

seccion circular para el canal cubierto, que es lo que hay de comparable con el túnel de Tequixquiac. El uso que han hecho de la seccion circular se ha limitado rigurosamente al sifon. *Particularmente hago notar que en la obra de Tequixquiac no hay ningun tramo en que aquel sifon pudiera tener su representante.* Esta observacion basta para hacer manifiesto que la obra de Nueva York no puede autorizar el empleo de la seccion circular en el túnel de Tequixquiac, si se analizan las circunstancias en que ha sido empleada.

Abandonando este paralelo paso á examinar la cuestion bajo otro orden de ideas: el de la estabilidad y condiciones hidráulicas del conducto.

Razonando en abstracto es de asentarse que la seccion circular conviene indudablemente á los terrenos semifluidos y á todos los que estén agregados con tendencias á esta propiedad, porque en ellos las presiones se ejercen en todos sentidos del exterior al interior de la construccion, en casos como este, repito, la seccion circular es no solo racional sino casi necesaria, porque es la que resiste igualmente en todas direcciones.

*En Tequixquiac no hay presiones en todos los sentidos de la construccion, el terreno no tiene ninguna tendencia á la fluidez ni mucho ménos, su cohesion y tenacidad naturales son bastantes para oponerse á esa tendencia; fuera de la carga vertical que gravita sobre la bóveda que se construye, no existe presion alguna, ni en las paredes laterales ni en el fondo.*

Esa carga vertical es la del terreno comprendido entre la bóveda y la curva de equilibrio que he representado en los dibujos 1 y 2, que me sirvieron para estudiar la estabilidad de la bóveda; naturalmente la posicion de la curva de equilibrio no es fija absolutamente hablando, sino que es muy variable, no pudiéndole atribuir en dichos dibujos más que una posicion média.

Con estos datos á la vista, que son los únicos positivos, llevando la cuestion á sus términos más concretos, ya no es admisible de una manera preferente la seccion circular. A este respecto es decisiva la siguiente inferencia que tomo de la obra titulada "*Draining and Sewage of Towns and Buildings del S. G. R. Dempsey,*" y es la siguiente: "*Cuando la mayor presion viene de arriba verticalmente, la construccion deberá ofrecer mayor resistencia en esta direccion: de aquí se sigue que la forma elíptica cuyo diámetro mayor fuese vertical aparece en condiciones mejores que las de un círculo, y la primera es indudablemente la menos imperfecta que pudiera adoptarse.*"

Pero hay que atender tambien á otras condiciones que son ya del dominio de la hidráulica, por las que se pasa de la seccion elíptica á la ovoide, sin el inconveniente bajo el punto de vista de la estabilidad de la obra. Paso á ocuparme de ellas, pero despues de asentar la siguiente conclusion sobre las condiciones que acabo de exponer.

Es de objetarse al Sr. Derote que pretenda reemplazar el tipo de seccion

*ad hoc* para resistir una presion vertical, como se requiere en Tequixquiac, por otro que seria el correspondiente á una presion múltiple, ejerciéndose del exterior al interior en la totalidad de la periferia. Esta presion múltiple no existe absoluamente, ni hay aguas del subsuelo que pudieran determinar una subpresion. La sustitucion considerada, pues, bajo el dominio de la teoria es cuando menos irracional, y prácticamente es inmotivada, porque hay ya construido más de un kilómetro de túnel que se halla en perfecta incolumidad, contestando así victoriosamente cualquiera objecion de insuficiencia.

Las condiciones á que aludí ántes se inferen de lo siguiente.

En un conducto de desagüe se procura siempre una forma de seccion que ofrezca menos resistencia al paso del agua. Cuando el gasto de ese conducto es constante y bien determinado el cálculo de la seccion que ofrezca esa facilidad en mayor grado es conocido, y se sabe que, si en la construccion del conducto puede entrar la mampostería, un semicírculo es lo que más conviene, porque es la figura que está limitada por un perímetro menor para una seccion dada. Fuera del semicírculo se tienen el rectángulo ó trapecio de menor resistencia, llamados así porque entre la figuras de su especie son los que ofrecen para una misma seccion el menor perímetro posible, cuya condicion se realiza cuando el cociente del área dividida por el perímetro mojado es igual á la mitad de la altura de la seccion.

Pero cuando el gasto es variable la cuestion deja de tener una solucion bien determinada, y esto no solo tratándose de todas las diversas formas enumeradas, sino aun concretándose al semicírculo que es la que entre las otras resuelven mejor el problema del mínimo de resistencia al paso de la corriente, en el caso del gasto constante. Esta indeterminacion depende de la alteracion que sufre la relacion entre la área y el perímetro de la seccion variable que ocupa el agua, cuando el caudal de ésta disminuye.

En el círculo, el radio medio aumenta de valor, cuando el nivel del agua baja del extremo del diámetro vertical á su cuarta parte, luego disminuye y recobra su primer valor, cuando su nivel baja hasta la mitad de dicho diámetro; si sigue bajando, el radio medio continúa disminuyendo, pero ya entónces rápidamente. La velocidad de la corriente tiene que seguir todas estas variaciones. Para dar mejor idea de ellas tomaré por ejemplo, un círculo en el que se verifique que el radio medio sea la unidad ó seccion plena; cuando el agua baja ocupando los niveles correspondientes á los 0,8, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 y 0,1 del diámetro vertical, el radio medio pasa sucesivamente por los valores de 1,21, 1,11, 1,00, 0,85, 0,68, 0,48 y 0,25.

Por esta razon cuando la corriente está sujeta á muchas variaciones, el semicírculo deja ya de representar el tipo perfecto de seccion de menor resistencia, en la acepcion hidráulica de la palabra, cediendo este lugar á la seccion ovoide con la cual, si no se puede obtener la constancia absoluta



del radio medio, sí es posible contener su variación en límites compatibles con las necesidades de la práctica. Combinar una descarga considerable de agua, con los medios de conservar la actividad de la corriente, cuando el caudal ó gasto disminuye, ha sido pues la solución que se ha obtenido con la forma ovoide, la cual era imposible conseguir con una forma rigurosamente circular.

Espero haber dilucidado con estas referencias los hechos que conviene tener presentes para discernir en el caso de que me vengo ocupando, haber hecho bastante perceptibles las ventajas de la sección ovoide cuando se tiene que hacer con una corriente de caudal variable; y como sea este el caso que va á realizarse en el problema de Tequixquiac, creo deber concluir de todo que la sección ovoide que se está ejecutando allí es la que corresponde, y que no es racional, bajo el punto de vista de la hidráulica, sustituirla con la sección circular.

Que la corriente será variable en Tequixquiac, es indudable, pues que las aguas que tienen que afluir allí, son las permanentes del Valle de una manera continua, y además, las de las lluvias en determinados meses. Las variaciones en el gasto, deben de oscilar entre un máximo de 17<sup>ms. cúb.</sup>,50 y un mínimo de 3 á 4 metros cúbicos.

Todas estas consideraciones debieron influir en mi ánimo para consultar la forma ovoide en el proyecto de Tequixquiac, y fué así, en efecto: de aquí el mayor trabajo que hube de invertir en el cálculo, pues se comprende que el camino más llano y más fácil era el del cálculo de la sección circular.

Si, pues, ni por estabilidad de construcción, según lo que ántes he expuesto, ni por exigencias hidráulicas pueden sostenerse ventajas de la sección circular sobre la que está aprobada, será injustificable introducir en la obra que se está ejecutando un cambio en la forma de la sección que no puede significar más que un desperfecto en ella. Y esta imperfección no se reduce simplemente á aparecer como un defecto de vista, sino que también produce una perturbación en la corriente, en el cambio que tiene que operarse al pasar de la sección circular que se construyese á la ovoide en el tramo que se ha construido.

Un mismo volumen de agua tendrá que pasar en tiempos iguales, aunque sucesivamente por ambas secciones; pero la altura que alcance el nivel de la corriente en la sección ovoide, tiene que ser mayor que en la sección circular, y el tránsito no puede hacerse sin que se produzca un remanso. Pero un remanso es una irregularidad que debe evitarse en toda corriente siempre que sea posible, y lo racional aquí es no introducirlo ya que no existe. Podría tolerarse en caso de obtener con la sección circular del Sr. Derote ventajas incontestables; pero bajo cualquier punto de vista que se considere dicha sección es resueltamente objetable.

## III.

Por juzgar íntimamente unidos á la forma de la sección los párrafos que el Sr. Derote consagra á las ventajas subsidiarias de ella, me ocupo de este asunto alterando un poco el orden en que él lo hizo.

Haciendo punto omiso el Sr. Derote de que existe ya un kilómetro de túnel concluido con la sección ovoide, pretende poder aumentar el gasto con la circular que se construyera, en continuación de la anterior, pues dice: «*La sección interior que propongo, aumenta ligeramente por una parte, y por otra el barnizado continuo de cemento ofrecerá una superficie más lisa que la mampostería de piedras artificiales con juntas.*»

Digo que pretende, porque ese aumento sería en la hipótesis de que las aguas se elevasen exactamente al mismo nivel en la sección circular como en la ovoide, y eso no se realiza. El Sr. Derote la establece y se sirve de ella; pero evidentemente la hipótesis es imposible, porque para eso sería necesario que pasaran simultáneamente volúmenes de agua diferentes por un mismo conducto.

El nivel del agua en las dos secciones tiene, pues, que ser distinto, inferior en la circular; y de aquí la formación inevitable del remanso de que ántes he hablado. Digo inevitable, porque es preciso no olvidar que existe ya más de un kilómetro construido con la sección ovoide, y que este kilómetro con su sección es el que fija ya la cantidad de agua que debe salir, y por su posición en el extremo inferior tiene que regir también las condiciones de la corriente.

Como ventajas propiamente subsidiarias, expone el Sr. Derote que si se deja llenar completamente el túnel de agua, hasta el intrados de la clave, el gasto será de 28<sup>ms. cúb.</sup>,38, y que el gasto máximo 29<sup>ms. cúb.</sup>,30 corresponde á un nivel ligeramente inferior.

Esta no es una propiedad exclusiva de la sección que propone el Sr. Derote. Procediendo análogamente, se pueden obtener aumentos semejantes en la sección ovoide, es decir, dejando elevar el agua hasta el intrados de la clave, se obtendrían 25 metros cúbicos de gasto, y el máximo 27 $\frac{3}{4}$  metros cúbicos si el nivel del agua se conservara á 0<sup>m</sup>,27 del mismo intrados.

En estos casos, que tendrían que ser excepcionales, repetiré lo mismo que en el anterior: la cantidad de agua que corra por el túnel será la que expresan los últimos números, correspondientes á la sección ovoide construida ya en más de un kilómetro; cualquiera aumento de que fuese susceptible la sección circular si funcionara aisladamente, por razón de tener una área ligeramente mayor, queda aquí sin efecto, por lo que respecta al gasto; en cambio tendría la desventaja de ser la causa de la irregularidad que producirá en la corriente.



Debo contestar esta observacion del Sr. Derote que dice: «*Encuentro que con la seccion actualmente aprobada, el gasto de agua será un poco mayor que el que computó el Sr. Espinosa: 18<sup>ms. cúb.</sup>,18 en vez de 17<sup>ms. cúb.</sup>,50, en la hipótesis de que las aguas lleguen hasta los arranques de la bóveda superior, dejando arriba de ellos una altura libre de 1<sup>m.</sup>,47 bajo el intrados de la clave.*»

La seccion aprobada se combinó con el propósito de producir un gasto de 17<sup>ms. cúb.</sup>,50, el cálculo del Sr. Derote produce 18<sup>ms. cúb.</sup>,18 ó sea un exceso de 0<sup>ms. cúb.</sup>,68. Tengo entendido que el Sr. Derote ha calculado con la fórmula de Bazin, y de aquí la diferencia. Si bien en otra época yo mismo he calculado con ella, despues he venido en conocimiento de la de Kutter que se considera como el último adelanto, como la expresion más aproximativa, en una indeterminacion en que no es posible aún obtener la extrema exactitud. Como indudablemente la fórmula de Kutter es hoy la preferible, no creo deber conformarme con la rectificacion que hace el Sr. Derote, y tanto más cuanto que, habiendo yo recalculado con la fórmula de Kutter, encuentro que el gasto seria 17<sup>ms. cúb.</sup>,38, es decir, menor más bien que 17<sup>ms. cúb.</sup>,50, y no mayor. No basta que manifieste yo la fórmula de que me he servido, es necesario, además, agregar que el valor del coeficiente *n* de dicha fórmula lo he tomado igual á 0,015, imitando en esto á los Sres. J. C. Trautwine, R. Hering y P. J. Flynn que han considerado este coeficiente como conviniendo á las paredes de ladrillo ó blocs de cemento con juntas. Segun lo expuesto, habria que disminuir los números del Sr. Derote que considero altos ó aumentar los míos; pero, repito, en esta cuestion no se ha alcanzado todavía la extrema exactitud y no creo que deba hacerse obra de discusion una diferencia tan pequeña; por lo que no insisto ni en una ni en otra cosa.

Asentada esta aclaracion, con objeto de explicar la diferencia ó error que me atribuye el Sr. Derote para el cálculo del gasto, debo formular alguna conclusion respecto de lo expuesto en estos párrafos, y es como sigue:

Dado el estado de los trabajos, cualquiera ventaja permanente ó subsidiaria que dependa de la mayor amplitud de la seccion propuesta por el Sr. Derote no puede ya realizarse, pues el gasto lo mismo que la corriente están ya inmutablemente fijados por el kilómetro del túnel que está construido. Todavía esto tiene mayor fuerza cuando se considera la inconsistencia del túnel construido de ladrillo con un barnizado de cemento, de que pasaré á ocuparme luego, para resistir á la corrosion de una corriente de agua, con velocidad média de 2<sup>m.</sup>,40 por segundo, como requeriria probablemente el gasto de 25 metros cúbicos que considera el Sr. Derote, como muy satisfactorio y de fácil realizacion con el círculo.

## IV.

He reservado este párrafo para ocuparme exclusivamente del material que debe emplearse en la construccion de la cubeta, siendo este el punto que, en mi concepto, tiene de más inadmisibles las variaciones propuestas por el Sr. Derote.

Tambien este asunto fué tratado por él en nota particular, y entónces tuve la honra de contestar de la manera siguiente:

«No ha sido precisamente un motivo de economía la causa determinante del uso de la piedra artificial en la cubeta, si bien no se ha dejado de tener esto á la vista. Ligeramente indicaré las razones de economía que me parece militan en favor de la práctica que se está siguiendo, luego me ocuparé de la causa principal.

«Hasta hoy se ha fabricado ladrillo en condiciones que, bajo la relacion del costo, pueden competir con ligera ventaja con las de la piedra artificial, porque el precio de la leña ha sido más que moderado, puede decirse barato, pero esta leña que es la de Perú, ha concluido; no se podría ya conseguir en la region si no es en cantidades insignificantes, y los cálculos en lo sucesivo deben descansar sobre el uso de la leña de ocote, que, aunque no sea más que por razón de su transporte, sale á un precio casi doble que la de Perú. Esta circunstancia hará subir notablemente el precio del ladrillo.

«La piedra artificial al contrario, si no es porque aumente el precio del cemento, lo que no me parece probable, tiende á bajar, y esta baja vendrá con solo aumentar la escala de su fabricacion.

«Estas circunstancias creo que bastarán para demostrar que de aquí en adelante la ventaja, cualquiera que sea, estará en favor de la piedra artificial, atentos los recursos de la localidad. Esta ventaja será mucho mayor, si se atiende á que la construccion del ladrillo en la cubeta requerirá, en lugar de cal, cemento, para la fabricacion del mortero.

«En un cómputo comparativo, sobre las diferencias probables de costo que tendria la construccion de cubeta con ladrillo ó piedra artificial, y que participé al Sr. Derote, supuse que en el mortero no habria variacion, al ménos en cuanto á la clase; pero como segun dejo expuesto, entiendo que el empleo del ladrillo requiere el cemento en lugar de la cal, el resultado de aquel cómputo debe alterarse, sin que quede duda de que aumentará el costo de la construccion del ladrillo.

«Paso á ocuparme de la razon que considero determinante, para el uso de la piedra artificial. El túnel de Tequixquiac debe dar paso á una corriente cuya velocidad média se ha calculado en 2<sup>m.</sup>,24 por segundo de tiempo, y en estas condiciones me ha parecido que el ladrillo no tiene la consistencia necesaria para resistir el frotamiento del agua.