

el túnel funcionara durante 5 meses, período igual próximamente al de las lluvias, se habría extraído el volúmen máximo de agua que en los años normales introducen las mismas en el lago.

El volúmen de agua de lluvias sobre que acabo de razonar, no es seguramente el total introducido en el lago; la diferencia entre ambos es consumida por la evaporacion; pero este consumo siempre subsistirá, aunque un tanto disminuido por la reduccion que sufre la superficie de evaporacion en el lago funcionando el túnel. La superficie del lago actualmente, tampoco permanece constante, sufre crecimientos, cuya magnitud no podria apreciarse sino por medio de operaciones que faltan.

No obstante, por lo que puede juzgarse el aumento producido en el resultado del cálculo por estas causas quedaria más que compensado en los siete meses restantes del año en que puede funcionar el túnel, si la intencion fuese obtener la desecacion completa. No siéndolo, el exceso de agua que pueda resultar sobre el gasto calculado de 15 mets. cúbs. por segundo en 5 meses, debe conservarse en depósito para prevenir los peligros que se preven en la salubridad por causa de dicha desecacion.

Segun lo observado en 1877, lo cual he hecho notar ántes, es probable que la reserva de aguas á que acabo de referirme no baste para mantener el depósito de Texcoco, pero entónces se pueden vaciar en él las aguas de Chalco, en la proporcion necesaria para su mantenimiento.

Durante los siete meses disponibles en el túnel, despues de la extraccion de las aguas de Texcoco, pueden extraerse las aguas recogidas en Xaltocan, San Cristóbal y parte que se juzgue excedente de Chalco y Xochimilco.

Por lo que queda asentado, se prevé que hay cierta amplitud en la adopcion del gasto de 15 mets. cúbs., que con otro menor aún, el de 6 ó 7 mets. cúbs., que se obtendria con la seccion acordada en Agosto de 1877, se mejorarian las condiciones del Valle.

Pero si bien es cierto que disminuyendo la capacidad del túnel, á consecuencia de una reduccion en el gasto de agua, se obtendria una economía en el costo de la obra, esa economía no sería bastante para indemnizar la ventaja de alcanzar el dominio de las aguas, que es en mi concepto el objeto á que debe aspirarse y que se obtiene con el gasto de 15 metros cúbicos.

En las consideraciones que preceden se ha hecho abstraccion de las filtraciones que tendrán que producirse en el gran canal y aun en el mismo túnel, desde el momento en que se corten las capas de terreno permeable que yacen á niveles superiores al de la formacion de dichas obras. Como sea conveniente proveer á este aumento de gasto, no obstante que el de 15 metros cúbicos ofrece ya alguna amplitud por una parte, y por otra que habrá pérdidas por evaporacion é infiltraciones en el mismo gran canal que disminuye el caudal de las que proceden de los niveles superiores, he creído deber aumentar el gasto á 17, ^{mets. cúbs.} 5, en lugar de 15 metros cúbicos.

Hay otras dos circunstancias que me parecen deben también tenerse en consideracion, para adoptar la amplitud de que acabo de hablar: una es la de poder explotar una parte de los terrenos cubiertos hoy por las aguas, porque es evidente que si éstos están sujetos á inundarse por poco que las lluvias abunden, su valor tiene que adolecer de esa servidumbre; la otra es la de proveer en lo posible á las necesidades más precisas en el caso de un año tan excepcional en abundancia de lluvias como el año de 1865, en el que, si bien las aguas no pueden dominarse, sí puede haber al ménos la seguridad de que la capital no sea invadida. Ambas de estas circunstancias serán muy dudosas de alcanzar si el desfogue por el túnel estuviese limitado á la corta cantidad de 6 ó 7 metros cúbicos por segundo, como se acordó en 14 de Agosto de 1877.

Con lo expuesto termino mis observaciones relativas al gasto, pero hay otras sobre modificaciones que en mi concepto podrian introducirse en las condiciones hidráulicas del proyecto de desagüe aprobado, con objeto de disminuir su costo, y de las que paso á ocuparme.

El canal que, pasando por el lago de Texcoco, ha de poner en comunicacion la garita de San Lázaro con el túnel, á inmediaciones de Zumpango, tal como está aprobado desde la época del ingeniero Manzano, deberá tener una caída total de 13 metros y un desarrollo de 49 kilómetros próximamente, con lo que se obtiene una pendiente média de $\frac{285}{1000000}$.

En el sentido de las ideas que guiaron á la adopcion de dicha caída de 13 metros no cabia el disminuirla sin exponerse á debilitar la corriente en términos que no pudiese arrastrar los azolves, lo que originaria grandes y frecuentes gastos para la limpia y conservacion del canal; así es que habia más bien la tendencia á aumentarla haciendo descender más la línea en su extremo inferior. Aunque este descenso fué una vez propuesto por el ingeniero Manzano, no obtuvo ninguna resolucion.

Pero hay seguramente exageracion en las aseveraciones anteriores, pues es posible disminuir esa caída á 10 y aun á 9 metros, sin que por esto la velocidad média por segundo de la corriente descienda de $\frac{2}{3}$ de metro, que es la necesaria para prevenir el depósito de los cuerpos que arrastran las aguas de atarjea, y es de tener éstas en consideracion, porque tendrán que concurrir al canal, entre otras, las aguas de las atarjeas de la capital. Este límite de velocidad de $\frac{2}{3}$ de metro, lo recomienda M. de Freycinet en su notable obra sobre desagüe y salubridad de las poblaciones, como un resultado obtenido por los dos emisarios del Desagüe de la ciudad de Lóndres.

Fundado en lo anterior, he reducido la caída de 13 metros del canal en San Lázaro y Zumpango á 9, ^m25; la pendiente respectiva resulta de $\frac{185}{1000000}$. Suponiendo, por otra parte, el gasto de 17, ^{mets. cúbs.} 50 y los taludes del canal de 1 metro por 1 metro, se obtienen por medio de la fórmula de Bazin para el caso de los canales de tierra, los resultados siguientes que represantan las circunstancias relativas al movimiento del agua:

Gasto Q.	17, mets. cúb. 482
Pendiente I	0,000185
Altura de agua, h.	2,™144
Ancho del fondo del canal, l	8,™576
Seccion ω	23, mets. cuads. 000
Perímetro mojado, X	14,™646
Radio médio, R.	1.565
Velocidad média, V	0,™76

Pero hay aún que observar acerca de la velocidad 0,™76 que resulta, segun la fórmula del autor citado, que ella dependerá del estado de conservacion de las paredes del canal, y que conviene, por lo mismo, examinar, si podrá mantenerse en las condiciones de mediana conservacion del mismo, previendo las dificultades, y, puede decirse, imposibilidad práctica de conservarlo en perfecto estado de regularidad y limpieza en el vasto trayecto que abarca. Con este objeto, he calculado la velocidad média que resulta suponiendo los diversos estados que pueden ocurrir en el cauce del canal, los que han sido tomados en consideracion en la fórmula de los ingenieros alemanes Ganguillet y Kutter, siendo los resultados de ella los que mejor concuerdan con la práctica en canales ordinarios y de dimensiones moderadas.

Exceptuando el caso de paredes pulidas y revestidas de mampostería, el canal que considero, puede encontrarse en los siguientes casos, á los que corresponderán las velocidades médias que consigno en cada uno y que he calculado con dicha fórmula:

- 1º Cauce perfectamente limpio, con paredes firmes y regulares; velocidad: 0,™93.
- 2º Cauce sin yerbas ni escombros, con paredes en mediano estado de conservacion y régimen; velocidad: 0,™75.
- 3º Cauce con alguna yerba y piedra diseminada, paredes en mediano estado de conservacion y régimen; velocidad: 0,™63.
- 4º Cauce con paredes en mal estado de conservacion y régimen, y cubiertas de yerbas, fondo regado de piedras; velocidad: 0,™55.

Si en la práctica no es de esperarse mantener el canal en las condiciones que requiere el primero de los casos enumerados, y no debe contarse con la velocidad 0,™93 que le corresponde, es, por otra parte, de desecharse el caso último, que supone la falta completa de limpia y reparaciones de la obra, y acumulados, en consecuencia, los obstáculos á la corriente que naturalmente ocurren. Quedan los dos casos intermedios que son los posibles en la práctica, y de estos el ménos favorable cuenta con una velocidad média de 0,™63 que no difiere sensiblemente del límite de $\frac{2}{3}$ de metro. Resulta de estas consideraciones que son de admitirse la pendiente y seccion del canal con la fórmula de Bazin, y así se sigue la posibilidad y conveniencia de reducir la caída del canal á 9,™25 de 13 metros en que estaba proyectado.

Esta reduccion produce, por otra parte, bajo el punto de vista del costo de la obra, un resultado inmenso; desde luego disminuye la altura que debe tener el tajo en su parte más profunda, con esto el volúmen de excavacion, y consiguientemente el costo; pero su mayor trascendencia económica recae sobre el costo de la mampostería del revestimiento del túnel.

El desembocadero de éste en el estado actual, es ya invariable, por haber llegado la excavación del tajo de Tequisquiác á la profundidad requerida en el proyecto aprobado, y estar abierto en comunicacion con él un tramo de 375 metros de galería preparatoria del túnel; pero sí puede variarse el otro extremo elevándolo á 3 ó 4 metros respecto de la situacion que le asigna el mismo proyecto, de manera que venga á colocarse á la altura del canal que viene de San Lázaro, suponiendo éste á su vez elevado la misma cantidad como resultado de la reduccion de caída, segun queda indicado ántes. En consecuencia de esta modificacion, y haciendo aún una reserva de 0,™50 en la caída total disponible, la pendiente del túnel resultará ser de $\frac{1.35}{1000000}$ en lugar de $\frac{1.00}{1000000}$ que le asignaba el proyecto de 1868 ó de $\frac{9.0}{1000000}$ el acuerdo de Agosto de 1877.

La pendiente así aumentada determina ya de por sí un crecimiento en la velocidad del agua é inversamente una reduccion proporcional en la seccion, lo que permite disminuir las dimensiones del túnel y consecuentemente el volúmen de mampostería que le corresponde por metro lineal. Además, por el hecho mismo de la elevacion del extremo del túnel en su origen, se obtiene una disminucion efectiva en la longitud de 394 metros, pues que se puede avanzar en esta cantidad el tajo que viene de San Lázaro.

Para poner de manifiesto la economía que puede realizarse por medio del aumento de pendiente del túnel tomando en consideracion lo que acabo de exponer, he calculado dos secciones comparables tomando sucesivamente las pendientes de $\frac{1.00}{1000000}$ y $\frac{1.35}{1000000}$, siendo en ambas el gasto de 17, ms. cúb. 5; y esto hecho, he procedido al cálculo de los volúmenes de mampostería y excavacion por metro lineal, y finalmente al costo, aplicando un mismo precio á la unidad de obra. Los resultados son los siguientes:

PARA LA PENDIENTE DE $\frac{1.00}{1000000}$

Bóveda de ladrillo.

Su volúmen es 3, mets. cúb. 110, á \$12.....\$ 39 32

Cubeta de mampostería.

Su volúmen es 3, mets. cúb. 543, á \$11..... 38 98

Excavacion 22, mets. cúb. 69, á \$1..... 22 69

Costo del metro lineal.....\$ 100 99

PARA LA PENDIENTE DE $\frac{1.35}{100000}$ *Bóveda de ladrillo.*

Su volúmen es 2, mets. cúb. 959, á \$12.....\$ 35 51

Cubeta de mampostería.

Su volúmen es 3, mets. cúb. 371, á \$11..... 37 08

Excavacion 20, mets. cúb. 87, á \$1..... 20 87

Costo del metro lineal.....\$ 93 46

Pasando ahora á los totales de obra que habria que ejecutar, se obtiene la siguiente comparacion:

9,914 metros lineales de túnel, á \$100 09.....\$1,001,324 86

9,520 " " " " " " \$ 92 60..... 889,739 20

Diferencia.....\$ 111,585 66

Si esta diferencia de \$111,585 66 se divide por \$100 99, el cuociente 1,104 nos manifiesta que el aumento de pendiente de $\frac{3.5}{100000}$ equivale á haber disminuido el desarrollo del túnel en 1,104 metros lineales, y esto representará la economía que se realice por medio de la modificacion en la pendiente.

Otras consideraciones relativas á la seccion modifican tambien el presupuesto de la obra disminuyéndolo. Segun he indicado al principio, hay una circunstancia que ha sido desatendida en los diversos proyectos de la seccion del túnel que se han propuesto. Efectivamente, se ha adoptado un ancho para la seccion, y de ahí se ha deducido la altura correspondiente para el gasto ó recíprocamente.

Procediendo así, se ha renunciado á deducir la forma que para una pendiente y gasto determinados le corresponde menor seccion, circunstancia que influye demasiado y que creo no debe desatenderse en lo sucesivo, pues que esto equivale á obtener el límite mínimo en el volúmen de la mampostería para un metro lineal del túnel.

Entre la multitud de formas de seccion que pueden imaginarse, haciendo variar la inclinacion de las paredes laterales y satisfaciendo cada una á la condicion de menor resistencia, que es á lo que equivale lo expuesto en el párrafo anterior, la que produce mayor economía es la seccion semicircular; puede objetársele, sin embargo, que es de una ejecucion difícil y que esto pudiera hacer ilusoria la ventaja de poder construirla con un volúmen menor de mampostería.

Esto no obstante, he calculado dos secciones: la primera formada de dos segmentos circulares y un trapecio intermedio; la segunda terminada por

arcos de círculo en todas sus partes, y ambas satisfaciendo en su caso á la condicion de menor resistencia. Los diversos elementos para construirlas están consignados en el dibujo que tengo la honra de acompañar, y que creo serán suficientes para su inteligencia. Estos elementos, y los demás relativos al movimiento del agua los he calculado sirviéndome de la fórmula de Bazin, caso de paredes poco lisas, introduciendo en ella la condicion de menor resistencia.

La fórmula es:

$$R I = V^2 \times a \left(1 + \frac{\beta}{R}\right) = \frac{Q}{\omega^2} \times a \left(1 + \frac{\beta}{R}\right)$$

Aplicándola al caso de un trapecio, en el cual se representan por t y t' las relaciones de la base y longitud de los taludes á la altura, y por h y l la altura y base menor de trapecio, se tiene las siguientes relaciones en el caso de menor resistencia:

$$\frac{l}{h} = 2 t' - 2 t$$

$$R \text{ (radio medio)} = \frac{h}{2}; \text{ y}$$

$$\omega^2 = h^4 (2 t' - t)^2$$

Introduciendo estas relaciones en la fórmula, se deduce:

$$h^5 = \frac{2}{(2 t' - t)^2} \times \frac{Q^2}{I} \times a \left(1 + \frac{\beta}{R}\right)$$

El valor de h en el segundo miembro influye muy poco; se puede calcular con un valor supuesto para obtener uno aproximado de h y con él hacer un segundo cálculo, suficiente ya para obtener el valor exacto.

Aplicando los valores de t y t' correspondientes al cálculo de los dos trapecios que entran en las dos secciones del dibujo, estando en el segundo representados los lados por arcos de círculo, la fórmula queda así:

Primer caso:

$$h^5 = \frac{2}{(1.909975)^2} \times \frac{Q^2}{I} \times 0,00024 \left(1 + \frac{0,50}{R}\right)$$

Segundo caso:

$$h^5 = \frac{1}{0,8285^2 \times 2} \times \frac{Q^2}{I} \times 0,00024 \left(1 + \frac{\beta}{R}\right)$$

Tanto en uno como en otro caso, el valor de Q con que he entrado en el cálculo ha sido un poco menor de 17, ms. cúb. 5 para llevar en cuenta lo que aumenta la seccion por la adición del segmento inferior.

Aunque parece impropio haber consignado los anteriores desarrollos en este documento, he creído deber hacerlo con el objeto de justificar mejor mis asertos.