
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

SUMARIO.—Monografía del puente carretero del Maule (continuación), por Domingo V. Santa María.—Instrucciones para calcular los caudales de vertientes i ríos de Europa central, basadas en la caída de aguas lluvias, de la formación geológica i de la dimensión de las hoyas hidrográfica, por Roberto Lauterbug.—Bibliografía.—Revistas recibidas.

MONOGRAFÍA DEL PUENTE CARRETERO DEL MAULE.

(Continuación.)

VII.

Si examinamos los costos de las escavaciones, tenemos: El presupuesto de dichas obras para los puentes del ferrocarril i carretero ascendia a \$ 85,577.01 i su costo efectivo fué de \$ 89,037.50 dejando, por consiguiente, un saldo en contra que se atendió con la partida de imprevistos. Esto puso de manifiesto que el precio de \$ 1.30 por metro cúbico del presupuesto para las escavaciones sobre fondo nuevo era deficiente. El exceso de filtraciones que hubo en algunas escavaciones i que obligaron a tener en trabajo continuo hasta tres i cuatro bombas, las interrupciones frecuentes en su funcionamiento por las piedras i arenas que absorbía, que hacian subir el agua en las escavaciones provocando continuos derrames, hizo que el precio del metro cúbico no bajase de un promedio de \$ 1.60 i que el cubo de los desmontes removidos fuese mayor que el que podia calcularse contando con los chafanes naturales del terreno.

Se encuentran comprendidas en estas cifras el valor de los primeros tacos, las pérdidas ocasionadas por las avenidas, que ascienden a \$ 11,478.59 como lo demuestra el cálculo siguiente:

Avenida del 5 de Mayo.....	\$ 3,000.00
Avenida del 22 de Abril.....	8,478.59
TOTAL.....	<u>\$ 11,478.59</u>

Ello demuestra que el valor de las excavaciones, si no hubiese sido por los casos fortuitos anteriores, habrían importado la suma de \$ 74,128.42 inferior a la presupuestada.

Las conclusiones que se pueden sacar de este trabajo, i sobre todo, de las excavaciones del puente de la Vertiente o brazo sur del Maule, donde no se ha puesto puente carretero por no necesitarse, son las siguientes: El aumento de gastos ha provenido, en gran parte, de las composturas continuas que al principio exijian las bombas por el arrastre de piedras, i cortadura de las correas de trasmision, interrupciones que hacian subir el agua en las excavaciones, provocando fuertes derrames que aumentaban considerablemente el número de metros cúbicos por estraer i una gran demora en el tiempo de duracion de la faena. Para atender a estas emergencias, lo mejor es enmaderar bien la excavacion desde el primer momento i continuar con buenas enmaderaciones a medida que se avanza, de modo que los derrumbes sean contenidos i no invadan el recinto del trabajo: parece al principio que se hace un exceso de gasto, porque no se ve la necesidad inmediata de esas enmaderaciones, cuando los chafianes, se mantienen bien i en seco; pero él se encontrará siempre compensado despues, por haber evitado los derrumbes; otra precaucion importante, es trabajar el pozo de las bombas en toda su hondura, si se puede, ántes de atacar la excavacion de la fundacion. Ese pozo. sirve entónces de reconocimiento del terreno, i como un primer tanteo que da a conocer la mas o ménos abundancia probable de filtraciones en la excavacion. Por no haber tomado

esta precaucion en una de las escavaciones del puente de la Vertiente, fuimos obligados a levantar las bombas, cuando ya íbamos a media hondura, para abrir pozos nuevos frente a los machones, lo que nos produjo atraso considerable en las faenas i mayores gastos. Por estos motivos i por haber dado poca importancia a las enmaderaciones que debian sujetar los derrumbes, en las escavaciones del puente de la Vertiente, que fueron las primeras que se iniciaron, nos costaron mas caro. Ellas estaban presupuestadas en \$ 2,286 i costaron \$ 3,741.08.

Los derrumbes e interrupciones en las bombas hicieron en ese caso que el trabajo durara por lo ménos una tercera parte mas del tiempo necesario.

Esta partida, en el puente de la Vertiente estaba presupuestada a \$ 0.45 el metro cúbico; pero como se excedió i subió su gasto a \$ 3,741.08 i se sacaron, en lugar de 2,680^{m³} de desmontes, 4,500^{m³} por los derrumbes, el importe real del metro cúbico fué de \$ 0.83 Se vé, pues, que éstos duplicaron el precio del costo, miéntras que, en las escavaciones del puente del Maule, con mejores precauciones i ya prevenidos contra estas interrupciones, a pesar de los accidentes i la pérdida de los primeros tacos, el excedente del precio de costo sobre el precio de presupuesto no fué un 15% i no el 50% como pasó en el de la Vertiente.

Las rampas de acceso del camino carretero costaron \$ 2,125.12 i exijieron un cubo de 10,626 metros cúbicos de ripio; quedaron concluidos conjuntamente con los terraplenes de acceso del puente del ferrocarril, aunque no se encontraban consultadas en el presupuesto, tomándose su costo de la partida de imprevistos.

Si entramos ahora a estudiar el costo de las mamposterías, tenemos: Cuando se formó el presupuesto, se proyectaron para los puentes carretero i del ferrocarril emplantillados de defensa, porque aún ignorábamos la existencia de la capa de suelo firme que encontramos i el cubo de albañilerías del presupuesto fué de 11,878.678^{m³}.

Cuando las primeras escavaciones nos mostraron la existencia

de la capa de conglomerado, se modificaron los machones dándoles la forma i dimensiones que hemos indicado, i así el cubo de mamposterías ejecutado fué de $7,875.973\text{m}^3$, es decir, $4,002.705\text{m}^3$ ménos que los proyectados.

Los $7,875.973\text{m}^3$ de mamposterías con sus enrocados de piedra de cerro i las viguetas de fierro que unen los machones de los puentes del ferrocarril i carretero i que sirven para el descanso de la superestructura de este último, importaron la suma de \$ 98 716.05, o sea un término medio de \$ 12.00 el metro cúbico. De la cantidad anterior corresponde al puente del ferrocarril la suma de \$ 54,561,21, suma inferior a la partida del presupuesto en \$ 14,993.38. Tomada la partida en su conjunto, vemos que, a pesar de haberse disminuido el cubo de mamposterías en $4,002.705\text{m}^3$, la partida aparece excedida en \$ 14,100.84. Proviene dicho exceso de haberse cargado a la partida, a mas de los \$ 87,166.05, que representan el valor neto de los $7.875,973\text{m}^3$ de mampostería (\$ 11.40 el metro cúbico) las sumas siguientes: 1.º \$ 3,150 valor de $1,800\text{m}^3$ de piedra de cerro invertida en las excavaciones de los machones a razon de 200m^3 por machon, con un costo de \$ 7 los 4m^3 puestos al pié de la obra; eurocamiento que era necesario para rellenar las excavaciones alrededor de los machones con materiales que no fueran arrastrados por la corriente del rio.

2.º \$ 8,400 valor de las 14 viguetas i su colocacion i cruces de amarras, etc., que debian dar aciento a la superestructura de madera del puente carretero proyectado. A mas de esto, hai que notar que los precios unitarios apuntados en el presupuesto eran bajos, pues la piedra canteada fué presupuestada a \$ 20 el metro cúbico; se obtuvo a \$ 35, importando la suma de \$ 17, 432.83 los 498.81m^3 a pesar de haber trabajado la cornisa con piedra artificial que importó \$ 17 el metro cúbico

Examinando aún mas en detalle estos gastos, se encontrará que el metro cúbico de mampostería ordinaria, que se presupuestó a razon de \$ 7.50 el metro cúbico, importó \$ 9.45.

I aunque parezca exceso, voi a dar aquí los detalles completos de estos costos, no por sus precios, que ellos varian constantemente con los jornales, etc., sino para fijar ideas sobre la cantidad de obra que se consigue efectuar con un número dado de operarios i elementos, datos que pueden servir a mas de uno de mis colegas para sus cálculos futuros.

La piedra fué contratada a \$ 4 la carrada usando carros plataformas que soportaban 14 toneladas de peso i cada carrada dió 5^{m3} de mampostería, es decir que el costo de la piedra fué el de \$ 0.80 por metro cúbico.

La obra de mano se contrató a \$ 1.20 el metro cúbico, debiendo entregarse al pié de la obra, la piedra, la mezcla, etc. en las canchas de las gruas que se instalaban i al alcance de ellas.

El transporte de la piedra de la cantera a la plataforma de embarque en los carros demandó los gatos siguientes: . Dos cuadrillas con 15 hombres i un cabo cada una, pagados los hombres a \$ 0.60 al dia i a \$ 1.25 los cabos, demandaban un gasto diario de \$20. 50 i bajaban por dia a la plataforma inferior 5 carradas de piedra que daban 25^{m3} de mampostería, o sea un gasto de \$ 0.82 por metro cúbico.

El transporte por tren de la plataforma inferior a la caja del rio, demandó los gastos siguientes: En una temporada de 22 dias de servicio en máquina, la que pagábamos a \$ 35 diarios i 22 dias de carros a razon de \$ 0.70 diarios cada uno por sus acci-taduras, ect., o sea un gasto de \$ 823.30, se trasportó toda la piedra necesaria para el machon número 1 del puente de la Vertiente, que dió despues de medido 682.268^{m3} de mampostería; por consiguiente, el flete por metro cúbico fué de \$ 0.1.219.

Los peones ocupados en las gruas; acarreo con rastra de la piedra de donde la botaban los carros al lado de la línea hasta el pié de las gruas. Dos cuadrillas compuestas de 4 peones a la cigüeña de las gruas, un riendero, cuatro amarradores de piedra, cuatro con la rastra, dos cabos i dos acomodadores, o sea 30 peones a \$ 0.60 cada uno i los cabos a \$ 1.25 dieron como gas-

tos \$ 20.50, i los albañiles hacían hilada i media término medio en los machones de 0.50 cada hilada o sea 48.6m^3 de mampostería, por consiguiente, el gasto por metro cúbico fué de \$ 0.421.

Cal. Yo medí 536.96 quintales métricos de cal empleados en 763.575m^3 de mampostería o sea por cada metro cúbico un término medio de q 0.703. Pero en este caso hai que descomponer los 763.575m^3 de mampostería en sus detalles como sigue:

En 381.85m^3 de mampostería desbastada; 218.589m^3 de piedra en bruto, 41.30m^3 de ladrillos i 50m^3 entre concreto i piedra artificial. Ahora, como el concreto gastaba mas cal i no todas las mezclas eran igualmente ricas en cal, descompuestas proporcionalmente, obtube los términos medios siguientes:

0.80 de quintal para el metro cúbico de concreto.

0.70 de quintal para el metro cúbico de mezcla hidráulica.

0.60 „ „ „ „ „ de mezcla ordinaria.

Luego el precio de la cal por metro cúbico era el siguiente:

0.80 de quintal para concreto a.....	\$ 1.75 =	\$ 1.40
0.70 id. para la mezcla hidráulica	1.75 =	1.225
0.60 id. „ „ ordinaria.	1.75 =	1.05

El precio del concreto se puede calcular como sigue: Se gastaron 120 barriles de cemento en los 763.575m^3 de mampostería, que se descompone en cantada, desbastada, etc.; repartiendo estos barriles proporcionalmente a los cubos i riqueza de la mezcla, encontré las proporciones siguientes:

Para el concreto, 0.212 de barril por metro cúbico.

Id. la mezcla hidráulica, 0.156 de barril por id. id.

Id. la mezcla ordinaria, 0.10 de barril por id. id.

Luego el precio del cemento por m^3 en las diferentes mezclas fué de

Cemento; 0.212 de barril a \$ 6.25 cada uno.....	\$	1.473
Mezcla hidráulica.....		1.084
Mezcla ordinaria.....		0.695

Ar na i confeccion de la mezcla.—Los peones ocupados en sacar arena de la caja del rio, limpiar i confeccionar las mezclas, gastaron \$ 1,741.80, correspondiente al mismo trabajo de los 763.565 m³ de mampostería; por consiguiente, da un promedio de \$ 2.282 por metro cúbico de todas estas maniobras i el precio de la arena. Si, en lugar de formar el precio medio, lo repartimos proporcionalmente al tiempo i cubos de las mezclas i cantidad de arena que entra en ellas, tendremos los precios de costo en detalle como sigue:

Para obra de mano i arena, con el concreto... ..	\$ 2.56
Id. en la mezcla hidráulica.....	2.282
Id. en la mezcla ordinaria.....	2.000

Si subdividimos mas en la mezcla ordinaria, que es de donde tengo mejores datos, encuentro que, término medio, el metro cúbico de arena nos importaba un peso, i por consiguiente, la confeccion de la mezcla \$ 1.28 por metro cúbico.

Si formamos con estos detalles el precio del metro cúbico de mampostería, tendremos:

Piedra	\$ 0.80
Trasporte a la 1. ^a plataforma.....	0.82
Peones en las grúas, rastra, etc.....	0.421
Trasporte a máquina.....	1.219
Obra de mano del albañil.....	1.200
Cal.....	1.050
Cemento	0.695
Arena	1.000
Peones de confeccion de la mezcla.....	1.280
Administracion i detalles	1.000
	<hr/>
TOTAL	9.515

Ya hemos visto mas arriba que, sacando el precio medio jeneral

del metro cúbico de mampostería, éste fué de \$ 11.40 el metro cúbico i es evidente, por cuanto el precio de \$ 9.515, sacado del detalle, no supone ningun contratiempo en las faenas, sino un trabajo continuo; pero, como eso se puede conseguir mui pocas veces en una temporada larga i hai perturbaciones en el funcionamiento de las bombas, etc., que paralizaban un cuarto o un medio dia las faenas i otros detalles, se ve que el precio \$ 11.40 corresponde a esas eventualidades.

Sólo me queda que decir respecto a las mamposterías que las recetas de las mezclas usadas en esas faenas fueron las siguientes, i que han dado mui buenos resultados.

La receta del *concreto* para formar la base de las fundaciones i que servia para tapar las vías de agua del fundo i permitir fácilmente la construcción de las mamposterías fué la siguiente:

Mortero.....	{	un volúmen de cemento Portland.
	{	uno de cal en polvo.
	{	cinco volúmenes de arena.

Con este mortero se formaba el concreto como sigue:

5 volúmenes de piedra angular de 3 a 5 centímetros de grueso, sacada de la cantera.

5 volúmenes de piedra redonda de río de las mismas dimensiones.

4 volúmenes de mortero con la mezcla indicada.

*Mezclas para las mampostería de la parte baja (fondo nuevo)
de los machones i estribos.*

Un volúmen de cemento Portland.

Dos volúmenes de cal en polvo.

Ocho volúmenes de arena.

Mezcla para la parte superior sobre fondo nuevo: hasta la altura de dos metros (nivel del suelo natural).

La misma anterior, en la hilada exterior formando el contorno; i relleno la parte interior con mampostería, con la misma mezcla, pero que sólo tenia $\frac{1}{2}$ volúmen de cemento.

En el resto de la obra, es decir, en las mamposterías al aire libre se usó la mezcla siguiente:

Un volúmen de cal en polvo.

$\frac{1}{4}$ volúmen de cemento.

Cuatro volúmenes de arena.

VIII.

Como lo hemos manifestado, la superestructura del puente carretero, proyectado de madera, en un principio, iba a ser soportado por dos viguetas de fierro, que se apoyaban al oriente, en el cono poniente de los machones del puente del ferrocarril i al poniente, en una columna de mampostería; para mayor claridad he ejecutado todos los cálculos justificativos del puente i se verá al final las correspondientes a las dimensiones de estas viguetas, las que, calculadas para un trabajo de 6 kilogramos por milímetro cuadrado, dieron un momento resistente de 195,131 kilogramos, siendo el momento solicitante solamente de 153,360 kilogramos.

Pero el puente del ferrocarril se concluyó en junio de 1885, i en esa fecha, aun no se habia ordenado la construccion de la superestructura del carretero.

Sólo en el mes de setiembre de 1887 recibí órden de confeccionar los planos, etc., para la superestructura del puente carretero del Maule, pero, en esta ocasion ya no pude construirlo de madera, sino con sus vigas maestras de fierro.

Los cálculos completos de la superestructura, compuesta de dos vigas continuas de 220 metros cada una i subdividida cada viga en dos tramos de 50 metros de centro a centro i dos intermedios de 60 metros de centro a centro, obteniendo así, como relacion entre los largos de los tramos del centro con respecto a los de la

ribera, la cifra 1.2, que es la mas acomodada para obtener la igualdad de reparticion de los momentos de flexion, ellos muestran bastante claramente las dimensiones de cada una de las piezas i las dimensiones jenerales de la viga, etc., i hacen enteramente inoficiosa una descripcion de dicha superestructura. La carga de prueba con que fué calculado fué de 400 kilogramos por metro cuadrado de tablero i hasta la fecha parece suficiente para las necesidades del tráfico. Todas las ferreterías fueron calculadas para que, con dos esfuerzos máximos no trabajasen con mas de 6 kilogramos por milímetro cuadrado.

Sólo tengo que hacer una advertencia; habiendo aumentado el peso de la superestructura, las viguetas colocadas, el año 1885, sobre los conos del puente carretero i las columnas calculadas entónces, para recibir una superestructura de madera, con la determinacion de poner ferretería, quedaban deficientes.

Fué entónces necesario entrar a modificar esta instalacion, para dejarla en buenas condiciones; lo que se consiguió fácilmente como sigue.

Entre las dos viguetas colocadas anteriormente, se colocó una tercera, de idénticas dimensiones. Debajo de las planchas de asiento, al lado de los conos de los machones del ferrocarril, se puso un fierro doble *T*, sirviendo de union i de punto de apoyo a tres consolas, que se ven en (a) FIG. 1, consolas que se empotraron en las mamposterías. De esa manera, se procuró a las planchas de asiento, sobre las cuales deberian descansar las rodillas de dilatacion del carretero, en su costado oriente, un punto fijo, como era menester.

Las ferreterías fueron contratadas con la casa Lever, Murphy i C.^a, que ya habia construido, de una manera enteramente satisfactoria, las superestructuras de los puentes del ferrocarril del Maule, del Lircai, Perquilauquen i Laja i sus trabajos fueron principiados en el establecimiento de Caleta Abarca, el 14 de Noviembre de 1887. Se impuso para la recepcion de los fierros de esa superestructura, las mismas condiciones que se habian impuesto para los demas

puentes construidos en el país, i que no reproduzco por estar ya publicadas.

La casa Lever, Murphy i C.^a estableció sus andamios, etc., sin tropiezo i llevó a cabo la construcción i armadura de la superestructura del carretero con toda felicidad, concluyéndola i habiéndola sometido a la prueba estipulada el 21 de agosto de 1878. Desde esa fecha, quedó dicha superestructura en observación hasta agosto de 1889, fecha en que se hizo la recepción definitiva según contrato, sometida dicha superestructura a una nueva prueba, la que resultó enteramente conforme con la anterior.

El importe i pesos de las ferreterías de la superestructura fueron los siguientes:

Planchas, escuadras, etc., 905,510 kilogramos, cada uno a.....	\$ 0.22 =	\$ 199,212.20
Pernos, 2,483 kilogramos, cada uno a.....	0.24 =	595.68
Dos arcos con sus planchas, 4,500 kilogramos.....		1,000.00
		<hr/>
		\$ 200,807.88

Es decir un peso total de 912,492 kilogramos de ferreterías diversas, con un importe total de doscientos mil ochocientos siete pesos ochenta i ocho centavos.

Las flechas, que en las pruebas oficiales dieron los diversos tramos del puente, fueron, para los tramos de 50 metros de luz, contados desde norte a sur sucesivamente, de 0.028-0.0265-0.0255-0.0268, siendo la flecha calculada de estos tramos de 0.0421. Los tramos de 60 metros dieron, contados también de norte a sur respectivamente, 0.036-0.0354-0.0368-0.0357, siendo la flecha calculada de 0.0607. La carga de prueba permaneció 4 horas en cada tramo; i el aparato con que se medía la flecha se hizo inscriptar de modo que se podía medir después la traza que dejaba el estilo del aparato.

Antes de concluir, quiero recordar nuevamente el nombre de mi compañero Benjamin Vivanco: por cuanto fué en su compañía que se hicieron los trabajos de fundaciones i las primeras luchas, para la desviacion del Maule, tanto del puente de la Vertiente, como el grande; i fué, por lo tanto, a su lado donde adquirí esperiencia en esas faenas. Debo tambien recordar el nombre del señor H. Leballeur, quien nos acompañó desde el principio en los trabajos del Maule; cuando estaba con el compañero Vivanco, nos sirvió de dibujante i encargado directamente de la cantera, dando las plantillas de detalle de la piedra canteada, etc., etc., i cuando el señor Vivanco fué a hacerse cargo de los trabajos del sur, quedando solo con la administracion de los trabajos del Maule i Lircai, el señor Leballeur, me sirvió como segundo en las faenas i encontré en él un colaborador caloroso e intelijente.

D. SANTA MARIA.

(Concluirá).

