundidad de socavacion de una masa de agua que choca contra un obstáculo fijo... En este caso la profundidad de socavacion h es proporcional a la velocidad superficial i de fondo, por una parte, i a la altura de la masa de agua i resistencia del suelo, por otra. Así: si tenemos $v = 6 m.$ por $1''$, $h = 3 m.$, $v_1 = 4.50$, $v_2 = 1.8$ (cascajo corriente) i por consiguiente $v_1 - v_2 = 2.7$, tenemos $v - v_1 = 1.5$, $1.5 : h = \frac{1.5}{3} = 0.50$ metro por metro de altura.



$$\frac{v_1 - v_2}{0.50} = \frac{2.7}{0.5} = 5.4 \text{ metros.}$$

La accion de las aguas i de los remolinos socavarán 5.40 metros mas o ménos.

Por consiguiente, si hacemos $v_1 = 0.65 V$, que es el caso mas corriente entre nuestros rios, tenemos:

$$v_1 = 0.65 V, (v_1 - v_2) = (0.65 V - v_2) = v_3$$

i por lo tanto:

$$(v - v_1) = (v - 0.65 V), \text{ de donde}$$

$$\frac{(v - 0.65 V)}{h} \text{ da la proporcionalidad de hondura de escavacion i}$$

$$\frac{(0.65 V - v_2)}{\frac{(v - 0.65 V)}{h}} = h_1$$

IV

Como consideracion jeneral, al entrar ahora al detalle de los puentes chilenos, debe hacerse la siguiente: casi todos nuestros rios del norte i de la zona central hasta el Tolten, tienen lechos de cascajo en profundidades mas o ménos fuertes i a veces que se pueden llamar indefinidas, como pasa en el Mapocho, donde los cascajos tienen un espesor de mas de 30 metros.

El suelo cascajoso es *incompresible* i, por consiguiente, soporta mui bien las fundaciones; es *inalterable* i, por lo jeneral, los ajentes atmosféricos, si alguna accion producen, ella no pasa mas allá de 0.60 a 0.70 metro; por consiguiente, con fundaciones de 1 metro se queda a salvo de todas las eventualidades ocasionadas por las alteraciones que pueden tener las diferentes rocas que componen los cascajos. Pero, *son socavables* i, dado lo torrencioso de nuestros rios, las acciones de las socavaciones i de los remolinos *pueden llegar a profundidades de 6 a 8 metros. De ahí las grandes dificultades* que se presentan en la mayor parte de los casos i que hai que vencer para estar seguros del éxito.

Dadas estas condiciones jenerales de nuestros rios, dos han sido las soluciones mas empleadas en las fundaciones de sus puentes; 1.º Poner *zampeados jenerales o parciales*; para revestir i fortificar el lecho del rio en ciertos puntos o en todo su ancho, i contruidos de tal manera *que impidan las socavaciones que provocan las correntadas que se forman en las creces* i 2.º Fundaciones aisladas bajándolas de tal cantidad que sus cimientos, reposando en suelos firmes, *queden fuera de las socavaciones provocadas por las correntadas i los remolinos que provocan los machones.*

Este último sistema es el que ha prevalecido jeneralmente entre nosotros, por el exceso de ancho de la caja de nuestros rios, que hace que el sistema de zampeadas jenerales sea mui costoso en la mayor parte de los casos; pero, dada la permeabilidad de nuestros rios i cascajos, las filtraciones que se producen en las escavaciones, son a veces de tal consideracion que los trabajos tienen que ejecutarse como si se tratase del caso de *fundar bajo aguas profundas* i, por consiguiente, provocando trabajos excepcionales de aire comprimido, etc. etc.

Al hacer el estudio de detalle de las fundaciones de los puentes chilenos lo dividiremos en dos grupos: 1.º el de fundaciones con *zampeados*; i 2.º el correspondiente a las fundaciones aisladas, las que en su mayoría se referirán a fundaciones corrientes ejecutadas con bombas de agotamiento mas o ménos poderosas.

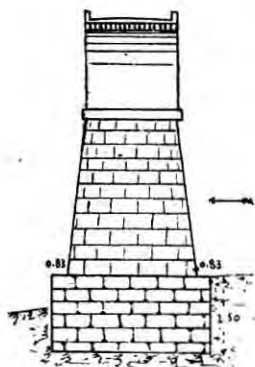
V

FUNDACIONES CON ZAMPEADOS

Las fundaciones con *zampeado jeneral*, tienen por base reforzar artificialmente una seccion del lecho del rio para hacerla inalterable i sobre ella establecer las fundaciones de los machones, tomando todas las disposiciones que aconsejan las reglas del arte, respecto a la reparticion de presiones, etc. etc. Se deduce de lo anterior que la profundidad del zampeado *o de los muros que forman sus paramentos*, no puede ser menor que la profundidad de la capa de cascajo o de terrenos removida por las avenidas. Teniendo los zampeados una profundidad suficiente, dado su peso, i el monolito que ellas forman, las aguas no pueden arrastrarlos, i constituyen una *barrera permanente que mantiene fijo el nivel del fondo del rio*. Hemos visto que de las mejores observaciones, la accion de las aguas torrenciales provoca un movimiento en los lechos de los rios, que se puede estimar en una media proporcional entre la profundidad de la masa de agua en movimiento i la diferencia entre las velocidades de fondo i resistencia del suelo. Con estos antecedentes entremos a examinar los diversos casos de nuestros puentes.

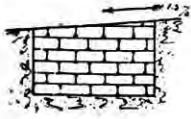
Principiaremos por el mas característico de todos ellos, *por el puente llamado de Cal i Canto en el Mapocho*, que fué construido durante la dominacion española, a fines del coloniaje. Ese puente soportó todas las fuertes crecidas del rio sin alteracion. El puente fué derribado por el rio justamente, cuando, para permitir la evacuacion de los desagües de las escavaciones que se hacian con motivo de los trabajos de la canalizacion, se rompió este zampeado, i las aguas de una

de las crecidas lo socavaron, por encontrar interrumpida la barrera jeneral en un espacio de 3 metros; precipitáronse todas a ese punto, provocando ya toda clase de socavaciones.

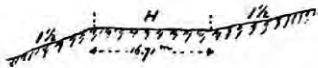


El zampeado del puente de Cal i Canto se estendia de un lado a otro de la ribera, era por lo tanto total i sobrepasaba de 0.83 metro (1 vara \pm) a ambos lados de la base de los machones. i tenia 2.50 metros de profundidad (3 varas). Estaba construido con mampostería de piedra fraguada con excelente mezcla hidráulica i revestido en su parte superior con un enlazado perfectamente colocado. Esta fundacion se puede tomar como modelo. Sólo he visto hacerle esta crítica. El plan superior del zampeado era horizontal, i como tenia un ancho

no despreciable (20 varas) (16.718 m.), i la pendiente jeneral del lecho del Mapocho es de 1.5%, la intercalacion de un plano horizontal de 16.71 metros trajo como consecuencia el levantamiento de las aguas en esa seccion, el cual, ayudado aun por las perturbaciones que ocasionan en las corrientes los machones, formó una cascada aguas abajo, que tenia la tendencia de socavar el zampeado. Para corregir esta tendencia, fué necesario, en mas de una ocasion poner piedras de grandes dimensiones aguas abajo, para que ellas amortiguasen el golpe de esta cascada; oí entónces a algunos ingenieros que todo se habria subsanado dando al zampeado la inclinacion jeneral del lecho del rio; que esa medida habria bastado para impedir la formacion de cascadas aguas abajo. Sin embargo otros, con buenas razones, sostenian



que las dificultades i subjeciones que habria ocasionado la formacion del plano inclinado superior, debiendo ademas ese plano servir de base a los machones i estribos del puente, habrian sido mui fuertes, de tal manera que sólo se habria solucionado satisfactoriamente usando piedra canteada en todo el revestimiento superior del zampeado i las primeras hiladas de los machones; i que la solucion, en estos casos, consiste en prolongar el zampeado aguas abajo de 2 o 3 metros i que ese ensanche hubiese tomado la inclinacion jeneral del lecho i guiado la salida de las aguas. Yo me inclino a esta segunda solucion, porque la práctica siempre aconseja mas precauciones aguas abajo, que aguas arriba de los zampeados, aun en los lechos casi horizontales, donde la introduccion de un trozo horizontal de 16 a 20 metros no puede provocar alteracion sensible en las corrientes. Por lo demas es un excelente problema de hidráulica ver la influencia de una construccion semejante.



que las dificultades i subjeciones que habria ocasionado la formacion del plano inclinado superior, debiendo ademas ese plano servir de base a los machones i estribos del puente, habrian sido mui fuertes, de tal manera que sólo se habria solucionado satisfactoriamente usando piedra canteada en todo el revestimiento superior del zampeado i las primeras hiladas de los machones; i que la solucion, en estos casos, consiste en prolongar el zampeado aguas abajo de 2 o 3 metros i que ese ensanche hubiese tomado la inclinacion jeneral del lecho i guiado la salida de las aguas. Yo me inclino a esta segunda solucion, porque la práctica siempre aconseja mas precauciones aguas abajo, que aguas arriba de los zampeados, aun en los lechos casi horizontales, donde la introduccion de un trozo horizontal de 16 a 20 metros no puede provocar alteracion sensible en las corrientes. Por lo demas es un excelente problema de hidráulica ver la influencia de una construccion semejante.

Cuando se trató de la canalizacion del Mapocho, se suscitaron muchas dudas con respecto a la capacidad que debia tener el canal i se hicieron muchos aforos del rio; con ese motivo fuí comisionado con los señores Jerman Gubler i Gustavo Flühmann para practicar un aforo del rio, operacion que la hicimos, tomando una serie de perfiles trasversales, etc., etc. Por eso conocí el lecho del Mapocho ántes de la canalizacion en todo el trayecto comprendido entre el Seminario i el Puente de Cal i Canto. Por lo tanto estoi en condiciones de poder decir cuál era la velocidad máxima de las aguas en el antiguo lecho del Mapocho, en las partes donde se formaban canales, como pasa en todos los lechos cascajosos.

Pues bien, la velocidad *máxima* observada en el hilo del agua en los puntos mas correntosos no llegó a seis metros por segundo, en números redondos, i la profundidad de los canales que se formaban era de 2.65 metros de maximum.

Si con estos datos hacemos el cálculo de la profundidad del lecho removido, tomando la media proporcional, tenemos:

$$V = 6 \text{ m. por } 1''; \quad v_1 = 0.65 \times 6 = 3.90 \text{ m. por } 1''$$

Como el cascajo es arrastrado con una velocidad de 1.8 m. por 1", resulta que $v_2 = 1.8$ m. i, por consiguiente, $v_3 = 3.9 - 1.8 = 2.10$, haciendo la media proporcional

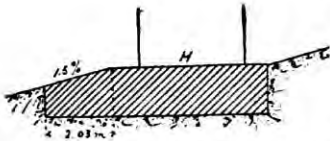
$$h_1 = \sqrt{h v_3} = \sqrt{2.65 \times 2.10} = \sqrt{5.565} = 2.36$$

El zampeado del puente tenia 2.50 metros o sea tres varas de profundidad; se encontraba, por lo tanto, en buenas condiciones de estabilidad ¿Conocian los ingenieros españoles esta manera de determinar las profundidades de las fundaciones? No lo sé; no he encontrado indicacion en ninguna obra, pero es mui interesante constatar estos hechos, como tendré ocasion de constatar otros mas adelante.

PUENTE DEL ESTERO DEL SALTO.—Ubicado en la línea del Ferrocarril del Norte a la salida de la Estacion del Salto hácia Santiago. El suelo de las fundaciones es de arena en capa bastante profunda, de manera que no se ha llegado al suelo firme con las fundaciones. Se encuentran, por lo tanto, en el caso de un suelo *incompresible, pero socavable*.

Los machones i estribos están fundados sobre un pilotaje de pino, enterrado a cinco metros de profundidad. Sobre las cabezas del pilotaje, que están a 1.5 metro bajo el fondo del estero i, por consiguiente, bajo aguas mínimas; se colocó una capa de rico hormigon hidráulico de dos metros de espesor, i sobre ella la mampostería. El puente tiene tramas de ocho metros de luz i su superestructura está hecha con vigas de pino de 0.30×0.30 de escuadría, poniendo simétrica-

mente dos vigas debajo de cada riel de la vía. Las fundaciones, a mas de su hondura de 6.50 metros, están protegidas por un zampeado jeneral, formado por dos muros de mampostería que forman barreras aguas arriba, i en el zampeado de fondo propiamente dicho con piedra gruesa formando enlozado fraguado con buena mezcla.



Este puente no ha sufrido ningun deterioro desde su construccion el año 1854.

Hai que advertir que la velocidad de las aguas del Estero del Salto, aunque es de alguna consideracion ántes de llegar al puente, disminuye notablemente desde unos 150 metros ántes, por cuanto su pendiente casi se anula, en la vuelta del lecho para vaciarse casi pependicularmente sobre el Estero de Viña del Mar; i, por lo tanto, las aguas se arreprestan mas bien en ese punto, evitando las socavaciones.

PUENTE DE LAS CUCARAS EN EL ESTERO DE VIÑA DEL MAR.—Este puente fué construido el año 1854, como el anterior, sobre fondo de arena. El puente tiene tramas metálicas de 18 metros de luz. Los estribos i los machones han sido fundados sobre un pilotaje de pino, teniendo los pilotes cinco metros de largo.

(En este caso como en el anterior no he tenido datos fijos sobre si colocaron o no emparrillado sobre los pilotes i despues el concreto; todos se inclinan a creer que el concreto fué puesto directamente).

Las cabezas de estos pilotes fueron recortadas para emparejar i formar un plano a la cota de tres metros bajo suelo, es decir, *bajo aguas mínimas del estero*: por consiguiente, la parte utilizada de los pilotes es de 4.5 metros mas o menos. Sobre las cabezas de los pilotes se puso una capa de buen hormigon hidráulico de 1.50 metro de espesor; i sobre él se construyó la mampostería de los machones i estribos. Conjuntamente con esto, se puso, a cinco metros aguas abajo, un zampeado jeneral, compuesto de dos filas de pilotes i tablestacas de seis metros de profundidad.

Estas fundaciones se han mantenido mui bien. En las creces del año 1868, las aguas formaron una cascada, aguas abajo de la barrera que formaba el zampeado, hasta de dos metros de altura. El cajon formado por los dos pilotajes i tablestacados de la barrera, se vació como en los mismos dos metros de altura; pero se constató que la vaciadura habia tenido lugar saliéndose las piedras por la parte baja *B*; lo que prueba que las arenas del lecho, por efecto de las corrientes, de los remolinos provocados por las mamposterías de los machones, etc. que producía la cascada a espaldas del tablestacado en el punto *A*, removieron las arenas del fondo hasta mas abajo de los seis metros.

Pasada la crece, el cajon se rellenó de nuevo: *se enrocó fuertemente* el espacio entre aguas arriba de los machones i la barrera; es decir, se formó un zampeado de piedra suelta en todo el fondo entre los machones i la barrera, que impidió la accion destructura de los remolinos provocados por los machones. Se enrocó fuertemente aguas abajo de la barrera, para evitar la accion destructora de las cascadas, i las fundaciones se mantienen hasta ahora en buen estado, no exijiendo mas que el cuidado de la renovacion de las piedras del zampeado que son removidas o arrastradas en las diversas creces. Estos hechos ponen de manifiesto la hondura a que se pueden hacer sentir las acciones de los remolinos i la eficacia de los zampeados de piedra suelta, cuando ellas, por medio de una barrera profunda, pueden sujetarse i no ser arrastradas por las corrientes. Mas aun: si se producen socavaciones las mismas piedras sueltas decien en ellas i protejen siempre el fondo; i despues, cuando se echan nuevas capas de piedra encima, para renovar las que han sido arrastradas o sumerjidas, el espesor de la proteccion va aumentando i, por lo tanto, su eficacia. Por consiguiente en esta clase de construcciones, una buena conservacion contribuye eficazmente a mejorar la fundacion.

No habiendo podido obtener ningun dato sobre las corrientes de las creces del año 1868, lo que es realmente sensible, por cuanto era una magnífica ocasion para haber visto si existia o no concordancia con las fórmulas establecidas para calcular socavaciones.

Los puentes del PASO HONDO, no ofrecen interes como fundaciones, estando todos ellos con sus machones i estribos fuertemente empotrados en la roca viva.

PUENTE DE LIMACHE. — Este puente tiene apoyo de mamposteria i superestructura metálica: se compone de 4 tramos de 15 metros cada uno i está ubicado entre Peña Blanca i Limache.

Las fundaciones de las mamposterías están a 6 metros de hondura i colocadas como el de Las Cucharas de Viña del Mar, sobre un pilotaje de pino i sobre él una capa de buen hormigon de 2 metros de espesor i sobre ella la mampostería. El suelo de las fundaciones tambien es arena fina. Tiene, como el de las Cucharas, una barrera de doble fila de pilotes i tablestacado, con madera de pino i de 6 metros de hondura, formando un cajon de 2 metros de ancho relleno con piedra suelta formando un zampeado jeneral. En los terraplenes de acceso habia dos puentes chicos *a* i *b* de descarga, los que se taparon. Por consiguiente las aguas de las creces tienen que bordear los terraplenes en un largo trayecto para buscar la desembocadura del puente i, por consiguiente, hai ahora que defender fuertemente esos terraplenes. Esta misma circunstancia ha hecho subir mucho mas el nivel de las aguas de las creces, las que últimamente casi alcanzaron al nivel de las vigas, o sea tomaron una altura de 4.10 metros. El puente es recto; pero, como está en un codo, las corrientes que se producen son oblicuas con respecto a los paramentos de los machones i los remolinos que se forman, no encontrándose las corrientes amortiguadas con las superficies redondas de los machones, sino que chocando sobre las superficies planas de sus costados, son mui fuertes i sus acciones mui destructoras.

En este caso hai dos cosas que atender: los terraplenes i el fondo, que es de arena i que no resiste.

Para la defensa eficaz de los terraplenes, hai que colocar aguas arriba i siguiendo el pié de la línea de defensas del lado de Limache, bloques en forma de escaleras para completar esas defensas; i construir al pié del estribo del mismo lado, aguas arriba, un espigon que sirva para dirigir normalmente las aguas hácia el estribo.

Prolongar el espigon que ahora existe aguas arriba, en el otro estribo, con el mismo objeto, de tratar de hacer que las corrientes pasen lo mas normalmente posible por debajo del puente.

Para atender a la resistencia del fondo, i combatir las cascadas que se producen aguas abajo de la barrera que sujeta el zampeado de piedras sueltas que existe debajo del puente i pocos metros mas aguas abajo: hai que construir aguas abajo de la barrera i del zampeado actual, en todo el ancho del lecho del rio, una faja de 5 metros con bloques de 1.5 metros de espesor.

Se vé, pues, que la medida que por una parte, defiende i protege eficazmente la vía, como es la cerradura de los puentes chicos *a* i *b*, que ofrecian el peligro de que en un momento dado las aguas del Estero de Limache se cargasen en esos puentes i los rompiesen, como ha pasado muchas veces en casos semejantes; ha

traido por resultado natural, el tener que aumentar la defensa de los terraplenes, el aumento de profundidad i de velocidad de las aguas del estero al pasar por el puente i, por lo tanto, el aumento de las defensas del fondo, mejorando eficazmente el zampeado.

No fué posible determinar la velocidad de las aguas en las creces del año 1900, por lo ocupado que se encontraba el personal de ingenieros atendiendo las necesidades de la línea que estaba amagada en muchos puentes a la vez; pero los tumbos i el oleaje superficial mojaban las vigas i la altura de las aguas fué de 4.60 metros sobre el zampeado. Ahora bien, si consideramos el perfil del rio en ese punto i su pendiente *mínima*, que es de 5 por mil, podemos determinar con alguna aproximacion la velocidad superficial por medio de la fórmula $H i = h v^2$ i se encuentra la cifra de $v = 3.70$ como velocidad media i, por consiguiente, $V = 4.62$ como velocidad superficial i $V = 2.70$ como velocidad de fondo.

Con estos datos, si determinamos las acciones de los remolinos, tenemos:

$$4.62 = V \qquad v_0 - v_1 = 1.92 \qquad \frac{1.92}{4.60} = 0.417$$

$$h = 4.6$$

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 2.70 \\ v_2 = 0.30 \end{array} \right\} v_3 = 2.40 \qquad \frac{2.40}{0.417} = 5.76 = h_1$$

$$h_1 = 5.76 n$$

por consiguiente, la profundidad de los remolinos, si no se protege el fondo, se puede hacer sentir a 5.76 metros, lo que prueba la necesidad absoluta del zampeado o de las fundaciones de aguas profundas en estos casos. Si determinamos ahora la accion de arrastre de una corriente semejante, escluyendo los remolinos de los machones, los que suponemos debidamente contrarrestados con las enrocadas del zampeado, es decir la arista de la barrera de aguas arriba, veremos que

$$h_1 = \sqrt{4.6 \times 2.4} = 3.32$$

se puede hacer sentir hasta 3.32 metros sin dificultad. Se concibe entónces perfectamente que, habiéndose tapado los boquetes de descarga que tenian los terraplenes del Estero de Limache para aumentar la seguridad de la línea, esta medida arreprestando las aguas de las creces, haciéndolas tomar 4.60 metros de hondura, maltratasen el zampeado existente ántes, que habia tomado la forma de equilibrio dada por las creces anteriores: i que se exija al pilotaje de la barrera de aguas arriba i aguas abajo por lo ménos 5 metros de hondura; por cuanto hai que contrarrestar en todo ese trayecto los remolinos que se ocasionan con la curva natural que tiene el lecho en ese punto.

PUENTE DE RABUCO.—Este puente se construyó primero con tres tramos de cinco metros de desembocadura cada uno, sobre un zampeado jeneral de buen concreto de dos metros de altura. Está ubicado en la confluencia del estero de Ratuco con el Aconcagua, de manera que el paramento *a' b'* del zampeado está casi en el lecho del Aconcagua, con las velocidades que tomaban las aguas arrepresas; mas aun, ha habido ocasiones en que, creciendo mas el Aconcagua las aguas de este rio se han entrado al cauce del estero de Ratuco, levantando el nivel, i despues, al venir la baja, precipitarse todas esas aguas, provocando des trozos en las barrancas, arrastrando las piedras del zampeado de tal manera que las avenidas de estos últimos años lo atacaron seriamente, dislocando parte del machon antiguo de la vía que estaba en desuso.

Las avenidas de 1900 causaron aun perjuicios de mayor consideracion; cayó uno de los machones nuevos en servicio por las mismas causas de rotura del zampeado, por las cascadas que se forman aguas abajo. Para dejarlo en buenas condiciones, hai que aumentar aun su desembocadura por lo ménos a 60 metros. Reformar el puente suprimiendo el machon destruido, dejando así un tramo doble que podrá ménos obstáculos a las corrientes.

Construir una barrera doble de rieles a 10 metros aguas abajo del puente, colocando una banda de grandes bloques aguas arriba de la barrera.

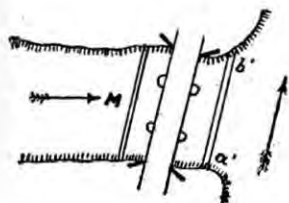
Desde las primeras creces de 1854 se notó que tenia poca desembocadura. Las aguas se arrepressaron en el Rabuco, su nivel subió mas alto que las aguas del Aconcagua i formaron cascada en la parte *a' b'* del zampeado, provocando así la destruccion i la caída de parte del puente.

Este puente, que se hizo al principio con 15 metros de desembocadura, se reconstruyó con cuatro tramos de 10 metros de luz i vigas de fierro de 11 metros cada una, descansando sobre machones de mampostería fundados como el destruido. Es decir, se mejoró el zampeado alargándolo mas aguas abajo, poniendo una buena barrera *a'' b''* mas hácia el lecho del Aconcagua llenando el espacio *a' b' — a'' b''* con una especie de enlozado de piedra grande acomodada a mano, i el puente, con cuatro tramos de 10 metros de luz cada uno, quedó con 40 metros de desembocadura efectiva. Se hizo en *a b* otro muro de mampostería de un metro de espesor i de tres metros de profundidad, para impedir el ataque del zampeado por debajo i piedra grande suelta despues de *a' b'*.

Pero, como aun así el puente quedó con poca desembocadura i se siguieron destruyendo las barrancas de acceso, hai, pues, que zampear con piedra escojida suelta, formando como enlozado el espacio comprendido entre esta barrera i la que existe aguas arriba del puente, aprovechando las partes del antiguo zampeado que aún existen.

Construir un espigon apoyado en el estribo del lado de Ocoa, para impedir el choque directo de las aguas del rio Aconcagua con las del estero i, por fin, construir otro espigon aguas arriba del estribo del lado de La Calera, para normalizar la corriente del estero hácia el puente.

Se desprende de los hechos anteriores, que todos los desastres del puente



del Rabuco han prevenido de la falta de una protección eficaz del muro *a' b'* que limitaba el zampado aguas abajo. Protección tanto más necesaria en este caso, por cuanto el muro *a' b'* tenía tendencias a ser socavado por dos causas anormales, a saber: 1.º por las aguas del Aconcagua, que lo lamian en todo su largo, provocando las socavaciones, i lo que es mas peligroso, por las mismas aguas del Aconcagua, las que, en sus creces extraordinarias, echa sus aguas hácia el Rabuco, formándose entónces en toda la primera parte de este estero. una albúfera, la que, cuando baja el Aconcagua, precipita violentamente una enorme masa de agua, lo que ocasiona forzosamente *cascaídas* en *a' b'*; i 2.º las creces extraordinarias del Rabuco, que tienen lugar ántes que el Aconcagua, que producen el mismo efecto anterior.

Luego, como conclusion lójica de estos hechos, comprobados por la esperiencia, tenemos las siguientes:

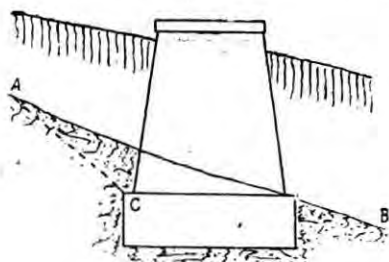
I.— En los rios *con albúfera* o que por su situacion especial presentan casos comparables con ellas, la desembocadura de los puentes debe ser la mayor posible, para no provocar fuertes correntadas, en las bajas de las creces o de las mareas, obligando a la masa de agua almacenada en ella a pasar por una seccion estrecha debajo del puente.

II.— Los tramos deben ser lo mas largo posible para que el escurrimiento sea el mas normal, provocándose los ménos remolinos posibles alrededor de los machones.

III.— Cuando las fundaciones no son de aguas profundas, sino con zampados jenerales, hai que proteger eficazmente las barreras de aguas abajo de los zampados, *para evitar de todas maneras la formacion de cascadas* en esos puntos. Los bloques de protección deben ser tanto mas voluminosos i pesados cuanto que las correntadas que puedan producirse por las acumulaciones de las aguas en las albúferas sean mayores.

(Casos de esta misma naturaleza los veremos mas adelante, produciendo efectos igualmente desastrosos a los del estero de Rabuco).

LAS OVEJAS — Puente con apoyo de mampostería, i superestructura, un solo



tramo de fierro de 11 metros de luz. Ubicado en un barranco entre Ocoa i Las Vegas; barranco que tiene su fondo con suelo bastante firme; pero en un plano inclinado *AB* mui pronunciado. El puente estaba fundado sobre un zampado jeneral de mampostería. Este puente se ha mantenido sin novedad desde la época de la construcción de la línea, es decir, desde 1854;

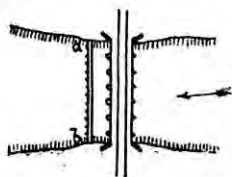
pero durante las avenidas del invierno de 1900, su desembocadura se hizo insuficiente, las aguas se arrepresaron i formaron la cascada en el zampeado; destruyéndolo en los puntos donde el terreno presentó ménos resistencia.

En prevision, entónces, de creces posteriores, tan violentas como las del invierno de 1900, debe aumentarse la desembocadura del puente, lo que se puede conseguir con facilidad bajando el plan de las fundaciones de un metro mas, encastrándolas así tambien, en suelo vírjen enteramente firme, i acomodar convenientemente la parte *A C* del fondo, aguas arriba para no formar un plano inclinado mui violento, que eche las aguas contra el zampeado.

ESTERO DEL TABON.—Puente abiajado, con tres arcos de albañilería de siete metros de luz i rebajados a $\frac{1}{4}$. Colocado en una parte del estero, que tiene barrancas altas de tosca mas o ménos dura. Tiene fundaciones a cuatro metros de profundidad, con un zampeado jeneral de dos metros de profundidad. Se mantiene perfectamente bien. Como las bóvedas de ladrillo sufren tanto en sus paramentos, todas las bóvedas del puente del estero del Tabon tienen paramentos de piedra tallada de buena clase, circunstancia que ha contribuido mucho a su buen estado de conservacion.

PUENTE DEL ESTERO DE LAMPA.—El puente que sobre el estero de Lampa tiene la línea férrea del Norte, ubicado entre Tiltil i Lampa, fué construido el año 1860. Tiene como superestructura vigas metálicas continuas de 121 metros de largo, con seccion doble T i dividida en ocho tramos, apoyados sobre siete machones i dos estribos. El suelo de su fundacion es arena de regular grueso, mui cuarzosa, i sobre una profundidad que podemos considerar como indefnida.

Las fundaciones de sus machones i estribos son de mampostería i se bajaron a 5.8 metros de profundidad. Se defendieron por una barrera de pilotes i tablestacado, colocada aguas abajo del puente i que atravesaba todo el lecho del estero. Sobre las fundaciones de mampostería se colocaron cepas metálicas formadas por tubos de fundicion perfectamente amarrados.



Las creces del estero maltrataron la barrera *a b*, provocaron socavaciones, de tal manera que uno de los machones bajó de cinco centímetros, inclinándose un poco. Estos hechos pusieron de manifiesto que, dado el fondo de arena i la velocidad que adquieren las aguas en sus creces, no bastaba como proteccion de fondo, la simple barrera *a b*. I se comprende fácilmente: la barrera *a b* sujetará el arrastre de las arenas removidas por las corrientes i los remolinos que provocan los machones; pero de ninguna manera protege el fondo del estero contra la accion de estos remolinos. Despues de este accidente, se rectificaron las mamposterías, para restablecer los niveles. Se renovó el pilotaje i tablestacado donde se habia maltratado i se puso una capa de concreto formando zampeado, que protejia el fondo.

Como las cepas de tubos fundidos no son mui adecuadas i las trepidaciones las maltratan de tal modo que se hace necesario cambiarlas, tan pronto como fué posible se quitaron las cepas metálicas i colocaron en su lugar machones de mampostería

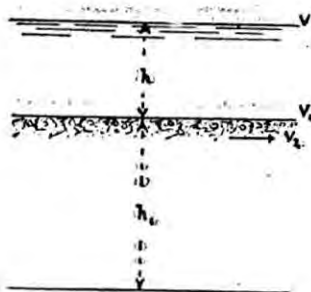
Aquí hai un hecho curioso que observar, i por eso mismo, es sumamente sensible que no se haya tomado la menor indicacion respecto a las corrientes de las aguas en las creces. Desde 1860 a 1888 el puente de Lampa se mantuvo bien, con sólo el refuerzo de la barrera i la colocacion de zampeado jeneral i, sin embargo, soportó creces como las de los años 1877 i 1878, etc, que fueron de las mayores conocidas. Por lo tanto es de suponer, con todo fundamento, que con el zampeado jeneral de concreto, la accion de los remolinos etc que se producian en las cepas metálicas, se encontraba completamente contrarrestada con el zampeado i la barrera de aguas abajo.

Como despues se cambiaron las cepas por machones de mampostería, es indudable que se redujo la desembocadura del puente de todo el espesor de los machones: puesto que ántes el agua pasaba por entre las ferreterías. Es decir se redujo la seccion de escurrimiento de 12.60 metros en el largo, i como las aguas suben hasta mas de 3 metros en las creces, se ha disminuido por lo ménos de 37.80 metros cuadrados la seccion de libre escurrimiento. Por otra parte, los machones de mampostería, atacados por corrientes laterales como pasa en esos esteros en que el eje de las corrientes cambia constantemente, provocan forzosamente mas remolinos i de mucho mayor intensidad que los que pueden provocar las cepas metálicas.

En estas condiciones vinieron las creces de 1888, casi tan intensas como las del 1877, que habian sido resistidas sin tropiezo; sin embargo, las del 1888 provocaron averias en la barrera de aguas abajo; removieron el zampeado de concreto i ocasionaron el abajamiento de dos machones. Por eso, como he dicho, es sumamente sensible no tener la menor indicacion de las corrientes de las aguas, indicaciones que son absolutamente indispensables para estimar la accion destructora de las creces, i haber sacado las conclusiones definitivas de los hechos observados.

Si aplicamos las fórmulas dadas para determinar las socavaciones, veremos que con una profundidad de agua de 3 metros, teniendo el rio fondo de arena que

puede ser arrastrado con una velocidad de fondo $v_2 = 0.30$, bastará que la velocidad superficial de la masa sea de 4 metros por segundo para que sus remolinos actúen hasta 5 metros de profundidad. Ahora bien,



$$4.00 - 2.6 = 1.4 \quad \frac{1.4}{3} = 0.46$$

$$v_3 = 2.30 \quad \frac{2.30}{0.46} = 5 \text{ m} = h_1$$

dadas las pendientes de nuestros rios, aun en los esteros como el de Lampa, que son de los ménos correntosos, se encuentran velocidades superiores a 4 metros por segundo. Ahora es indudable que en los lechos de arena, las fórmulas deben quedar cortas en sus indicaciones, puesto que, siendo jénéricas, sin coeficientes de correccion, su aplicacion mas exacta se encontrará en los terrenos de mediana resistencia i no en las arenas. No es raro entónces que las creces de 1888 ocasionasen estragos en el zampeado del puente de Lampa.

Para reparar las averías de estas creces, se nivelaron los machones que habian sufrido hundimientos, se repuso el pilotaje i tablestacado corriendo otro aguas arriba i formando entónces un zampeado de piedra en seco de grandes dimensiones i acomodada a mano entre las dos barreras de pilotes i tablestacados.

Este nuevo zampeado ha sido atacado por las creces del año 1900, fué deteriorado en parte i la remocion del fondo fué tal que provocó un pequeño hundimiento en otro machon, inclinándose de unos siete centímetros hácia aguas arriba, lo que pone en evidencia que las correntadas de las creces provocan velocidades superiores a 4 metros por segundo, puesto que son capaces de arrastrar fuera del recinto del zampeado las piedras de grandes dimensiones i, por lo tanto, que se necesitan precauciones especiales para que las fundaciones del puente no sean atacadas. Despues de las averías de las creces de 1900 se ha nivelado el machon inclinado, i se restableció el zampeado con piedra i pilotaje; pero ya formando un muro con buena mezcla de cemento. Como no se conoce con exactitud la profundidad de la barrera de aguas abajo i es probable que no sea mayor de 5 metros de profundidad, que en este caso es insuficiente, se hace necesario hacer practicar ese reconocimiento i en caso que dicha barrera tenga ménos de 8 metros, reforzarla con otra que alcance a esa profundidad. Ademas se hace tambien necesario reforzar las defensas de los machones con un zampeado de bloques de grandes dimensiones.

En vista de lo costoso de las defensas del fondo, es de preguntarse si, en casos semejantes, no habria sido mas conveniente, despues de las primeras averías, suprimir machon por medio, aumentando así la luz de los tramos i, por lo tanto, perturbar ménos el escurrimiento de las aguas durante las creces. En todo caso es un ejemplo que nos dice que en rios de fondo de arena de gran profundidad, debemos tocar lo ménos posible el réjimen del rio i reforzar lo mas posible la seccion de escurrimiento debajo del puente con zampeados bien constituidos con barreras profundas, aguas arriba i aguas abajo.

PUENTE DE SAN FELIPE —Ubicado en el ramal de Los Andes, entre las estaciones de Panquehue i San Felipe. Este puente es abiejado de $41^{\circ} 38'$; con superestructura metálica compuesta de dos tramos independientes de 30 metros cada uno. Tiene estribos i machones de mampostería. Sus fundaciones tienen 5 metros de profundidad enterradas en un suelo de grava gruesa de acarreo i protegidas con un zampeado jeneral compuesto de dos muros de mampostería Z Z' (fig. 1 i 2) de 1.50 metros de grueso i 5 metros de hondura, reunidos por un macizo horizontal de 1.50 metros de espesor de buena mampostería hidráulica. Este puente

se ha mantenido perfectamente i no se ha formado cascada aguas abajo del zampeado en el muro *Z'*, porque el lecho del rio tiene en ese punto una vuelta mui violenta, que contrarresta todas las correntadas i provoca mas bien embancaamientos en el cauce frente al muro *Z'*. En cambio el terraplen de la línea férrea es fuertemente atacado en *A* al pié del estribo del lado de San Felipe, donde ha sido necesario defenderlo con fuertes enrocados de piedra suelta. Quizá convendrá defender toda la barranca entre el puente carretero *P* (fig. 1) i el estribo *A* del lado de San Felipe, puesto que las sinuosidades del lecho del rio hacen que constantemente los remolinos o corrientes derivadas tengan tendencias a atacar esa barranca. Por otra parte, la boca-toma del canal *bb* que corre a orillas de la barranca del lado de Panquehue, provoca tambien perturbaciones que obligan a defender el otro estribo.

Poco mas arriba del puente del ferrocarril se encuentra el puente carretero *P*, hecho por los españoles en los últimos años del coloniaje: su desembocadura primitiva fué de 20 metros: compuesto de dos arcos de mampostería. Una de las creces del Aconcagua, socavó el machon *P* i botó el puente. El machon socavado quedó enterrado en el lecho i un tanto inclinado (fig. 3) formando un gran block de mui buena mampostería. Como ya esa fundacion ha descendido todo lo que las mayores creces podian hacerla descender, se arregló un poco su superficie i sobre ese block se levantaron las albañilerías del machon del nuevo puente, compuesto ahora de dos tramos de madera. En la crece en que se hundió el machon fué atacado el estribo sur por la espalda, el que fué defendido con piedras que se sumerjieron en las creces siguientes.

Este puente se ha mantenido mui bien en estas condiciones hasta fines del año 1900, en que el Aconcagua, en sus fuertes creces de deshielo, atacó un tanto el machon central.

Dadas las corrientes que toman las aguas del Aconcagua, que, aunque no han sido medidas desgraciadamente, son, sin embargo, reconocidas como las mayores que se producen en nuestros rios, se pone de manifiesto que los zampeados jenerales, siempre que no estén amenazados por las cascadas de aguas abajo, dan una solucion enteramente satisfactoria i segura. Mas aun, sin las barreras del zampeado del puente del ferrocarril, que impiden se altere el nivel del lecho en ese punto, es mui probable que el puente carretero de aguas arriba, que no tiene mas que fundacion derecha, ya habria sido socavado i arrastrado.

Se vé tambien que las averías que causan las creces consisten en dislocar algunas piedras del zampeado, lo que realmente no exige mas que una buena conservacion de la obra. Las otras amenazas del rio se relacionan con las circunstancias de ubicacion del puente i por consiguiente, a la defensa del cono oriente con bloques i piedra suelta para impedir la cortadura de los terraplenes

PUENTE DE CURIMON. - Ubicado en el mismo ramal de Los Andes, entre las estaciones de San Felipe i Curimon, es de la misma construccion i longitud que el puente de San Felipe, es decir, de dos tramos de ferreteria de 30 metros de luz

cada uno i casi con el mismo ángulo de abajamiento. Pero las condiciones del suelo del fondo son diferentes i la accion de las aguas ha sido mui distinta. Los muros 2 i 2', que sirven de barreras del zampeado jeneral tienen cinco metros de profundidad hechos con buena mampostería, no han sido atacados, pero, dada la ubicacion del puente, i el bajo que hai en el cauce antiguo (a) junto al terraplen, ha obligado a poner en ese trayecto fuertes enrocados de piedra suelta que hai que estar renovando constantemente. Como aguas abajo del puente, el lecho sigue recto i con fuerte pendiente, el zampeado *c*, sin mezela i hecho con piedra grande acomodada a mano fué alterado i se produjeron cascadas detras del muro 2', que podian comprometer su fundacion. Despues de estas averías, se compuso el zampeado *c* en la misma forma i, para corregir la accion de las cascadas, se puso un pilotaje *D* aguas abajo del muro 2', a siete metros de distancia, i un zampeado de piedra grueso *E* entre el muro 2' i la fila de pilotes *D*. Pero se colocó la cabeza de los pilotes *D* al mismo nivel que el de los muros de barreras de las fundaciones, de modo que el zampeado antiguo *c* i el muro *E* formaron una superficie horizontal que cambiaba las condiciones jenerales de la pendiente del lecho. No fué raro entónces, con las creces posteriores, ver que se iniciaba al principio i se formaba despues la cascada en *D*, punto donde la pendiente del lecho cambia bruscamente, sin que los cascajos del fondo del lecho sean mayores que los del resto i, por lo tanto, insuficientes para contrarrestar las acciones perturbadoras que ahí se producen. Se hace entónces necesario reforzar i ampliar el zampeado actual del puente, para quitar las cascadas en el punto *D*, formando aguas abajo del pilotaje *D*, o bien otro pilotaje, o, *lo que es mui superior*, un brocal de bloques de grandes dimensiones, colocado de manera que, entre los puntos *D* i *D'*, se tenga la *pendiente natural del rio Aconcagua en ese punto*, i zampeando el espacio intermedio con piedra escogida de cantera i dándole a la superficie de este zampeado la forma curva adecuada al caso (fig del lado.) Es decir, hai que tratar el punto *D* como las aristas de aguas abajo de los muros de vertederos, en los cuales las caidas i remolinos pueden provocar socavaciones. Las ventajas que tienen los bloques *D'* sobre otra fila de pilotes, es que, si por la accion de las creces venideras, aún se producen cascadas en *D'*, estos bloques *descenderán* i servirán siempre de defensa para sujetar el zampeado. Es decir, la tendencia a la formacion de cascada quede anulada con el descenso del bloque i al fin éstas tomarán su posicion de equilibrio definitivo.

Durante las creces de los años 1877-88 98-99 1900, las piedras (a) de defensa de los chaffanes de los terraplenes han bajado, hundiéndose una parte de ellas en el lecho del rio i, por lo tanto, ha sido necesario renovarlas constantemente. Conviene, por lo tanto, hacer las defensas siguientes:

I.—Formar dos espolones trasversalmente a la vía: uno anexo al estribo sur *b* i el otro en la medianía hácia el oriente del terraplen de acceso *b'*.

II.—Prolongar la defensa de piedra suelta del terraplen del estribo norte.

Se vé, cómo se forma el cauce a lo largo de los enrocados (a) que, como ya han sido reforzados muchas veces i sus primeras piedras se han hundido, mantienen

hoi los terraplenes en buenas condiciones, miéntras que, por efecto del codo del rio, se hace necesario impedir que el otro estribo sea amenazado, poniendo los espolones *b* i *b'* para obligar las aguas a tomar la desembocadura del puente; pero sin echarlas sobre los terraplenes (*a*). Las inclinaciones de esos espolones deben, por lo tanto, estudiarse detalladamente en la localidad.

PUEBTE TRONCOSO.—(fig. 19) El lecho del *Troncoso* es de arena i grava menuda, por consiguiente mui socavable, aunque incompresible e inalterable a los otros ajentes. El primer proyecto de fundacion que se hizo fué con un zampeado de grandes dimensiones en ancho (25 metros), protegido en sus dos cabeceras normales a la caja del estero por filas de pilotes i tablestacas. Sobre este zampeado, que se proyectaba de mampostería con buena mezcla hidráulica i de un metro de espesor, debian construirse los estribos i el machon del centro. La administracion de los Ferrocarriles del Estado por falta de fondos ordenó la fundacion mas económica, dándole un carácter de provisional. Se proyectó entónces salir de la zona de socavacion arraigando las fundaciones de las cepas provisionales de madera, por medio de un pilotaje sencillo que penetró 6 metros; sobre este pilotaje se levantaron las cepas i se formaron los emparrillados de madera de los estribos; pero, como era sabido que el Troncoso socavaba hasta 5 o 5½ metros semejante construccion, aún con el carácter de provisional inspiró recelos desde el primer momento. Se autorizó entónces por la administracion la colocacion de un zampeado que, aunque fué construido con buena mampostería, fué socavado, por cuanto no se le puso, por falta de fondos la fila de pilotes *T T'* i tablestacos en sus cabeceras i como sólo se le dió de profundidad 0 60 metro en ellos i 0 30 metro en el resto en todo su ancho, el zampeado quedó débil, i apesar de todo, esta precaucion defendió esta obra provisoria hasta que las maderas de los emparrillados, que no estaban colocados *bajo el nivel mas bajo de las aguas*, se pudrieron i provocaron la destruccion del puente.

Como se vé, esta fundacion tuvo dos defectos: 1.º se hizo bajo el carácter provisional, sin pretender hacerlo durar mas de tres años, i por economizar no se bajó con los emparrillados de madera, como debió hacerse, mas abajo que el nivel mas bajo de las aguas, para así impedir que ellos i los pilotes se pudriesen i 2.º por hacer economía, no se sacó todo el provecho que correspondia del zampeado, tanto por su poco espesor (0 30), que lo hacia poco resistente contra los golpes de las grandes piedras que arrastran las aguas en sus creces, cuanto porque sus cobechas no estaban debidamente protegidas para impedir la socavacion aguas arriba, i la formacion de cascadas aguas abajo. Por consiguiente sólo el cuidado i atencion que se tuvo en reparar ese zampeado constantemente, fué lo que lo hizo proteger la otra hasta ocho años, al cabo de los cuales, se notaron fuertes desnivelaciones en las vigas que soportaban la vía, i buscando la causa de ellas, se hicieron reconocer las fundaciones i se vió que se habian podrido los emparrillados i la cabeza de los pilotes de fundacion i por consiguiente, que era urjente la reconstruccion completa.

Al hacerse la reconstrucción, se abandonó la idea de proteger la fundación del machón, con un zampeado, i se quiso buscar el suelo insocavable, haciendo una escavación profunda, agotando las filtraciones con buenas bombas. Se bajó así hasta 5 metros i se vió entónces que el suelo de arena i grava fina continuaba aún sin alteración, aun mas, que parecía que la grava se hacia mas fina a medida que se profundizaba. Se hizo entónces un reconocimiento con un pilote i se vió que principiaba a oponer alguna resistencia a la penetración a los $3\frac{1}{2}$ o 4 metros. Se determinó emparejar el plan de la escavación a los 5 metros de profundidad, el cual se mantenía en seco fácilmente con dos bombas centrífugas de 0.30 del tubo de escape i se impedían los derrumbes de los taludes con enmaderaciones adecuadas. Sobre este plan ya *bastante mas abajo que las aguas mínimas* (que eran 1.5 metros) se puso el pilotaje, que se clavó hasta los 5 metros mas o ménos i sobre él el emparrillado que soportó la fundación, compuesto de una base de 0.50 metro de concreto i el resto de mampostería fraguada con buena mezcla hidráulica. La escavación de 5 metros se rellenó despues con piedra grande de cerro. El puente se mantiene hasta ahora en perfecto estado.

Quizá se habria obtenido una fundación mas económica con el proyecto primitivo de proteger el suelo socavable con un buen zampeado: pero desde que la fundación actual ha dado un excelente resultado, no se le puede hacer esa crítica, que en todo caso no es mas que presuntiva.

PUENTE DEL TINGUIRIRICA.—Aunque el cauce del rio Tinguiririca es mui ancho en la parte que lo atraviesa la línea férrea del sur, consultando la cuenca del rio, las aguas máximas de sus creces i demas datos jenerales que se acostumbra en estos casos, los ingenieros encargados del trazado del ferrocarril hicieron el puente en 1865 consultándole una lonjitud de 130 metros con estribos i machones de mampostería, dividiendo dicho largo en 4 tramos con vigas metálicas de alma llena. Dado el régimen del rio i el ancho de su álveo los ingenieros que construyeron el puente el año 1865 no se disimularon que, al fijar el largo en 130 metros, tendrian que defender fuertemente los terraplenes de acceso de ambos lados: i por lo tanto, que forzando a las aguas a pasar por una sección determinada, tendrian que provocar correntadas mas o ménos violentas i a veces anormales. El lecho del Tinguiririca es uno de los casos característicos en que las aguas, conjuntamente con buscar la línea de máxima pendiente del valle, oscilan de un lado a otro de sus riberas, buscando un mayor desarrollo para tener la compensación entre las acciones destructoras i poder el arrastre de su masa i la resistencia de los cascajos del suelo o de las barrancas. Dos eran, pues, las soluciones que se presentaban para el puente de Tinguiririca: o bien un puente mui largo, de mas de 1,000 metros, capaz de saltar toda la caja del rio, dejando completa libertad a sus aguas para escurrirse como ántes de la existencia del puente i, por consiguiente exijiendo fundaciones capaces de resistir a los remolinos i socavaciones ordinarias del rio: o bien, la que se adoptó, fijar una desembocadura proporcional con el caudal de sus aguas, i contar con la defensa de los terraplenes de

acceso los que, como lo ha demostrado la práctica, deberían ser violentamente atacados por las aguas. Esta última solución exigía, por lo demás, fundaciones más cuidadas i más resistentes a los ataques de los remolinos, etc. Si entramos ahora a examinar, aunque sea sumariamente, cuál de estas soluciones es la más conveniente, no trepidaré en decir que prefiero la adoptada el año 1865, aunque ella ha demandado fuertes gastos de conservación i ocasionado algunas interrupciones en el servicio, por las razones siguientes:

I.—Nada hai que determine de una manera estable las barrancas de un río que, como lo hemos dicho, no sólo busca la línea de máxima pendiente, la que, por otra parte, en un valle no es una línea matemática sino *una faja* más o ménos ancha, la que se encuentra casi en las mismas condiciones i, por consiguiente, las aguas no tienen, se puede decir, un curso determinado. Si se hubiese entonces fijado como largo del puente todo el ancho de la caja el año 1865, probablemente aun así se habrían visto más tarde atacadas las riberas a uno u otro lado.

II.—Hai puntos jenerales forzados para el álveo de los ríos. El Tinguiririca tiene la puntilla del Centinela poco más aguas abajo del atravesio del puente: por consiguiente, colocando el puente en condiciones de enfrentar esa puntilla, siempre se podrían defender los terraplenes *T* del lado sur para hacer pasar las aguas por la desembocadura, i sólo los terraplenes del lado norte exigirían gran cuidado.

III.—La defensa de los terraplenes del lado norte de la línea, contribuye de una manera directa i eficaz a la defensa de las propiedades vecinas i aun casi a la del pueblo de San Fernando; por consiguiente, esos trabajos, aunque un tanto costosos, contribuyen a la riqueza jeneral del país.

Fijadas las condiciones del puente por construir, se hacía necesario fijar sus fundaciones en relación con esos antecedentes. Desde que había que contrarrestar fuertes correntadas el zampeado jeneral era lo mejor. Para contrarrestar la acción de las cascadas, sobre las barreras de aguas abajo del zampeado, se resolvió colocar el plan de éste a 2.50 metros bajo el nivel *ab* del lecho del río. Los muros de barreras se hicieron de mampostería de 1.50 metro de espesor i de 4.50 de profundidad, bajo los 2.5 del fondo del río: es decir la profundidad total de las fundaciones es de siete metros bajo el fondo del río. El zampeado jeneral se hizo con buena mampostería i de 1.20 metro de espesor. Las fundaciones de los machones i estribos protegidos por estas barreras i zampeado tenían la misma profundidad. Con las creces, el fondo del río se emparejó completamente i el zampeado quedó completamente cubierto con una capa de ripio de dos metros de espesor por lo ménos. No hai recuerdos de que haya quedado al descubierto la superficie de este zampeado con las diferentes creces del río; sólo el ingeniero residente, señor Lopez, lo vió en las creces del año 1900 i naturalmente sin poder darse cuenta del estado de él. El costo total de construcción fué de \$ 56,000 de 48 peniques, i las ferreterías pesaban 174 toneladas i 10 toneladas los fierros fundidos, total 184 toneladas.

Desde el año 1865 para adelante, el puente del Tinguiririca se ha mantenido perfectamente bien; no así sus terraplenes de acceso. Como el puente, como hemos

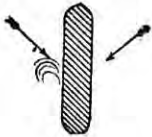
visto, no fué ubicado en un punto donde el río se encontrase en un lecho encajonado con barrancas estables, las corrientes tienen que divagar en una zona más o menos grande, buscando sus líneas de resistencia i aun a veces formándose brazos de río que se separan del cauce principal para venir a amagar la línea en puntos sumamente distantes aguas arriba i otras veces aguas abajo del puente. Estas defensas han exigido algunas sumas para su debida conservación, por cuanto la piedra suelta de grandes dimensiones que se arrojaba en los chaffanes de los terraplenes era constantemente arrastrada por las aguas. En los años 1888 i 1889 el señor Carlos F. Hillman hizo defender el pié de los enrocados de los terraplenes con una serie de bloques de buen hormigón hidráulico i de 2 m. \times 1.50 \times 1.50 m: es decir de dimensiones suficientes para que no pudiesen ser arrastradas por las aguas. Estos bloques se sumerjieron i dislocaron con las creces posteriores, i por lo tanto, fueron renovados con la conservación, colocando otros para reemplazar los enterrados, de manera que, actualmente, ya esos terraplenes, como se ha visto en la práctica, son bastante firmes.

En estas condiciones se mantuvo el puente hasta la gran avenida del 13 de julio de 1900, en la cual fué socavado el machón central, causando la caída de dos tramos. La mampostería del machón caído se encuentra a 180 metros aguas abajo de su ubicación i una de las vigas a 320 metros más abajo, o sea a 500 metros de su lugar. Tanto la mampostería como la viga quedaron *sobre el suelo*, por consiguiente fueron arrastrados en suspensión por la masa de agua de la crece, i este hecho da una idea suficiente de la fuerza de esas masas.

Pasada la crece, se trató de restablecer el tráfico lo más pronto posible, colocando en lugar de los tramos caídos un puente provisional de pilotes de rieles: pues bien, con el clavado de estos pilotes se ha tocado el zampeado, que está a 2.5 metros bajo el fondo primitivo, i se ha constatado de esa manera que se ha roto en una extensión como de 25 metros alrededor del machón caído. Se deduce, pues, de estos hechos, que los zampeados son una protección muy eficaz cuando sus barreras tienen la profundidad suficiente para no ser socavados i se consigue evitar las cascadas de aguas abajo; pero que, la colocación del nivel del zampeado a 2.50 metros bajo el fondo natural del río, hace que éste quede constantemente cubierto con una capa por lo menos de dos metros de cascajo, que sería necesario remover a pala, *para inspeccionar su superficie i corregir las averías que pueda sufrir con el tiempo*. Como esa tarea *no es práctica*, conviene más corregir los efectos de las cascadas de aguas abajo con cualquier otro sistema de defensa que esté a la vista i que se pueda auxiliar o componer oportunamente.

Si bien los ingenieros que observaron las creces no tuvieron oportunamente instrumentos, ni tiempo para medir las velocidades de las corrientes, sin embargo, siendo hombres ya familiarizados con nuestros ríos, como el señor Leballeur, i que conocen la importancia de este factor, han hecho sus apreciaciones i debo a su amabilidad las indicaciones siguientes: "Sobre el segundo machón del puente se dirijian dos corrientes muy fuertes: una que venia del norte i chocaba contra el paramento norte del machón central, i la otra que venia del sur, paralelamente a

la línea, chocando con toda su fuerza al lado sur del mismo machon. Estas corrientes tenían una velocidad no inferior a 10 metros por segundo.”— Se vé, pues, que condicion tan anormal i tan crítica fué la que ocasionó la caída del machon. Ahora, agréguese a esto la falta absoluta de datos respecto al estado del zampeado i se verá que la catástrofe no se puede atribuir a otra causa que a esta imposibilidad de reparar i atender una mampostería que estaba siempre cubierta con dos metros de grueso ripio por lo ménos. I la razon que tengo para ello es la siguiente:



La masa de agna fué de 2.50 metros de altura i, por consiguiente, con la velocidad de diez metros por 1'' en la superficie = V , tenemos una velocidad de fondo $V_1 = 6.5$ m. Como la velocidad de arrastre del Tinguiririca. V_2 puede estimarse en 1.60 m. por 1'' tenemos

$$V_3 = 6.5 - 1.60 = 4.9 \text{ m.} \quad V - V_1 = 3.50 \text{ m.}$$

$$3.5 : h = \frac{3.5}{2.5} = 1.4 \text{ m.} \quad \frac{V_1 - V_2}{1.4} = \frac{4.9}{1.4} = 3.50 \text{ m.}$$

Pongamos ahora que por las circunstancias extraordinarias del caso *especial* i *anormal* de dos corrientes encontradas i en sentido inverso, la remocion fuese aun de un metro mas, es decir, que el máximum de remocion de los suelos del fondo alcanzaria a 4.50 metros, es decir, justo la hondura de fundacion de las barreras, quedando como auxiliar de la fundacion los 2.50 metros que tenían éstas con respecto al nivel del fondo en la época de la construccion. Hai entónces antecedentes para creer que todo el desastre de la caída del machon no tiene mas orfjen que averías en el zampeado, las que no fueron reparadas oportunamente por no poderse ver ni hacerse cómodamente con la capa de dos metros de ripio con que estaba constantemente cubierto. Ahora, si tomamos poco en cuenta esos dos metros de ripio que quedan encima del zampeado para la amortiguacion de las acciones de los remolinos etc, por cuanto hai creces que ponen en descubierto esa superficie, como se ha constatado, veremos que es del todo prudente, i aun se puede decir necesario, para seguir respondiendo de las construcciones que quedan, reforzar esas barreras bajando mas sus fundaciones.

Para reconstruir el puente hai que tener presente lo espuesto, i, por lo tanto, que se disminuirán las causas de averías disminuyendo el número de machones que provocan remolinos i aumentando la luz de los tramos. Es el caso, entónces, de aprovechar la ocasion de la reconstruccion para colocar un tramo doble de 60 metros en lugar de los dos caidos, tanto mas cuanto los machones existentes pueden recibir la nueva ferretería en estas condiciones.

Ahora bien, si tomamos en cuenta la circunstancia local de encontrarse ese puente en condiciones de tener que hacer el servicio del ramal de la Palmilla i, por lo tanto, que es urjente hacerlo de doble vía, se hace necesario pensar en prolongar los machones i estribos al mismo tiempo que se atiende al esfuerzo indispensable de sus fundaciones.

Por estas circunstancias convendrá al reconstruir el puente tomar las medidas siguientes:

I.—Prolongar los estribos i machones aguas abajo para que sirvan a la doble vía.

II.—Profundizar las fundaciones hasta 8 metros bajo el zampeado del puente actual.

III.—Colocar una barrera de bloques de 2 metros de profundidad i $1\frac{1}{2}$ de ancho, a 5 metros de aguas abajo de la prolongación i zampear el espacio entre esta barrera i el muro de defensa de las fundaciones actuales con bloques de 1 metro de espesor.

IV.—Colocar bloques iguales a los anteriores a 10 metros aguas arriba del muro de defensa de las fundaciones actuales i zampear con bloques de 1 metro de profundidad el espacio entre el muro i la faja.

V.—Reconstruir la parte de ferretería del puente reemplazando los dos tramos caídos por uno solo, doble de los anteriores. Las barreras de bloques A i B probablemente serán removidas por las creces, desde

$$h_1 = \sqrt{h \times v_3}$$

$$h_1 = \sqrt{2.5 \times 4.9}$$

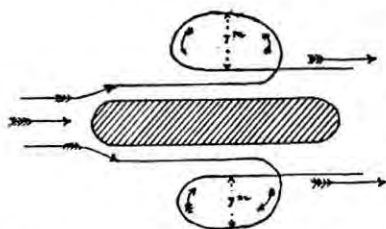
$$h_1 = 3.5 \text{ m.}$$

que ellas tienen influencia en el fondo hasta 3.5 metros; pero, como el peso de los bloques es tal que no pueden ser arrastrados, se sumergerán hasta una profundidad tal que provoquen el equilibrio de las acciones de las aguas con las reacciones del suelo *e impedirán siempre que sea removido el suelo debajo de los machones*. Otro tanto podemos decir de los bloques del zampeado. Además, si la remoción de estos bloques es muy fuerte i, por consiguiente, quedan muy enterrados, será muy fácil colocar encima otra corrida i dejar así la obra con una defensa de primera clase.

PUENTE DEL CHIMBARONGO.—Situado a la salida de la Estación de la Quinta, en la línea del Ferrocarril del Sur: es hecho de 4 arcos de piedra rebajados a $\frac{1}{4}$, teniendo los dos extremos 9.76 metros de largo i 12.20 los centrales. Las bóvedas son circulares i tienen 30 centímetros de espesor. Fué construido en 1866 i costó \$11,550 de 48 peniques. Este puente fué fundado sobre un zampeado jeneral de mampostería de 1.50 metros de espesor, por reposar sobre un fondo de tosca de bastante dureza. Pero, como estas toscas son atacables por las creces, para atender a la buena conservación de este puente ha sido preciso proteger el zampeado con piedra suelta botada aguas arriba i aguas abajo del puente, las que constantemente son arrastradas. Las bóvedas tienen varias rasgaduras, una de ellas, la más sensible desde que se quitaron las cerchas en la época de la construcción; pero,

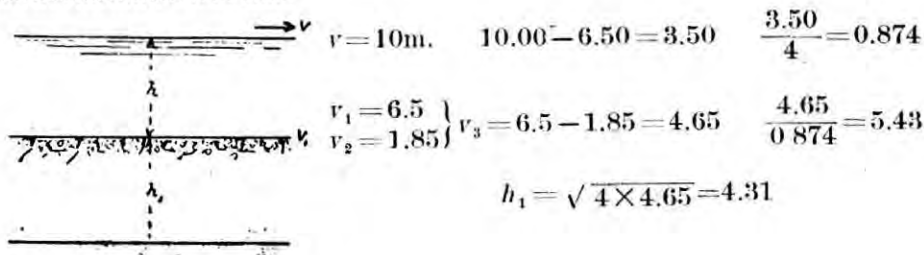
últimamente, en las creces de 1900 se ha rasgado todo el cono de aguas abajo del machon del centro, lo que pone de manifiesto que ha sido socavado el zampeado aguas abajo i, por consiguiente, que hai que reforzar dicha construccion. Para evitar el arrastre continuo de los enrocados, conviene poner dos barreras de dobles pilotes de rieles i piedra suelta una a 5 metros aguas arriba del puente i la otra a 10 metros aguas abajo. Rellenar el intervalo con un zampeado jeneral de un metro de espesor. Los pilotajes de las barreras deben ser clavados lo mas que se puedan, i en ningun caso ménos de 4 metros.

TEXO SUR.—Este puente fué construido el año 1865, sobre el brazo principal del rio Teno cuando lo atravesó la línea de Santiago a Curicó; actualmente ha quedado sirviendo esclusivamente al brazo sur de dicho rio. Tiene una construccion exactamente igual a la del Tinguiririca; pero con sólo tres tramos de 30 metros (100 piés) de luz cada uno con vigas de fierro de alma llena. Importó \$ 41,000 de 48 peniques. Este puente no ha sufrido nada hasta la fecha. Sin embargo, los hechos siguientes observados por el señor Enrique Budge durante la construccion manifiestan la fuerza de las correntadas que ahí se forman i sus efectos socavadores. Como las aguas estaban obligadas a pasar por los 90 metros de desembocadura del puente, las creces hacian que se arrepresasen hasta tomar 4 metros sobre el fondo, adquiriendo una velocidad superficial que oscilaba de 7 a 10 metros por segundo; los remolinos que se formaban en los costados de



los machones tenian hasta 7 metros de diámetro. Gracias a que el fondo es mas duro que el del rio Tinguiririca, por cuanto es toscoso, sobre todo en su estribo sur, donde está la tosca dura a la vista, la accion de semejantes correntadas i remolinos no lo han deteriorado. El señor Budge tambien observó el hecho siguiente: Apénas concluidas las fundaciones, en una de las creces de verano las aguas formaron un hueco frente al muro delantero del zampeado de 2.5 a 3 metros de profundidad (línea A B C del dibujo) dejando la barrera en descubierto como asimismo el fondo del zampeado, por el cual se escurrian piedras de grandes dimensiones, que, arrastradas por las correntadas, describian toda la trayectoria A B C. Se vé, pues, que las aguas del Teno, forzadas a pasar por una desembocadura de 90 metros, tenian que atacar fuertemente el fondo del rio. Si aplicamos las fórmulas tenemos:

los machones tenian hasta 7 metros de diámetro. Gracias a que el fondo es mas duro que el del rio Tinguiririca, por cuanto es toscoso, sobre todo en su estribo sur, donde está la tosca dura a la vista, la accion de semejantes correntadas i remolinos no lo han deteriorado. El señor Budge tambien observó el hecho siguiente: Apénas concluidas las fundaciones, en una de las creces de verano las aguas formaron un hueco frente al muro delantero del zampeado de 2.5 a 3 metros de profundidad (línea A B C del dibujo) dejando la barrera en descubierto como asimismo el fondo del zampeado, por el cual se escurrian piedras de grandes dimensiones, que, arrastradas por las correntadas, describian toda la trayectoria A B C. Se vé, pues, que las aguas del Teno, forzadas a pasar por una desembocadura de 90 metros, tenian que atacar fuertemente el fondo del rio. Si aplicamos las fórmulas tenemos:



lo que está de acuerdo con las observaciones. La profundidad máxima de socavacion es de 5.43 metros, puesto que el fondo de tosca soporta sin corroerse una velocidad de 1.85 metro por segundo. Por lo tanto, las fundaciones no pueden haber sido amenazadas, puesto que ellas tienen 7 metros de profundidad. Si consideramos las barreras de aguas arriba del zampeado como atacada por una fuerza de socavacion media proporcional, puesto que ahí no se hacen sentir las acciones de los remolinos, tenemos que el máximo de remocion del suelo se hace sentir a 4.31 metro, lo que está perfectamente conforme con la observacion del señor Budge, *que da 3 metros como máximo* desde el plan del zampeado para abajo, los que, sumados con los 2 metros de cascajo superior, nos dan *un máximo efectivo de 5 metros* de accion de arrastre. Es indudable que, dada la dificultad para medir velocidades i estimar honduras, las cifras dadas como observadas por el señor Budge calzan con las de las fórmulas, tanto mas cuanto que en estas entran tambien factores como la velocidad i resistencia de fondo, que tienen que ser estimadas con cierta aproximacion.

Pero debo hacer a este respecto otra observacion que tiene su importancia i que explica perfectamente *el excedente* de 70 centímetros que encontramos con respecto a la media proporcional: 1.º Toda la masa *M* de cascajo que quedó encima del zampeado habia sido removida, i, por consiguiente, *no tenia la consistencia del lecho*: aun, en un caso semejante, creo no debe tomarse en cuenta *como terreno resistente* i, por lo tanto, debe contarse la hondura al partir del plan del zampeado. 2.º La misma escavacion hecha para dejar el zampeado a 2.5 metros bajo el fondo del rio, forma una seccion débil *A B* con la inclinacion del chaffan de las tierras i *que es un plano inclinado de mínima resistencia* i, por consiguiente, los cascajos removidos deben haber sido arrastrados desde el primer momento; i las aguas del grueso de las creces, encontraron ahí *una caída*, a lo largo de ese plano inclinado. Estos hechos, a mi juicio, son una razon poderosa, a mas de la imposibilidad de vijilancia, para creer que, siendo éste un recurso que evita las cascadas de aguas abajo de las barreras de los zampeados, no es de los mas aceptables.

Quizas esas mismas correntadas formadas localmente i con las pendientes de menor resistencia de los cascajos fueron las que provocaron las averías del zampeado del Tinguiririca en las creces pasadas i su caída en la del año 1900, por la imposibilidad de verlas i repararlas.

Ya hemos estudiado el puente como fundacion; pero el rio Teno nos da otra leccion mas i para ponerla en evidencia no tenemos mas que seguir las acciones de sus creces. Los hechos demostraron claramente que todas las aguas del Teno se podian hacer pasar por los 90 metros de puente construidos con tal que ellas no divagasen por el álveo del rio i cambiasen de un punto a otro. En las creces posteriores a 1865, cargándose hácia el norte el rio rompió los terraplenes i formó un nuevo cauce en *E E*. cauce profundo i acanalado que obligó a construir en ese punto un nuevo puente, de 90 metros de luz dividido en tres tramos de 30 metros, pero con fundaciones directas i sin zampeado. Las creces del año 1877,

se cargaron nuevamente al norte, i botaron el tramo *K* del puente *E F*, i rompieron los terraplenes en una estension como de 100 metros en *G H*, al centro, entre los dos puentes, donde se construyó un puente provisional de pilotes de rieles i vigas de madera. Fué la gran crece del 14 de julio de 1877 la que botó el tramo *K*, el que fué recojido posteriormente, acomodado i colocado formando el tramo central del puente de la Vertiente al sur del Maule. Las ferreterías estaban poco maltratadas i no habian sido enterradas en el cascajo del lecho.

Para evitar el ataque de los terraplenes el señor Hillman hizo construir la defensa *A C* i el botador *D* para guiar las aguas hácia el sur, dejando en *C* un espacio libre para dejar pasar las aguas que servian a los regadíos de la ribera norte. Esta defensa hecha con rieles enterrados de 1.5 a 2 metros trabados entre sí con riestres de rieles i relleno el hueco con piedra grande, se debilitó mucho con los robos de rieles i con las creces de los años 1884 i 1885 que arrasaron con ella.

En 1885 se quiso reconstruir la misma defensa hecha por el señor Hillman, pero sin dejar el espacio libre en *C* de manera a obligar a que todas las aguas del Teno pasasen por el puente sur. Apénas concluida esta defensa, se presentó don Emilio Undurraga demandando de obra nueva i mandando romper la defensa en *C* para sacar las aguas de sus canales. Inútil fué que la empresa ofreciese a este caballero hacer por su cuenta la boca-toma de su canal i el trayecto desde la defensa a la ribera, con tal que no rompiese la continuidad de la obra. La defensa fué rota por órden judicial i, por consiguiente, quedando espuesta nuevamente a ser minada por la espalda por las aguas que entraban por el espacio *C*. Fué arrasada i hecha pedazos por el rio como la anterior.

En vista de esta sentencia judicial la Empresa se resolvió a reconstituir definitivamente el tramo caido *K* i todo el puente, el que fué hecho en 1890, i cegar con terraplenes el puente provisional de 100 metros que se mantenía en la parte *G H*. Este estado de cosas se ha mantenido hasta 1900.

Pero en el intervalo de tiempo de 10 años de 1890, en que se construyó un nuevo puente definitivo al norte, en *E F*, colocando el estribo *F* justamente en el mismo punto en que habia sido socavado, el que sostenía el tramo *K* que cayó el año 1877, i tapando el puente provisional *G H*, habiendo desaparecido la defensa *A C*, las aguas del rio han divagado por su caja, ya atacando uno u otro lado o el centro de los terraplenes. Por eso toda la estension *F A*, entre el estribo sur del puente norte i el estribo norte del puente sur, se encuentra enteramente protegida con fuertes enrocados. Las fundaciones *Directas* del puente del Teno Norte (que las examinaremos conjuntamente con las del Teno Sur, por no perder la continuidad) tienen siete metros de hondura i se han mantenido sin la menor novedad. Si recordamos los cálculos hechos con los datos del señor Budge, vemos que, aun pasando todas las aguas del Teno por el puente norte de 90 metros de luz, 100 metros de estribo a estribo, i tomando en él las mismas correntadas observadas en el puente sur, hasta de 10 metros por segundo, i no poniendo en este caso como resistencia de fondo sino 1.50 metros por no tener ahí la tosca tan a la vista, llegamos a una profundidad de socavacion de

$$V_3 = 4.9 \cdot \frac{4.90}{0.874} = 5.60 \text{ m.}$$

Las fundaciones tienen siete metros; luego se encuentran bien fundadas. Pero el decir que se encuentran bien fundadas, no quiere decir que deben dejarse abandonadas a sí mismas. El río canaliza, i puede en esos canales *repetirse su acción socavadora* i botar la mejor fundación.

Por eso, después de las avenidas de 1900, no se puede dejar esas fundaciones abandonadas a sí mismas, aunque los puentes no hayan sufrido directamente con ellas: sería una imprudencia o un descuido, como el que ocasionó la caída del puente de San Francisco del Monte i otros, como lo veremos más adelante. Las mamposterías del Teno norte se han hecho para doble vía, i esta circunstancia hai que tenerla presente para estudiar las defensas de los puentes: por lo demás, las del Teno norte, después de lo que hemos dicho, se comprende que no sean otras que las de restituir los fondos con enrocados de piedras gruesas en los alrededores de los machones, i aun, si se quiere, con bloques. Reponer al pié de los terraplenes la piedra que se ha rodado o sumerjido con la acción de las aguas. Pero, tratándose del Teno sur, la cosa cambia: no está a la vista el zampeado i nadie puede garantizar su estado actual; i, por otra parte, si se hace un trabajo para descubrirlo i componerlo i ensanchar las mamposterías para colocar el puente de doble vía, conviene entónces reconcentrar los trabajos i tomar las medidas siguientes:

En el Teno sur:

I.—Prolongar los estribos i machones aguas arriba, para que sirvan a la doble vía, profundizando sus fundaciones a ocho metros bajo el emplantillado del puente actual (puesto que el plan del emplantillado unido con planos inclinados al resto del lecho puede provocar socavaciones anormales.)

II. - Colocar una barrera de bloques de grandes dimensiones de dos metros de profundidad i medio metro de ancho, a cinco metros aguas arriba de la prolongación, i zampear con una capa de bloques de un metro de espesor el espacio comprendido entre esa barrera i el muro de defensa de las fundaciones actuales.

III.—Colocar bloques iguales a los anteriores, en forma de faja, a 10 metros aguas abajo del muro de defensa de las fundaciones actuales i zampear, con bloques de un metro de espesor, el espacio comprendido entre esa barrera i el mencionado muro.

IV.—Construir, además, un espigón, aguas arriba, inmediato a la prolongación del estribo norte, para dirigir las aguas de un modo normal hácia el puente.

En una palabra defensas semejantes, i por las mismas consideraciones que las que se necesitan para el Tinguiririca.

La superestructura del puente del Teno norte, es compuesta de tres tramos independientes, sistema Monhier, sin el primer montante. Es un tipo sencillo i muy económico. Los montantes A. A. de cada una de las vigas maestras están formados con cuatro escuadras i un palastro central i tienen la forma de pieza de igual resistencia. El tipo se distingue por la poca sección que presenta a la

accion del viento, i como los terreplanes de acceso al puente se ven atacados por el rio, es preciso en el Teno norte construir un espigon aguas arriba, apoyado en cada uno de los estribos norte i sur para normalizar las corrientes, i completar los enrocados con bloques i piedra suelta alrededor de los machones i estribos, para restituir el lecho del rio i prevenirse contra canalizaciones posibles en creces futuras.

PUENTE DEL CLARO EN EL YUMBEL.—Otro de los casos de fundacion con zampeado jeneral, que merece estudio, es el del puente del Rio Claro en Yumbel, ubicado en la línea del ferrocarril del sur entre las estaciones de Yumbel i Turquía, i que gracias a la amabilidad del ingeniero don Francisco Sayago puedo dar dato scompletos.

Con la idea arraigada que tenia el ingeniero en jefe, señor Poisson, que los rios chilenos, por la corta de los bosques, etc., etc., se iban secando o, por lo ménos disminuyendo en sus caudales, de una manera progresiva, idea que él la espresaba diciendo: "El desierto camina hácia el sur," se construyó el puente del Rio Claro en Yumbel, rio que tiene un gran campo de inundacion, atravesando estos campos con terreplanes de arena i dejando un puente de 80 metros de largo de estribo a estribo, dividido en siete claros de 10 metros de luz cada uno, o sea con una desembocadura lineal efectiva de 70 metros. El puente era de albañilería, con arcos elípticos; los machones i estribos estaban fundados sobre pilotes de madera plataformas o emparrillados, sobre las cuales se levantaban las albañilerías. Los pilotajes tenian 3,50 metros de profundidad i el emparrillado estaba a 0,50 metro bajo el fondo de arena del rio. Las fundaciones fueron protegidas con un zampeado jeneral con dos barreras de pilotes i tablestacas colocadas a 9,50 metros uno de otro i formando un cofre, por decirlo así, que impedia el arrastre de las piedras del zampeado, de fondo de 1,50 metro de espesor. Los machones tenian 4,60 metros de alto i las aguas máximas subieron a 3,50 metros sobre el zampeado. El emparrillado de la plataforma de los machones estaba unido con el tablestacado de aguas arriba, prolongando las rastras que servian de cabezales a los pilotes de la fundacion.

Este puente se cayó *íntegramente* el 1.º de agosto de 1873 a las nueve i media de la mañana. El señor Poisson atribuyó la ruina del puente a la reunion de dos brazos del rio, en la parte de aguas arriba, aumentando así el caudal de las aguas formándose remolinos que socavaron la proteccion o barrera del zampeado. Por lo demas se constató perfectamente que los pilotes *no habian alcanzado el terreno sólido*, como pudo comprobarse por el estado de las puntas de fierro de los pilotes que se recojieron despues de esta catástrofe. Como se vé, era evidente que, habiéndose restringido el campo de inundacion, tenian que venir perturbaciones en el régimen del rio, como las que se notaron, la de la union de dos brazos que ántes corrian por separado; i, por otra parte, que no podian *ser seguras, fundaciones hechas sobre terrenos arenosos con sólo cuatro metros de profundidad*, para rios cuyas aguas máximas suben de 3 a 3,5 metros sobre el fondo. Cualquiera que

haya visto con detencion el movimiento de las arenas del Bio-Bio, *los remolinos naturales* que se forman con sus arenas, calculará que la construccion del señor Poisson fué defectuosa i debida esclusivamente a esa idea tenaz de dicho ingeniero, de que la corta desatinada que se hace de los bosques del sur, traeria como consecuencia la sequía de esos rios, o, por lo ménos, que quedarian reducidos al carácter de *esteros*.

El terreno en el punto donde se ha construido el puente del Claro de Yumbel tiene roca a la vista (laja esquisitosa) en el estribo sur i primer machon; pero ésta baja rápidamente, de tal manera, que en el otro estribo del puente primitivo, o sea a los 80 metros, no se ha encontrado a lós 10 metros de profundidad. Por otra parte, los terraplenes de arena que sirven de acceso a la línea férrea por el lado del norte sufrieron i fueron en parte destruidos por las creces.

Todas estas indicaciones eran bastante claras para hacer ver la solucion que convenia para la reconstruccion del puente caido. Pero, como el señor Poisson creyó que, a pesar de todo, la desembocadura del puente era suficiente, por cuanto las aguas máximas de las creces sólo habian subido 0.50 metro mas arriba del nacimiento de las bóvedas del puente i éstas tenian 3 metros de montea i, por consiguiente, que habia bastante espacio libre para que cupiesen las aguas, aún de creces mayores, ordenó su reconstruccion, dándole el mismo largo i el mismo número de claros, pero quitando las bóvedas i poniendo superestructura de madera, con vigas armadas, para dejar así toda la seccion libre aun a mas de 3.50 metros de alto i sus fundaciones fueron hechas, podria decir, no sobre un zampeado jeneral, sino sobre escolleras, como vamos a verlo.

El zampeado fué formado por un fuerte enrocado de 4 metros de profundidad dándole a la superficie entre machon i machon una forma cóncava, poniendo las piedras escojidas sobre una capa de concreto de 1.80 metro junto a los machones i 1.50 metro al centro. Este enrocado, que parece mas una escollera que un zampeado i que sólo tiene de talla parte acomodada a mano para formar la superficie cóncava del fondo fué protegido aguas arriba i aguas abajo por una fila de pilotes de madera, puesta de lado a lado.

El año 1891 se ordenó el reemplazo de los pilotes de madera por otros de rieles con riostras de rieles. El pilotaje que limitaba el zampeado aguas arriba estaba a 8 metros de distancia de los machones i el de aguas abajo a 15 metros. Este cambio de pilotes fué terminado en 1893 i fué bien ejecutado. El puente se mantuvo bien, exijiendo naturalmente las reparaciones i atenciones corrientes, hasta el 29 de agosto de 1899, en que cayeron 4 tramos del puente, como lo muestra el cróquis. Los sucesos pasaron de esta manera: dias ántes del 29 de agosto el rio se cargó sobre los terraplenes del lado norte amenazando cortarlos a mas de 150 metros de distancia del puente. El señor Sayago ordenó entónces vaciar unos cuantos trenes de piedra i así pareció conjurado todo peligro el 23 de agosto. Lluvias posteriores dañaron los terraplenes de arena i entónces constantemente se tenia que estar defendiendo ya un punto, ya otro. El temporal arreció en los dias 26, 27 i 28 i ya los terraplenes de arena se sentaban i ajitaban, hasta que

en la mañana del 29 fueron arrastrados totalmente en mas de 200 metros de estension; despues de esto tuvo lugar tambien la socavacion del zampeado del puente en los cuatro tramos mas hácia el norte. Cayó el puente porque faltando proteccion suficiente a los terraplenes que obligan a las aguas a venir a buscar la desembocadura del puente, éstos fueron rotos i entónces las aguas pudieron averiar el zampeado del puente. Para atender el tráfico se construyó inmediatamente un puente provisional en todo el trecho donde se encontraban cortados los terraplenes. con pilotes de rieles i madera. Este puente tambien cayó, pero no por socavacion de sus cepas, sino por quebradura de una de ellas, por su excesiva altura, sin tener las amarras i arriostramiento del caso.

Tales son los hechos que han pasado en el Claro de Yumbel. Veamos ahora cómo deberá reconstruirse este puente. Es evidente que si hacemos el cálculo del agua caída en la hoya hidrográfica del Rio Claro i no hubiese mas que *ese factor en juego* al tratar de la desembocadura del puente, los 80 metros serian suficientes para dar paso a las mayores creces como la práctica lo ha demostrado, con tal que se defienda bien el fondo arenoso del rio, como se habia defendido en la última fundacion.

Para comparar estos datos prácticos con las indicaciones de las fórmulas, ya que no se pudo observar oportunamente la corriente de las creces, tenemos los datos siguientes. La actual máxima de las aguas sobre el fondo fué de 3.50 metros; i la pendiente jeneral del rio en ese punto es de 1.46 por mil Determinando la velocidad media por la fórmula $h_1 = 5 v^2$, tenemos:

$v = 1.85$ i, por consiguiente, como velocidades superficiales i de fondo:

$$v = 2.31 \text{ i } v_1 = 1.50 \text{ m. } v - v_1 = 0.81 \quad \frac{0.81}{3.50} = 0.23$$

La arena del claro es arrastrada con 0.30 metro por segundo, o sea $v_2 = 0.30$,

de donde $v_3 = 1.5 - 0.30$; $v_3 = 1.20$ i $h_1 = \frac{1.20}{0.23} = 5.22 \text{ m.}$

$$h_1 = \sqrt{1.2 \times 3.5} = 2.05 \text{ m.}$$

Luego las fundaciones del primer puente hecho por el señor Poisson con 0.50 metro de concreto i pilotes de 3.5 metros, o sean 4 metros de profundidad total, no era raro que fueran atacadas i destruidas tan pronto como se dislocó el zampeado i el puente fuera destruido por completo, puesto que los remolinos de los machones podian hacerse sentir hasta 5.22 metros. El segundo puente aguantó por cuanto ellos se encontraron contrarrestados con el fuerte enrocado de 4 metros; i el movimiento de las arenas sólo se hace sentir hasta los 2 metros, es decir, estaba contrarrestado tanto por el espesor mismo del enrocado de fondo como por el pilotaje. Sólo cayó cuando la rotura de terraplenes ocasionó correntadas de otra naturaleza.

Luego, para reemplazar el puente provisional de 280 metros que se hizo para restablecer el tráfico, se presentan dos soluciones.

O bien reconstruir el antiguo puente con su zampeado, como así mismo los terraplenes arrastrados, lo que seria costoso, sobre todo para la defensa de los terraplenes de arena; o bien alargar mas el puente i hacerlo con cuatro tramos metálicos de 50 metros de largo cada uno, con estribos de albañilería i machones de tubos de ferretería que vayan a buscar su apoyo a mucha hondura i aun en la roca en parte del lecho. El nuevo puente parece mas conveniente ponerlo aguas abajo del provisorio, para que los nuevos terraplenes quedaran defendidos con todos los existentes de los antiguos.

Otra de las razones que hai para preferir esta segunda solucion i aumentar la desembocadura del puente, es que las aguas del Claro, en ciertas ocasiones, son arrepresas por las del Laja. i en estos casos los campos de inundación forman como estanques cuyas aguas se precipitan con cierta violencia inmediatamente que el nivel del Laja baja despues de la crece. El aumento de desembocadura favorece estas circunstancias evitando las correntadas debajo del puente.

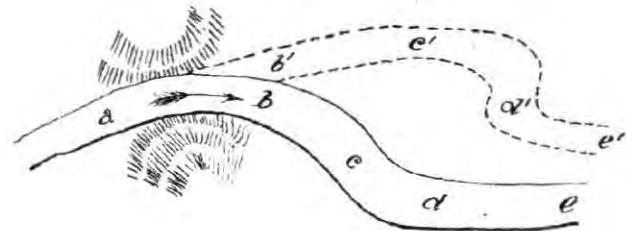
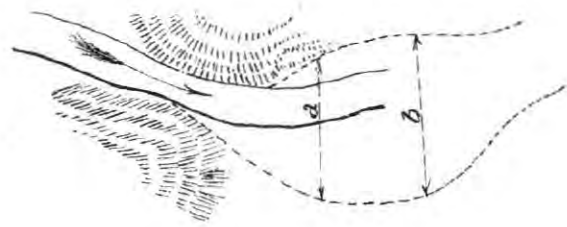
ANEXO

Velocidades de arrastre dadas por las observaciones de los señores DuBuat i Telford:

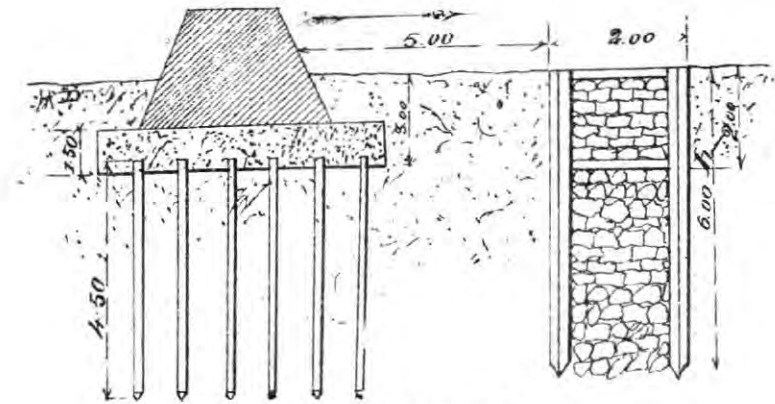
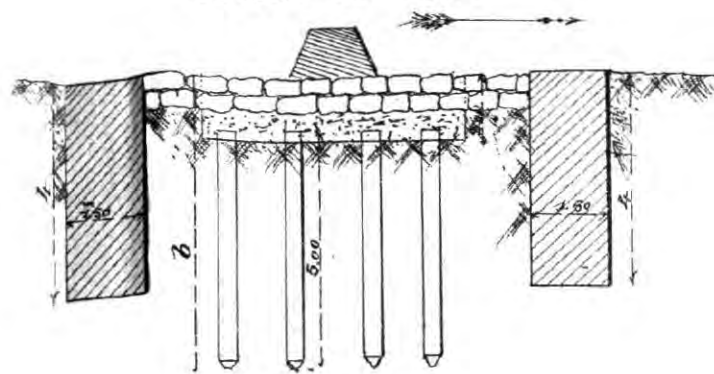
	Velocidad de fondo en metro por un l. ^o
Tierra suelta.....	0.076
Arcilla parda propia para la cerámica	0.081
Arcilla blanda.....	0.152
Arenas depositadas por las arcillas de la cerámica.....	0.162
Arenas del Sena del grosor de un grano de anís.....	0.108
„ „ del tamaño de una arveja.....	0.189
Arena corriente.....	0.305
Gravas del Sena	0.325
Gravas corrientes finas.....	0.609
Gravas de 0.025 metro de diámetro máximo.....	9.650
Gravas gruesas	0.914
Gravas de piedra angulosa de fusil, del tamaño de un huevo de gallina	0.975
Piedra chancada	1.220
Grava aglomerada o esquita blanda.....	1.520
Rocas en capas o gravas de grandes dimensiones	1.830
Rocas duras.....	3.950

DOMINGO V. SANTA MARÍA

Ingeniero civil i de minas.

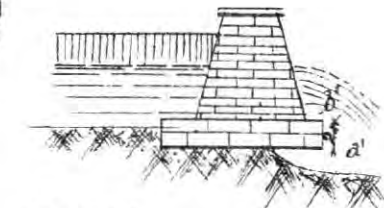
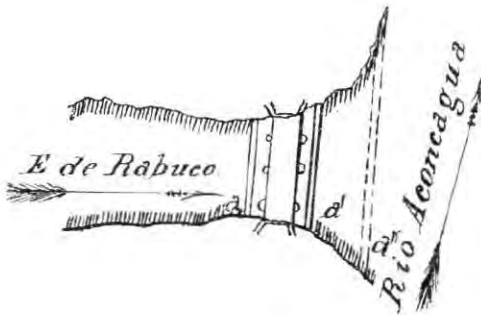
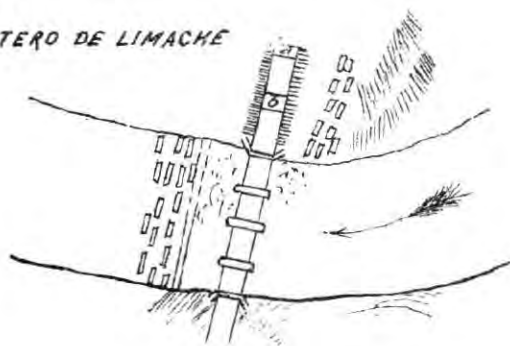


ESTERO DEL SALTO

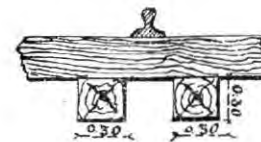


CUCHARAS

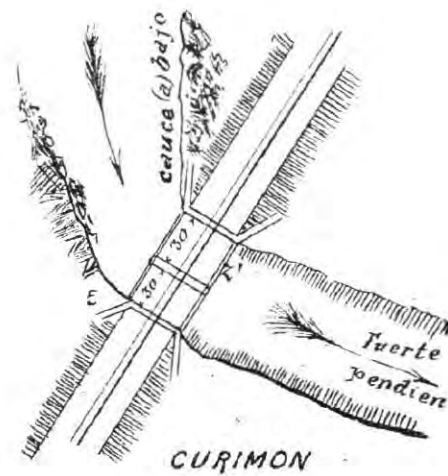
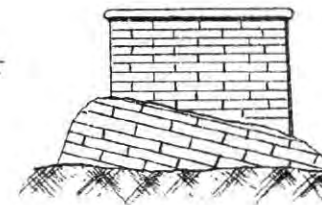
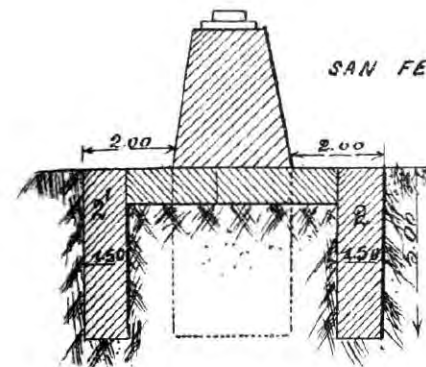
ESTERO DE LIMACHE



RABUCO

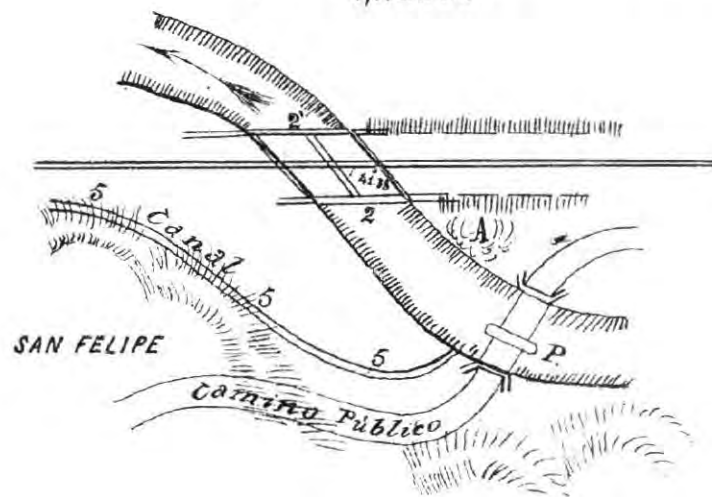
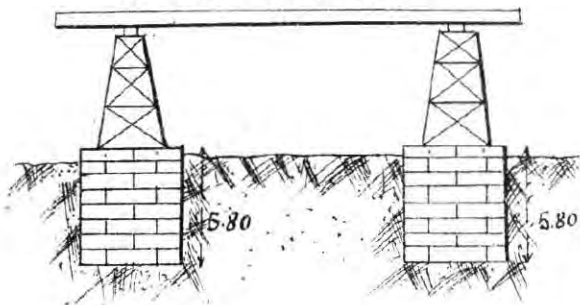


SAN FELIPE



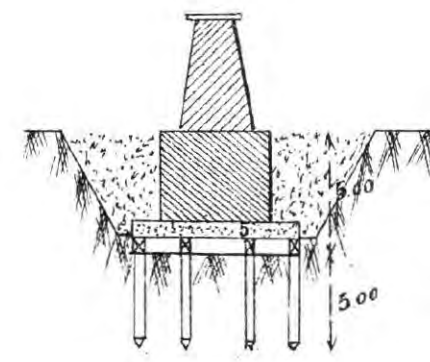
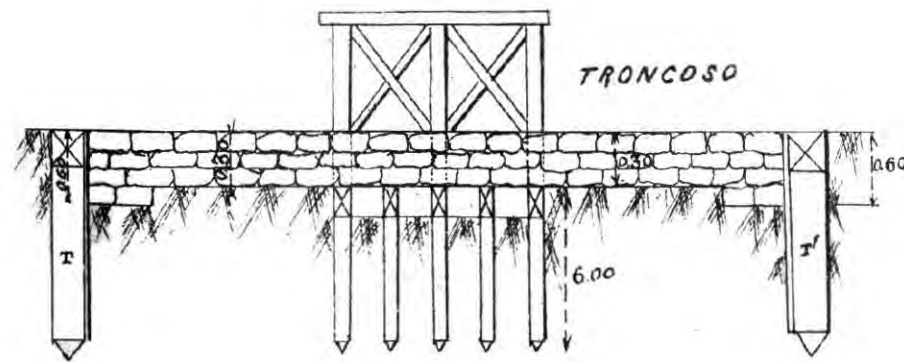
CURIMON

ESTERO DE LAMPA

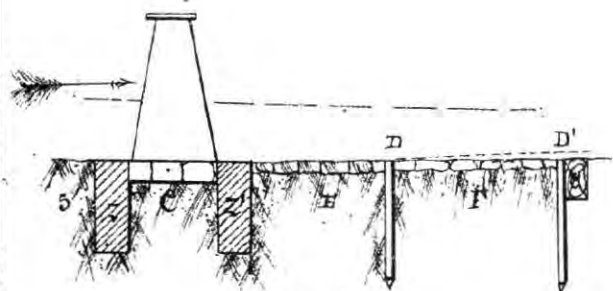


SAN FELIPE

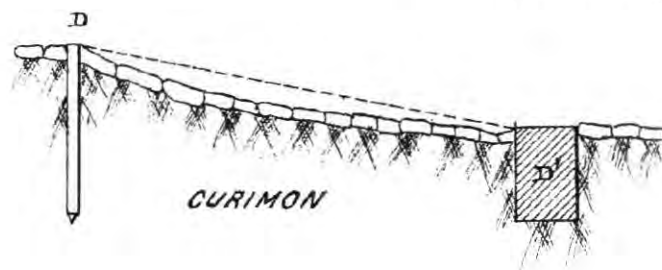
TRONCOSO



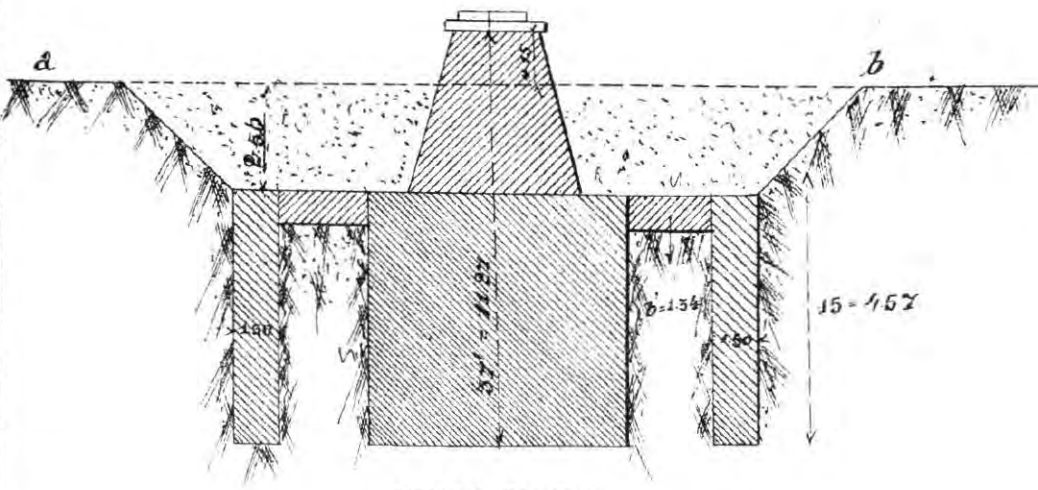
TRONCOSO



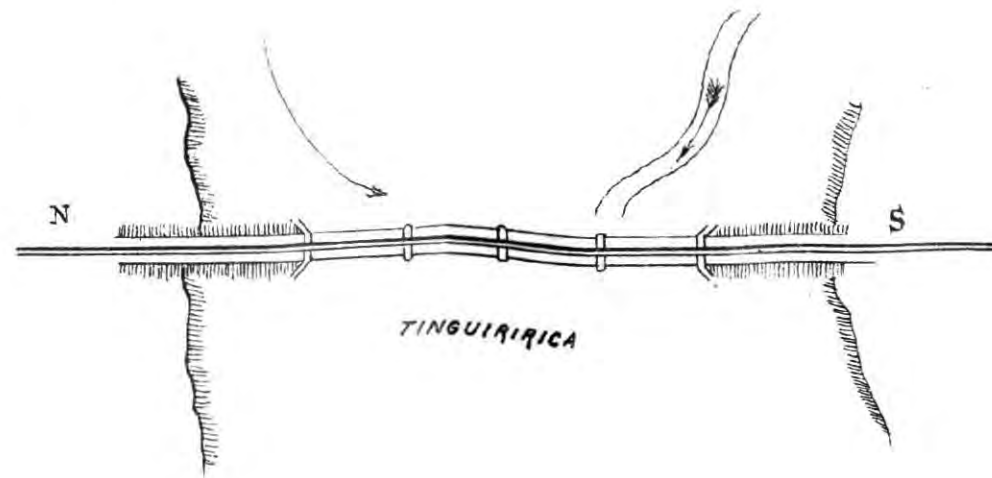
CURIMON



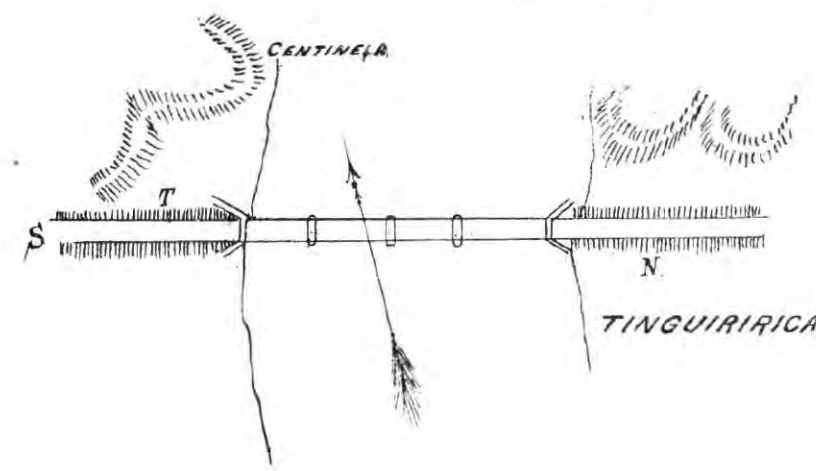
CURIMON



TINGUIRIRICA



TINGUIRIRICA



TINGUIRIRICA

