

en toda la extension del canal, es de la mayor trascendencia, y solo despues de un detenido y detallado exámen comparativo de todas las circunstancias de ambos casos, podrá resolverse la eleccion con probabilidad de acierto: para conseguir esto, y con objeto de esclarecer esta cuestion, vamos á presentar algunas de las principales consideraciones.

Respecto á la cantidad de agua adquirida. Desde luego se concibe la economía que debe resultar no haciendo el revestimiento, por la gran reduccion que esto proporcionará al gasto primero ó al capital necesario; por manera que si las razones que aboguen por el revestimiento no son de tal monta que lleguen á destruir ó equilibrar aquella ventaja, se deberá desde luego optar por la acequia sin revestir. La primera y principal consideracion en contra, la presenta la precisa y absoluta necesidad de la seguridad que debe tener un servicio tan de primer orden: bien es verdad que, con bastante probabilidad de acierto, se supone llegarán á Madrid las dos terceras partes del agua que reciba la acequia, y tambien lo es que aunque solo llegase la mitad, la tercera parte y aun ménos, el abastecimiento no faltaria, pues con pocos miles reales de agua que lleguen, puede estar Madrid medianamente surtido. Es tambien bastante probable, y la experiencia suele acreditar lo mismo que la razon natural dicta, y es, que aunque de nuevo tenga un canal enormes pérdidas por filtraciones, pasando el tiempo suelen estas ir menguando poco á poco, pues se cierran sucesivamente los intersticios por la accion de lo que acarrea la misma agua, y mas si se auxilia esta accion artificialmente por los varios medios que hoy suelen emplearse con buen éxito: pero si bien estas razones tienen en efecto toda la probabilidad que se supone, no obstante el resultado no es tan completamente seguro como sería de desear en un objeto de primera importancia y al que deben ser afectos grandes capitales. Aun quando llegue á Madrid por el canal de tierra el agua con que se cuenta, sin embargo, como en el de fábrica siempre puede suponerse son las pérdidas mucho menores, se traerá por este en igualdad de circunstancias un aumento que con el tiempo y por el valor que sucesivamente tome el agua, debido á la costumbre que vaya haciéndose de su uso, podrá representar en Madrid una suma respetable, que acaso compense con usura el aumento del gasto primero. Esta primera consideracion es de la mayor importancia, y nunca debe

perdérse de vista. Aunque en la mayor parte de los casos que nos ofrece la práctica han disminuido con el tiempo en efecto las pérdidas por filtraciones, esta regla sin embargo no ha dejado de tener excepciones, y bien cerca de Madrid tenemos un canal de riego en actual servicio, y en situacion propia para producir crecidas ventajas á la agricultura, una parte del cual, no obstante, se halla abandonada por las enormes pérdidas que experimentaba, y tales que hacian casi nulo su servicio en todo el trozo que hoy se ve sin agua. Es cierto que el arte logra la mayor parte de las veces atajar este mal con mas ó ménos tiempo; pero esto no se alcanza sino con gastos que en algunos casos tienen que ser de consideracion, y en otros resultan perpetuos, pues las filtraciones vuelven á aparecer á poco que se abandone el sistema empleado para evitarlas ó contenerlas. En algunas ocasiones la cantidad de agua adquirida con la ejecucion de las obras ha sido tan extremadamente reducida respecto á la que se apreció en los proyectos, que ha tocado en lo fabuloso. Citarémos solo un caso, que es de los mas notables por sus circunstancias particulares. Cuando Luis XIV de Francia, con los inmensos medios de accion de que disponia, quiso convertir el ingrato terreno de Versailles en un sitio de delicias, fuéron comisionados los primeros hombres del arte á estudiar los medios de reunir y conducir una gran cantidad de agua. El sistema propuesto y ejecutado se compone de estanques ó pantanos de depósito, de acueductos de fábrica, y de canales ó acequias en el terreno natural; todo lo que debia producir, segun se calculaba, un caudal de agua de 40.000 pulgadas francesas de fontanero (1). Las obras se ejecutaron con la latitud calculada, con los medios necesarios, y por ingenieros cuyos nombres figuran hoy con justicia en primer órden en todo lo que tiene relacion con las construcciones hidráulicas; y el resultado ha sido que el caudal de agua que posee Versailles está reducido á una cantidad insignificante respecto á la calculada, pues es solo de 200 pulgadas francesas fontaneras, es decir la cincuenta parte de la que se calculó. Es cierto que una buena porcion de la pérdida será debida á mayores filtraciones de las que se supusieron, en la inmensa superficie de reunion de aguas (que excede de 23.000 fanegas de marco real), en los depósitos y otros, y tambien acaso á mayor evaporacion de la que se calculó;

(1) La pulgada francesa de fontanero equivale próximamente á 6 rs. de agua.

pero es indudable deben entrar por una cantidad bien crecida las filtraciones que se verifiquen en la extension de 20 leguas de acequias, en diferentes trozos que se hallan sin revestir.

Respecto á la pendiente, á la velocidad y á la seccion transversal. La misma especie de falta de completa seguridad que en una acequia de tierra se ofrece respecto del caudal de agua que debe producir, resulta tambien en cuanto hace referencia á la pendiente, á la velocidad y á la seccion transversal, para las cuales las fórmulas que se establecen dan números de solo aproximacion, pero que pueden variar en escala bastante extensa por las irregularidades que la naturaleza de la obra puede producir en el régimen en general. Efectivamente, para que el agua conserve sus buenas propiedades, y no se vicie en el tiempo de su larga estancia en el canal ó acequia, es preciso que la velocidad se conserve mayor que un cierto límite, el cual, segun los experimentos hechos, es de 1,3 piés por segundo; y aun cuando en nuestro caso nos haya dado el cálculo, que la velocidad del agua deberá ser en la acequia mayor que este límite, no obstante no hay completa seguridad de que así suceda, pues puede ser retardada por causas procedentes de la naturaleza de la obra; siendo las principales la variacion de la pendiente de la solera del canal que puede producir la accion del agua, acrecentándose en unos trechos la velocidad para reducirse en otros, y la vegetacion de las yerbas dentro del agua, que retardan siempre su velocidad, y en ocasiones de un modo sumamente notable. La pendiente en un canal revestido puede fijarse con seguridad, y de ella y de la seccion transversal invariable deducirse la velocidad que deberá infaliblemente producirse; pero para elegir esta pendiente en un canal de tierra, débese con fundamento vacilar mucho. La necesidad de que la velocidad no baje nunca del límite conveniente, haria elegir una pendiente que, produciendo una velocidad bastante superior á la del límite, diese la seguridad de que el exceso nunca pudiese ser destruido del todo por las causas de retardo que en la acequia se producen por los enrones, vegetacion y otros; pero por otro lado, á poco que sea aumentada la velocidad, la accion del agua ataca la tierra de los cóstados y solera del canal, produciendo permanente causa de degradaciones de costosa reparacion, y des-arreglando notablemente el régimen. La pequeña velocidad de $\frac{1}{3}$ de pié por segundo puede ya arrastrar la tierra, y la de un pié



poco mas la arena ; y aunque debe contarse que el endurecimiento producido por el tiempo naturalmente , ó por un apisonado artificial , debe hacer crecer aquellos limites ; no obstante , como la menor velocidad que puede darse al agua viene á estar cerca ya de la que causa degradaciones , el aumento de esta velocidad en un canal de tierra debe hacerse con la mayor circunspeccion , de manera que la vacilacion estará entre aumentar la velocidad con peligro de crear una causa permanente de degradaciones del canal , ó dejarla mas pequeña , con el otro peligro de que sea insuficiente para la conservacion de la buena calidad del agua , y debiendo aumentar la seccion trasversal para compensar la disminucion del producto. Respecto á la seccion trasversal diremos que tampoco puede ser fijada con completa seguridad en un canal de tierra , pues por muy pequeña que sea la velocidad , no bajando del límite de la bondad del agua , siempre se producirán degradaciones en unas partes , y probablemente depósitos en otras , que alterarán la regularidad del régimen , obligando esto á que se tome la precaucion en el proyecto de aumentar las dimensiones de la seccion , cayendo en dos inconvenientes graves , que son el aumento de gasto y el aumento de pendiente para una misma velocidad , con pérdida de desnivel , ó aumento de altura de presa. Lo que sobre todo es motivo de desarreglo , entorpecimiento y gasto , respecto á las dimensiones y servicio de la seccion trasversal , es la vegetacion : esta causa , que se presenta en escala muy varia , segun los distintos paises , y para cuyas diferencias no se ha dado aun explicacion fija , presenta efectos inevitables , que son la disminucion de velocidad , como ya se ha dicho , y la reduccion de la seccion trasversal. Esta reduccion puede ir , segun los experimentos , desde $\frac{1}{20}$ hasta $\frac{1}{4}$, en los canales de gran seccion , y aun mas allá en los mas pequeños , como el nuestro , sobre todo en este pais de fácil vegetacion , y donde nunca podria tenerse limpio el canal , por muy á menudo que se hiciese la siega de la yerba , que por otro lado debe procurarse evitar cuanto se pueda , por no enturbiar ni viciar en lo mas mínimo el agua. Si ha de juzgarse de lo que sobre este punto podrá suceder en nuestro canal , por la comparacion con el de Cabarrús , que corre unas cuatro leguas desde el Pontón de la Oliva , podremos decir con Nadault de Buffon , que las plantas acuáticas vegetan con una rapidez desesperante.

Respecto á la pureza del agua. En cuanto hemos presentado

hasta aquí para comparacion de las dos clases de canales, ha hecho toda referencia solo á la disposicion de ellos mismos, y nada respecto á las calidades físicas é higiénicas del agua. La del Lozoya es de una pureza tal, que segun los análisis (Véase nota E.) puede compararse al agua destilada, de tal modo que sus calidades como agua potable la hacen superior á la de Puerta Cerrada, es decir, que aun aventaja en bondad á la mejor de entre todas las justamente celebradas de Madrid. Es preciso pues saber si la tierra del canal puede alterar la pureza del agua, porque sería muy sensible que siendo de tan superior calidad perdiese algo, aunque fuese muy poco, si este perjuicio producido por el canal de tierra pudiese ser evitado por el de fábrica.

Para defender los canales sin revestir, suelen algunos compararlos á las corrientes de agua naturales, diciendo que así como por el terreno natural conduce un rio el agua sin que se pierda ni se vicie, del mismo modo y por idénticas razones debe suceder esto también respecto á ambas cosas en una acequia artificial que marcha por el terreno natural; pero en el fondo las propias razones que se alegan, hablan en contra de lo mismo que se trata de apoyar. El agua en el terreno tiende siempre á dirigirse á la parte mas baja, lo que irremisiblemente logra marchando ya por la superficie, ya en filtraciones, hasta que llegada al fondo ó talweg de las arroyadas ó rios, no habiendo terreno mas bajo que buscar, tiene que correr por el cauce natural, sin tener ya por donde escapar; por consiguiente las circunstancias de posicion de una acequia artificial que marcha siempre por laderas, son totalmente opuestas á las de un cauce natural, y por las mismas razones que el agua marcha por este, tenderá perpetuamente á escaparse de aquel: esto en cuanto hace referencia á la comparacion respecto á filtraciones. Pero el mismo resultado da la comparacion respecto á la impureza que puede adquirir el agua por las sustancias que se ofrecen á la disolucion, pues ademas de que existen muchas corrientes donde el agua á medida que avanza es cada vez mas impura, porque su lecho se compone de una clase de terreno que es soluble en todo ó en parte; donde esto no suceda, es claro que debe atribuirse á que el continuo paso del agua en el trascurso de largos siglos ha agotado ya las sustancias solubles aisladas que el lecho pudo contener en su origen, resultando por consiguiente en la actualidad un lecho puro y limpio, al que de ningun modo puede ser

comparado un cauce recientemente abierto en tierra, y en el que el agua encontrará disoluciones que efectuar, por un período de tiempo que para lo que cuenta el hombre puede suponerse ilimitado. No obstante esta consideracion, para que pudiese fijarse con seguridad lo que en esto hubiese de cierto, era preciso un dato irrecusable que terminantemente manifestara los hechos; y á este efecto, cuando el Gobierno de S. M. dispuso fuesen analizadas en el colegio de Farmacia las aguas del rio Lozoya, se tomaron estas separadamente en dos puntos, que fuéron, el uno el Ponton de la Oliva, y el otro el canal de Cabarrús, hácia el pueblo de Torremocha, donde el agua del Lozoya que allí se recogió, habia recorrido como $1\frac{1}{2}$ legua de canal abierto en terreno natural. El resultado de los análisis ha sido el que debia esperarse, pues el agua que atravesó el canal, aunque solo fué en el corto trecho de $1\frac{1}{2}$ leguas, presenta en disolucion un aumento bastante perceptible de materia sólida, debiéndose deducir para las 18 leguas, y por lo que sucede en un canal de fábrica, que las disoluciones que podrá efectuar el agua en el canal de fábrica ó en el de tierra, estarán en la relacion de 12 á 156. (Véase nota E.)

Respecto al coste. Todas las consideraciones que hasta aquí hemos presentado, son favorables al revestimiento del canal, y á su realizacion se opone únicamente el aumento de coste, el cual no obstante podria ser de tal monta, que se creyese preferible correr las eventualidades á que está expuesto el canal sin revestimiento. Para fijar pues las ideas sobre este asunto, es preciso descender á números, por lo que al presente vamos á ensayar el estudio bajo este punto de vista. Supongamos se da al canal 9 piés en la solera y 6 de altura, cuyas dimensiones verémos son las convenientes para los dos servicios extremos de la conduccion de agua en el máximo y en el mínimo; dando al revestimiento un grueso en su término medio de media vara, se podrá calcular que costará el pié lineal de revestimiento, unas localidades con otras á 50 reales vellon, ó un millon en cada legua. Segun hemos visto ántes, sobre dos leguas de las del proyecto irán en minas, por lo que no hay que contar con ellas; sobre otra legua ó algo mas es preciso vaya, no solo revestido, sino tambien cubierto en la proximidad de Madrid, para que resulten unas dos leguas continuadas de mina á la llegada; y por fin es indispensable revestir una porcion de trechos de la linea, entre

los que se cuentan los pasos de los montes de Valdelatas y Viñuelas, una parte del terreno del Molar, etc.; en todo podrán componer unas 4 leguas; de modo que queda para no ser revestido en caso, un espacio de la línea de unas 11 leguas, cuyo coste de revestimiento, si se hiciese, vendria á importar, por lo que se acaba de decir, unos 11 millones de reales. Veamos ahora qué descuentos deberán hacerse de esta cantidad, por los ahorros que proporcione el sistema de revestimiento completo. Para una misma seccion transversal, y para lograr la misma velocidad que en el canal de tierra daría la pendiente de 6 piés por legua que hemos supuesto; en el canal revestido bastarán 5 piés, y aun si se quiere algo ménos, y esto con la ventaja ya expresada de poderse obtener con toda seguridad la velocidad determinada, pues aquí nunca hay las causas de entorpecimiento que en el otro canal son inevitables; así pues desde luego podemos contar con un ahorro de pendiente ó desnivel de unos 20 piés, y por consiguiente la presa que se haga en el Ponton de la Oliva para servir al canal revestido, podrá tener 20 piés ménos de altura que la que exige el canal sin revestir. Suponiendo la base de la presa igual á la altura, y que la terminacion tenga un quinto, y sabiendo que el ancho del álveo del rio en el asiento es de 222 piés, y á la altura conveniente unos 350; añadiendo la longitud necesaria para la curvatura, y suponiendo el precio del pié cúbico á 1 $\frac{1}{2}$ reales por término medio, comprendiendo la sillería necesaria de paramentos de grandes piezas, y el resto de bien fabricada mampostería con cal todo el macizo; la presa de la acequia revestida, por tener 20 piés ménos de altura, costará un millon de reales de ménos que la presa que se hiciese para el canal sin revestir.

La cantidad mas considerable es el gasto anual que la conservacion, reparacion, servicio y limpia en el canal de tierra debe costar de mas que en el de fábrica. La limpia, sobre todo, es digna de la primera atencion: nuestro canal no puede compararse á los de navegacion, por la gran diferencia de la velocidad del agua; y puede compararse, sí, con toda propiedad á muchos de los canales de riego. Los mas notables son los de Italia, donde en la mayor parte se hacen dos limpias anuales, dejando para este objeto los canales en seco durante doce ó quince dias. Este es perjuicio grave para un canal de abastecimiento de una gran poblacion. En Italia se ensayó hacer la limpia por los métodos

conocidos, no secando el canal ; pero resultaba que la limpia se hacia mal , las yerbas mal segadas debajo del agua retoñaban con mayor fuerza , y el légamo puesto en suspension en el agua , al removerlo para sacarlo , era arrastrado y depositado mas abajo ; resultando de todo que tres limpias al año , y empleando en cada una de ellas doble tiempo y gastos , apénas producian los efectos de las dos hechas con el agua cortada , por lo que se volvió á este sistema , que es el general ó casi totalmente adoptado. Ambos sistemas de limpia son perjudicialísimos en un canal de abastecimiento. No se puede cortar el agua durante doce ó quince dias , si el depósito de llegada contiene solo el surtido para ocho dias , y no debe hacerse la limpia con el agua , porque en todo el tiempo que durase adquiriria malas cualidades , y esto sería durante quince ó veinte dias , y tres veces en cada año á lo ménos , con gastos de gran consideracion. En el canal revestido pueden disponerse compuertas á trechos , destinadas á las limpias ; pero estas probablemente no serían necesarias sino cada seis ú ocho años , con gastos insignificantes , porque habria poquisimo que sacar , se haria en muy pocos dias , y por pequeños trozos aisladamente , de tal modo que probablemente ni siquiera sería esta operacion percibida en la poblacion.

Probablemente no será excesivo el graduar en 200.000 reales vellon anuales el aumento de gastos que estas limpias , unidas á los aumentos tambien de conservacion , reparacion y aumento de personal permanente , ocasionarán en el canal sin revistir respecto del revestido ; de manera que este gasto perpetuo representa ya por sí solo otros 4 millones de capital , que unidos al millon que puede ahorrarse en la presa , hacen 5 millones , que se deben descontar de los 11 que se dijo tendria de aumento de gasto el revestimiento. Dedúcese por consiguiente que el aumento de gasto por revestimiento , en el fondo queda reducido á 6 millones de reales , con cuya cantidad se compran todas las seguridades y mejoras deseables que hemos expuesto hasta aquí , y ademas un aumento de agua llegada á Madrid en el mínimo del verano , que no bajará de 5.000 reales fontaneros , cuyo valor , supuesto en venta á solo el precio ínfimo de la que se destine á riegos de tierras de beneficio , producirá con mucha ventaja el exceso de gasto. Es preciso no obstante no disimular que el hacer el revestimiento total acarreará otro aumento de gasto , si se quiere que esté hecho todo con la posible perfec-

cion. Efectivamente, el revestimiento ofrece todas las garantías de seguridad en el terreno natural y en los desmontes ; pero en los terraplenes ya es diferente, porque hacen mucho asiento en el primer tiempo despues de su formacion , y aun continúan sentando , si bien muy lentamente , largo tiempo despues : el método que se empleó en la antigüedad para salvar el peligro de los asientos de los terraplenes , fué hacer dentro de ellos mismos , y en todo el espacio que ha de ocupar la caja del canal, un muro de piedra en seco, sentado en terreno firme , y que sirve como de cimiento al mismo canal ; este sistema, que se ha imitado despues , y entre otros en el acueducto de Nueva York, recientemente concluido, no deja de ser bastante dispendioso, pero evita todas las contingencias. Este gasto en nuestro canal, segun cálculo aproximado , podrá ascender á 6 millones de reales ; no obstante , haciendo los terraplenes lo primero de todo cuando la ejecucion de las obras , y dejándolos despues á la intemperie durante los cuatro años siguientes de la duracion de los trabajos , para que hiciesen su asiento casi completo, se podría despues ejecutar sobre ellos la caja de fábrica del canal con bastante probabilidad de buen resultado. Este punto deberá ser resuelto en union á lo relativo al revestimiento de fábrica, cuando se trate de la formacion del proyecto definitivo y ejecucion de las obras. Terminando lo que hace referencia á esta parte del proyecto, se debe hacer observar que casi todos los canales que hasta el presente se han ejecutado para abastecer de aguas potables las poblaciones de consideracion , han sido revestidos de fábrica , y aun cubiertos de bóveda , así los de la antigüedad como los modernos ; y este hecho manifiesta claramente la gran importancia que en todos tiempos y todos los paises han dado los mas distinguidos ingenieros á la completa seguridad que deben ofrecer esta clase de obras , seguridad para cuyo logro no han retrocedido ante los mayores sacrificios pecuniarios. El notable y justamente célebre canal de Marsella, ejecutado en el terreno natural y sin revestimiento, no puede servir de excepcion á esta regla , pues ántes al contrario viene en apoyo de la misma , porque el resultado no ha correspondido á lo que se esperaba, habiendo producido el canal una cantidad de agua muy inferior á la calculada. El ingeniero Montricher, que ha estado al frente de la empresa, no tiene sin duda motivo de estar satisfecho del resultado , cuando despues de haber ejecutado un

canal sin revestir, y consultado sobre la conduccion de aguas á Madrid, despues de examinar el terreno, se expresa del modo siguiente : « Cualquiera que sea el trazado que se adopte, creo » que es indispensable revestir el canal con obras de albañilería » sobre toda la extension de aquel, y aun cubrirle por medio de » una bóveda de albañilería ordinaria. Se evitarán así las pérdidas » por filtraciones y por evaporaciones, y las que podrian resultar » de las empresas de los propietarios ribereños. Las aguas con- » servarán su pureza, su buena calidad y su frescura. En fin, los » trabajos quedarian mas al abrigo de todo género de deterioro, » y darián lugar á ménos gasto de entretenimiento que en el caso » de un canal descubierto.»

Comprobacion de las pendientes. Pasemos ahora á verificar las diferentes pendientes que hemos supuesto deberian emplearse en las distintas partes de que se compondrá el canal de traida, cuyo dato es indispensable; aunque como se apoya en cálculos que cualquiera puede efectuar, lo presentaremos muy sucintamente.

Las fórmulas que constantemente se emplean para estas determinaciones, son las que traen los nombres de sus autores Prony y Etelwein; los coeficientes numéricos de la primera están fundados en unas treinta experiencias, y los de la segunda en unas noventa á ciento, comprendiendo mas distantes límites así de pendientes como de secciones: por lo demas son de la misma forma. Aunque á primera vista parezca puede ofrecer mas confianza la que se apoya en mayor número de experiencias, no obstante, en los casos mas comunes, es decir, en aquellos de secciones y pendientes que no son muy extremas, se aplica con ventaja la fórmula de Prony, que da resultados que favorecen mas á la velocidad, ó que da un poco mayor velocidad para una misma pendiente y seccion. La fórmula de Prony tal como está presentada en medidas métricas, y despejada la velocidad es:

$$v = \sqrt{0,005165 + 3233,428 RI} - 0,07185,$$

en cuyos coeficientes está embebida la gravedad g , ó poniéndola manifiesta

$$v = \sqrt{0,00005366 g^2 + 329,6456 g RI} - 0,00733 g.$$

La fórmula de Etelwein es:

$$v = \sqrt{0,0011 + 2753,66 \text{ RI}} - 0,05319.$$

ó lo que es lo mismo :

$$v = \sqrt{0,00001145 \text{ g}^2 + 278,899 \text{ g RI}} - 0,005384 \text{ g}.$$

Reduciendo estas fórmulas á medidas españolas, sabiendo que en Madrid 2 g , ó el doble de la gravedad vale $70 \frac{1}{3}$ piés, ó $g = 35,165$, resultará :

$$\text{Segun } \begin{cases} \text{Prony. . . } v = \sqrt{0,0664 + 11591,99 \text{ RI}} - 0,2576. \\ \text{Etelwein. } v = \sqrt{0,014 + 9807,48 \text{ RI}} - 0,119. \end{cases}$$

Si para reducir estas fórmulas despreciamos el término que bajo el radical no está afecto de RI, lo cual es error pequenísimó, por lo insignificante de este término, resultarán con suficiente aproximacion y muy reducidas las fórmulas siguientes :

$$\text{Prony. . . . } v = 107,665 \sqrt{\text{RI}} - 0,258.$$

$$\text{Etelwein. . } v = 99,03 \sqrt{\text{RI}} - 0,119.$$

R representa la relacion de la seccion al perímetro mojado, ó

$$R = \frac{S}{P} \text{ siendo S la seccion y P el perímetro mojado del canal}$$

que se considere, todo expresado en piés castellanos: I es la pendiente por unidad lineal ó por pié, y v la velocidad, ó el número de piés que en un segundo andará el agua, por término medio, en toda la seccion.

Se han presentado entrambas fórmulas para aplicar cada una á diferente caso. La de Prony, que da resultados algun tanto favorables á la velocidad, la aplicaremos en todos los casos en que la seccion transversal sea de fábrica, es decir, en las minas, acueductos y canal revestido, con la seguridad que en la práctica estos resultados no quedarán cortos, ántes bien en general irán mas allá de lo que haya dado la fórmula. La de Etelwein servirá para el canal de tierra; pero los resultados que dé, aunque mas desfavorables que por la otra, aun así tendremos que modificarlos, suponiendo que no se verificará el completo de la velocidad que resulte, por los entorpecimientos que tendrá, y de que hemos hablado, debiendo por consiguiente aumentar la pendiente y tambien la seccion transversal, despues de los resultados de la fórmula: en los cálculos hechos para algunos canales, se han dispuesto los datos de modo que la fórmula diese una

velocidad doble de la que se trataba de realizar, suponiendo por consiguiente que las causas de retardo destruirian la mitad del total de la velocidad media.

Se ve por las fórmulas que v aumentará con R , es decir, que para una misma velocidad podrá disminuirse la pendiente I en la misma proporción que crezca R ; luego la figura de canal que dé el mayor valor de R , será la mas favorable para la economía de las pendientes. Es sabido que el semicírculo es el que presenta aquella propiedad en primer grado; pero la facilidad de construcción y conservación del canal, exigen que su sección transversal se componga de líneas rectas, cuyo número no pase de tres, que son la solera y los costados; aquella horizontal, y estos verticales ó inclinados. Los polígonos inscritos en el círculo, se aproximan tanto mas á él, cuanto mayor sea el número de lados, y por consiguiente será mas favorable la sección transversal que pertenezca á polígono de mayor número de lados. Dos son los semi-polígonos regulares que se componen de tres lados; el semi-cuadrado, que es el rectángulo que tiene de altura la mitad de la base, y el semi-exágono, cuyos lados inclinados, siendo horizontal el de en medio, forman con la prolongación de este ó con la línea horizontal un ángulo de 60 grados. El semi-exágono por consiguiente es la figura mas favorable para la sección transversal de un canal, y despues de él, el mejor es el semi-cuadrado, generalmente adoptado en los canales revestidos: pero en los de tierra han de tener los costados el talud adecuado á la calidad del terreno, y esta exigencia hace que no pueda adoptarse sección transversal fija y determinada, sino arreglar los taludes, y aun variar algun tanto el ancho de la solera en cada clase de terreno, de manera que resulte un valor de la sección transversal próximamente constante. El perjuicio que esto causa respecto al aprovechamiento de las pendientes, es insignificante, pues es pequeñísima la diferencia de los dos valores de R , correspondientes el uno al trapecio que resulta en la sección transversal, y el otro al semi-exágono de igual superficie. Lo mismo puede decirse respecto á la comparación del semi-cuadrado que se emplea en las secciones revestidas con el semi-exágono; la R varía tan poco del uno al otro, que siendo $0,403 r$ para el semi-cuadrado, no es mas que $0,453 r$ para el semi-exágono; ó lo que es lo mismo, la R del semi-exágono vale $1,0769$ la del semi-cuadrado (r es el radio del círculo en que se inscribe

el exágono, ó uno de los tres lados iguales del semi-exágono); con este dato podremos siempre apreciar la pequeña desventaja que respecto á la figura preferente tiene la que haya de adoptarse.

Como en los canales hay que conducir en los extremos de las estaciones un máximo y un mínimo de agua, deberá procurarse que la figura de la seccion transversal sea tal que resulte favorecida con preferencia la seccion media, ó aquella que baña el agua cuando transita el volúmen medio, ó el volúmen que ha de contener el canal el mayor tiempo del año; de este modo lo que quedan desfavorecidas las proporciones del mejor efecto en los perímetros mojados del máximo y del mínimo de la conduccion, se reduce tambien á cantidades insignificantes y despreciables.

Aplicando la fórmula de Prony al canal revestido de fábrica, suponiéndole 9 piés de ancho y $5\frac{1}{2}$ de altura de agua en el máximo de traida, para dar 6 piés á la altura del revestimiento, y con una pendiente de 5 piés por legua ó 0,00025 por pié; resulta una velocidad de 2,42 piés; por lo que el canal podrá conducir 120 piés cúbicos por segundo en el máximo, cuya cantidad en la práctica será mas bien mayor que menor: es decir, que el canal podrá conducir á lo ménos 72.000 rs. de agua. Aplicando la misma fórmula en el caso del mínimo, con la misma pendiente, el mismo ancho, y suponiendo 5 piés para el alto que en el canal tome el agua en este caso, resulta una velocidad de 2,03, que da un volúmen de 55 piés, que es poco mas del mínimo que hemos supuesto deberá conducir el canal. Entre estos dos limites estará siempre el volúmen medio, que producirá un perímetro mojado generalmente próximo al semi-cuadrado. Es preciso observar que aun cuando se dé á los muros del revestimiento un ligero talud por la parte del canal, el mismo á que obligue la construccion para lograr la mayor resistencia con la menor cantidad de obra, esto no solo no será perjudicial, sino que será favorable á la conduccion, pues aumentará el volúmen de agua que transite, por dos causas simultáneas, que son el mayor ancho que tomará el canal por la parte superior, y el pequeño aumento de velocidad que producirá el que la seccion varíe, aproximándose al semi-exágono.

Dando al hueco de las minas $5\frac{1}{2}$ piés de ancho, con la pendiente de uno por mil que se ha supuesto, ó 0,001 por pié, el

agua cuando pase en su máximo de 120 piés, que hemos hallado para el total del canal, tomará la altura de 5 piés, pues tendrá la velocidad segun la fórmula de 4,23 piés : y como los muros deberán tener un pequeño talud para la mejor resistencia del empuje del terreno, aquella altura no deberá excederse, ó se excederá poquísimo; de modo que dando al revestimiento esmerado para la contencion del agua un alto de 6 piés, se estará seguro de su buen servicio, y el resto de estos muretes y la bóveda de revestimiento de la mina, ó de sostenimiento del terreno, podrá ser de mampostería comun, con una labor mediana. Dando un pié mas á la altura de los muretes, ó 7 piés desde el piso de la solera hasta el arranque de la bóveda, y 3 piés de radio á esta, resultarán las dimensiones interiores de la mina, 5 $\frac{1}{2}$ piés en la solera, 6 en el arranque del arco, y 10 de altura desde la solera á la clave : las dimensiones medias de la excavacion, contando un término medio de media vara para los gruesos de los revestimientos, serán 13 piés de alto por 9 de ancho, que producirán un desmonte de unas 4 varas cúbicas por pié lineal, y unos 52 piés cúbicos de mampostería de revestimiento.

Si se supone que la solera tenga en los acueductos 5 $\frac{1}{2}$ piés de ancho, para que transiten 120 piés cúbicos de agua por segundo, se necesitará que el agua tome la altura de 4 $\frac{1}{4}$ piés, pues la velocidad en este caso, segun la fórmula, es de 5,13 piés. Resulta de aquí que dando á los muretes del canal en los acueductos 5 piés de alto, siempre excederá de medio pié la parte superior de murete que quedará sin mojar en el máximo de la conduccion.

Resta solo ahora considerar la marcha del agua en la acequia en el caso de no revestirse. Supondrémos para el cálculo que se tome la seccion, de superficie igual á la que se ha dado al canal revestido, salvo el hacer despues algun aumento; y para mayor facilidad supondrémos á 45° los taludes, de modo que cuando se tiendan mas, aumentará la seccion. La solera tendrá 4 $\frac{1}{2}$ piés de ancho; en la superficie del agua habrá 13 $\frac{1}{2}$, y el alto desde la solera á la superficie del agua 5 $\frac{1}{2}$ piés; la pendiente la tomaremos como se dijo de 6 piés por legua ó 0,0005 por pié; con estos datos la velocidad, segun la fórmula de Etelwein, resulta de 2,58 piés. Esta velocidad no se la puede suponer reducida á menos de 2,4 piés si ha de resultar con ella el volúmen de 120

piés que hemos tomado en el máximo, por cuya razón será conveniente ensanchar la solera del canal: suponiéndola de 6 piés, y que el agua tome en el mínimo la altura de 3 piés, resultará por la fórmula de Etelwein una velocidad de 2,08, la cual suponiéndola reducida á 1,83, producirá en el canal un paso de agua de 50 piés cúbicos por segundo, que es el mínimo supuesto. Para el máximo es inútil hacer el cálculo, pues las dimensiones del canal serán suficientes; este deberá tener por consiguiente por dimension general de ancho de la solera 6 piés, otros 6 piés de alto sin contar mas que la caja, y sin incluir en esto la terminacion superior, y por fin los taludes que indiquen las diferentes clases de terrenos, no subiendo nunca su inclinacion sobre la línea horizontal de 45°, ó el talud de uno de base por uno de altura.

Con los datos que se han hallado y con los demas tanteos que se crea conveniente hacer sobre pendientes y secciones transversales, para cuyo objeto se han presentado las fórmulas convenientes, se tienen todos los datos necesarios para un conocimiento suficientemente aproximado del trazado que se propone, y solo un estudio detallado del proyecto podrá completar este conocimiento para formar debidamente y con la necesaria probabilidad de acierto el presupuesto detallado y definitivo; entre tanto se presentará un avance alzado, para tener sobre este punto una idea aproximada.

AVANCE APROXIMADO DEL CANAL DE LOZOYA.

Derivacion del Ponton de la Oliva.

Piés lineales.		Reales vellon.
40.000	En minas.	5.000.000
16.000	En avenidas de minas de 15 piés de alto por término medio.	552.000
5.000	Línea de acueductos á 1.500 reales ve- llon el pié lineal.	7.500.000
5.000	De terraplenes de avenidas de acueduc- tos de 15 piés de alto.	510.000
50.800	De canal abierto en peña á 24 reales pié lineal.	759.200
96.800	<i>Suma al frente.</i> . . .	15.901.200

96.800	<i>Suma del frente.</i>	15.901.200
263.200	De acequia abierta en tierra á 8 reales	
560.000	20 ms. pié lineal incluidos desmontes y terraplenes.	2.260.000
	Por diferentes trozos de revestimientos de fábrica y algunos de arcilla apisonada.	2.500.000
	Cunetas comunes, de coronacion alta y baja, y bajadas de agua.	540.000
	Pontones-acueductos, alcantarillas, atabes y muros.	1.500.000
	Puentes-pasos de servicio público y particulares.	648.000
	Presa con mina de toma, compuertas, casa y accesorios.	2.880.000
	Aumento de mina ó acueducto cubierto, en una legua á la proximidad de Madrid.	1.800.000
	Depósito en Madrid y accesorios.	2.500.000
	Predios é indemnizaciones.	680.000
	Compra de agua, ó indemnizaciones por perjuicio de riegos, gastos imprevistos, y direccion y administracion de las obras.	5.790.800
	<i>Suma total para el canal de tierra.</i>	<u>35.000.000</u>
	Por aumento en el caso de hacerse el revestimiento de fábrica de todo el canal, descontado lo que disminuirá en este caso el presupuesto anterior.	<u>10.000.000</u>
	<i>Suma total para el canal revestido de fábrica.</i>	45.000.000
	Por aumento en el caso de cimentarse en firme la fábrica del canal en los terraplenes.	6.000.000
	<i>Suma total para el canal revestido con todas las condiciones de seguridad.</i>	<u>51.000.000</u>

Consideraciones sobre el presupuesto. El avance que precede de ningun modo puede mirarse como un presupuesto definitivo, pues este solo podrá obtenerse como resultado de un proyecto bien fijo y detallado : en un avance hecho solo por cantidades generales y en globo, por mucho que se procure con esmero aproximarse al resultado que podrá dar el estudio del proyecto, han de resultar siempre diferencias mas ó ménos notables, debiéndose tener en cuenta que es muy fácil resulten algunos aumentos por trabajos de detalles y obras pequeñas, por mucho que se haya procurado evitar esto, aumentando en general el precio de las que se calculan en el avance, y poniendo en este por imprevistos una cantidad crecida.

Es preciso hacer observar que la cantidad que resulta de este avance no debe ser comparada con ninguna de las que aparecen en los presupuestos que se dan en los varios trabajos que existen sobre conduccion de aguas á Madrid, pues en casi todos dejan de incluirse muchas cantidades que no fuéron apreciadas por diferentes causas, como tasacion de terrenos, indemnizaciones por perjuicios y compra de agua, puentes de paso, etc., etc., y en otros están hechos los cálculos en muy diferentes supuestos de clases de obras; resultando por consiguiente cantidades que solo podrian equipararse descontando ó adicionando lo correspondiente en cada caso, tenida en cuenta la clase de disposicion de canal, sus dimensiones, cantidad de agua que se trata de conducir en el máximo, las obras accesorias para el buen servicio y régimen, y hasta el gasto de personal, conservacion y reparacion que por año deberá resultar en cada caso. En el que nos ocupa no debe perderse de vista que al canal se dan dimensiones crecidas para poder conducir hasta el máximo de 72.000 reales fontaneros de agua, circunstancia que necesariamente debe influir en el aumento de obra y consiguiente coste; pero sería poco prudente el reducirle, pues ya con el objeto de lograr economía se han llevado sus dimensiones á un mínimo conveniente, mirando al porvenir y al valor que con el tiempo deberá tomar el agua.

El avance se presenta bajo tres supuestos, que son los mismos que se tuvieron en cuenta al hablar de la disposicion de la seccion transversal. El de 55 millones es para el canal hecho en el terreno natural con toda la economía posible, para cuyo logro se han reducido las minas á solo la capacidad necesaria para

el tránsito del agua, como se ha hecho en los canales mas recientemente contruidos, para conduccion de aguas de abastecimiento.

Hecha la obra con todas las garantías deseables, resulta el avance de 51 millones; pero además que tenido en cuenta el gasto anual que esto evita, debe reducirse de 4 á 5 millones, ó lo que es lo mismo, aumentarlos en el del canal de tierra como capital impuesto perpetuamente á interes para producir el aumento de gasto anual; no debe olvidarse el mayor volumen de agua que con seguridad debe contarse llegará á Madrid, y que el aumento, aunque sea de una cantidad tan crecida como 16 millones, no es desproporcionado á la importancia de asegurar completamente el buen éxito de una empresa como esta, destinada á la primera poblacion del Reino; y este sacrificio parecerá por otro lado mucho mas reducido, si se cuenta como es debido, que la empresa puede muy bien darlo de sí, y aun realizar ganancias de gran consideracion, en la venta ó producto de censos de una cantidad de agua tal que basta á completar con desahogo el abastecimiento abundante de la poblacion á domicilio, satisfacer todas las atenciones de policia, ornato, industria y lujo, y por fin producir el completo riego de todo el término de Madrid, incluyendo en ello la atencion importante del exigente terreno de huerta, aun suponiendo llegue á ascender su extension á 400 ó 500 fanegas.

El presupuesto de 45 millones es para el caso de que se economicen los muros de cimientto de asiento del canal revestido en los terraplenes. Esta cuestion es algo delicada, y debe ser resuelta con la mayor circunspeccion cuando llegue el caso de la realizacion.

Así esta resolucioin como las demas importantes á que da lugar la cuestion del abastecimiento de agua para Madrid, deberán ser meditadas seriamente para lograr el acierto, al cual se ha procurado aproximarse en este trabajo, no perdonando para ello medio, fatiga ni estudio, y se han presentado todas las consideraciones debidas y un crecido número de datos escrupulosamente comprobados, para que con estos antecedentes se pueda completar el estudio de la cuestion de conduccion de aguas á esta capital.

RESUMEN

DE LA

MEMORIA SOBRE CONDUCCION DE AGUAS Á MADRID.

Los rios que pueden abastecer á Madrid, llevan en verano las cantidades de agua que á continuacion se expresan, y pueden traerse por acequias de la longitud siguiente :

	Piés cúbicos por segundo.	Leguas de acequia.
Guadarrama, en la parte alta.	4	15
Id. en la parte baja.	15	7 1/2
Manzanares, en Madrid.	9	»
Id. en el pueblo de Manzanares.	5	8
Guadalix, en San Agustin.	4 1/2	10
Jarama, en la parte alta.	20	18
Id. en Puente-Viveros.	80	»
Lozoya, en la parte alta.	25	25
Id. en el Ponton de la Oliva.	51	16

En la proporcion del caudal á la distancia, sale pues aventajado el Lozoya en la parte baja.

El precio á que saldria cada real de agua subida con máquinas, ó traída rodada, es el siguiente :

	Rs. vn.
Elevada del Jarama á 4 leguas de Madrid.	8.500
Aumento en el mismo punto para completar hasta 2.000 reales con máquinas de vapor, á.	8.500
Elevada con máquinas de vapor del Manzanares junto á Madrid.	17.000
Elevada con máquinas movidas por caballerías, en el mismo punto.	45.000
Rodada desde el Ponton de la Oliva, en el caso de la perfeccion de la obra, y tomando un término medio de 50.000 reales fontaneros.	1.700

El sistema de agua rodada, por subido que sea su coste primero, es extremadamente mas barato cuando hay que conducir gran cantidad de agua. Las máquinas solo pueden emplearse para pequeñas cantidades, y como sistema provisional. Para esto último podria dar buen servicio á Madrid el rio Jarama.

No debe tratarse la cuestion de conduccion de uas á Madrid, independientemente de la distribucion domiciliaria: en primer lugar, porque el estudio del canal ha de hacerse de modo que sea propio á la distribucion; y en segundo, porque del valor que tome el agua por su distribucion á domicilio, ha de formarse el capital de construccion.

La puerta de Santa Bárbara no es el punto propio para la llegada del agua á Madrid, sino el álveo del arroyo de la Fuente Castellana, mas arriba de los paseos.

La cantidad de 400 á 500 reales fontaneros de agua que hoy consume Madrid, le cuesta por lo ménos 5.000.000 anuales, cantidad que capitalizada puede proporcionar fondos mas que suficientes para la realizacion del nuevo sistema de agua abundante y á domicilio.

El capital de 80 ó 60.000.000 que se necesita para conduccion y distribucion, segun se haga la obra con mayor ó menor perfeccion, puede buscarlo el Ayuntamiento solo, empleando sus propios recursos; ó puede hacer el anticipo el Gobierno, á reintegrarse del Ayuntamiento; ó el mismo Ayuntamiento reclamando el auxilio de los propietarios de casas de Madrid, á quienes el agua que compren para sus casas, deberá producirles un 7 á 12 por 100 del coste; puédense unir tambien el Gobierno, Ayuntamiento, Real Patrimonio, corporaciones y establecimientos públicos y los particulares; por fin, podria recurrirse á empresa particular.

Siendo el terreno desde Madrid al Ponton de la Oliva tan favorable, por lo ménos, como el de cualquiera otra línea de conduccion de agua, debe ser preferida la conduccion por esta línea, porque reúne el mayor caudal proporcionalmente á su longitud.

Las principales dificultades por este lado son, la presa en el sitio de la derivacion, el paso del Guadalix por acueducto ó por presa, algunos acueductos, varias minas, y algunos trozos de terreno de peña.

Pueden hacerse presas de embalse en el Ponton de la Oliva sobre la presa de toma, en el puente del Villar, y en Puentes-Viejas, para aumentar el caudal del rio en aguas bajas, de manera que nunca produzca ménos de 50.000 reales fontaneros.

El embalse puede ser en el Ponton, de 200 millones de piés cúbicos, con subir la presa 20 piés; y las otras dos presas con 40

piés de altura cada una, pueden reunir 100 millones de piés cúbicos.

El canal puede hacerse, abierto en el terreno natural, ó revestido de fábrica, ó revestido y cubierto con bóveda: el primer medio es el mas barato, el último el mas perfecto. Caso de no adoptarse este último por su coste, el canal descubierto, pero revestido de fábrica, es un término medio conveniente: el canal sin revestir presenta muchas contingencias que no deben existir en obra destinada á un servicio de primera importancia.

	<u>Reales vellon.</u>
El coste del canal sin revestir sería de unos.	55.000.000
El revestido simplemente.	45.000.000
El revestido con la demas obra de seguridad.	51.000.000
Si ademas se cubriese con bóveda.	60.000.000
La cantidad de agua que llegaria á Madrid por el canal revestido; puede suponerse de unos 25.000 reales fontaneros en el mínimo, que en el máximo pasarán de 70.000.	
	<u>Reales vellon.</u>
A distribución domiciliaria podria llegar el tiempo que se la atendiese con 8.000 rs. fontaneros; valor.	160.000.000
A jardines y otros objetos de lujo; 1.000 rs. fontaneros.	5.000.000
A terrenos de huerta y otros, 9.000 reales fontaneros.	27.000.000
Al riego de 6.000 fanegas de terrenos de grano; 6.000 reales fontaneros.	12.000.000
Fuerza motriz á la industria.	10.000.000
Suma.	214.000.000

El agua podrá representar con el tiempo en Madrid un valor que exceda de 200 millones de reales, y esto no incluyendo lo que se emplee en las atenciones de policía urbana y ornato. De manera que con una pequeña parte que se venda á perpetuidad, se habrá reintegrado el capital invertido; y el resto, aunque se ceda todo á censo, representará una renta considerable, que podrá exceder con el tiempo de 6 millones de reales anuales.

Madrid 15 de diciembre de 1848. — Juan Rafo. — Juan de Ribera.

NOTAS

DE LA

MEMORIA SOBRE CONDUCCION DE AGUAS Á MADRID,

POR LOS INGENIEROS

DON JUAN RAFO Y DON JUAN DE RIBERA.

NOTA A.

AFORO DE LAS AGUAS DEL RIO LOZOYA.

Con el objeto de poder averiguar con mayor seguridad el verdadero caudal del rio, se hizo la operacion del aforo en dos localidades distintas, y por dos medios absolutamente diversos, empleando en un punto el flotador para determinar directamente la velocidad media, y obteniéndola en el otro, por el cálculo, por medio del tubo de Pitot. Los resultados que se hallaron por uno y otro medio fuéron enteramente conformes.

Aforo hecho con el flotador, en 24 de agosto de 1848. — Como $\frac{1}{2}$ legua mas arriba del Ponton de la Oliya, entre la vuelta del Can Choricero, y la casa de San Agustin en la huelga del Redondo, en un sitio en que el rio corre en línea recta en un cauce bastante regular, de unos 23 piés de ancho, por un pié de profundidad media, se marcó una longitud de 100 piés, y en esta extension se midieron 7 perfiles trasversales del rio, de los cuales se dedujo la verdadera superficie de la seccion media del agua, que resultó ser de 22,9 piés cuadrados. En seguida se midió la velocidad superficial de la corriente, tanto en el centro, como en los costados y orillas del rio, para lo cual se hizo uso de un flotador de cristal, lastrado convenientemente, con el cual se hicieron 18 observaciones, á saber; 6 en los hilos céntricos y 6 por cada lado hasta las orillas, y de ellas se dedujo la velocidad media del agua en toda la superficie del rio, que era de 1,693 piés por segundo.

La velocidad media aproximada en toda la seccion de la corriente, se obtuvo tomando los $\frac{4}{5}$ de la hallada, y resultó ser de 1,354 piés por segundo, la cual, multiplicada por la superficie de la seccion media, dió para el volúmen de agua que llevaba el rio, la cantidad de 31,006 piés cúbicos por segundo, ó sean 17859,46 rs. fontaneros.

En esta apreciacion no se ha empleado el método de las secciones longitudinales, por la pequeñez de la seccion trasversal, y por la irregularidad de la marcha de la corriente.

El detalle de la operacion es el siguiente:

SECCIONES DEL RÍO.

TIEMPO QUE TARDÓ EL FLOTADOR EN RECORRER
LOS 100 PÍES DE LÍNEA.

	Por la izquierda.	Por el centro.	Por la derecha.
	Observacions. Tiemp.	Observacions. Tiemp.	Observacions. Tiemp.
1. ^a . . . 23 piés cuads.	1. ^a . . . 56 »	1. ^a . . . 47 ¹ / ₂ »	1. ^a . . . 55 »
2. ^a . . . 24,38	2. ^a . . . 51	2. ^a . . . 48 ¹ / ₂	2. ^a . . . 63
3. ^a . . . 23,94	3. ^a . . . 56 ¹ / ₂	3. ^a . . . 48	3. ^a . . . 49
4. ^a . . . 20,54	4. ^a . . . 65	4. ^a . . . 49	4. ^a . . . 90
5. ^a . . . 24,03	5. ^a . . . 69	5. ^a . . . 50	5. ^a . . . 65
6. ^a . . . 23,98	6. ^a . . . 67	6. ^a . . . 64	6. ^a . . . 70
7. ^a . . . 20,68	6. 364 ¹ / ₂ »	6. 307 »	6. 392 »
160,55			

$$\text{Seccion media} = \frac{160,55}{7} = 22,9 \text{ piés. } \left. \begin{array}{l} 364,5 \\ 307 \end{array} \right\} \frac{1063,5}{18} = 59,07$$

$$\text{Velocidad por segundo} = 1,693 \text{ piés. } \left. \begin{array}{l} 364,5 \\ 392 \end{array} \right\} \frac{1063,5}{18} = 59,07$$

Aforo hecho con el tubo de Pitot, en 26 de agosto de 1848.—En el sitio que llaman Peñas-negras, entre el pié del Rendijon del ceño, y la ladera de la cabeza del Molino y 5.000 piés mas arriba del Ponton de la Oliva, hay un punto en que casi todas las aguas del rio pasan por una angostura de 7 ¹/₂ piés de ancho y 5 ¹/₂ de hondo, cortada en la misma peña. Este sitio, al parecer destinado por la naturaleza á esta clase de operaciones, fué elegido desde luego como el mas á propósito que pudiera encontrarse para practicar las observaciones del tubo de Pitot, que solo pueden dar resultados seguros cuando se hacen en circunstancias adecuadas, y con las precauciones debidas.

Despues de cortar con arcilla y tepes una pequeña cantidad de agua que corria por fuera de aquella estrecha garganta, para obligarla á introducirse en ella, se colocó sobre la peña y al traves del agua un tablon que servia de puente, y así pudieron hacerse detenidamente y sin la menor dificultad las observaciones de las alturas debidas á las diferentes velocidades del agua, y la medicion de la superficie de la seccion trasversal, que se tomó de medio en medio pié, y resultó de 34,28 piés. Las alturas fuéron tomadas en cada uno de los piés cuadrados en que se consideró dividida la seccion del rio, resultando 36 observaciones, las 30 en piés enteros, y las restantes en fracciones de pié.

Estas alturas se apreciaban en centésimas de pié, y de ellas se dedujo la altura debida á la velocidad media en la suma de los piés enteros, y separadamente lo que correspondia á las fracciones, con lo que se dedujo la altura correspondiente á la de toda la seccion, que resultó de 0,0175 piés.

El tubo que se empleó era de 7 piés de longitud y compuesto de varios trozos unidos á rosca, que se separaban cuando era necesario; su diámetro era de 20 líneas, y el trozo inferior formaba un recodo terminado en un cono con un orificio de 1 línea de diámetro en el vértice, por el cual entraba el agua. El

flotador interior era de hoja de lata hueco, y la varilla vertical estaba graduada en medias centésimas de pié.

Sustituyendo en la fórmula de Dubuat,

$$v = \sqrt{2g \frac{2}{3} h}.$$

el valor de h que es la altura observada, y el de la gravedad g que corresponde á 35,165 piés, se tendrá para la velocidad media de la corriente :

$$v = \sqrt{70,33 \times \frac{2}{3} 0,0178} = \sqrt{0,8208}$$

de donde

$$v = 0,906 \text{ piés.}$$

Multiplicando este valor de la velocidad media de toda la seccion por 34,28 piés, que es su superficie, resulta que el volúmen de agua del rio era de 31,06 piés cúbicos por segundo, ó sean 17890,56 rs. fontaneros, cantidad notablemente parecida á la deducida por el flotador.

NOTA B.

REAL FONTANERO DE MADRID.

Para medir la cantidad de agua de las fuentes, se emplea en Madrid desde muy antiguo una unidad de medida llamada *Real de agua*, cuyo nombre procede de suponerse que es la cantidad de agua que sale por un orificio circular, cuyo diámetro es igual al de un real de vellón; pero como no hay avenencia en la longitud de este diámetro, que unos suponen de $6\frac{1}{2}$ líneas, y otros de 7 líneas; ni ménos en la altura de la carga, que suponen unos de una línea y otros de un dedo contado desde el borde superior de los orificios; de esto proviene una gran disparidad en los resultados, de modo que Polanco, que escribía por los años de 1727, aprecia el real de agua en la cantidad que sale por un orificio que produzca 9,266 pulgadas cúbicas por segundo. Vallejo halló por experimentos hechos con un marco de Madrid, que el real equivalía á 5,36 pulgadas cúbicas por segundo, y posteriormente D. Francisco Barra indicó como resultado de varias experiencias, que su valor es de 2,98 pulgadas cúbicas por segundo.

A estas incertidumbres se agregan las que provienen de las imperfecciones de los marcos con que se hacen las mediciones, y que son causa de que el orificio llamado de 2 reales produzca una cantidad de agua que no es el doble de la que produce el orificio de un real, y así de los demas; cosa que por muy extraña que parezca, sucede en efecto, y sucedia lo mismo en el tiempo en que escribía Polanco.

Era pues preciso adoptar para lo sucesivo una unidad de medida referida á un volúmen fijo, producido en un tiempo dado, y así se ha hecho, conservando á esa unidad de medida la denominacion de real de agua, que en esta *Memo-ria*, para evitar ambigüedades, hemos llamado real de fontanero.

Resultaba de lo expuesto, que en realidad no se conocia lo que en todo tiempo se habia llamado real de agua, y probablemente nunca se habria fijado su valor, debiéndose deducir que su invencion sería de la época en que siendo escasos los conocimientos en este ramo, se creeria suficientemente fijado el producto de agua con solo conocer el orificio de salida, y aun este se fijó por una simple comparacion á un objeto que en realidad es variable, y sin tomar en cuenta las enormes diferencias que la carga, figura y longitud del tubo de salida ó grueso de pared del orificio, producen en la cantidad de agua que en la unidad de tiempo debe pasar por este orificio; era pues urgente en la época actual hacer desaparecer esta ambigüedad, que podria producir consecuencias desagradables y continuos litigios, por lo cual en todos los escritos ó documentos en que hay que hacer uso de la medida llamada real de agua, se acostumbra expresar qué volúmen debe producir en la unidad de tiempo.

Despues que Barra hizo sus experimentos, y halló el resultado expresado de que el real de agua representaba segun los medios que él empleó 2,98 pulga-

das cúbicas por segundo, generalmente ha sido adoptada esta representación del real de agua; pero como en 24 horas produce 149 piés cúbicos, y este número es poco adecuado para las subdivisiones, y salían quebrados en todas ellas, se ha adoptado en su lugar la cantidad de 150 piés cúbicos, número que diferenciándose poquísimamente de la apreciación hecha por Barra, reúne la notable propiedad de expresar en unidades enteras y números fáciles de conservar en la memoria, todas las medidas á que el real debe estar relacionado, como se ve en los compuestos y derivados siguientes:

1 real de agua equivale á 3 pulgadas cúbicas por segundo.

180 pulgadas cúbicas ó 4,466 cuartillos por minuto.

6 $\frac{1}{4}$ piés cúbicos ó 68 azumbres por hora.

150 piés cúbicos en 24 horas.

100 cubas de tamaño ordinario en el mismo tiempo.

1 pié cúbico por segundo, equivale á 576 reales de agua.

1 pulgada cúbica por segundo, corresponde á 50 piés cúbicos en 24 horas.

El real de agua se subdivide, por mitades sucesivas, en medios reales, cuartillos, medios cuartillos, y pajas ó diez y seis avas partes.

La *pulgada de fontanero*, que es la unidad de medida adoptada por los franceses para las aguas, equivale á 17,75 pulgadas cúbicas españolas por segundo, y por consiguiente corresponde á poco ménos de 6 reales de fontanero.

Aunque las cubas que usan en Madrid los aguadores, no son todas enteramente iguales, la mayor parte de ellas tienen muy próximamente 1 $\frac{1}{2}$ piés cúbicos de cabida; y tomando esta capacidad por término medio, resulta que un real de agua equivale á 100 cubas diarias, conteniendo cada una 64,3 cuartillos, y pesando 2,81 arrobas, ó sea 3 arrobas ménos 5 libras.

La cantidad que se paga por el acarreo de una cuba de agua cada día, desde las fuentes hasta las habitaciones, varía desde 8 hasta 10 reales al mes, segun la distancia de la fuente, la elevación del piso, etc.; pero tomando por término medio 9 reales al mes, resultan al cabo del año muy cerca de 110 reales por el valor de una cuba diaria, puesta en las casas de los consumidores.

NOTA C.

NIVELACION DESDE MADRID AL PONTON DE LA OLIVA.

Como en las nivelaciones que anteriormente se habian hecho entre Madrid y el Ponton de la Oliva, aparecia una chocante disparidad, era preciso, al tratar de hacer nuevamente este trabajo, ejecutarlo de manera que su resultado no pudiese considerarse como un número mas entre los otros, sino que haciendo el trabajo de modo que ofreciese la operacion todas las garantías necesarias de seguridad, se obtuviese un dato de entera confianza, y tal que, sin repetir la operacion, pudiese la exactitud de esta ser comprobada en cualquier tiempo. Con objeto pues de que pueda apreciarse en lo que valga el dato que se presenta, vamos á ofrecer una lijérisima idea de la marcha de la operacion.

Los niveles empleados fuéron de aire con anteojo, los cuales eran de completa confianza, por haberse efectuado con el que ménos ya anteriormente mas de 20 leguas de nivelaciones perfectamente comprobadas; las miras fuéron *escalas inglesas*, en que se apreciaban medias centésimas de pié, y en las que, como se toma la altura con el anteojo, no hay el peligro de los errores que pudiera cometer el peon que la maneja.

Para la marcha del trabajo, se dividió la distancia de unas diez á once leguas que media entre la puerta de Santa Bárbara y el Ponton de la Oliva, en 30 trozos, haciendo marcas bien seguras y perceptibles en sitios invariables, que fuéron ó peñas fijas ó la sillería de alguna obra de fábrica. Principiando la operacion en el quicial de la puerta de Santa Bárbara, se nivelaron separada y sucesivamente los 30 trozos hasta llegar al Ponton de la Oliva; y en seguida, y volviendo á principiar la operacion en este último punto, se volvieron á nivelar en órden inverso los mismos 30 trozos, llevando la precaucion hasta el innecesario extremo de hacer la segunda operacion con diferente instrumento del que se habia empleado en la primera. En todos los trozos en que la segunda operacion daba una diferencia que excediese de un décimo de pié de la primera, se triplicaba la operacion para que resultasen dos exactamente iguales: y si esto no se hubiese verificado en la tercera operacion, se hubieran hecho cuarta y quinta, aunque nunca llegó este caso, pues solo fuéron tres trozos los que exigieron triple operacion por diferencias insignificantes entre las dos primeras, y que desaparecieron completamente en la tercera. Las diferencias que resultaron, cuando las hubo, entre las dos operaciones primeras, nunca excedieron de dos á tres décimas de pié, cuando mas, cantidad que podria haberse despreciado, si no se hubiese tratado de una operacion que era de comprobacion, y la que se queria obtener con completa exactitud. Esta exactitud de resultado en una clase de operacion tan delicada y extensa, es debida á la ilustrada práctica del auxi-