

nos abundantes: el resultado será que el barnizado dependerá del buen querer de quien lo ejecute, y me parece que no es cuerdo ni prudente confiar el porvenir de una obra de la importancia del túnel á intereses tan poco vinculados con ese porvenir, como son los de un operario. Esto en cuanto á que la ejecucion se haga con honradez.

Paso á ocuparme de las incompatibilidades que me ocurren sobre la operacion.

El barnizado de cemento, cualquiera que sea el cuidado con que se ejecute, tiene que depender de la adherencia del mortero con el ladrillo; pero el Sr. Derote dice que se emplee el ladrillo comprimido para obtenerlo de buena calidad, y se sabe que la compresion en el ladrillo tiene por efecto precisamente disminuir la adherencia con el mortero: de aquí infero que hay incompatibilidad en la obtencion de un buen barnizado con la compresion de un ladrillo.

Supongo que el barnizado tiene por objeto presentar una superficie dura, que pueda corregir la inferioridad que tiene el ladrillo respecto de la piedra artificial que se está empleando, bajo el punto de vista del frotamiento; pero ese barnizado suponiéndolo bien hecho y adherente al ladrillo, deja mucho que desear bajo el punto de vista de su dureza. Hay dos razones para ello, una es que por la abundancia de filtraciones que acuden al través del revestimiento de ladrillo, no se puede usar el Portland lento, que es el único que posee la cualidad de endurecer en alto grado, y es con el que se están fabricando las piedras actuales. El mortero para el barnizado tendrá que hacerse con un cemento rápido natural, y es cosa sabida que un mortero así, no alcanza más que un tercio de la dureza de otro ejecutado con Portland lento artificial. El otro motivo es el exceso de agua que se necesita para fabricar el mortero y la falta de pisonado, porque no podrá aplicarse en las delgadas capas del barnizado; y de aquí que resulte en definitiva una masa porosa á expensas de su consistencia. Enteramente contrarias son las condiciones en que se realiza la fabricacion de la piedra artificial; en ésta, la mezcla de arena y cemento entra ligeramente húmeda á los moldes, el pison viene á estrechar el contacto entre estos ingredientes para producir las cristalizaciones de una manera más franca, porque se realizan exactamente en ausencia de un exceso de agua, el que no existiendo, hay, que sobre obtener una cristalización más fácil, la ventaja de que desaparece la causa de porosidad que hay en los morteros, y es la eliminacion ulterior del exceso de agua. Estos son los principios por los que se han llegado á conseguir las buenas cualidades de los betones aglomerados.

A lo anterior hay que agregar todavía, que debe contarse con la probabilidad de las cuarteaduras, que siempre ocurren en los aplanados de cemento sobre mamposterías, y que son debidas á la desigual contractibilidad del mortero y la mampostería.

Por todas estas consideraciones, juzgo que ese barnizado es enteramente ilusorio, ya sea porque dure poco tiempo, como porque desde el principio le falte la dureza que se necesita. Y como todas estas indicaciones no son sugerencias, sino el resultado de consultas que he hecho, me permito encarecer á la H. Junta Directiva se sirva tomar este asunto en seria consideracion; cuando ménos haciendo ejecutar pruebas que, de una manera material, nos den ó no la comprobacion de lo que dejo expuesto.

La falta, por insuficiencia del barnizado, es para mí inconcusa, y quedará el revestimiento de ladrillo. Siempre he combatido la idea de que este pudiera bastar para la corriente que debe pasar por el túnel, y me permito recordar que ántes que recurrir á la piedra artificial he proyectado revestir la cubeta de piedra natural, y si hoy mismo por alguna razon no pudiera continuarse el uso de la artificial, habria que optar por la primera.

Este punto tiene bastante interes, para imponerme la necesidad de recordar aquí cuáles han sido las ideas y las convenciones sobre que formé el plan que consulté á la Secretaría de Fomento en 1879, respecto de la seccion del túnel. Se trataba de hacer un proyecto de condiciones hidráulicas en la obra del Desagüe, tal que, satisfaciendo las necesidades efectivas, permitiera reducir las dimensiones del conducto al minimum posible, y, en consecuencia, el costo de su construccion. Fué necesario determinar dichas necesidades, y de aquí resultó la determinacion del gasto 17<sup>ms. cúbts.</sup>,50 por segundo.

Por lo que hace al túnel, era necesario, además, reducir la seccion al minimum con la mayor pendiente disponible; de aquí resultó el uso de la seccion de menor resistencia al paso del agua, y de aquí tambien, necesaria é implícitamente, el de una velocidad máxima que es la de 2<sup>m</sup>,24 por segundo. De manera, que las dimensiones y el costo reducidos del túnel, se han conseguido por el aumento de esa velocidad, para lo cual se han aprovechado todas las posibilidades de localidad y de cálculo que el problema ofrecia.

Hay otros casos en que se procede inversamente, imponiendo un límite de velocidad á la corriente que se produzca en el conducto hidráulico, y que depende de la resistencia de las paredes á la accion erosiva; pero en Tequixquiac, por miras de economía no se impuso ese límite, y esto á su vez necesariamente impone la obligacion de emplear en las paredes del túnel un material duro que pueda resistir sin gastarse; esa velocidad excluye forzosamente tambien todo material blando, cuya resistencia á la corrosion deje de ser evidentemente superior á la que corresponde á esa misma velocidad. Asentado esto, tengo que agregar: que siendo el ladrillo un material que no puede emplearse sino en conductos cuyo maximum de velocidad sea 1<sup>m</sup>,50, queda evidentemente comprendido entre los materiales que se excluyen de constituir la cubeta del túnel.

Tal es, por lo ménos, mi manera de ver en la cuestion. Si se tratara de

un ligero aumento en la velocidad, aun así encontraría inconveniente el ladrillo, consideraría el procedimiento como una experiencia peligrosa y como tal, imprudente; porque en una obra de la importancia, y sobre todo, del porvenir del túnel de Tequixquiac, no es permitido hacer experiencia en ese sentido, y mucho ménos cuando se tiene á la mano un material que con toda evidencia es superior, faltando entónces la excusa de que el ladrillo, por ejemplo, era el único material disponible. Pero no se trata de un ligero aumento, sino de excederse del duplo de la erosion que corresponde á la velocidad límite, según se verá á continuacion, y entónces, excluir absolutamente el ladrillo es lo que corresponde.

He procurado, efectivamente, averiguar cuál sería el límite de velocidad que puede emplearse en un conducto de paredes construidas con buen ladrillo, y he encontrado que es sólo 5 piés ó 1<sup>m</sup>,25 por segundo. El autor que lo establece, dice: «*que es el mayor valor que puede adoptarse en la práctica, para impedir que las paredes de los conductos se gasten rápidamente con las materias que acarrea el agua.*» Pero es claro que este límite se ha impuesto con motivo de la accion erosiva de la corriente, y es preciso recordar que esta accion varia, no en proporcion de velocidades, sino en la de sus cuadrados. Haciendo aplicacion de todo esto tendríamos que  $(\frac{2^m,24}{1^m,52})^2 = 2^m,17$ ; es decir, que en el túnel de Tequixquiac se tiene una accion erosiva  $2\frac{17}{100}$ , mayor de la que corresponde al límite establecido por la práctica para el ladrillo.

Alguna persona ha observado que el revestimiento de ladrillo podria convenir en Tequixquiac, lo mismo que ha convenido en el acueducto de Croton; pero yo contestaré que la corriente que hay aquí no permite hacer lo mismo que allá se ha hecho, segun voy á manifestar.

El acueducto de Croton se ha calculado para efectuar una descarga de 250.000,000 de galones en veinticuatro horas, lo cual equivale á un gasto de 10<sup>ms. cúb.</sup>,95 por segundo. En su tramo de túnel-canal, donde se ha empleado la seccion de herradura, tiene una pendiente de 0,7 de pie por milla, ó sea 0,000131; la seccion útil mide 12<sup>ms. cuads.</sup>,17; y su velocidad, calculada por la fórmula de Kutter, con el coeficiente de rosamiento  $n = 0,015$ , es de 0<sup>m</sup>,90. Con estos datos se obtiene el gasto de 10<sup>ms. cúb.</sup>,95.

Como se ve, 0<sup>m</sup>,90, velocidad média del acueducto de Croton, es muy diferente de 2<sup>m</sup>,24 que es la de Tequixquiac.

Pero la diferencia, bajo el punto de vista de la accion erosiva, es todavía mayor, porque esta acción, según he hecho notar, no crece como las velocidades, sino como su cuadrado; de manera, que la accion erosiva en Tequixquiac es  $6\frac{1}{2}$  veces mayor que en el acueducto de Croton. Con una diferencia tan fuerte, se concibe que el ejemplo de aquel acueducto revestido enteramente de ladrillo, no puede tampoco, bajo este otro punto de vista, autorizar en Tequixquiac el empleo del ladrillo para revestir la cubeta.

Para concluir, haré una ligera referencia al túnel del lago Fucino en Italia, el único que tiene una corriente semejante á la de Tequixquiac, para hacer notar, sobre todo, que allí la cubeta no se ha revestido con ladrillo, sino con piedra labrada de muy buena calidad.

## V

Doy fin á este trabajo, honrándome con hacer presente á la H. Junta Directiva, que no juzgo acertadas las modificaciones que propone el Sr. Derote; porque ni consulta una bóveda que corrija la que se está construyendo, ni una cubeta que garantice el porvenir de la construccion. Además, si alguna ligera ventaja pudiera resultar del pequeño aumento de la seccion que se consulta, ésta es ya irrealizable en el estado de adelanto de los trabajos. Mi experiencia respecto de la localidad, me hace ver claro lo equívoco de las hipótesis en que ha fundado su trabajo.

Me he esforzado por demostrar hasta donde me ha sido posible esos equívocos, lo mismo que sus inconvenientes, aun á riesgo de parecer pesado y difuso; pero á ello me ha conducido el deseo de prevenir por medio de mis demostraciones, la nota de preocupacion que pudiera atribuírseme.

Juzgo que la cuestion tiene demasiado interes, sobre todo en lo que se refiere al revestimiento de la cubeta, pues para mí descansa en ella el porvenir de la obra, y es lo que me obliga á recomendarlo de una manera muy especial á los señores miembros de la Junta Directiva. Un error, una falta de prevision al elegir los materiales, podria dar lugar á que se repitiera el desastre de Nochistongo, en donde, como es sabido, por falta de cálculo en la resistencia de la pared del fondo, se determinó el derrumbe; debe tenerse presente que el túnel de Tequixquiac no es una obra que deba servir por quince ó veinte años, sino que tiene que usarse indefinidamente.

En otra ocasion, y con motivo de ménos trascendencia, como fué el de reducir el fondo del gran canal (estudio mucho más fácil y más claro), la H. Junta, con el ilustrado criterio que la distingue, solicitó la cooperacion de ingenieros competentes que ilustraran el punto. Yo creo que hoy, más que en aquella vez, se hace sentir la necesidad de una cooperacion semejante, siquiera sea por la trascendencia que las variaciones de que se trata tienen en el porvenir del Desagüe del Valle.

Zumpango, Junio 3 de 1888.—Firmado.—*Luis Espinosa.*

Es copia. México, Octubre 31 de 1888.—*Pedro Rincon.*