
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

SUMARIO.—Monografía del puente carretero del Maule (continuacion), por Domingo V. Santa Marfa.—Aeronáutica (conclusion), por Roberto Rengifo.—Teoría elemental de la bomba centrífuga elevatoria (conclusion), por Máximo Dorlhac.—Actas.—Bibliografía.—Revistas recibidas.

MONOGRAFÍA DEL PUENTE CARRETERO DEL MAULE.

(Continuacion).

V.

Resuelto, como hemos dicho, a fines de 1882, despues de iniciados los trabajos del puente del ferrocarril, que el puente carretero deberia serle acoplado, i, por consiguiente, que teníamos que hacer estensivas las fundaciones i las mamposterías de los machones i estribos para recibir conjuntamente las dos superestructuras, se nos presentó el siguiente problema que resolver:

¿Cuál seria la disposicion de los machones que nos condujese al mínimum del cubo de mampostería?

Varias formas fueron estudiadas i creo inútil entrar a disertar sobre los motivos que tuvimos para rechazar varias de las que, a primera vista, parecian las mas adecuadas i sólo me concretaré a justificar la disposicion adoptada que en la práctica ha dado muy buenos resultados.

Los machones de los puentes se construyeron, como lo muestran los diseños que se adjuntan (figs. 1 i 2). Bajo la línea *A B*, que es de fondo nuevo, se proyecta un macizo rectangular de mampostería de 6 metros de profundidad, con 3.^m 60 de ancho por 18 metros de largo.

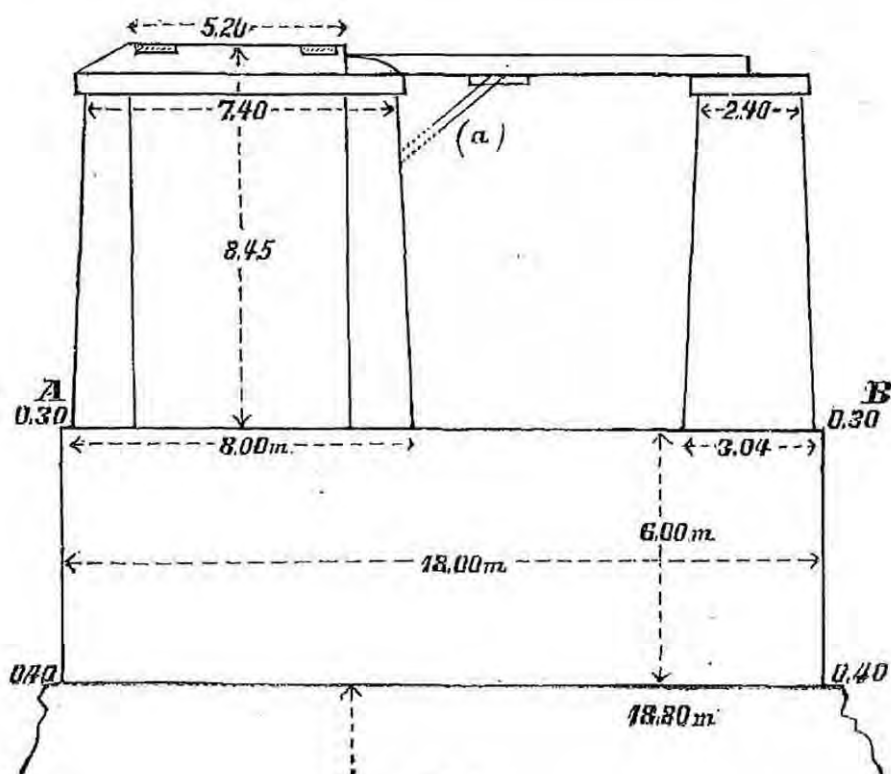


FIG. 1.

Si a los 6 metros bajo fondo nuevo (punto mas bajo del perfil del rio) no se encontraba suelo firme, se continuarían las fundaciones hasta el suelo firme, habiendo aumentado las dimensiones del macizo con un realce de 0.^m 40 i quedando, por consiguiente, con 18.^m 80 de largo por 4 metros de ancho en su seccion horizontal. Llegado a suelo firme, se emparejaria con una capa de concreto de 0.^m 50 i sobre ella se construiría la mampostería.

Sobre el nivel *A B* de fondo nuevo, los machones se componen

drian de dos cuerpos diferentes, tanto en su forma como en sus dimensiones.

El cuerpo del machon destinado a soportar la superestructura del puente del ferrocarril tiene la forma corriente de esta clase de construcciones, es decir, la forma de un tronco de pirámide cuyas estremidades se han redondeado: con 8.^m 45 de alto i 8 metros por 3 metros en su seccion inferior o en el plano A B, por 2.^m 40 i 5.^m 20 en su seccion superior al nivel de las planchas de asiento de la superestructura, teniendo 7.^m 40 de largo a la altura de la corniza, que es donde principian los conos de aguas arriba i aguas abajo. El puente carretero deberia estar apoyado por un lado en el *cono poniente* del machon del puente del ferrocarril, i por el otro lado, en una columna tronco-cónica de mampostería, que se construiría en el otro extremo de la fundacion i que tendria 3.^m 03 de diámetro en su base al nivel del fondo nuevo, por 2.^m 40 a la altura de las planchas de asiento. Quedando, por lo tanto, un hueco entre el machon del ferrocarril i la columna al nivel del fondo nuevo.

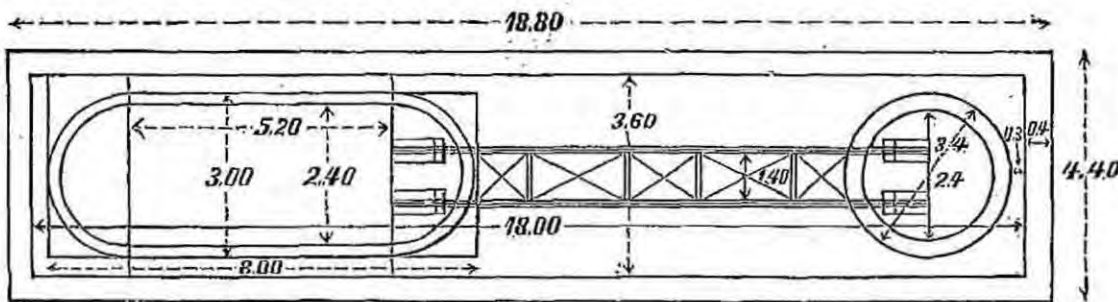


FIG. 2.

Esta disposicion ha dado un espléndido resultado en la práctica; las columnas no han determinado ninguna tendencia a socavacion, por el contrario, la tendencia jeneral que tienen las aguas de provocar embancamientos a continuacion de los conos de aguas abajo de los machones, i que se ha notado tambien en los machones del puente del ferrocarril, no ha sido contrarrestada ni alterada por la presencia de las columnas a unos cuantos metros atrás de dichos

conos, ni han provocado tampoco tendencias a socavaciones en sus alrededores, por consiguiente; la disposición, como he dicho, es ventajosa i económica i la práctica la ha sancionado.

Para determinar las dimensiones de la columna de mampostería, era preciso determinar los empujes que recibiría de las aguas del río, i con ese objeto determiné la velocidad del río. Como no me fue posible operar en sus grandes creces, operé en una de sus creces medias el 17 de Diciembre en las condiciones siguientes:

El nivel del agua en el brazo central, que era el mas caudaloso i el mas correntoso, estaba sólo 0.^m 40 mas bajo que el nivel del riel del puente provisional: la distancia entre las dos secciones de observacion no la pude hacer mayor de 33 metros por los codos i revueltas de los diferentes brazos de la corriente, el tiempo que emplearon los cuatro flotadores de que pude disponer fueron los siguientes:

1.º.....	11''	} tiempo medio, 10 segundos.
2.º.....	10	
3.º.....	10	
4.º.....	9	

Por consiguiente, la velocidad del río era de 3.^m 30 en la superficie i en el hilo del agua. En esas condiciones la velocidad media era próximamente 2.^m 64 por segundo i la velocidad del fondo 1.^m 65 por segundo.

Aunque para algunos, *prima facie*, pueda parecer pequeña la velocidad de 3.^m 30 observada en esa crece media del río, ella es bastante fuerte si se tiene presente que una velocidad de esa naturaleza carcome las barrancas i provoca el arrastre de piedras de grandes dimensiones i provoca la formación de torbellinos de tal naturaleza que por terrentoso que sea un río, su velocidad máxima casi no pasa de 5 metros por segundos en ningún caso i de todos modos la observacion anterior serviría de punto de partida para los cálculos que se necesitaba hacer para determinar el diámetro de las columnas i que fueron los siguientes:

A = Su superficie espuesta al choque de las aguas = 16.32 m^2 .

π = peso específico del agua = 1,000 kilogramos el metro cúbico.

U = Velocidad media del agua, supuesta igual a 7 metros por segundo, para quedar sobre toda observacion que da como máximo para torrentes 5 metros i tomar en cuenta de esa manera el choque de los cuerpos flotantes o piedras que arrastre el rio.

g = gravedad = 9.8 m/s^2 .

ϕ = empuje del agua.

0.57 = coeficiente por ser redonda la superficie espuesta al choque de las aguas i tendremos:

$$\phi = 0.57 \frac{1,000}{9.8} \cdot 16.32 \times 7^2 = 46,711.43 \text{ kilógs.}$$

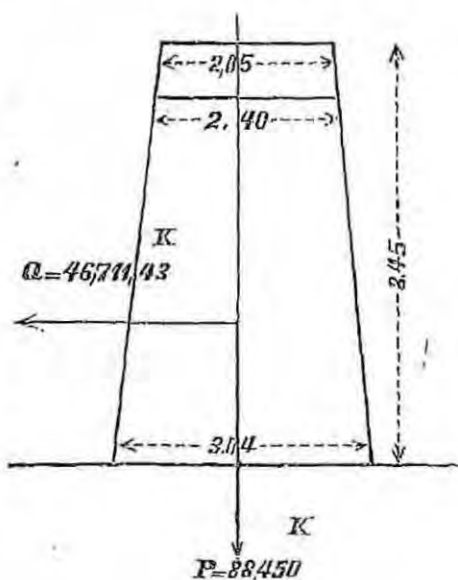
Si sólo suponemos una velocidad media de 5 metros por segundo, tendremos $\phi = 23,730.24$ kilogramos.

Suponiendo la densidad de la mampostería igual a 2,000 kilogramos por metro cúbico, tenemos para la columna un peso de 88,450 kilogramos; i si tomamos como densidad la de las tablas, es decir, 2,200 kilogramos por metro cúbico, tendremos como peso de la columna 97,295 kilogramos.

Sumándole el peso de la superestructura del puente, que por medio tramo es de 22,500 kilogramos, tendremos como peso total que soporta la base de la columna el de 119,795 kilogramos.

Como se ve en la figura, construyendo la resultante de las fuerzas, ella cae siempre dentro de la base de la columna, i como el rio no tomará una velocidad media mayor de 7 metros por segundo, su estabilidad quedará siempre asegurada.

Como se ve, todo el peligro sería la viradura de la columna alre-



dedor de una arista i tomando los momentos con relacion al punto mas desfavorables, tenemos:

$$\text{momento solicitante} = 46,117.43 \times 2.8 = 129,128.804$$

momento resistente: primer caso

$$\text{columna sola i densidad de mampostería} = 2,000 \text{ kilógs.}$$

$$\text{el m.}^3 = 88,450 \times 1.5 = 132,675.000$$

$$\text{excedente del momento resistente} = 3,546.196.$$

Pero este caso es extremo en los dos sentidos mas desfavorables, se toma como velocidad máxima, *media*, una mayor que las máximas superficiales admitidas para torrentes con lechos que tengan 0.^m 01 por metro de pendiente media de fondo como tiene el Maule, i se toma como densidad de mampostería sólo 2,000 kilogramos por metro cúbico. Por consiguiente es una hipótesis para considerar simplemente si en un caso extremo i momentáneo, puesto que una crece que tomase esa velocidad no podria durar mucho tiempo, aunque las mamposterías trabajen a la estension, en una de sus aristas, la resultante de los esfuerzos no sale fuera de la base de la columna (aunque no tenga el peso de la superestructura del puente encima lo que no es lójico) i por lo tanto su estabilidad está asegurada.

Como las columnas deberian quedar sin el peso de la superestructura durante algun tiempo i tendrian que soportar, por lo tanto, mas de una crece en estas condiciones, el estudio del segundo caso, es decir, velocidad media de 5 metros por segundo, era realmente importante, en estas condiciones tenemos:

$$\text{momento resistente} = 88,450 \times 1.50 = 132,675.000 \text{ kilógs.}$$

$$\text{momento solicitante} = 23,730 \times 2.8 = 66,424.000$$

$$\text{excedente del momento resistente} 66,251.00$$

Ahora, si en este mismo caso tomamos como densidad de la mampostería 2,200 kilogramos por metro cúbico, tendremos las cifras siguientes:

$$\text{Diámetro inferior} = 3.^m 04.$$

$$\text{Radio id.} = 1.^m 52.$$

$$\text{Superficie} = 1.52^2 \times 3.14 = 2.31 \times 3.14 = 7.25 \text{ m.}^2.$$

Peso de la columna con densidad superior de 2,200 kilogramos = 97,295 kilogramos.

Peso con la superestructura del puente 119,795 kilogramos.

Al nivel de fondo nuevo sería de 5 kilogramos por centímetro cuadrado, suponiendo la columna con la densidad de 2,200 kilogramos i el peso de la superestructura del puente encima, adoptamos este tipo para los machones.

Los estribos nos permitian hacer economías en las mamposterías por cuanto, teniendo que servir de muros de contencion de las tierras de los terraplenes de acceso, sus dimensiones son impuestas por estas circunstancias.

VI.

Determinada la forma de los machones i ántes de que se concluyeran las últimas desviaciones del rio, el 3 de febrero de 1883, se principiaron las escavaciones del estribo norte i del machon número 1 situado a 50 metros de centro a centro, al sur del anterior.

Ante todo, teníamos que determinar qué clase de suelo firme fijábamos para el fondo de las fundaciones, i para ello sirvieron tambien como indicacion jeneral las observaciones de la corriente que practiqué el 12 de diciembre. Ellas nos habian dado como velocidad probable del fondo en las creces medias 1.^m 65 por segundo, velocidad capaz de socavar los conglomerados i rocas esquistosas de mediana dureza; con 1.^m 80 por segundo son socavadas las rocas estratificadas; las rocas duras con tres metros por segundo.

Luego, no debíamos trepidar, teníamos que llevar las fundaciones hasta rocas duras, que resistiesen a la erocion del agua por lo ménos con velocidades de dos metros por segundo; tal fué nuestra *desiderata* a este respecto.

La escavacion del estribo norte marchó con toda felicidad, i con gran sorpresa descubrimos a los cuatro metros de profundidad una capa de conglomerado mui resistente que vino a salvarnos una gran dificultad en las fundaciones, puesto que, pudiendo fundar di-

rectamente en suelo firme, se hacia inoficioso construir el costoso emplantillado que habíamos proyectado, por no contar en el proyecto con otro suelo que el cascajo de acarreo.

La escavacion del estribo fué llevada a término con entera felicidad hasta empotrarnos 2.^m 50 en la capa de conglomerado. Los trabajos de mampostería comenzaron sin contratiempo alguno el 15 de abril i siguieron sin tropiezos hasta su terminacion. No nos cupo la misma suerte con la escavacion del machon número 1 principiada conjuntamente con la anterior. La abundancia de filtraciones motivó continuos retardos i la capa de conglomerado sólo la encontramos a los 6.^m 50 de profundidad. Para evitar los derrumbes continuos de la capa de cascajo que se encontraba encima del conglomerado, fué forzoso enmaderar la escavacion. Las filtraciones en su máximum nos exijieron el trabajo constante de dos bombas centrífugas de 225 milímetros de diámetro en el tubo de repulsion. Medida el agua que arrojaban en esas condiciones, dió 170 litros por segundo para cada una de ellas.

Sólo el 27 de abril se principiaron las mamposterías, las que se empotraron metro i medio en el conglomerado, porque ya a esa hondura tenia mucha homojeneidad i consistencia. En estas circunstancias fuimos sorprendidos por la avenida del 5 de mayo de 1883, que nos interrumpió la escavacion del machon número 1, cuando sólo habíamos alcanzado a ponerle el concreto i levantar las mamposterías de 0.^m 60. Las pérdidas que nos ocasionó esa avenida las avaluamos en \$ 3,000, incluyendo la escavacion i demas deterioros, por cuanto las enmaderaciones de la escavacion no fueron maltratadas sino que la escavacion se rellenó con cascajo i arena que fué fácil sacar despues; i como las instalaciones de las bombas centífugas eran todas seucillas i lijeras (castillos de durmientes i unas cuantas vigas de pino) pudimos desarmarlas oportunamente conforme se inició la crece, quedándonos solamente en el rio uno de los motores de 12 caballos de fuerza, que no hubo tiempo de sacarlo i fué arrastrado por la crece i maltratado.

Durante el resto del mes de mayo hasta junio se continuaron

los trabajos de mampostería del estribo norte hasta su conclusion i los muros de sostenimiento de las rampas de acceso del camino carretero, anexo al mismo estribo. Se prepararon los andamios o caballetes que nos debian servir para poner la vía provisional en que íbamos a construir el terraplen de acceso de la línea del ferrocarril i gran parte de la rampa del puente carretero, trabajo que se comenzó el 5 de julio i se continuó hasta fines de agosto; sacándose el lastre para estos terraplenes de la misma caja del rio, con una línea auxiliar que construimos hasta las canteras, situadas a dos kilómetros del puente. La rampa de empalme de esta línea provisional tenia \pm por ciento de gradiente i su empalme se hizo con una curva circular de 150 metros de radio, por no permitirnos mas el terreno. En estas condiciones, la locomotora de tres ejes acoplados, que teníamos al servicio del tren lastrero, tomaba impulso en la parte plana de la línea i subia con un tren compuesto de 10 carros cargados, como máximum. Los carros eran del tipo corriente de carros que cargan 10 toneladas, a los cuales les habíamos puesto bordes de 0.^m 60 de altura con tablones, para que no despararramaran el lastre en la subida, puesto que la curva de empalme tenia una alza bastante pronunciada, dado su corto radio, i la velocidad con que era recorrida, puesto que el tren lastrero tomaba siempre una velocidad de mas de 35 kilómetros para pasarla.

En agosto se reanudaron los trabajos en la caja del rio, abriendo la escavacion del machon número 1, que habia sido cegada, cuyas mamposterías pudieron concluirse sin tropiezo el 1.^o de setiembre, a pesar de haber tenido que vencer copiosas filtraciones.

En agosto del 83, se comenzaron tambien las escavaciones de los machones de la isla, es decir, los números 5, 6 i 7, i el 6 de octubre dió principio a la mampostería del machon número 7: el 18 del mismo mes se principiaron las escavaciones del estribo sur del puente. La escavacion del machon número 5 fué suspendida poco despues de iniciada, cuando tenia sólo tres metros de hondura, por falta de bombas i motores; el exceso de filtraciones del machon número 6, que estaba mas espuesto que el número 5 a ser maltratado

por una crece, nos hizo levantar las bombas del machon número 5 para ponerlas todas en la escavacion del 6. Sólo en enero de 1884 se pudo principiar la escavacion de este machon, que exijió mas trabajo que todos, tanto por sus filtraciones como por lo delesnable de la capa de cascajo que estaba encima del conglomerado, exijiéndonos una enmaderacion costosa para sujetar los derrumbes: a mas de eso fué la escavacion que demandó mas profundidad para encontrar la capa de conglomerado i empotrarnos en ella un metro.

La capa de conglomerado fué encontrada a los ocho metros i a esa hondura las bombas estaban con el máximum que permitia su trabajo por aspiracion; como tuvimos que bajar mas, vinieron las complicaciones de agregar tubos de repulsion a la salida de las bombas centrífugas en algunas de ellas, i en otras ahondar los canales del desagüe. En esta escavacion funcionaron tres bombas constantemente desde que se alcanzó a cinco metros bajo fondo nuevo.

El 4 de febrero se comenzó la mampostería en el machon número 5, sin haber tenido tropiezo en sus escavaciones.

Para atacar las escavaciones de los machones que faltaban, necesitaban desviar nuevamente las aguas del rio, i el 1.º de febrero de 1884, se principió a trabajar un canal para el desvío de las aguas i el 15 de ese mismo mes se puso trabajo en los nuevos tacos, hechos con piedra de rio i fajina, para echar las aguas por otros brazos. En estas circunstancias, mi compañero Vivanco se retiró de la direccion de estas obras para ir a prestar sus servicios en el puente de Longaví i otros.

Los tacos del canal de desvío se concluyeron el 26 de marzo i el 27 se principió la escavacion del machon central número 4 sin gran tropiezo a pesar de la abundancia de las filtraciones i el 7 de abril se pudo dar principio a la obra de mampostería. En esta escavacion, que exijió la instalacion de cuatro bombas, aunque ocasionó ménos trabajos que la del machon número 6, medí nuevamente el volúmen de agua que arrojaban las bombas, i encontré los siguientes resultados: Bomba, marca *Invencible*, 250 milímetros de diámetro, en su

tubo de salida; trabajando el motor de 10 caballos de fuerza con 65 libras de presión i teniendo el tubo de aspiración 7 metros de altura desde el canastillo hasta el eje de la centrífuga i el de repulsión sólo un metro, no andando el motor con toda la carrera que podía desarrollar, dió un volúmen de 160.5 litros por segundo, lo que confirmó que esta bomba, trabajando el motor con toda su carrera, daba los 200 litros por segundo que garantizaron cuando se compró.

La bomba trabajada en la fábrica Lever, Murphy i Ca. de Valparaíso, también de 250 milímetros de diámetro en su cañon de salida, movida por motor de 10 caballos de fuerza, que trabajaba con 65.070 libras de presión. Teniendo el cañon de aspiración 7.^m 20 entre el canastillo i el eje de la bomba, i trabajando el motor con carrera normal, dió un rendimiento de 142 litros por segundo; advirtiéndole que esta bomba tenía una de sus paletas quebradas, faltándole como un cuarto de su largo, a causa de una piedra que pasó el canastillo i fué aspirada: por consiguiente, aun así, en las condiciones en que estaba, era capaz de dar los 200 litros por segundo, apurando la marcha del motor.

El 7 de abril del 84, se comenzó a abrir la escavación del machon número 3, la que tenía ya 6 metros de hondura cuando fué sorprendido por la crece del 22 que rompió los tacos, i, por consiguiente, sorprendió las faenas i a pesar de que dió poco tiempo, se pudieron poner a salvo casi todas las instalaciones de las faenas i causó los perjuicios siguientes:

Pérdidas en los tacos.....	\$ 6,428.50
Compostura de un pescante que fué arrastrado	500.00
Gastos de la escavación de machon núm. 3.....	300.00
Durmientes i varios materiales arrastrados.....	250.00
TOTAL.....	\$ 7,478.00

Como se ve, el gran perjuicio que causó esta crece fué el arrastre de casi todos los tacos de desviación.

Pasada la crece, se presentó el siguiente problema que resolver: ¿dejaba pasar el invierno i la primavera para trabajar los nuevos tacos i continuar los nuevos trabajos de los machones despues de pasadas las creces de los deshielos, es decir en diciembre, para terminar en marzo o abril de 1885, esponiéndome a que la ferretería de la parte norte del puente del ferrocarril se principiase a entradas de invierno i pudiese ser amenazada o comprometida por una crece del rio, o bien principiaba inmediatamente, despues de pasados los meses de junio, julio i agosto, i emprendia un trabajo de tajamares mas fuerte que los anteriores i capaces de soportar sin deterioros las creces de los deshielos que debian amenazarme desde fines de octubre a fines de noviembre?

Era menester tambien tener presente que debia abonar intereses, segun contrato, a la casa Lever, Murphy i Ca, si los machones se encontraban concluidos en el plazo de 15 meses, a contar de la fecha en que se firmó la escritura de contrato de la superestructura del puente del ferrocarril, por el señor Ureta, superintendente de las líneas del sur, es decir, desde el 2 de junio de 1883.

En tal emergencia no trepidé en adoptar el último camino, a pesar de los datos que me daban los conocedores del rio, ponderándome las dificultades con que tropezaria para contener las creces de los deshielos i desviarlas convenientemente; pero dado el atrazo que imponia de otra manera a la obra i riesgos que habrían corrido la colocacion de las ferreterías del puente del ferrocarril, en pleno invierno, creí que era preferible perder nuevamente los tacos en caso de un fracaso. Por otra parte, la pérdida de los tacos anteriores nos habian manifestado cuáles eran las mejores maneras de hacer frente a las creces.

Resuelto este punto i decidido a reanudar los trabajos en la caja del rio tan pronto como la estacion lo permitiera, surjia otro problema no ménos importante.

¿Se construirian los nuevos tacos como los anteriores, mas o ménos cerca de las escavaciones, para desviar el rio a un lado i otro, dejando en seco sólo el campo necesario para el trabajo; o se hacian

verdaderos tajamares de defensa, que sirviesen no sólo para desviar las aguas, resistiendo a las creces de deshielos, sino que dejaran un gran campo en seco, evitando así, en lo posible, las filtraciones que habian sido tan abundantes en las últimas escavaciones? Me resolví tambien por lo segundo, teniendo en cuenta las razones siguientes:

1.^a Los tacos léjos harian disminuir las filtraciones en las escavaciones; 2.^a que, en caso de abundancia de filtraciones, no disponia del número de bombas i motores para colocar, en un momento dado, mas de tres por escavacion, número que habia sido el mínimo en las últimas que habíamos ejecutado. 3.^a evitar los derrumbes i atrasos consiguientes al trabajo de tres o cuatro bombas en una misma escavacion i que deberian funcionar un mes continuamente sin interrupcion.

Los hechos me dieron completamente la razon, porque, colocados los nuevos tacos léjos de las faenas, las últimas escavaciones se mantuvieron en seco con *una sola bomba* de 0.^m 225 de diámetro en su tubo de salida. Las escavaciones del machon número 2, dadas a tarea, se hicieron en seis dias de trabajo continuo, sin ningun tropiezo; los del machon número 3, en once dias de trabajo continuo, con una sola bomba i hasta la profundidad de seis metros, i otra auxiliar, que sólo trabajaba por la mañana, hasta llevar las escavaciones a 8 metros de profundidad, empotrándose la mampostería de dos metros en la caja de conglomerado firme. El exceso de costo de estos nuevos tacos se encontró, pues, suficientemente compensado con la rapidez i economía con que se hicieron las escavaciones.

Los tacos, que debian servir de tajamares i ser capaces de soportar las creces producidas por los deshielos, se principiaron el 1.^o de setiembre de 1884 i tuvieron un largo de 1,745 metros. Se emplearon en su formacion 25,000 metros cúbicos de piedra de rio, lastre i la fajina necesaria, que se trasportó en 465 carros, porque fué contada en los cerros de la cantera. Entran tambien en la formacion de dicha obra 408 metros cúbicos de piedra de cerro de grandes dimensiones, 80 piés de cabra de 5 metros de alto por 5 metros de base.

El valor de estos tacos ascendió a \$ 18,428.27, o sea \$ 10.55 el

metro corrido; dos pesos ménos que los anteriores, porque ya las faenas estaban completamente organizadas i la jente mas diestra en esta clase de operaciones, miéntras que los primeros se iniciaron con las faenas.

Los tacos se mantuvieron en perfecto estado i soportaban sin dificultad las creces, i, cosa curiosa, algunos de los álamos que formaban los piés de cabra cortados i enterrados en verde brotaban, por lo que fué necesario despues romper los tacos a barreta para que el rio volviese a tomar su curso natural.

Se construyeron los tacos o tajamares el 10 de noviembre de 1884 i el 20 se principiaron las escavaciones del machon número 2, con una sola bomba, i se concluyó el trabajo el 26. La mampostería se comenzó al día siguiente i se continuó sin interrupcion. El 28 principiaron las escavaciones del machon número 3, las que fueron concluidas el 8 de diciembre i el 9 los albañiles pusieron trabajo en el concreto, para concluir sus mamposterías sin interrupcion, con una sola bomba hasta los seis metros i la auxiliar, que sólo trabajaba por la mañana, hasta los ocho metros sobre fondo nuevq.

DOMINGO V. SANTA MARÍA.

(Continuará).

