

Informe sobre el Canal de Isabel II  
proyectado con objeto de conducir a la Habana  
las aguas de los manantiales de Yento.

---

09

13 13

MANIOC.org

Bibliothèque Pierre-Monbeig

IHEAL CREDA - Université Sorbonne Nouvelle - Paris 3

B<sub>2</sub>. 3 (23), in. 8°

# INFORME

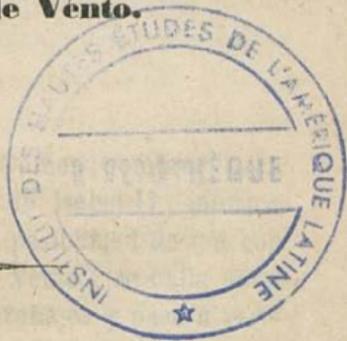
QUE PRESENTA AL EXMO. SR. GOBERNADOR, CAPITAN GENERAL DE LA ISLA  
DE CUBA LA COMISION NOMBRADA PARA INSPECCIONAR LAS OBRAS DEL

## CANAL DE ISABEL II,

PROYECTADO

por don Francisco de Albeax,

con objeto de conducir á la Habana las aguas  
de los manantiales de Vento.



Madrid:

IMPRENTA DE LA VIUDA DE D. ANTONIO YENES,  
*Plazuela de la Cebada, número 13, cuarto bajo.*

1864.

PPN 109 29 1042

x 458 080

# INFORME

DE LA COMISION NOMBRADA PARA EXAMINAR EL PROYECTO DE LEY  
DE CONSTITUCION DE UN CANAL DE NAVEGACION EN EL VALLE DE

## CANAL DE ISABEL II

PROYECTO

por don Francisco de Albrera

con objeto de conducir á la Habana las aguas  
de los manantiales de Yuma.



Madrid

IMPRESA DE LA VIUDA DE D. ANTONIO YRIARTE,  
Plaza de la Espada, número 11, cuarto de arriba.

1861

La Comision que V. E. ha tenido á bien nombrar para que, inspeccionando las obras del Canal de Isabel II, informe acerca de su estado y tambien sobre la posibilidad de que con ellas lleguen á la Habana las aguas de Vento, se halla en el caso de dar cuenta del resultado de sus trabajos y pasa á verificarlo con la extension que requiere la importancia del caso.

Aunque el Ingeniero Director de las obras Sr. D. Francisco de Albear, redactó en 1856, y corre impresa, una memoria descriptiva del proyecto aprobado por la Junta Superior consultiva de caminos, cree la Comision que no puede prescindir de dar aquí una ligera idea del plan propuesto en aquella época y de las modificaciones posteriormente introducidas, porque en aquel y en estas, ha de fundarse el informe, sirviendo por decirlo así, de punto de partida á la clasificacion y examen de las cuestiones que hay que tocar.

Estudiando con detenimiento el antiguo y actual abasto de la Habana, así como las circunstancias de posición, calidad y cantidad de las aguas que hay en sus inmediaciones y podrían destinarse á mejorar y aumentar el caudal, á todas luces insuficiente, con que hoy cuenta el vecindario, ha demostrado el Sr. Albear que en Vento es donde conviene tomar los 102.000 metros cúbicos, que con gran copia de razones calcula indispensables para las necesidades presentes y futuras de una ciudad que tiene condiciones tan especiales como las de la capital de Cuba. Fundándose despues en las análisis practicadas por el Sr. D. José Luis Casaseca, en la temperatura y transparencia constantes del agua de los manantiales que surgen en Vento y en los repetidos aforos que habia hecho, se decide por ella mas bien que por la del rio Almendares, cuyo nivel es allí 1,<sup>m</sup>194 mas bajo, si bien en las grandes avenidas ha llegado á subir 8 metros por encima de él.

No desconoció el Sr. Albear en su proyecto las dificultades de recoger los manantiales, que como él mismo dice aparecen en un terreno «calcáreo lleno de grietas y oquedades por donde fácilmente se escapa el agua á poco que se la obligue á modificar su curso» y las no menos graves de hallarse aquellos en la orilla izquierda del rio, el cual tiene que atravesarse á muy poca distancia del punto de la toma para dirigir despues el canal, siempre por la derecha, buscando los terrenos mas favorables á la economía por su altitud, hasta la Loma de Joaquin en Jesus del Monte, donde cree conveniente establecer el depósito de recepcion. Al hacerse cargo el Sr. Albear de esas dificultades en su citada memoria, discute tambien la manera de salvarlas y propone para el paso del rio tres medios, entre los cuales considera como el mas ventajoso la construccion de un túnel ó mina por debajo de su lecho, donde se puedan establecer con toda seguridad los tubos de un sifon inverso.

En cuanto á las obras de la toma, creyó al formar su proyecto que lo mas conveniente era construir un muro de contencion ó presa, paralelamente á la corriente del rio, no solo

con objeto de impedir que aun en las mayores crecidas se mezclaran sus aguas á las de los manantiales, sino tambien con el de que estas se represaran, si fuera posible, 3 ó 4 metros y llegaran á la cota 39,58 en Jesus del Monte.

A escepcion del primer trozo de 259 metros en que el agua correria por dos tubos de hierro para pasar el rio, como se acaba de indicar, el resto del acueducto, hasta los 10.800 metros que tiene de longitud en el proyecto, habria de ser, segun este, un canal de fábrica de un metro de profundidad y dos de anchura; pero en vez de hacer la seccion rectangular se le daba una inclinacion de 0,<sup>m</sup>10 á los cajeros por la parte interior; se establecia la solera en arco de círculo con 0,<sup>m</sup>10 de flecha y se cubria el canal con una bóveda de cañon seguido, de un metro de radio interior y 1,<sup>m</sup>40 de radio exterior, es decir que le quedaria á la fábrica un espesor de 0,<sup>m</sup>40, siendo los de la solera y estribos, 0,<sup>m</sup>50 para la primera y 0,<sup>m</sup>65 para los segundos (1) en la parte superior por 0,<sup>m</sup>75 en la inferior. La pendiente uniforme de solera se calculó en 0,<sup>m</sup>0003 por metro y siendo la pendiente del primer trozo en tubos 0,0022, hallándose el centro de estos, en el punto de la toma, á la cota 43, la solera en el principio del segundo tramo á la 41,750 y el agua de los manantiales represados á la 44, llegaria á Jesus del Monte á la 39,58, es decir, que el fondo del depósito podria estar en la cota 35 á 36; y solo una pequeña parte de las casas de aquel barrio dejarian de participar de los beneficios de la distribucion que solo por la accion de la gravedad podria efectuarse desde él á toda la ciudad.

La ligera exposicion que acaba de hacerse del proyecto de conduccion de aguas á la Habana, tal cual lo concibió el Ingeniero D. Francisco de Albear en 1856 y fué aprobado por la Junta Superior consultiva de caminos en 1.º de Diembre de

---

(1) Mas adelante veremos que esta última dimension se redujo, para el perfil de varios trozos, á 0,425, tal como se demuestra en los dibujos presentados.

1857, da á conocer cuales son las cuestiones que necesitaba examinar la comision para desempeñar cumplidamente el encargo que se le ha conferido y va á tratarlas separadamente, si bien algunas no necesitan mas que una ligera mencion, ya porque se refieren á ideas tan estudiadas y generalmente admitidas que no dan lugar á la menor duda; ya porque han sido tomadas en cuenta por personas tan competentes como las que componen la Junta consultiva de caminos, y son de tal naturaleza, que no exigen el reconocimiento de la localidad para resolverse.

Dichas cuestiones por el órden en que deben estudiarse son:

1.ª Circunstancias que deben reunir las aguas potables, comparando con arreglo á ellas las del rio Almendares y las de los manantiales de Vento.

2.ª Cantidad de agua que necesita la Habana y aforo de los manantiales.

3.ª Estudio de la procedencia de las aguas de Vento como medio de asegurarse de la constancia de su caudal y propiedades físicas y químicas.

4.ª Toma del agua en los manantiales.

5.ª Paso del rio.—Máquinas elevatorias.—Túnel.

6.ª Canal propiamente dicho.—Sus dimensiones.—Altura á que debe llegar el agua sobre el fondo del depósito de distribución.—Abasto de la parte alta de Jesus del Monte y Cerro.

## II.

*Condiciones que deben reunir las aguas potables.—Preferencia que suele darse á las de fuente para el abasto de las poblaciones.—Nuevas análisis de las del rio Almendares y manantiales de Vento.*

El profundo estudio que se ha hecho en estos últimos tiempos de las cuestiones que se refieren al abastecimiento de aguas de una poblacion, por la necesidad en que se han visto

las mas importantes de aumentar ó mejorar el que tenian, permite dar algunas reglas generales sobre las condiciones que deben reunir las aguas potables para elegir con acierto la mejor de todas las que se hallen dentro del radio en que es preciso encerrarse, segun la importancia y riqueza de la ciudad que ha de abastecerse, las circunstancias particulares de su topografia y demás que es indispensable tener en cuenta.

Dichas condiciones, segun se han formulado en uno de los mas acabados y modernos estudios que se conocen, el de la conduccion de aguas á Paris, para el cual se han tenido á la vista casi todos los anteriores, pueden reducirse á tres: 1.<sup>a</sup>, la de la salubridad; 2.<sup>a</sup>, la de la limpieza ó transparencia; y 3.<sup>a</sup>, la de la frescura, ó mejor dicho, la de una temperatura constante.

La simple enunciacion de estas tres condiciones hace ver, en concepto de los que suscriben, que no son todas ellas igualmente importantes, y tanto por esa razon, quanto porque no estamos enteramente de acuerdo con la manera como han apreciado algunas de ellas varios autores muy respetables, las examinaremos separadamente, á pesar de que en realidad podrian refundirse las dos últimas en la primera; pues es indudable que influye en que el agua sea mas ó menos saludable su estado de transparencia y la temperatura á que se bebe.

Para que el agua sea *perfectamente* salubre, decia el Prefecto del Sena en uno de los muchos documentos notables á que ha dado origen la conduccion de aguas á Paris, es preciso que no contenga sulfato de cal ó de magnesia, ni sustancias orgánicas; en cuanto á las otras sales, y muy particularmente los carbonatos de cal y de magnesia, lejos de perjudicar á la salud, mejoran la calidad del agua, haciéndola mas sana y agradable cuando no se hallan disueltas en ella con exceso. No estan todos, sin embargo, completamente de acuerdo sobre la conveniencia de que el agua contenga bicarbonato de cal, y el Doctor Boudin, que tan importantes estudios ha hecho sobre la materia, define la mejor de las aguas potables de esta manera: «Debe ser templada en invierno, fresca en verano, »transparente, inodora, ligeramente sávida; ha de conservar »mezclada cierta cantidad de aire y ácido carbónico, contener

»en la menor proporcion que sea dable sustancias minerales,  
 »disolver el jabon sin formar grumos y cocer bien las legum-  
 »bres. De ninguna manera puede considerarse como buena el  
 »agua que contenga mas de cinco diez milésimos de principios  
 »minerales fijos.»

El *Anuario de las aguas de Francia*, obra debida á una comision de químicos y médicos de los mas distinguidos, que puede considerarse, segun la opinion de personas competentes, como el resúmen mas completo de cuanto se sabe sobre la materia, define el agua potable en términos análogos á los del Doctor Boudin, y parece por lo tanto aceptar la idea de que es mejor mientras mas pura; indica, sin embargo, que muchos consideran indispensable la presencia de ciertas sustancias en las aguas, no solo para que tengan buen gusto, sino para mejorar su calidad.

No puede entrar la comision en el minucioso exámen que de esta cuestion hace la citada obra, ni menos exponer las controversias á que ha dado lugar entre diferentes autores; pero sí cree del caso resumir las conclusiones acerca de cada una de las sustancias que con mas frecuencia suelen hallarse en el agua de los rios y manantiales y fijar el máximum de la cantidad que pueden contener sin ser dañosas á la salud; porque de ese modo podrá venirse en conocimiento de las propiedades que tienen las que han de traerse á la Habana y se juzgará del mayor ó menor acierto con que se hizo entrar este elemento en el cálculo que ha presidido á la eleccion del agua de los manantiales de Vento, prefiriéndola á la del rio.

Segun el *Anuario*, es útil la presencia de una corta cantidad de ácido carbónico en las aguas potables, tanto porque les da mejor sabor, como porque facilita las funciones digestivas; y de acuerdo con todos los autores, añade que si no tienen aire atmosférico en disolucion, pueden ser dañosas, atribuyendo algunos á la falta de oxígeno ciertas enfermedades que se observan en los que usan las que proceden inmediatamente de la fusion de las nieves.

Con muy raras excepciones son malsanas las aguas en que abundan sustancias orgánicas porque se pudren fácilmente: son

pues, mejores, en igualdad de circunstancias, las que menos cantidad de ellas contienen.

Las materias fijas que disueltas en exceso dan siempre un sabor desagradable al agua, no deben pasar por lo general de cinco diez milésimos, siendo las mas abundantes y menos favorables á la salud las calcáreas; pero aun entre estas la diferencia es muy grande segun sea el carbonato ó el sulfato el que se halle en disolucion; asi es que puede considerarse como buena un agua que contenga cinco diez milésimos de bicarbonato, mientras que en ningun caso sucede lo mismo con el sulfato, que es de todas las sales la que mayores inconvenientes ofrece; si subiera hasta *un* milésimo la cantidad de sustancias calcáreas, disueltas en el agua, se consideraria esta absolutamente impropia para los usos ordinarios de la vida.

Las sales solubles de magnesia son de aquellas que no se consideran perjudiciales aunque se administren en dosis fuertes; pero no hay seguridad de que sean completamente inofensivas cuando existen en proporcion notable en las aguas que se beben diariamente.

La influencia de los nitratos no ha podido apreciarse bien, ni debe ser grande pues se encuentra siempre en muy cortas cantidades; es de creer sin embargo que el nitrato de cal obre como el sulfato, de una manera poco favorable para los usos domésticos.

En cuanto á los cloruros, bromuros y yoduros, si bien se encuentran siempre en proporciones demasiado pequeñas para que al parecer se juzgue indiferente su accion sobre la economía, es muy posible que la tengan, en vista de los poderosos efectos que producen las pequeñísimas cantidades que se emplean en la terapéutica.

De todo lo dicho deducen los autores del *Anuario*, que si bien es de esperar que la quimica llegue á resolver con el tiempo de una manera positiva los problemas mas importantes de la higiene de las aguas, no es posible aun declarar por los resultados de las análisis que un agua potable sea de buena ó mala calidad; sino que es preciso averiguar por medio de una informacion que los que la usan no experimentan ninguna in-

comodidad ni notan en su constitucion ó salud modificaciones perjudiciales.

No puede negarse, á pesar de cuanto va expuesto que el resultado de la análisis química es uno de los datos mas importantes que deben entrar en el estudio de las aguas con que ha de abastecerse una ciudad; y teniendo esto en cuenta, uno de los individuos de la comision, se ha dedicado exclusivamente á hacer dicha análisis; pues si bien la habia efectuado ya en 1852 el distinguido profesor Sr. D. José Luis Casaseca, el largo tiempo trascurido y la diferente época del año en que se han tomado ahora las aguas podian dar alguna luz sobre la constancia de su composicion; no debiendo estrañarse que haya entre ambas análisis alguna diferencia, pues si bien el Almendares no tiene mas que 7 leguas de largo, es un rio cuyos tributarios provienen de diversos valles y eminencias y cuyo subsuelo, aunque pertenece en su mayor parte á la misma formacion geológica, no esta todo constituido por las mismas rocas; asi es que prepondera en unos la caliza y en otros las arcillas; abundan las margas impermeables en muchos puntos y en no pocos son frecuentes las arenas ferruginosas, encontrándose tambien la serpentina y el asfalto en algunos. Basta, pues, que las lluvias hayan sido mayores en esta ó en la otra parte de la cuenca hidrográfica poco antes de tomar las muestras de aguas para que estas se hallen mas ó menos cargadas de las sustancias solubles tan desigualmente repartidas en la superficie; la prolongada sequia que ha precedido á la toma de las aguas que hoy presenta analizadas la comision es á propósito para formar idea de las propiedades químicas de las del rio y de los manantiales en las circunstancias menos favorables para los últimos, es decir, en aquellas precisamente en que conviene considerarlos para juzgar de la conveniencia de que sean preferidos.

Hé aquí el resultado de dichas análisis comparado con el que obtuvo el Sr. Casaseca en 1852 y con el que han dado las aguas de París y Madrid.

SUSTANCIAS CONTENIDAS EN LAS AGUAS.	SEGUN EL DOCTOR CASASECA.		SEGUN EL DOCTOR AENLLE.			RIO SERNA.	LOZOYA EN EL PONTON.
	Almen- dares.	Vento.	Almendares antes de los manantiales.	Manantiales de Vento.	Almendares despues de los manan- tiales.	Aguas que sirven á la presente alimentacion	Canal de Isa- bel II, alimen- tacion actual de Madrid.
	Gramos.	Gramos.	Gramos.	Gramos.	Gramos.	Gramos.	Gramos.
Sulfato de cal. . . .	0,0145	0,0277	0,0107	0,0289	0,0196	0,040	0,0004
Carbonato de cal. . .	0,1945	0,1280	0,1809	0,1217	0,1845	0,158	0,0064
Carbonato de magnesia.	0,0214	0,0256	0,0091	0,0285	0,0173	0,051	0,0086
Cloruro de magnesia.	»	»	»	»	»	»	0,0017
Sulfato de magnesia.	»	»	»	»	»	0,050	0,0015
Cloruro sódico. . . .	0,0458	0,0667	0,0420	0,0744	0,0250	0,052	0,0029
Sulfato sódico. . . .	»	»	»	»	»	»	0,0010
Silice. . . . .	»	»	»	»	»	»	0,0016
Silicato de hierro. . .	0,0052	0,0055	0,0055	0,0055	0,0045	0,025	»
Oxido de hierro car- bonatado. . . .	0,0077	0,0055	0,0077	0,0045	0,0064	»	»
Materia orgánica ex- tractiva. . . . .	0,0125	0,0050	0,0141	0,0045	0,0151	Indicios.	»
	0,2944	0,2656	0,2760	0,2672	0,2680	0,514	0,0241

Hemos visto que no basta la análisis química de las aguas para fallar de una manera absoluta sobre su bondad; pero en la práctica no solo se toman en cuenta sus resultados, sino que se emplea otro método mas expedito aunque menos exacto, si bien lo bastante para saber si una agua es ó no aplicable á los usos domésticos y para que haya podido establecerse una escala aproximada de bondad, en que el número de grados *hidrotimétricos* va acusando la cantidad de sales terrosas que contiene el agua en disolucion.

No hallándose aun bastante generalizado entre nosotros el *hidrotímetro*, que es el instrumento que se emplea para determinar la proporcion en que se hallan las sales terrosas en el agua, no creen los que suscriben fuera del caso, ya que han entrado en ciertos pormenores, decir en qué se funda el procedimiento que hoy sirve para calificar las aguas potables con la misma sencillez con que en la industria se emplea el areómetro para los alcoholes, legías y otros líquidos.

Tiene el jabon disuelto en el agua la propiedad de apoderarse de las partículas de aire cuando se agita, y las envuelve formando lo que todos conocen con el nombre de espuma; pero para que esto suceda es menester que el agua no contenga en disolucion sales terrosas, porque el álcali del jabon se une al ácido de la sal y el óxido terroso de esta forma con el ácido graso de aquel un compuesto insoluble que se precipita en forma de grumos y es el fenómeno que todos observan cuando el vulgo dice que un agua corta el jabon; ahora bien, se comprende que mientras mas sustancias terrosas tenga en disolucion el agua, mayor cantidad de jabon se necesitará para neutralizarlas antes de que empiece á hacer espuma y bastará tener una solucion normal de jabon y encerrarla en un tubo graduado para que echándola poco á poco en un vaso que contenga cierta cantidad de agua exáctamente medida se sepa, por el número de divisiones gastadas, la cantidad de jabon que ha sido necesario emplear antes de obtener espuma; cantidad de jabon que como es fácil de inferir representa la que proporcionalmente se perderia si se usara aquella agua para el lavado.

Los hidrotímetros están calculados de manera que cada di-

vision del liquido gastado ó sea cada *grado hidrotimétrico* represente 100 gramos de jabon, neutralizados en un metro cúbico de agua ó sea un decígramo por cada litro; y por una coincidencia digna de notarse, el peso de las sales terrosas disueltas en una cantidad de agua determinada viene á ser una décima parte del peso del jabon necesario para neutralizarlas; por consiguiente de la misma manera que conocido el grado hidrotimétrico de un agua, se sabe con bastante exactitud la cantidad de sales terrosas que tiene en disolucion, cuando la análisis química nos dice el peso de dichas sustancias, podemos expresar el resultado en grados del hidrotimetro y servirnos de tan breve manera de indicar las propiedades de un agua con la ventaja con que se emplea en la industria para señalar la calidad de ciertos líquidos: con el areómetro, por ejemplo, se ha conseguido que todo el mundo aprecie la diferencia entre dos clases de aguardiente con solo decir que el uno tiene 25° y el otro 30° y el hidrotimetro da á conocer que un agua es buena y otra mala si la primera tiene 12° y la segunda 40° y no debe considerarse como potable la que pase de 100° á pesar de que se beben en París las de Belleville que tienen 155°.

El Prefecto del Sena en una de sus memorias sobre la conduccion de aguas á París ha dicho, fundado en los trabajos de M. Belgrand, que un agua para ser buena no deberá pasar de 18° hidrotimétricos, que equivalen á 0,20 ó 0,25 gramos de materias fijas por litro y ese es el máximo que contienen las que se intenta llevar á la capital de Francia; pero los autores competentes en higiene fijan como máximo, segun se ha dicho 0,50 gramos ó sean 56° á 40° hidrotimétricos.

¿Qué lugar ocupan, pues, en la escala hidrotimétrica las aguas de Vento y las del Almendares? Segun el Sr. Casaseca tienen las primeras 0,26 y las segundas 0,29 gramos de materias fijas ó sean 19° y 25° hidrotimétricos respectivamente; y segun la análisis hecha por el Sr. Aenlle para el presente informe corresponde á las aguas de Vento 0,267 gramos y á las del Almendares 0,276 ó 0,268 gramos, segun se tomen antes ó despues de recoger los manantiales, lo cual equivale á 19°,

21° y 20° del hidrotímetro próximamente (1). Es decir, que unas y otras entran en el número de las que se consideran como buenas; y las de Vento son aun mejores que las del Almenares, si bien aparecen un poco mas cargadas de sulfato de cal que, como se ha visto, es la mas dañosa de las sales que suele contener el agua potable; sin embargo obsérvese el cuadro comparativo de la pág. 14 y se verá que el agua del Sena tiene todavia una cantidad mayor de sulfato de cal, lo cual no impide que se haya considerado como un agua excelente, hasta el punto de que el Prefecto del Sena, tan dispuesto siempre á insistir en la necesidad de mejorar el abasto de París decia en 1858: «El agua del Sena, cuyo grado medio es de 17° ó 18° del hidrotímetro en el puente de Yvry, tiene una fama merecida; los industriales y los consumidores la consideran como la mejor de cuantas se usan en París y en efecto, no seria preciso buscar otra para abastecer la capital, si no estuviese casi siempre turbia, demasiado fria ó caliente según la estación y algun tanto alterada por los restos orgánicos que arrastra y tiene en disolucion.»

La experiencia por otra parte, está completamente de acuerdo con lo que indica la análisis: el agua de Vento se ha considerado siempre como muy saludable.

No es la condicion de salubridad la única que han considerado los autores como indispensable para que un agua sea buena; sino que tambien exigen la de que sea trasparente y se halle siempre á una temperatura constante ó poco variable, y de aquí nace por consiguiente la preferencia que suele darse á las fuentes sobre los rios.

La comision ha dicho al comenzar este párrafo que no podia dar la misma importancia á las tres condiciones que se tienen en cuenta al elegir las aguas con que ha de abastecerse una poblacion; y en efecto, si bien la segunda parece tan dig-

(1) Los ensayos directos con el hidrotímetro han dado este mismo resultado con muy cortas diferencias.

na de consideracion como la primera, no es sino porque las sustancias que lleva el agua en suspension pueden ser dañosas al que la bebe como las que se hallan en disolucion; hay que tener en cuenta, sin embargo, que aunque la ciencia haya declarado, por decirlo asi, que son insuperables las dificultades de filtrar en grande las aguas con que se abastecen las poblaciones, nada es tan sencillo como hacer la filtracion en pequeño y M. Grimaud de Caux en una memoria sobre las aguas de París, publicada en 1860, propone un sistema tan ingenioso como eficaz en concepto de los que suscriben y que no teniendo para estos climas el principal inconveniente que objetó la comision del Ayuntamiento de aquella capital al hacerse cargo de él, queda solo subsistente el del alto precio de la operacion. Es, pues, importante que el agua se tome perfectamente limpia y trasparente, pero siendo la cuestion de filtrarla una cuestion de costo y nada mas, se comprende que es un elemento al cual pueden oponerse otros de la misma naturaleza, mientras que en la cuestion de salubridad no hay lugar á cálculos sobre el precio, y habrá de llevarse á cabo la obra menos barata si la análisis química demuestra que es mas saludable el agua que ha de conducirse por medio de ella.

En Vento, por ejemplo, la análisis química favorece á las aguas de los manantiales; pero la diferencia de composicion entre estas y las del rio no es muy notable, unas y otras marcan en el hidrotímetro un grado que las coloca en el número de las buenas y ambas podrian usarse sin temor de que alterasen en lo mas mínimo la salud pública. Pero el agua de Vento surge siempre limpia y trasparente mientras que la del Almendares corre turbia durante la mitad ó los dos tercios del año, puesto que se calcula que son mas de 100 los dias que llueve en cada punto de la Habana; y como la cuenca hidrográfica del Almendares tiene algunas leguas cuadradas no es excesivo duplicar ese número, sobre todo si se considera que siguen turbias las aguas mucho tiempo despues de la lluvia.

A pesar de esta circunstancia, si las dificultades de tomar el agua de los manantiales y conducir las á la Habana fueran mucho mas grandes que las de represar y llevar las del rio;

si los costos fueran infinitamente mayores, hasta el punto de superar al que ocasionaria la filtracion parcial de las aguas en cada depósito de la ciudad ó, mejor dicho, en cada casa, segun el sistema de Grimaud de Caux; si hubiera en fin el mas remoto peligro de perder las aguas de los manantiales con las obras que exige su toma, no obstaría el que fuesen turbias las del Almendares para que venciendo ese inconveniente se tratase de evitar los riesgos y sacrificios que ocasionará la conduccion de las de los manantiales; pero es seguro que estas se llevarian á todo trance si la análisis química ó la experiencia hubiesen puesto de manifiesto que eran salubres y por el contrario perjudiciales las del rio. Afortunadamente las condiciones de unas y otras hacen que se pueda y convenga aprovechar las ventajas que presentan los manantiales; porque si bien son algo mas costosas las obras de toma y conduccion reunidas, la diferencia no podria llegar nunca á compensar el exceso de costo en un sistema de filtracion tan general como el que seria necesario para que sus beneficios alcanzasen al pobre como al rico.

Podrá, pues, llamarse para el abasto de la Habana, á pesar de no ser tan importante como la 1.<sup>a</sup> la 2.<sup>a</sup> de las condiciones que creen indispensables los autores y es la de la transparencia constante de las aguas, sin mayor sacrificio ni peligro que si se trajeran las casi siempre turbias del Almendares.

En cuanto á la 3.<sup>a</sup> de las condiciones, la de que el agua se mantenga en todo tiempo á una temperatura igual, poco tendremos que decir. Por una parte no hay en nuestro clima la alternativa de frio y de calor que dificultan el problema en Europa, hasta el punto de que la congelacion impide muchas veces el libre curso del agua; y por otra no damos á la circunstancia de que esta sea muy fria en el invierno y muy caliente en el verano, la importancia que han solido asignarle muchos de los que han tratado esta materia; porque ese inconveniente tienen fuera de la zona tórrida, todas las que se sacan del depósito general para beberlas algun tiempo despues; y como es el caso mas comun, volvemos á repetir que la única

condicion que nos parece verdaderamente indispensable en el agua que se ha de beber es la de la salubridad y en ella va comprendida la de que sea trasparente; pudiéndose sin embargo preferir una corriente turbia á otra mas clara, pero no mas sana, cuando los medios de filtrar todo el caudal de la primera no son mas costosos que los de encauzar y conducir la segunda.

En Vento por una reunion feliz de circunstancias, los manantiales poseen las tres condiciones que se buscan en las buenas aguas, pues marcan  $19^{\circ}$  del hidrotímetro, son transparentes y su temperatura es constantemente de  $24^{\circ},6$  del termómetro centígrado; mientras que las del rio careciendo de una de dichas condiciones la de la transparencia, son algo inferiores en las otras dos y no proporcionarían tampoco mucha economía en los gastos de conduccion: esta, además, puede hacerse para ambas sin riesgo ninguno, como veremos en el párrafo 4.º

Daríamos por concluido el presente, puesto que examinadas las condiciones que se juzguen necesarias en el agua de que ha de abastecerse una ciudad, vemos que la Habana tendrá en las de Vento un liquido cuya bondad no podrian negar los mas exigentes; pero creemos deber emitir nuestra opinion, ya que lo hacemos sobre otros particulares, acerca de la preferencia que suele darse á las aguas de fuente sobre las de rio. En concepto de los que suscriben esta creencia, sostenida por la generalidad y con mucho calor por algunos miembros de la comision encargada de examinar el proyecto de conduccion de aguas á Paris, es tan poco exacta en absoluto como la de los que pretenden fundados en las aserciones de Arago, que el agua de los rios suele ser mas pura y saludable que la de los manantiales y que por tanto debe preferirse á la de estos; sin que baste á decidir la cuestion la larga enumeracion de ejemplos que en apoyo de sus ideas presenta cada partido. En la imposibilidad de exponer aqui todo el razonamiento que nos ha conducido á desechar lo absoluto de ambas opiniones y adoptar por decirlo así una teoría ecléctica, en cuanto á la eleccion que debe hacerse entre las aguas de fuente y las de rio para el abastecimiento de una ciudad, haremos notar, que si son muchos

los ejemplos de manantiales que suministran agua muy pura á los acueductos, no escasean los de rios cuya corriente es inmejorable, y en ese caso se encuentra el Lozoya, que surte á Madrid con un agua que tiene apenas 2° del hidrotímetro, en el Ponton de la Oliva, si bien es probable se carguen algun tanto de materias calizas en el canal. Sostenemos, pues, con M. Michel Levy, autor de un tratado de higiene, que es imposible establecer *á priori* una opinion sobre la preferencia que debe darse á las aguas de fuente sobre las de rio; porque los manantiales difieren al infinito; los hay buenos y malos, y las aguas se cargan en ellos de sustancias mas ó menos nocivas, segun la naturaleza del terreno que atraviesan, viniendo á ser la de los rios, por decirlo así el término medio de las de todos los manantiales que los forman; solo la análisis química y la experiencia médica pueden fallar en asunto de tanta trascendencia, y en cada caso es necesario hacer una multitud de observaciones. La comision se complace, sin embargo, en declarar que en el caso presente los resultados de la observacion científica mas escrupulosa estan de acuerdo con la opinion vulgar y mas generalmente admitida entre los hidrólogos: las aguas de los manantiales de Vento son por todos conceptos superiores á las del rio Almendares y no cabe lugar á la menor duda.

## II.

### *Cantidad de agua que necesita la Habana y aforo de los manantiales*

Despues de demostrada la conveniencia de preferir las aguas de los manantiales de Vento á las del rio Almendares por los resultados de la análisis química y por sus propiedades físicas, parece natural examinar la cuestion de cantidad y averiguar si serán en todo tiempo los manantiales de Vento suficientes al abasto de una ciudad como la Habana.

Ya el Sr. Albear, en su citada memoria, discute concienzudamente cuáles pueden ser las necesidades de la poblacion no como hoy existe, sino con el aumento que puede llegar á tener dentro de algunos años; y haciéndose cargo de circuns-

tancias tan importantes como las del clima, costumbres y mejoras que deben intentarse, establece que la cantidad de agua que conviene traer es de 102.000 metros cúbicos al día, con lo cual no solo podrá atenderse ámpliamente al servicio público, á las industrias y al riego de las fincas rurales de las inmediaciones, sino que se destinan para el consumo particular, que es el mas importante, 21.000 metros cúbicos, los cuales repartidos entre 300.000 habitantes que se supone llegará á tener algun día la capital, da 70 litros para cada uno; cantidad que si bien no puede compararse con el surtido de Marsella, Roma, Nueva-York y algunas ciudades mas, que son verdaderas excepciones, supera á la de muchas grandes capitales, entre ellas á París donde no contándose hoy sino con 10 litros por habitante, se ha calculado que estarán abundantemente provistos con 60 que les proporcionará el proyecto de conduccion del ingeniero M. Belgrand.

No corresponde á la comision emitir dictámen sobre este particular, porque los bien meditados cálculos del Sr. Albear han sido tomados en consideracion y aprobados por quien en semejante materia tiene toda la competencia que es de desear, la Junta Superior consultiva de caminos. Aceptando, pues, el número 102.000<sup>m<sup>3</sup></sup> como mas que suficiente para las necesidades actuales de la Habana, debian limitarse y se limitaron en efecto los que suscriben á comprobar si los manantiales de Vento dan el día de hoy la cantidad de agua que el ingeniero Director de las obras habia aforado en diferentes ocasiones desde el año de 1852.

A fin de efectuar los nuevos aforos con la mayor exactitud posible se dispuso la construccion de un canal rectangular de madera de 34 metros de longitud y 1<sup>m</sup>,60 de ancho, al que se hicieron llegar la mayor parte de las aguas de los manantiales, impidiendo su derrame directo en el rio con malecones y diques de madera, piedra y arcilla; sin embargo, no era posible con tan groseros medios impedir los escapes de agua y habrá que tener esto en cuenta para corregir el gasto obtenido por el cálculo en el canal de aforo.

Pasemos á exponer dicho cálculo, para el cual se hicieron

las nivelaciones, medidas y observaciones directas que son indispensables en semejantes casos; y como seria prolijo describir todas las precauciones que se tomaron para hallar el tiempo medio, la longitud, perimetro, seccion y pendiente del canal, así como la carga del agua en el momento de llegar al bocal y la velocidad antes y despues de entrar en él, nos contentaremos con indicar cual fué cada uno de estos resultados parciales, advirtiendo que en razon á ser los flotadores esféricos de mas de 0<sup>m</sup>,1 de diámetro y pequeña la altura del agua, hemos tomado para coeficiente de la velocidad un promedio entre 0,86 que hubiera debido ser en el supuesto de hallarse el fondo mas profundo y 0,94 que se emplea para el nadador de asta.

Hé aquí dichos resultados:

Velocidad en el canal.	Observada.	Media.
Con el flotador esférico. . . . .	$v' = 2^m,696$	$\left. \begin{array}{l} v' = 2,696 + 0,90 = 2,43 \\ v'' = 2,630 + 0,94 = 2,47 \end{array} \right\} V = 2^m,45$
Con el flotador de asta. . . . .	$v'' = 2,630$	
Con el molinete de Woltmann. . . . .		$V = 2,45$

(Dió el molinete 245 vueltas en 10'', que multiplicadas por el coeficiente del instrumento = 0,1 produjo la velocidad media indicada.)

(Para tomar el término medio de la velocidad marcada por los flotadores se hicieron 20 observaciones.) Para mejor comprobar estos resultados se procedió á su determinacion por medio del cálculo directo, haciendo entrar la pendiente como dato esencial del problema. La solucion es la siguiente:

*Dimensiones del canal de aforo.*

Anchura. . . . .	$b=1,620$	$\left\{ \begin{array}{l} c \\ w \end{array} \right.$	$=3,735$
Altura. . . . .	$h=0,4$		
Seccion. . . . .	$w=b+h=0,648$	$\left\{ \begin{array}{l} w \\ c \end{array} \right.$	$=0,268$
Perimetro mojado . . . .	$c=1,62+2+0,4=2,42$		
Pendiente del fondo. . . .	$i=0,006$		

Velocidad por medio de los flotadores antes de entrar el agua en el canal  $v=1^m,1$

Longitud de la parte de canal considerada como uniforme en su corriente para observar los flotadores. . . . .  $E=16^m,18$

Longitud total del canal. . . . .  $L=54^m,$

Carga sobre la solera de este. . . . .  $h'=1^m,152$

Esta carga es la diferencia de nivel entre la solera del canal en la boca y los manantiales mas elevados.

Calculada la velocidad por la pendiente del fondo nos hubiera dado una cantidad menor que la efectiva, en razon á la velocidad con que llega el agua y por consiguiente la carga que esto supone en el bocal.

$w$

Siendo la fórmula  $Mv+Nv^2=-i$  y observando que la gravedad en la Habana es. . . . .  $g=9,^m786$

y por consiguiente los coeficientes. . . . .  $M=0,00005454$

$N=0,00034$

resultaria. . . . .  $v=2^m,124$

Pero calculando el valor de  $v$  por la pendiente del agua y teniendo en cuenta que la velocidad media, segun observaciones directas, es á su llegada al canal  $v=1,^m1$  lo que supone

una carga  $h''=-=0,062$ , quedando la total sobre la superficie  $2g$

ficie del canal reducida á  $1,152 - 0,4 - 0,062 = 0,690$ ;

la pendiente del agua en los 34<sup>m</sup> del canal será

$$i = \frac{H - (h' - h)}{L} = \frac{0,96 - 0,690}{54} = 0,00782.$$

(Siendo  $H$  la diferencia de nivel entre la parte superior de los manantiales y la del agua á su salida  $= 1,152 + (0,006 + 34) - 0,4 = 0,96$ ). Por la fórmula general anterior resultará

$$V = -0,0508 + \sqrt{0,00258 + \frac{w i'}{0,00034c}} 2^m.452$$

velocidad poco mayor que la que se obtuvo con el flotador esférico y que por lo aproximada comprueba la media hallada  $V = 2,45$

#### Caudal de agua.

Segun los datos que preceden, debidamente comprobados resulta que el caudal de agua que corria por el canal dispuesto para el aforo el dia 28 de Marzo, era:

$$Q = wv = 2,45 + 0,648 = 1,^{m^3} 5876 \text{ por segundo}$$

ó sea... 157.169<sup>m<sup>3</sup></sup> en un dia.

Número superior al que en diferentes ocasiones obtuvo el Sr. Albear en 1852 y 1855, porque ejecutada ya una parte de las obras para la toma, los manantiales se van reuniendo en un espacio mas limitado, mientras que en los primeros aforos no podia entrar en el canal sino una 4.<sup>a</sup> parte á lo sumo de las aguas y nunca ha pasado de la mitad en los sucesivos. A pesar de esta circunstancia no es posible prescindir de tener en cuenta lo que antes se dijo, acerca de la dificultad que aun subsiste de recoger el agua por medios provisionales para conducirla al canal de aforo; la comision lo ha hecho así, y aunque no es posible la exactitud en semejante apreciacion, ha tratado de calcular toda la cantidad de agua que visiblemente se perdía en el momento de la operacion, ya por debajo del mismo canal, procedente de manantiales que no podian entrar en él, ya del gran depósito en que se reunen los principales por no ha-

berse podido impedir los escapes. Dicha pérdida total, por la comparacion que se ha hecho con algunos parciales susceptibles de medirse, ascendia á una cantidad bastante grande para que la comision al fijar el gasto total en 150.000 metros cúbicos diarios (guarismo casi igual al calculado hace 11 años) no tenga el temor de equivocarse por exceso. Si se considera por otra parte, que el aforo se ha practicado en una época poco favorable para el caudal de los manantiales, aunque la mas propia para esta clase de operaciones, pues se habian hecho sentir en la comarca 4 meses de prolongada sequia (y despues veremos hasta que punto puede influir esta en el caso particular de Vento) se comprenderá que la comision, teniendo en cuenta tambien el dato debido á la tradicion, y que comprobará en el párrafo III, de que jamás se han secado ni se les ha conocido disminucion perceptible, no tema que se reduzca nunca de una manera notable este gasto; á no ser que influya una causa extraordinaria como la de un terremoto, y aunque comunes estos fenómenos en las Antillas y en Cuba mismo, no son por fortuna frecuentes en la Habana, ni es dable dejar de llamar extraordinario á un acontecimiento que nada tiene que ver con los que periódicamente influyen en el curso de las aguas.

Cree pues la comision poder asegurar que los manantiales de Vento no solo son suficientes para proveer de agua á la Habana en la cantidad que se ha calculado necesaria, sino que esta excede en un 47 por 100 á la que ha servido de tipo al proyecto del Sr. Albear; y como en este se asignaban 60.000<sup>m<sup>3</sup></sup> para el riego y bastan 42.000 para el consumo público y particular, resulta que podria subir la poblacion hasta el número de 600.000 habitantes sin que dejara de tener cada uno la cantidad que se conceptua suficiente para sus necesidades en este clima.

Es notable y creemos deber consignarla aquí, una circunstancia que prueba que la capital de Cuba, por la situacion y cantidad de las aguas con que ha de surtirse, se halla no menos favorecida que por su calidad; pues mientras solo se necesita un acueducto de menos de 11 kilómetros para traer á la

Habana los 150.000 metros cúbicos que dan al día los manantiales de Vento, New-York ha tenido que tomar á 64 kilómetros un caudal de agua de 157.500 metros cúbicos: Roma necesita 5 acueductos de 101 kilómetros para sus 180.000 metros cúbicos de agua; el canal de Isabel II, en Madrid no tiene menos de 70 kilómetros para conducir 498.000 y París hace el sacrificio de ir á buscar 100.000 á una distancia de mas de 183 kilómetros.

### III.

*Estudio de la procedencia de las aguas de Vento como medio de asegurarse de la constancia de su caudal y propiedades físicas y químicas.*

La 5.<sup>a</sup> de las cuestiones que se ha propuesto examinar la comision es indudablemente la mas oscura y difícil de resolver de una manera categórica, porque exige un conocimiento exacto, no solo del terreno de las inmediaciones de la Habana, donde nacen los manantiales, sino tambien de la relacion que tiene con el del continente vecino, de donde se ha sospechado que pueden venir las aguas.

No se adhieren los que suscribēn á esta opinion ni tampoco estan conformes con la edad que se asigna á los terrenos de Vento, deducida al parecer de la clasificacion que de los de esta parte de la Isla hizo Humboldt, el cual tuvo por jurásicas las rocas que aparecen en Batabanó, el Wajay, Güines, etc., á pesar de no haber encontrado, segun confiesa él mismo, ninguno de los fósiles característicos de dicha formacion, y solo por la gran analogia que presenta alguno de sus miembros con la caliza de Franconia y la litográfica de Papenheim. Estudios mas recientes y mas completos, acerca de los cuales no nos es dado extendernos aquí, han puesto de manifiesto, y sobre todos el del Ingeniero de minas D. Policarpo Cia, que la formacion sobre la cual tiene su asiento la Habana y se extiende á larga distancia en varias direcciones, es terciaria y pertenece probablemente al periodo *mioceno*, aunque hay algunas dudas

de que puede ser *eocono*, dudas que es de esperar queden pronto resueltas cuando se reunan y clasifiquen rigurosamente los muchos fósiles que poseen las colecciones de varios naturalistas Cubanos. Pero ya pertenezca al uno ó al otro de estos periodos, son indudablemente terciarios los terrenos en que surgen los manantiales de Vento y así lo comprueban los fósiles que se ha procurado la comision (1) ya de los cimientos mismos de la presa, ya de las inmediaciones, recorriéndolas con este objeto hasta el Calabazar, San Felipe, San Antonio y Laguna de Ariguanabo; si bien alguno de sus individuos habian ya extendido con otro motivo sus exploraciones á un radio infinitamente mayor, que permite considerar la cuestion hidrológica en el vasto campo en que la coloca la suposicion de que pueden proceder las aguas del continente americano.

De poca importancia parece á primera vista que el terreno sea jurásico ó terciario puesto que en uno y otro dominan las calizas y en ambos suele esta roca presentar la multitud de grietas, oquedades y aun cavernas que tanta influencia tienen en los problemas de hidrologia y de hidráulica y que tan característicos son del suelo de las Antillas mayores; pero por una parte creemos que no hay nada indiferente en el estudio completo de un proyecto de conduccion de aguas, como lo han probado por desgracia muchos ejemplos y por otra es necesario fijar de la manera mas exacta posible la edad del terreno para hacerse bien cargo de la posicion y naturaleza de la capa por entre la cual corren las aguas de Vento.

---

(1) Pueden citarse entre los univalvos recogidos, varios *Conus* parecidos, sino idénticos, á los de Sto. Domingo, descritos por Sowerby y una *Voluta* semejante a la *V. Defranciü*, varias *Náticas*, *Cerites* y *Olivas*, siendo una de estas poco diferente de *O. Branderi* de Sow. Entre los bivalvos muchas *Lucinas*, *Arca*s y *Pectúnculos*, notables todos por su gran tamaño, y entre los equinodemos un *Clipeaster* muy parecido, pero no enteramente igual al *C. scutellatus* de Marcel de Sevres; y varias Madreporas que tienen alguna analogia con la *Meandrina pyrenáica* de Michelin y la *Stephanocoenia intersepta* ó la *Astrocenia decaphylla* de Pietet.

El parecer que adopta la comision de que el terreno de los alrededores de la Habana es terciario y no jurásico, favoreceria la hipótesis de que las aguas de Vento proceden del continente americano, si dicho terreno se presentará como acontece generalmente, formando grandes cuencas cuyas capas no se separan mucho de la situacion en que las dejaron las aguas al evaporarse, es decir poco alteradas por cataclismos posteriores, pero lejos de eso, se observa todo lo contrario. Si bien sospecha alguno de los individuos de la comision que la capa de caliza cavernosa compacta, escasa en fósiles y llena de nidos y riñones de óxido de hierro que se encuentra siempre cubriendo las demás no ha sufrido los mismos trastornos que estas y pertenece por consiguiente á una época mas moderna aunque tambien terciaria, las margas y caliza grosera que tanto abundan en las inmediaciones de la Habana y constituyen esencialmente el suelo de esta parte de la Isla aparecen, así como los conglomerados y arcillas que suelen acompañarla, en capas y en bancos tan trastornados que algunas veces tienen una posicion vertical y no pocas la inclinacion es inversa, como puede observarse en las inmediaciones mismas de Vento, en el desmonte del lugar llamado el Retiro y en los grandes cortes que ofrece el ferrocarril del Oeste entre Jesus del Monte y arroyo Naranja.

No es necesario haberse detenido mucho en el estudio de la geologia de Cuba para conocer la causa de estos trastornos, ocurridos en una época tan reciente, porque donde quiera se encuentran la diorita y la serpentina, atravesando ó levantando las capas terciarias; pero sí es preciso recorrer toda la isla y tener en cuenta la constitucion geológica de las inmediatas y del continente americano, para comprender la magnitud de esos trastornos y la influencia que debe de haber ejercido en la estratificacion de la mas considerable de las cuencas terciarias que se conocen. En efecto ya Humboldt indicó la idea de que las capas calizas de la parte occidental de la Isla inclinándose hácia el Norte y hácia el Oeste, debian formar cuerpo con los terrenos igualmente bajos de las islas Bahamas, de la Florida y del Yucatan; uno de los que suscriben, al describir geológicamente la isla de Santo Domingo, ha dicho que sus terrenos

terciarios, idénticos á los de Cuba y concordando con los que Humboldt, Moreau de Jonés y otros autores describen en Cumaná, las Antillas menores y las costas del golfo Mejicano, debian formar en otro tiempo una gran cuenca que ocupaba la parte hoy visible y todo el espacio que en la actualidad cubren las aguas de dicho golfo Mejicano y del mar de las Antillas. Esta aseveracion al parecer atrevida, se ve, sin embargo confirmada por el simple exámen del Mapa geológico del mundo recientemente publicado por M. Marcon, pues en él se observa que todo el litoral del Atlántico conocido geológicamente desde el ecuador hasta el paralelo 40° del hemisferio boreal ó sean las costas que desde la embocadura del rio de las Amazonas se extienden por la Guyana, Venezuela, Méjico y los Estados- Unidos hasta Filadelfia, están constituidas por terrenos terciarios, si se exceptuan algunos puntos limitados en que aparecen las rocas cristalinas y la península de la Florida en que los terrenos modernos han cubierto los terciarios. Las Antillas situadas en medio de esa gran cuenca forman tambien parte de ella; y no solo el litoral, sino que una porcion muy grande de su superficie está constituida por las mismas rocas, de suerte que sin un estudio muy especial de la cuestion, nada de improbable tendria el supuesto de que las aguas de Vento provinieran del continente; pero vamos á demostrar que no solo es necesario acudir á esa suposicion sino que todos los datos que suministra la ciencia estan en contra de ella.

En primer lugar hemos dicho que los terrenos terciarios mas antiguos de las inmediaciones de la Habana, los que aparecen mas continuos y asomando en las inmediaciones de Vento, podrian estenderse hasta la costa N. del golfo Mejicano, que es hácia donde buza la estratificacion general; pero esta se halla trastornada é interrumpida por la diorita y la serpentina, no en puntos aislados y escasos, sino en una zona continua, extraordinariamente larga, que se estiende por todo el N. de la Isla, y es fácil de reconocer, pues aparece en muchos puntos de la superficie y puede seguirse desde el NO. de Mántua, por la Chorrera, las Pozas, Bahia-Honda, el Mariel, Guanajay, Banes, Marianao, Regla, Guanabacoa, Madruga, Villa-Clara,

donde cubre un espacio que seria grande si no se comparara con la inmensa superficie que ocupa al rededor de Puerto Principe y sigue despues hácia Holgum , Cuba y Mayarí , no para terminar allí, sino para continuar por la Isla de Santo Domingo , donde es abundantísima la diorita y por las de la Guadalupe y Martinica, donde la ha reconocido tambien Moreau de Jónés. Y á fin de que no quede la menor duda sobre la continuidad de ese inmenso dyke que interrumpe la comunicacion de las capas terciarias del continente con las que no fueron sino prolongacion suya en la Isla de Cuba , estas , en los espacios donde no asoma á la superficie la roca eruptiva ó la metamórfica, pues tenemos por tal la serpentina , deja ver las capas tan atormentadas que no puede desconocerse la presencia, á muy poca profundidad, de la roca sublevante ; además toda esa línea está sembrada de vetas irregulares y de corta estension, pero casi siempre verticales y en gran número, de asfalto sólido ó de una traquita manchada de piasfalto.

Hay, pues, una inmensa barrera entre los terrenos de sedimento del continente Norte-americano y las capas por entre las cuales corren los manantiales de Vento; y aun cuando para suponer que deben existir otras que han interrumpido tambien la comunicacion con el continente por el Sur , bastaria hacerse cargo de que la estratificacion buza generalmente hácia el Norte, hay otra prueba mas palpable y es que al Sur de Vento , en Bejucal, se encuentra tambien la serpentina y el asfalto.

Otra série de consideraciones conduce al mismo resultado y son las que pueden hacerse tomando por base la temperatura del agua. Esta es constante en los manantiales ; y tanto en las observaciones practicadas por el Sr. Casaseca en 1852 , como en las que acaba de hacer la Comision, con once años de intervalo no se ha notado nunca una diferencia de mas de 40 céntimos de grado, pudiéndose señalar como término medio la de 24°,6 del termómetro centígrado. Ahora bien , si se tienen en cuenta los siguientes hechos :

1.º Que la temperatura media de la atmósfera en la Habana es de 25°,55, segun las observaciones de los PP. de Belen, hechas en 1859 y de 25°,70 segun las recogidas por D. Ramon

de la Sagra, correspondientes á los años de 1800 á 1807, ó sean  $25^{\circ},62$  término medio, que es precisamente la adoptada por D. José Joaquín Ferrer, consignada en las tablas de Kupffer.

2.º Que así como en los climas templados existe, á una profundidad de 25 á 50 metros una capa cuya temperatura invariable es casi la misma que la temperatura media de la atmósfera, se encuentra dicha capa entre los trópicos á un metro de profundidad.

3.º Que según Kupffer, hay una ligera diferencia entre la temperatura media de la atmósfera y la de los manantiales no termales, ó que corren por las capas próximas á la superficie, y que esa temperatura es algo inferior entre los trópicos y por el contrario mas elevada á medida que va aproximándose á los polos.

4.º Que habiendo según el Doctor Boudin otra pequeña diferencia entre la temperatura media de la atmósfera y la de los manantiales, la cual depende de la naturaleza de los terrenos por donde corren, siendo mas frescos aquellos mientras mas porosos ó higroscópicos son estos.

5.º Que para que atravesasen las aguas del continente á la Isla por capas permeables submarinas seria preciso que lo hiciesen á una profundidad de mas de 1.800 metros según Maury, lo cual produciria una elevacion de temperatura tan considerable que el agua llegaria á adquirir la de  $60^{\circ}$  centígrados (1).

Resulta: que los manantiales de Vento no pueden venir sino de las aguas pluviales infiltradas, en el terreno de la Isla, puesto que en vez de salir á una temperatura superior á la media de la atmósfera de la Habana la tienen casi igual, algo inferior que es precisamente lo que debe suceder según las citadas observa-

---

(1) Solo en el caso de que las aguas subterráneas corrieran casi en contacto con el fondo del mar podrian ponerse á la temperatura de este que será próximamente de  $4^{\circ}$  C., pero la velocidad con que brotan los manantiales hace tan improbable el aumento de  $20^{\circ}$  que seria necesario suponer en este caso, como la disminucion de  $36^{\circ}$  en el otro, para venir á surgir precisamente á la temperatura que deben tener los manantiales procedentes de aguas someras.

ciones de Kupffer y de Boudin, pues la latitud es baja y la roca en que surgen los manantiales es muy porosa.

Creemos haber demostrado que los hechos geológicos y meteorológicos que posee la ciencia acerca de la Habana y sus intermediaciones están contra el supuesto de que las aguas de Vento vengan del continente americano, y lo mismo sucede con los que nos suministra la análisis química de las aguas. Vemos, en efecto, que difieren muy poco en su composición las de los manantiales y las del río, siendo así que las primeras, aun cuando se supusiese que atravesando siempre los mismos terrenos terciarios, desde las montañas del continente, hubieran podido traer en disolución exactamente las mismas sustancias que se encuentran en el Almendares la mayor temperatura y presión á que se hallarian sometidas al pasar por debajo del golfo Mejicano ó el mar de las Antillas, debieran haber influido en que se cargasen de mayor cantidad de sustancias fijas, mientras que por el contrario se ve que lejos de saturarse de carbonato de cal son mas puras que las del río.

Pero todavía hay otro argumento que da mas fuerza á la opinion que sustentamos, y es el exámen de la principal razon en que se funda la sospecha de que las aguas deben venir del continente. «No hay en todos aquellos contornos ni en muchas leguas de distancia, se dice, montañas capaces de producir reunida semejante cantidad de agua; ni vestigio de manantiales que puedan formar los de Vento.» Un cálculo muy sencillo sin embargo, echa por tierra este aserto. La cuenca hidrográfica del Almendares en la parte que por estar mas elevada que el río en Vento, puede mandar allí sus aguas, tiene unas 53 leguas cuadradas ó sean mas de 4017 millones de metros; en la Habana marcó el pluviómetro 1,159 milímetros de lluvia en todo el año de 1859 y nunca ha bajado mucho de esa cantidad, puesto que D. Ramon de la Sagra fija el término medio en 1025<sup>m</sup>; pero no contando mas que con un metro de lluvia, resultarían 4017 millones de metros cúbicos al año, ó sean mas de 2.780.000 metros cúbicos al día. Aun haciendo abstracción de la porosidad extraordinaria del suelo de esa parte de la Isla, que disminuye la cantidad proporcional de lluvia

evaporada y aumenta la infiltrada, supondremos, fundados en las observaciones de Dalton, Dickinson y Charnock, que la evaporacion asciende al 60 por 100 y resultará siempre mas de un millon de metros cúbicos de agua que solo por este concepto podrian concurrir al día en el lugar en que aparecen los manantiales de Vento; y como el aforo de estos nos ha dado solo 150.000 y el rio no llevará antes de juntarse con ellos mas de 250.000, se ve cuanta queda todavía para dar su contingente á la traspiracion arbórea, que es muy considerable, para alimentar los manantiales que vayan á surgir en puntos mas bajos del rio, para surtir las capas permeables acuosas que tengan salidas submarinas y para el exceso de aguas que no pueden filtrarse y corren por el lecho del rio, siempre crecido en el momento de las lluvias. Pero no es esto solo: al O. de Vento entre las sierras de Banés, de Anafe, lomas del Rosario y Montiel por el N. y el ferro-carril de Guanajay y la sierra de Bejucal por el Sur, hay un espacio de 48 leguas cuadradas de terreno mas alto que los manantiales de Vento, á los cuales no seria imposible que fuera una parte de los 60.000 metros cúbicos diarios de aguas pluviales que dejan de evaporarse y corresponden segun el cálculo anterior á dicho espacio de terreno que es donde se halla con otras muchas la laguna de Ariguanabo, cuyas aguas no se cree pasen á Vento, porque los manantiales de este punto, son constantes, mientras que el agua de aquella baja; pero seria preciso para que esta suposicion fuese exacta que el agua de esa y otras lagunas corriese hasta los manantiales con cierta facilidad; mientras que lo que debe probablemente suceder es, que infiltrándose de una manera lenta y continua, circula por un número infinito de tubos capilares, cuyo ténue gasto va juntándose en algunos parajes y constituyendo un verdadero drenage natural; de manera que la laguna de Ariguanabo, como otras que hay superiores á los manantiales de Vento, podria seguir surtiéndolos con una parte de sus aguas aun mucho despues de haberse secado la que parece estancada en la superficie; siendo preciso para que en aquellos fuese notable la disminucion del caudal que las sequías se prolongaran hasta el punto de acabar con el agua

que impregna los terrenos. Sin pretender que así sea y sosteniendo solo la posibilidad de que suceda, creemos exacto comparar el agua que sale por los ojos de Vento á la que se recoge y conduce artificialmente por una red de tubos porosos, segun el sistema que con tan buen éxito se emplea en Europa y podria emplearse en Cuba para crear fuentes artificiales, donde la naturaleza no ha sido tan generosa como en las inmediaciones de la Habana.

Todavía queda al Sur de los dos espacios que hemos tomado en cuenta, otro que no tiene menos de 44 leguas cuadradas en cuya superficie no hay una sola corriente de agua por efecto de la porosidad extraordinaria de la roca y de la tierra vegetal que forman su suelo. Una parte de este terreno, cuya altitud no ha fijado la comision, es posible que se halle á la misma ó mayor altura que los manantiales de Vento; y como las capas se inclinan tambien al N. no es imposible que una parte de las aguas subterráneas que le corresponden y vienen á ser 1.500.000 metros cúbicos diarios, asome al cauce del Almen-dares ó contribuya, si su nivel no permite otra cosa, á surtir las capas permeables y depósitos subterráneos profundos y á alimentar la vegetacion de la parte de la comarca que positivamente envia sus aguas á los manantiales en la forma que se ha expuesto.

En una palabra, sin que pueda asegurarse de una manera absoluta, porque no es dable esa seguridad en los conocimientos humanos, todas las probabilidades son de que el agua de los manantiales que ha de conducir el canal de Isabel II, provengan de las pluviales que caen en un radio de 5 á 6 leguas al rededor de Vento y no hay temor de que su volúmen y temperatura dejen de mantenerse tan constantes como se observa hace más de un siglo, á menos que no ocurriesen verdaderas calamidades en la comarca.

## IV.

*Toma de agua en los manantiales de Vento*

Este es el punto mas importante de cuantos tenía que examinar la comision; porque como dice muy bien el Sr. Albear en la pág. 25 de la Memoria publicada en 1856. «De cualquier modo que se originen los manantiales de Vento, el hecho es que hay toda la seguridad apetecible acerca de su subsistencia y no presenta indicio alguno que pueda hacer temer su desaparicion ó mengua, como no sea por uno de esos trastornos que alguna vez han alterado profundamente la corteza de nuestro globo. Lo que sí es doloroso, á causa de las dificultades que presenta para la toma de aguas, es la situacion de los manantiales con relacion al rio: á tan corta distancia de este, los que mas á 25 metros de la orilla y otros en ella misma y el mas elevado apenas un metro mas alto que las aguas mas bajas del Almendares, que los cubre siempre en sus crecidas; sin contar con que estando situados los principales en la orilla izquierda, se aumentan las dificultades y los costos de la conduccion con la necesidad de pasar el rio.»

Estos renglones ponen de manifiesto lo que fácilmente concebirá cualquiera, y es la íntima relacion que tiene el problema de tomar las aguas de los manantiales en la orilla izquierda del Almendares con el del paso de este para llevarlas al canal que ha de correr por la derecha; sin embargo, es tan importante la primera de las dos cuestiones, tan distinto el razonamiento que nos ha de conducir á la resolucion de ambas, que no ha vacilado la comision en separarlas y empezar por examinar la primera dando por supuesto que no han de emplearse máquinas elevatorias (cuya inconveniencia se demostrará en el párrafo 5.º) sino que el agua debe llegar solo por la accion de la gravedad desde Vento á Jesus del Monte, perdiendo la menor altura posible en su trayecto.

Ya se recordará, porque lo hemos dicho en los primeros renglones de este informe, que segun el proyecto publicado en 1856, las aguas de los manantiales debian separarse de las del

rio por una presa ó muro de contencion que evitara su contacto aun en las mayores crecidas, que pasan de 8 metros, cuya obra debia servir al mismo tiempo para represar los manantiales unos 3 ó 4 metros, con objeto, por una parte, de ganar esa altura en el depósito de distribucion y con el de disminuir, por otra, los costos de las obras, escavaciones y minas extraordinariamente extensas, que de lo contrario tendrian que hacerse; «puesto que, añadia el autor del proyecto, de todos modos se »ha de elevar el agua represada en el manantial, locura seria »no aprovechar esta ventaja para ganar mayor altura y hacer »mucho mas económica la obra.»

Los que suscriben deben hacer aquí presente que al conferirseles la comision de que ahora dan cuenta, este fué el punto que mas llamó su atencion y el único tal vez que creian capaz de comprometer el éxito de esta grande obra tan concienzudamente concebida y tan luminosamente expuesta en la citada Memoria impresa, que era el solo documento que habian consultado.

Ya hemos dicho que el Sr. Albear no dejó de hacerse cargo de la gravedad del caso, como lo demuestran las frases que siguen á las que acabamos de transcribir y pueden verse en la pág. 50 de la citada Memoria; pero, como allí mismo expresa, creyó que el aumento de carga sobre la boca de los manantiales, producido por un represamiento de 3 ó 4 metros, no seria suficiente para alterar el curso de estos; no llegando con dicha altura al término del equilibrio entre el peso de la masa de agua represada, la velocidad de la que llega y la resistencia del terreno circundante ó de las obras que se opusiesen á su accion. Hay aquí, sin embargo, un elemento que no puede conocerse sino imperfectamente, el de la velocidad de *cada uno* de los manantiales, porque es mas difícil aun de medir que su caudal y otro completamente desconocido, que es la resistencia de las capas ó mas bien paredes impermeables que los separan unos de otros y que faltando por un exceso de presion podrian dejar pasar las aguas de los mas elevados á los conductos que la lleven á otros puntos mas bajos y distantes del depósito de recepcion, donde se ven surgir algunos en la actualidad.

Para opinar como lo hizo, fundábase el Sr. Albear, con alguna apariencia de razon, en dos hechos prácticos y una consideracion geológica. Consistia esta en que brotando el agua de los manantiales con violencia, no solo en el sentido horizontal, sino en el vertical, parecia poderse afirmar, lo que por otra parte ponian de manifesto algunos reconocimientos, y es que existia una gruesa capa de arcilla sobre la cual corrian las aguas; capa que aconsejaba conservar y reforzar si necesario fuese. Los dos hechos eran: 1.º Que durante las crecidas del rio se ve la marcha clara del manantial á gran profundidad debajo de las aguas sucias y turbulentas de aquel, llegando á veces á ocupar la mitad de la cañada. 2.º Que habiéndose construido una presa provisional de tablas para aforar las aguas en 1852, se mantuvieron estas represadas hasta el año de 1855 sin que se notara disminucion alguna en su caudal.

Hemos dicho que habia alguna apariencia de razon en estos hechos y no que eran concluyentes; porque examinados con detenimiento no producen en el ánimo la conviccion, la seguridad que es indispensable para acometer una obra tan arriesgada y de tanta trascendencia como la de represar aguas para el abasto de una ciudad. Asi debió de considerarlo la Junta Superior Consultiva de Caminos, cuando despues de examinado el proyecto dijo en su informe de 1.º de Diciembre de 1857 entre otras cosas: «9.º Que el aumento de profundidad en las escavaciones y la mayor longitud de estas y de las minas, inconveniente que se seguirá de no elevar el nivel de los manantiales, no parece tener la importancia que se le atribuye por el Sr. Albear, pues este exceso de profundidad no será constantemente de 3 metros, sino que decrecerá hasta llegar á un metro ó poco menos en el depósito de llegada, pudiendo además tener algunas compensaciones en la menor altura de los piedraplenes y de las obras de fábrica, cuyo aumento podria aun reducirse algo, contorneando algunas estribaciones y dando algo mas de desarrollo á la línea: 10.º Que el represar los manantiales, además de poder dar lugar á trastornos que no es fácil preveer de antemano, tiene el inconveniente seguro de disminuir el caudal y tal vez de que la nueva carga rompa la

«capa de arcilla sobre que corren las aguas de Vento y la precipiten á buscar nuevas salidas, no dificiles de hallar por desgracia en terreno tan descompuesto y trastornado, etc.»

Este prudente dictámen, digno del distinguido cuerpo que lo emitió, expresa en los términos mas categóricos en que pueden hacerlo personas que se hallan á 1.500 leguas de la localidad, cual era la mente de los que informaban: convencidos por una parte de lo arriesgado de la obra, pero no teniendo sino motivos para confiar en las luces de que tan revelantes muestras daba el autor del proyecto, se limitaron á exponer á este lo temerario de la empresa, permítasenos la expresion, dejando á su reconocida competencia el apreciar los medios de acometerla y las probabilidades de llevarla á cabo.

Por fortuna el Sr. Albear, cediendo á la elocuencia de tan autorizado consejo y á los que diariamente han debido de darle sus asiduos estudios y su creciente práctica de la localidad, concibió hace mas de un año, segun nos ha manifestado y hemos podido ver, la idea de modificar el primitivo proyecto, proponiéndose primero rebajar á un metro el represamiento de los manantiales y renunciando por fin á elevar sus aguas sobre el nivel á que ahora surgen (1).

Los que suscriben al saber esta resolucio, no pudieron menos de felicitar al Sr. Albear y felicitarse á sí mismos, porque de ingrata que hubiera tenido que ser su tarea al disentir del Director de las obras en aquello que precisamente forma la base del proyecto, se convertia en un deber de los mas gratos al poder decir en cumplimiento de su encargo: *que no existe ningun obstáculo serio á la realizacion de una obra que tantos beneficios ha de reportar á la capital de Cuba.*

(1) La comision cree del caso declarar aquí que cuando visitó las obras por primera vez el 3 de Marzo de 1863, ó sea al dia siguiente de haber sido instalada, encontró completamente terminado uno de los aliviaderos del dique ó muro de separacion, situado á 0<sup>m</sup>, 10 sobre el nivel del mas alto de los manantiales, como se dirá despues.

La comision, si no lo hubiera hecho innecesario la prudente determinacion del Sr. Albear, habria sido en su informe mas absoluta que la Junta consultiva de Caminos, porque estando en su mano reconocer y estudiar la localidad, como lo ha practicado, y habiendo podido agregar á los tristes ejemplos que se conocian del resultado que produce el represamiento de las aguas, otros recientes y análogos al que se intentaba en Vento, hubiera podido hacerlo sin pecar de aventurada en sus juicios.

En efecto, el exámen del terreno en que surgen los manantiales y el de un plano levantado por el Sr. Albear, donde se marca el nivel de todos los que reunidos se han de conducir por el canal y de los que por su situacion tienen que dejarse sin aprovechar, demuestra cuán peligroso hubiera sido contar con la circunstancia de que las aguas corren sobre una gruesa capa de arcilla.

Tanto en la escavacion que se hizo para los cimientos del trozo de muro ó dique ya construido, que tuvieron ocasion de ver algunos de los individuos de la comision, como en la que se está haciendo para continuarlo y han podido examinar todos, la roca es una caliza cavernosa mas compacta en unos puntos que en otros, donde parece grosera é igual á la que se observa sobre el nivel del rio en el punto mismo donde surgen los manantiales: sin que haya diferencia notable y constante, ni estratificacion marcada, como parece debia suceder si hubiese sido exacta la teoria de que los manantiales corren sobre una gruesa capa de arcilla. Existen, en efecto, muchas vetas de esta sustancia mas ó menos ferruginosa, rellenando las grietas de la caliza; pero no son regulares ni gruesas, ni pueden llamarse verdaderamente capas; por lo demás esto mismo lo comprueba la manera como asoman los manantiales en el terreno y como se iban presentando en la escavacion de los cimientos á medida que se profundizaba. En concepto de la comision la roca en que surgen es caliza compacta cavernosa que cubre todas las demás de la formacion terciaria de la isla de Cuba, la cual no tiene estratificacion discernible, antes bien aparece como un poderoso banco acribillado de oquedades y surcado en todas direcciones

de vetas de arcilla mas ó ménos gruesas y extensas , pero tan irregulares como las que se observan en el mármol : es verdad que tal vez no le falte para serlo sino la accion metamórfica que ha sufrido aquel. Esas vetas en que es muy probable fueran acumulándose las partículas de arcilla por el agua misma que atraviesa la roca y que al disolver las sales calizas va dejando depositadas las otras materias , pueden servir y sirven en efecto para ir dando cuerpo á los hilos de agua y reunirlos en pequeñas corrientes que vienen á convertirse en ojos mas ó menos caudalosos. La comision cree, pues, guiada por lo que ha observado en Vento y en otros puntos donde aparece el contacto de la caliza compacta cavernosa con los terrenos inferiores, que este contacto no forma en manera alguna superficies planas y distintas , ni menos separadas por capas continuas de arcilla; sino que por el contrario, sobre la superficie desigual que presentaban los terrenos trastornados por las rocas ofíticas y las denudaciones , vino á depositarse el poleroso banco de caliza cavernosa , quedando , como era natural , en la parte inferior los gruesos fragmentos que arrastraban ó llevaban en suspension las aguas y viniendo á rematar en la parte superior con la agregacion de las partículas mas ténues y la solidificacion de las que se hallaban disueltas.

Así se explica el tránsito insensible de la caliza fragmentaria y grosera , que se observa en unos puntos , á la compacta, casi litográfica , que se encuentra en otros y aunque no á un nivel constante , siempre en el superior. El aspecto de la parte inferior de este miembro de los terrenos de las inmediaciones de la Habana prueba que al desecarse quedaron una multitud de oquedades irregulares , procedentes del contacto imperfecto de unos trozos con otros; oquedades de las cuales han permanecido abiertas las unas , rellenas otras de arcilla y óxido de hierro y cubiertas algunas total ó parcialmente por incrustaciones calizas mas modernas aun, verdaderos travertinos , formados por el paso de las aguas corrientes al traves de la masa porosa en la parte superior del mismo miembro, donde la caliza es de grano fino y tan compacta que parece litográfica, las oquedades tienen otro carácter; y tanto su forma y la materia que las

rellena, como las vetillas de espato calizo que la cruzan, no pueden atribuirse, segun uno de los individuos de la comision que ha descrito estensamente el fenómeno, en otro trabajo, sino á las acciones electro-químicas, y electro-dinámicas. Ahora bien, si los manantiales aparecen, no debajo, sino entre ese banco de caliza que corona todos los demás; si, segun se ha explicado en el párrafo anterior, proceden de las lluvias que se empapan en la misma caliza porosa, que forma el subsuelo de casi toda la superficie del terreno mas elevado que rodea á Vento; si no puede decirse que corren sobre una capa regular y continua de arcilla, sino por un millon de conductos que se reunen y se separan segun las caprichosas formas que toman las oquedades, algunas de las cuales solamente deben tener una especie de revestimiento de arcilla; si puede compararse en fin su curso al de una corriente al traves de una esponja petrificada, en que solo el tiempo hubiera ido determinando la direccion y acrecentando el caudal, por haber agrandado unos conductos y obstruidos otros; si se hace uno cargo, en fin, de la manera como deben irse verificando esos cambios, se comprenderá, que así como es probable que dejando las cosas en el estado en que las ha dispuesto la naturaleza, el mayor de los ojos de agua vaya creciendo á espensas de los demás, desde el momento en que la mano del hombre venga á oponer un obstáculo, por pequeño que sea, á la salida del agua, puede esta vencer con mas facilidad los que le impedian seguir otra direccion subterráneamente y, como ha dicho muy bien la Junta Consultiva de Caminos, buscar nuevas salidas, no difíciles de hallar por desgracia.

Esta suposicion adquiere gran fuerza con el ejemplo de un hecho reciente, el de la perturbacion de las aguas minerales de Carratraca, cuidadosamente estudiada por el ingeniero de minas D. Casiano de Prado. Segun este eminente geólogo dichas aguas fueron aforadas en 1852 por D. José María Otero, quien encontró que su caudal ascendia á 1.894 metros cúbicos diarios, cuando en aquella época las albercas ó piscinas se hallaban sobre el mismo manantial y el agua no se hacia subir mas que 1<sup>m</sup>,39 sobre el punto de emergencia. Establecióse despues una

arqueta construida de tal manera que el agua se hallaba sometida en ella á una carga de 5<sup>m</sup>,22, á pesar de lo cual rebosaba cuando en 1855 se inauguró el establecimiento; pero ya en 1857 no subió sino á 2<sup>m</sup>,80; en 1858 no pasó de 2<sup>m</sup>,60; en 1859 de 2,50; en 1860 no podia dar paso simultáneamente al agua para los baños y para las piscinas, cuyos orificios se hallaban á 2<sup>m</sup>,10 y 2<sup>m</sup>,16 respectivamente; en aquel mismo año apareció una escape de agua á 5 metros de distancia del punto de nacimiento, y en el de 1861 halló el Sr. Prado que el agua no subia mas que 4<sup>m</sup>,92 sobre el punto de emergencia y que el caudal no era sino de 301 metros cúbicos en 24 horas con toda la carga que podia recibir y 656 sin ella ó con solo la de 0<sup>m</sup>,50; es decir, que se habia reducido á solo una tercera parte en un intervalo de 6 años, desde que empezó á obrar la causa de la perturbacion, puesta de manifiesto de una manera evidente por el Sr. D. Casiano de Prado, cuyas consideraciones no nos es dado seguir; pero la comision las ha tenido presente al formar su juicio en un caso tan análogo como el de Vento.

Crean, pues, los que suscriben que el proyecto de toma, tal como se concibió en 1856, podia haber ocasionado la pérdida ó cuando menos la disminucion de las aguas que se trata de recoger en Vento y conducir á la Habana; pero con el nuevo plan adoptado por el Sr. Albear, que deja intacto el terreno en que surgen los manantiales y no se propone elevar su nivel por cima del que ahora tienen, pues la solera de la boca del depósito queda á 0<sup>m</sup>,60 mas baja que el nivel del rio y dos aliviaderos á 0<sup>m</sup>,10 sobre el mas alto de los ojos de agua no solo no hay temor de que disminuya el caudal de esta, sino que por el contrario y por las razones antes espuestas, hay mas bien motivo para creer que tengan el aumento gradual que ocasionó la reunion incesante de los hilos de agua con los mayores inmediatos, por el procedimiento natural que ha formado los actuales ojos.

En cuanto á las obras ejecutadas y en curso de ejecucion para dicha toma, solo dirán los que suscriben que son todas indispensables aunque no se represen los manantiales; pues su principal objeto es el de evitar el contacto de estos con las

aguas del rio, que aunque salubres tambien, corren muy turbias una gran parte del año y exigirian aparatos de filtracion que no estan al alcance de la clase pobre y que vendrian á costar en definitiva á los vecinos de la Habana mucho mas que las obras necesarias para hacer llegar el agua siempre pura. La circunstancia de ser el terreno como se ha dicho muy desigual y poroso y estar atravesado por muchos hilos de agua; la de hacerse las obras en el punto de union de los manantiales con el rio, que corre encajonado; la de tener que descender á un nivel muy inferior á su lecho, la necesidad de precaverse contra las repentinas crecidas que lo hacen subir mas de 8 metros y las condiciones poco favorables del lugar para la salud de los trabajadores forman todos un conjunto de obstáculos para el avance de las obras, obstáculos que si bien pueden vencerse á fuerza de inteligencia y de celo no permiten á los que las dirigen calcular de una manera cierta el tiempo ni los sacrificios necesarios para ello. Ha podido creerse que el muro de contencion tiene mas solidez de la absolutamente necesaria y que el trabajo se hace mas acabado de lo que exige una obra que es de utilidad y no de ornato; pero la comision se ha convencido de lo contrario por el resultado del cálculo fácil de com-

probar con la siguiente fórmula: 
$$e = h \left( -n + \sqrt{\frac{\pi n^2}{3\pi' + 3}} \right)$$

para el espesor de los muros de contencion de un talud  $n$ , siendo como en el caso presente, un fluido el cuerpo que ocasiona el empuje; á cuyo resultado debe agregarse  $\frac{1}{4}$  en razon al exceso exigido por la estabilidad y al esfuerzo ganado por la velocidad de la corriente apreciada normalmente al muro. Poniendo por  $\pi$  y  $\pi'$  1000<sup>k</sup> y 2500<sup>k</sup>, pesos del metro cúbico de

agua y mampostería mista de la presa, por  $n = 0,033$  ta-

lud de la presa y por  $h$  7<sup>m</sup> que es la altura del agua sobre la arista de giro, se tiene:

$e = 2^m,3282$ ; y con  $\frac{1}{4}$  de exceso  $e = 2,91$ . La presa tiene 3 metros.

## V.

*Sobre el sistema elegido para pasar las aguas de las manantiales á la orilla derecha del rio — Túnel. — Máquinas elevatorias.*

Hemos comenzado el párrafo anterior diciendo que era muy íntima la relacion que tenian entre sí el problema de tomar las aguas de los manantiales y el de ponerlas á la orilla derecha del rio; obligándonos sin embargo á separar su estudio la consideracion de que para resolver el primero debíamos fundarnos ante todo en el exámen geológico del terreno; mientras que para el segundo, si bien no puede prescindirse de esta ciencia, hay que recurrir principalmente á razones económicas basadas en los datos siempre ciertos y exactos de la mecánica; por eso sin ser menos difíciles é importantes las obras que tengan que hacerse para atravesar el rio con el acueducto, no les dimos sino el segundo lugar, destinando el primero á la cuestion de la toma de aguas.

El Sr. Albear, en su primitivo proyecto, expuso ya con tal claridad las diferentes maneras que habia de pasar el rio, y aunque brevemente las discutió con tal juicio, que la junta consultiva de caminos no vaciló en adoptar el plan propuesto de construir un túnel segun se ha dicho al principio de este informe, desechando la idea de pasar las aguas por medio de un puente en que pudiera colocarse un sifon directo, así como el de hacerla por simples tubos tendidos en el lecho del rio y considerando como menos aceptable que ningun otro el de las máquinas elevatorias.

La comision no creeria necesario insistir en este punto, pues está ya discutido en la memoria impresa en 1856, si no fuera porque la idea de elevar el agua con máquinas es la que mas se ha preconizado al suscitarse dudas sobre la posibilidad de conducir las de Vento á la Habana; y porque algunos de los individuos que suscriben han dicho en efecto, y no tienen inconveniente en repetirlo, que antes que represar los manantiales creian preferible elevarlos con máquinas, si los inconve-

nientes de que llegasen las aguas al depósito de Jesus del Monte á un nivel un poco mas bajo, fuesen realmente grandes. Por fortuna basta recorrer *el cuadro de alturas ó cotas absolutas de los puntas principales del terreno estudiado entre los manantiales de Vento y la Puerta de Tierra de la Habana, referidos al plano general de comparacion*, que se halla en la página 147 de la memoria del Sr. Albear, para hacerse cargo de que siendo la pendiente propuesta de 0,0003, mucho mayor de la que en otros casos análogos se ha empleado, la pequeña pérdida de altura que resulta de no represar las aguas, disminuyendo algo la pendiente influirá poco en el sistema de distribucion general, como se hará patente en el siguiente párrafo. No vacila, pues, ninguno de los individuos de la comision en asegurar que no solo no creen necesarias las máquinas elevatorias, sino que serian sumamente desventajosas en el caso presente, como lo prueban los cálculos que insertamos á continuacion; cálculos que hacen inútil entrar en consideraciones análogas á las que expuso el Prefecto del Sena al condenar este sistema, propuesto tambien para el abastecimiento de aguas de Paris; si bien no hubiera sido fuera del caso citar algunas de sus palabras, porque habrian tenido gran fuerza aplicadas al caso de la Habana, cuyas condiciones son mas desventajosas que las de la capital de Francia para luchar con los inconvenientes de semejantes máquinas.

Prescindiendo por el momento del costo consiguiente al aumento indispensable del trayecto del canal, á causa de pasar este por puntos mas elevados, vamos, sin embargo, á ver lo que solo por la toma de aguas exige tal idea, bajo la hipótesis de no haberse de alterar sensiblemente la traza proyectada.

La primera ó mas inmediata ventaja de la toma por semejante sistema consiste en poder pasar el tubo ó tubos de conduccion sobre un puente cuyos arcos ó tramos queden superiores á la altura de aguas en las máximas avenidas, lo que requiere una elevacion de 12<sup>m</sup> al mínimo para el asiento de aquellos tubos (1). Pero como conviene al propio tiempo dejar

---

(1) 8 metros á que sube el agua sobre los manantiales, 2<sup>m</sup> de espesor de arco y piso hasta el centro del acueducto y 2 metros que se deja para desembocadura de los arcos.

separadas las aguas del río de las del manantial, no podría evitarse el muro de contención que en la actualidad se está fabricando. Por manera que á los gastos que ahora se hacen, hay que agregar solo por lo que afecta á la toma y paso del río, el establecimiento de las máquinas y el exceso de construcción que pueda tener el puente-acueducto sobre las obras que exige el túnel. Veamos respecto de las máquinas.

No haciendo caso de las existencias pasivas por efecto del ensanche ó disminución que tenga la sección transversal de los tubos, que supondremos de diámetro constante, y no considerando mas que las debidas por la adherencia á las paredes en un trayecto de 100<sup>m</sup>, que podría haber del depósito de toma al principio ó cabeza del canal en que el tubo ha de vaciar y la correspondiente á dos recodos de 5<sup>m</sup> de longitud y otro tanto de radio; la altura ó carga á que esto daría lugar teniendo presente que la fuerza de gravedad en la Habana es 9<sup>m</sup>,786 sería dada por fórmula ya reducida

$$h = \frac{2S}{r} \left( 0,0000174 \frac{Q}{\pi r^2} + 0,0003437 \frac{Q^2}{\pi^2 r^4} \right) + 0,01616Q^2$$

El caudal Q debe ser al mínimo de 102000<sup>litros</sup> por día, ó 1<sup>m</sup><sup>3</sup>,2 = 1.200 litros por segundo; y si tienen cada uno de los dos tubos de conducción 1<sup>m</sup> de diámetro, resultará para vencer las fuerzas pasivas en el trayecto S=100<sup>m</sup> la carga muy próxima. . . . . 0<sup>m</sup>,40  
que sumada con los 12<sup>m</sup> á que debe elevarse en los manantiales. . . . . 12, 00

da un total de. . . . . 12<sup>m</sup>,40

El trabajo efectivo para elevar los 1200 litros en 1<sup>h</sup> será pues:

$$1200 \times 12,4 = 14880 \text{ k.m.} \text{ ó } \frac{14880}{75} = 198 \text{ caballos.}$$

De modo que deberemos tener constantemente en juego dos máquinas de 99 á 100 caballos de fuerza y otras dos monta-

das y preparadas á funcionar, á mas de una de respeto: en todo 5 máquinas con la fuerza de 500 caballos.

Estas máquinas, aun cuando fueran de alta presion y expansion al  $\frac{1}{7}$ , no podrian menos de gastar de  $1\frac{1}{2}$  á 2 kilogramos de carbon por hora y caballo; resultando para el gasto de instalacion y entretenimiento lo que sigue:

<i>Gastos fijos.</i>	
Importe de 4 máquinas de alta presion (5 á 7 atmósferas) y $\frac{1}{7}$ de expansion (fuerza total 400 caballos) montadas con sus calderas tubulares y juego correspondiente de bombas, igualmente montadas, y en disposicion de funcionar, á 600 Ps. por caballo. . . . .	Ps. 240.000
Id. de una id. de repuesto, fuerza de 100 caballos á 500. . . . .	50.000
Establecimiento de edificios para las máquinas y otros de instalacion y guada. . . . .	50.000
	540.000

<i>Gastos anuales.</i>	
Interés y amortizacion de este capital en 15 á 15 años que pueden durar las máquinas al 8 por 100. . . . .	27.200
Consumo anual de carbon, á razon del mínimo gasto $1^k,5$ por hora y caballo en los 200 en accion $1^k,5 \times 24^h \times 200^e \times 366^d = 2.655.200$ ó 2635 toneladas á 12 Ps. . . . .	31.620
Gasto de entretenimiento de las máquinas á 30 Ps. por caballo. . . . .	6.000
Sueldo de un ingeniero. . . . .	3.000
— dos maquinistas. . . . .	3.000
— seis fogoneros. . . . .	3.000
Personal para el entretenimiento de la fábrica y conductos. . . . .	6.180

Gasto por año. . . . . Ps. 80.000

Este gasto que pudiera ser mayor, se evita casi en su totalidad tomando el agua directamente del manantial; pues el disponer las bombas elevatorias no excluye el muro de contencion, los tubos de derivacion y las obras del paso del rio, por cierto mucho mayores, y por consiguiente de considerable exceso en su coste. La toma de agua directa no exige mas gasto anual que el de un peon de confianza ó guarda que tenga la obligacion de vigilar constantemente la cabeza del canal. Su sueldo, que no debe pasar de 1.000 pesos anuales y casa-vivienda, proporcionadamente reducida, es lo que únicamente debe desembolsarse por este concepto. Compárese ahora la diferencia de gastos, sin tener en cuenta el correspondiente al aumento del nuevo canal, por su mayor desarrollo y grandes obras de fábrica al paso de profundas cañadas, y dígase si habria compensacion por la sola ventaja de situar el depósito de distribucion á unos cuantos metros mas de elevacion; pero ni aun esto, seria tampoco posible, atendido que la Loma de Joaquin y la que se halla á su frente están destinadas á servir de asiento á dos fuertes que han de constituir parte de la defensa de la ciudad. Por otro la altura que alcanza el depósito en la falda de dicha Loma sobre Jesus del Monte es la suficiente para dar agua á todas las casas de la Habana á excepcion de muy pocas situadas en lo mas alto de aquel barrio, para cuyo surtido bastará una fuente pública.

No queda por consiguiente ventaja alguna al sistema de máquinas elevatorias; antes bien obligaria á un gasto excesivo de planteamiento y otro anual sin utilidad visible; y aun esto sin hablar de las contingencias á que pueden dar lugar en la práctica el difícil manejo y deterioro de las máquinas.

Este sistema solo podria ser aceptable con preferencia al otro, cuando los manantiales ó aguas que hubieran de surtir á la ciudad se hallasen á las inmediaciones de esta á un nivel inferior; pues por mucho que fuera el gasto de instalacion y entretenimiento aun quedaria ventaja, comparado el costo que debe tener el canal en la extension de 11 kilómetros.

## VI.

*Canal propiamente dicho.—Sus dimensiones.—Altura á que debe llegar el agua sobre el fondo del depósito de distribución.—Abasto de las partes mas elevadas de Jesus del Monte y Cerro.*

El Sr. Albear hace ver, por los planos directores de sus trabajos, que ha puesto de manifiesto á la comision, que con una ligera modificacion en la forma de la seccion del canal, puede llegar la total cantidad de 450.000<sup>m<sup>3</sup></sup> de agua calculada á la misma cota, con corta diferencia, en el depósito de distribución que cuando se intentaba represar los manantiales, no obstante de disminuir con este objeto en  $\frac{1}{3}$  la pendiente que en el proyecto se iniciaba.

La comision que pudiera haberse dado por satisfecha del exámen de dichos trabajos, segun los cuales nada puede objetarse en contra de los resultados concernientes al arribo del agua á buena altura y sin ningun aumento en el costo del canal, va, sin embargo, y como por comprobacion, á ocuparse de este problema, que debe ser el que cierre la informacion que se la ha confiado en todo lo relativo al Canal de Isabel II.

Ya se ha dicho que, convencido hace tiempo el Sr. Albear por sus propios estudios de la inutilidad por un lado y de lo espuesto que seria por otro el represar ó levantar los manantiales á mas altura que la de su salida natural por los diferentes veneros que los producen; antes bien, deseando aumentar su caudal, trabajó la presa en este concepto, dejando los aliviaderos á un decímetro sobre la superficie de aquellos, y aun menos, contando con lo que deben rebajarse los lechos de los mismos para fijar el asiento de los tubos que, en definitiva, han de componer dichos aliviaderos ó ladroneras; resultando que el centro del canal de toma se halla muy por debajo de los manantiales, dando salida favorable á los mas inferiores, cuya suma de caudal hará ascender probablemente la masa total de agua á una cantidad superior á la calculada. La fuerza de proyeccion de estos veneros la considera como un elemento de velo-

cidad para vencer la primera oposicion al movimiento y determinar la marcha á lo largo del canal de derivacion con un impulso algo mayor que el producido por la pendiente de este primer trozo.

Así todo dispuesto, sigue su curso la corriente hasta la primera casa compuerta, cerca del paso del rio donde se bifurca el agua para entrar por los tragantes del doble sifon con una carga correspondiente á la altura de caída en aquel punto, que permite, deducidas todas las fuerzas pasivas, salir á la segunda casa compuerta ó cabeza del canal con una velocidad próxima de  $1^m,4$ . De aquí en adelante marcha el agua por el canal con la pendiente de  $0,0002$ ; teniendo el cajero la forma indicada en la figura 1.<sup>o</sup> con líneas gruesas, segun la cual resultan las diferencias siguientes respecto á la marcada con líneas delgadas, que era lo que tenia en el primitivo proyecto, usada para el presupuesto de algunos trozos y solo diferente de la detallada en la memoria en que el espesor de los estribos en la parte superior es  $0^m,225$  menos, por haber partido desde la solera, en vez de la prolongacion de los arranques, la línea tangente al arco de tras dos.

PÁRA EL PERFIL CON

Solera en arco. Solera ovoidea.

Area total. . . . .	7,829	7,781	
Area interior. . . . .	5,60	5,773	
Area de fabrica. . . . .	4,229	4,008	Diferencia. 0,221

De estas cantidades se deduce, que con la variacion de forma del perimetro mojado, se consigne, á causa del mayor valor que ha tomado el radio medio, aumentar la velocidad, sin aumentar el coste, hasta aproximarse el resultado de la corriente al que daría el canal, segun la primitiva forma, con mayor pendiente; llegando así el agua á Jesus del Monte á poca inferior altura de la entonces calculada.

Veamos nosotros la comprobacion de estos resultados para estar mas seguros de la verdad. Prescindiendo del modo como haya de verificarse el paso del rio, y aun bajo el supuesto de hacerse la toma directamente por dos tubos de hierro, e near-gados cada uno de conducir  $75.000\text{m}^3$  de agua en 24 horas ó  $0\text{m}^3,868$  en 1" y que la pendiente absoluta en los  $259\text{m}$  del primer tramo sea de  $0,001$ , tendremos lo siguiente.

### 1.º Diámetro del tubo.

Colocado este de manera que la carga sobre su centro sea de  $0\text{m},7$ , lo que supone que todo el tubo ha de quedar sumergido bajo la masa actual del agua y siendo la carga en el extremo inferior

$$h=0,7+0,259=0\text{m},959$$

la fórmula de Dupint

$$Q^2 = \frac{hD^5}{0,0025 \times s + 0,0025 \times 32D}$$

ó la general de las fuerzas vivas

$$h \frac{v^2}{2g} = \frac{cs}{w} (Mv + Nv^2)$$

reducida á la siguiente

$$h - 0,0052 \frac{Q^2}{r^4} = 0,000011 \frac{Qs}{r^3} + 0,0000708 \frac{Q^2s}{r^5}$$

despues de poner en ella la velocidad en funcion de la seccion  $w$  y caudal  $Q$ , por los coeficientes  $M$  y  $N$ , sus valores medios para este caso  $M=0,00001735$ ,  $N=0,0003486$ , y por la longitud  $s=259\text{m}$ , nos darán

$$D^5 - 0,06D - 0,508 = 0$$

$$r^5 0,00258r^2 - 0,00408r - 0,0144 = 0,$$

de cualquiera de las cuales se deduce con poco exceso]

$$D = 0\text{m},90$$

si bien la 2.ª se aproxima algo mas á  $0\text{m},89$ .

A fin de llevar en cuenta las pérdidas por los recodos que

en la práctica puedan tener lugar ó darse á estos tubos, y las correspondientes á las incrustaciones por el uso, apreciaremos el diámetro en 4 centímetros mas quedando definitivamente para nuestro cálculo en  $D=0,94$

### 2.º *Velocidad de salida.*

Las fórmulas anteriores reducidas á la

$$\frac{r(h-0,049)}{s} = 0,00077 v^2 v^2 - 0,044v - 2,203 = 0$$

nos dan para esta velocidad  $v=1^m,464$ .

### 3.º *Canal (supuesto primeramente rectangular.)*

El agua al salir de los tubos y antes de entrar en el canal, desembocará en una cámara abovedada, en cuyos costados se pondrán dos Almenaras, á la altura correspondiente á la del depósito de toma. El fondo de esta cámara puede tener la forma curva de la caída del chorro ó la de una línea sensiblemente tangente al tubo y prolongacion del canal. El centro de la solera de este puede colocarse á  $0^m,5$  bajo el de los tubos de derivacion y por consiguiente á  $1^m,729$  inferior al manantial.

Con esto y aceptando  $0,0002$  de pendiente general para el canal hasta el depósito de distribución, ó en los  $10.500^m$  que faltan, tendremos  $10.500 \times 0,0002 = 2^m,1$  de altura perdida, que agregada á la anterior  $1^m,729$  nos dará  $3^m,829$  que habremos de segregar de la diferencia de nivel desde los manantiales al fondo del depósito, para saber la altura á que queda este respecto del extremo del canal. Colocando dicho fondo de depósito, como se indica en la memoria, á la cota 35 y estando los manantiales á la 41,2, la diferencia de nivel buscada será  $6^m,2$  y la altura de la solera pedida

$$6,2 - 3^m,829 = 2^m,371.$$

Si el depósito le situamos á la cota 34 (en lo que no debe haber inconveniente alguno, puesto que á la 35 alcanza el

agua á todas las casas de los barrios mas altos de la Habana y mayor parte de los del Cerro) se tendria para aquella altura 5<sup>m</sup>,571.

Veamos ahora lo que, en virtud de estos datos, resulta de carga sobre los tubos de distribucion y su diferencia á la determinada cuando se suponian represados los manantiales.

Al salir el agua de los tubos de derivacion lo hace con la velocidad antes encontrada  $v=1^m,464$ , correspondiente á una

$$v^2$$

altura de caída  $h' = \frac{v^2}{2g} = 0^m,41$  que agregada á los 0<sup>m</sup>,5 á que

suponemos colocada la solera del canal, nos dará una carga  $h=0,41$  segun cuya fuerza entrará el agua en el cajero, siguiendo luego la corriente con decreciente velocidad hasta que establezca el movimiento uniforme. La pendiente absoluta del agua en este caso, para la 0<sup>m</sup>0002 de la solera será

$$i = \frac{2,1 + 0,41}{10.500} = 0,00024$$

Fijando la anchura del canal en 2<sup>m</sup> como lo está en el proyecto (y siempre bajo la hipótesis de ser rectangular la seccion del cajero) tendremos para esta y el perimetro mojado

$$w = ab = 2b \quad \gg \quad c = a + 2b = 2(1 + b)$$

y por la fórmula general de las fuerzas vivas

$$i = \frac{c}{w} (Mv + Nv^2)$$

en la que los coeficientes  $M$  y  $N$  son ahora

$$M = 0,00003454 \quad \gg \quad N = 0,00034$$

determinados antes para el cálculo de los aforos; y poniendo la velocidad bajo la forma

$$v = \frac{Q}{w} = \frac{1,736}{2b} = \frac{0,868}{b}$$

será  $b^3 - 0,1249b^2 - 1,1874b - 1,0625 = 0$

que dá por sustituciones y con ligero exceso

$$b = 1^m,44$$

por consiguiente

$w = 2^m,33$ ,  $c = 4^m,38$ ,  $v = 0^m,603$  y el radio medio

$$R = \frac{w}{c} = 0,59$$

Y como la seccion para el cajero del canal proyectado es  $w = 3^m,60$  y la modificada por el Sr. Albear segun la figura 4.<sup>a</sup> (seccion ovoidea)  $3^m,775$ , resulta que sin alteracion alguna ea aquel pueden conducirse los  $150000^m^3$  de agua que producen los manantiales, si bien es verdad que la línea de flotacion solo queda á  $0^m,634$  de la clave.

Pudiera notarse acaso, como á primera vista parece, que entre este resultado exacto y el de la memoria hay alguna contradiccion; pero debe observarse que el Sr. de Albear, al hacer los diferentes aforos que figurán en su escrito, declara no haber podido medir mas que una cuarta parte del agua de Vento; y ascendiendo algunos de aquellos en el tiempo de seca hasta  $50660^m^3$  no dudó en que pudiera conducir el acueducto bastante mas cantidad de los  $102000^m^3$  necesarios al abasto de la Habana; por lo que al establecer su canal exageró de propósito un tanto las dimensiones para no desaprovechar el exceso de agua que aproximadamente calculaba, y que ahora gracias al adelanto de las obras, hemos podido apreciar con suficiente certeza.

Por esto mismo no estamos hoy dia en el caso de imitar la precaucion del Sr. Albear, aumentando excesivamente las dimensiones halladas pues si alguna vez sucediera acumulacion de aguas en Vento, se elevarian por sí propias, aumentando la velocidad regular y por consiguiente la carga sobre los tubos de distribucion ó marcharia por las ladroneras del muro de contencion. Los  $150.000^m^3$  que debe llevar el canal proporciona muy sobrada cantidad á la máxima que necesita la Habana aun en el supuesto de crecer rápidamente su poblacion y llegar al doble de la actual.

Mas lo que sí conviene hacer ver es la utilidad de dar al cajero distinta forma que la rectangular ya para reforzar sus paredes y proporcionar á la obra mayor estabilidad, cuanto por aumentár la velocidad ó la pendiente; procurando en el último caso mayor altura en el depósito.

Observemos para esto que, segun sea la seccion del cajero semi-cuadrada, semi-rectangular, semi-exagona ó semi-circular las velocidades que corresponden á la corriente son como las expresiones 1,08 » 1,09 » 1,13 y 1,15; ó representando por 1 la primera como las

$$1 \text{ » } 1,0092 \text{ » } 1,0465 \text{ » } 1,0648$$

en cuyas relaciones se vé que para las secciones cuadrada y rectangular la diferencia de velocidad es pequeña y que la mayor se obtiene para la semi-circular. La fórmula general nos

dice, en efecto, que si el radio medio  $R = \frac{w}{c}$  aumenta, aumen-

tará también la velocidad; y como el mayor valor de  $R$  se obtiene en el semi-círculo, si el anteriormente encontrado para la seccion rectangular  $R=0,59$  le aumentamos segun la proporcion de los números último y segundo anteriores 1,0648

— = 1,0547 tendremos  $R' = 0,59 \times 1,0547 = 0,622$ ; lo

1,0092  
qué dá para el perímetro bañado  $c' = 4,63$ .

Este perímetro resulta del correspondiente á la seccion semi-circular = 5<sup>m</sup>14 mas el del espacio  $aa'b'b = 4,49$ ; lo que hace los lados  $aa'$  y  $bb' = 0,745$ . La línea de flotacion  $a'b'$  viene segun la ecuacion  $288 = 1,57 + 2z \text{ á } 0,655$  de la  $ab$  resultando un espacio vacio con 0<sup>m</sup>,785 de altura de clave.

Trazando la curva  $ac'b$  como se indica en la figura, resulta la línea de flotacion á 0<sup>m</sup>,45 de la  $ab$  ó sea un centímetro distante de la línea de los arranques, y por consiguiente un vacio de casi toda la semi-bóveda cubridora; por cuya razon á mas de la de ofrecer mayor radio medio y por consiguiente mayor velocidad es este perfil preferible al anterior. Verdad es que se aumenta un poco la mampostería por lo que baja el punto  $c'$  vér-

tice de la curva; pero siendo pequeña esta diferencia y quedando dueños en todo caso de minorar aun cualquiera de las dimensiones exteriores hasta lo exigido por la insignificante cantidad de 0,029 que resultan por toda la seccion comparada con la del primitivo perfil del proyecto, habrá desaparecido toda dificultad. Así, pues, la seccion ovoidea  $a''b''c'$  es la que sin aumentar el gasto que exige el canal, cumple con todas las condiciones requeridas. La indicada por la línea de puntos  $abc$ , como cualquiera otra inferior á la  $a''b''c'$  no tiene mas ventajas que esta última y proporciona aumento de mampostería en la solera.

Así, pues, ateniéndonos á la  $a''b''c'$ , cuyo radio medio es 0,667 tendremos que la relacion entre este y el relativo á la sec-

$$0,667$$

cion rectangular — — = 1,13 será la misma en que crecerá la

$$0,59$$

velocidad ó decrecerá la pendiente, segun que esta ó aquella las consideremos constantes, resultando para ambos casos

$$v = 0,605 \times 1,13 = 0,68 \text{ si la pendiente es } 0,0002$$

$$0,0002$$

$$i = \frac{0,68}{4,15} = 0,000177 \text{ si la velocidad ha de ser } 0,605.$$

$$4,15$$

De este modo ganaremos  $10.500(0,0002 - 0,000177) = 0^m,2415$  de altura, que agregada á la ya obtenida sobre la cota 55, 2<sup>m</sup>,371 nos dará 2<sup>m</sup>,615. Esta altura y la de 1,65 que tendrá el agua en el canal suma 4<sup>m</sup>,265 para la carga sobre los tubos de conduccion.

En el proyecto se calculaba llegar el agua sobre la misma cota 55 con una altura de 4<sup>m</sup>,587. La diferencia es bien insignificante para que no podamos decir, que á pesar de no levantar el agua de los manantiales, llegamos á la misma situacion dada al depósito en el proyecto bajo la contraria hipótesis y á igual altura de agua próxima, ya se adopte para el cajero el perfil que se acaba de calcular ó el presentado por el Sr. Albear (fig. 2) bajando un poco mas en este caso el vértice de la solera.

Debemos agregar que pudiendo descender el depósito á la cota 34 y aun á la 55, alcanzaremos sobre su fondo una altura bastante mayor que la que tiene el canal de Madrid.

La forma semi-circular ú ovoidea que se propone, lejos de ofrecer inconveniente alguno en práctica al tiempo de la construcción, presenta al contrario ventajas considerables si se hace el cajero de hormigon hidráulico, pues á sus condiciones de economía, prontitud en la obra, impermeabilidad y gran resistencia, como experimentalmente se sabe, hay que agregar la mayor fuerza de cohesion en todo cuanto la construcción comprende y por consiguiente la facultad de alterar los espesores detallados en lo que prudencial ó racionalmente se calcule. Mas si por cualquiera razon y en tódo caso por las minas, se resuelve ejecutar la obra de ladrillo, conviene hacer el cajero poligonal de tres ó cinco lados, correspondientes al semi-exágono ó semi-decágono regular.

Demostrado que por no levantar los manantiales no se pierde sensiblemente altura de agua en el depósito de distribución y que tampoco se cambia la situacion del punto que ha de ocupar este, segun está determinado en la memoria, fácil será hacer ver igualmente que, no obstante la variacion de forma que exige la seccion trasversal, no se aumentará en manera alguna el costo que deba tener el canal.

Desde luego podemos observar, que la mayor parte del terreno por donde pasa la traza es poco accidentado, presentando declive sensible hacia el rio y que en consecuencia se ofrecerán las necesarias compensaciones en los terraplenes y desmontes que exija la precision de hacer marchar en un principio dicha traza por un lugar poco inferior al indicado en el ante-proyecto. Por manera que reducido el cálculo á la comparacion de las unidades de obra que exige el canal propiamente dicho, basta pasar la vista por los números primeramente expuestos con relacion al perfil primitivo y los siguientes que deduce la comision del soyo, copiados igualmente en la lámina que acompaña á este informe.

	Para la seccion ovoidea abc'.	Para la semi- circular abc.
Area total.. . . . .	8, <sup>m</sup> 2648	8, <sup>m</sup> 2125
Area interior.. . . . .	4, 59	4, 02
Area de fábrica. . . . .	4, 258	4, 105

Su diferencia 0,<sup>m</sup>2155.

Fábrica del perfil primitivo=4,<sup>m</sup>2229.

Considerando el círculo exterior y por consiguiente de 0<sup>m</sup>4 el espesor de la clave resulta:

Fábrica. . . . .	4,487	4,532
Diferencias.. . . . .	0,229	0,229

(Consúltese la lámina para las demas unidades.)

Por estas disposiciones se vé:

1.º Que la de 0,<sup>m</sup>155 entre las fábricas correspondientes á la seccion que determinan las soleras curvas (fig. 3) es bastante pequeña para que, en virtud de la ventaja de obtener mayor espacio vacío y considerable aumento el radio medio se prefiera á la circular la forma ovoidea.

2.º Que la circunstancia de trasdosar la bóveda de desigual espesor, sin faltar por eso á la solidez requerida, disminuye la fábrica en 0<sup>m</sup>5,229 por 1<sup>m</sup> corriente del canal.

3.º Y en fin, que ascendiendo la del ante-proyecto á 4<sup>m</sup>5,229 por 1<sup>m</sup> corriente, poco menos que la de nuestro perfil ovoideo y bastante mas que en la del semi-circular, en nada se aumentará, por lo que hace á la fábrica el presupuesto presentado, no obstante que para conducir los 150.000<sup>m</sup>3 de agua se aumenta la seccion interior como se acaba de proponer.

Mas no porque hayamos llegado á este resultado satisfactorio, debemos imprimir al Ingeniero encargado de la obra la obligacion de sujetarse en su direccion á seguir uno de los perfiles indicados en las figuras 2 y 3. La comision al estampar las anteriores conclusiones solo ha tenido por objeto evidenciar la verdad de que el agua de Vento puede llegar al punto de distribucion sin ningun inconveniente ni alteracion del presu-

puesto por aumento de obra. Por lo demás el ingeniero debe quedar en completa libertad de proponer las modificaciones que á la seccion convengan segun lo exijan las diversas razones de localidad, ya se trate de minas ó de canal al aire libre en desmonte ó terraplen; pues solo despues del estudio particular de los puntos del tránsito es como se pueden fijar los menores detalles, que en general diferirán poco de los determinados ó indicados en el presente escrito.

Falta únicamente agregar que no pudiendo abastecerse de agua, ni ahora ni antes, á algunas de las mas elevadas casas del Cerro y Jesus del Monte, como tampoco á varios de los castillos que constituyen la fortificacion exterior de la plaza, conviene establecer inmediata al depósito de distribucion una pequeña máquina elevatoria capaz de producir la corta cantidad que se necesita para el abasto de los vecinos y gnarniciones de aquellos puntos, cantidad de agua que será constante, puesto que, en razon al nuevo plan de fortificacion, no ha de aumentar el número de casas en situaciones superiores al lugar destinado para el depósito; lo que hace sea la máquina siempre de igual potencia y los tubos de calibre inalterable. El costo de instalacion, entretenimiento y manejo de la bomba, edificios y tanque de distribucion suma una cantidad tan insignificante que no merece la pena de que nos ocupemos de ello. No debe por consiguiente escusarse la ejecucion de este complemento al canal, sin el cual despues de enriquecerse la Habana con la traída de agnas quedaria un lunar que nada ni nadie podria justificar teniendo en su mano la manera de hacerle desaparecer.



## RESUMEN.

---

Terminado ya cuanto la comision ha podido investigar referente á su encargo y para dar fin á este informe, acabado hasta donde alcanzan las luces de todos y cada uno de sus individuos, falta solo recapitular lo dicho acerca del proyecto y obras del Canal de Isabel II en el cuerpo del escrito, cuyas seis distintas partes ó divisiones demuestran en sentir de la comision:

1.º Que tanto las aguas de los manantiales de Vento como las del rio Almenares son de escelente calidad, pues los ensayos hidrotimétricos, en un todo acordes con la análisis química, dan tan corta dosis de sustancias sólidas disueltas en ellas que pueden figurar entre las mejores aguas potables. Son sin embargo preferibles las de los manantiales, porque brotan siempre claras y á una temperatura constante, mientras que las del rio corren turbias gran parte del año y se hallan sometidas á las alteraciones de la temperatura atmosférica.

2.º Que la cantidad de agua que producen los manantiales y puede conducirse por el canal, es mas que suficiente para las necesidades de la Habana, puesto que excede en un 47 por 100 del *mínimum* que el Ingeniero Director de las obras Sr. D. Francisco de Albear se proponia traer despues de calcular con mucha exactitud que ese *mínimum* era la suma de agua necesaria para el abasto de la ciudad aun teniendo en cuenta el aumento probable de su poblacion. Esta gran cantidad de agua, gracias á la situacion de los manantiales, ocasionará muchos menores sacrificios á la capital de Cuba que los que han tenido New-York, Roma, Madrid, París y otras ciudades para obtener caudales de agua poco diferentes.

3.º Que las aguas de los manantiales proceden, en concepto de la comision de las lluvias que caen en una region de 5 á 6 leguas de radio alrededor de Vento y se infiltran al través de algunas de las rocas que constituyen aquella formacion terciaria. La extension de la cuenca del Almendares y la cantidad media de lluvia que marca el pluviómetro, vienen á comprobar

lo que afirma la tradicion y á alejar todo temor de que pueda disminuir el agua de los manantiales, salvo el remoto caso de un cataclismo, de esos que por fortuna son poco frecuentes en esta parte de la Isla.

4.º Que si bien la toma de aguas, tal como se proyectó y describió en la memoria publicada en 1856 era ocasionada á á que se per liesen los manantiales, ó á disminuir cuando menos su caudal al represarlas, atendida la naturaleza de la roca caliza en que surgen, todo peligro ha desaparecido con las modificaciones que habia ideado ya el Sr. Albear cuando la comision visitó por primera vez las obras, pues segun el nuevo plan adoptado no se hará mas que variar de direccion á las aguas sin pretender alzar su nivel mas allá del que naturalmente presentan. Esta variacion no obsta para que se continúe el dique ó presa que se habia comenzado á construir, pues su objeto principal es, á mas de establecer el depósito de toma, contener las aguas del rio é impedir que se mezclen con las de los manantiales, aun en las mayores crecidas.

5.º Que el paso de las aguas á la orilla derecha del rio no podria verificarse por máquinas elevatorias sin el enorme gasto de 30.000 pesos al año y sin acrecentar notablemente el costo de todas las obras posteriores, por el aumento que tendrian estas en razon á la necesidad de levantar el canal á un nivel muy superior al propuesto. Respecto á los trabajos propios del paso del rio cree la comision que no conviene atacar en mina la obra del túnel proyectado, porque la naturaleza del terreno hace preferible á este plan el que últimamente adoptó el Sr. Albear, por medio de un sifon cubierto de bóveda y situado poco inferior al fondo mismo del rio ó cualquiera otro en que desde luego sean conocidas las dificultades de tan delicado trabajo.

6.º Que el canal propiamente dicho, si bien tendrá que sufrir algunas modificaciones en su trayecto, forma de la seccion de agua y pendiente, para que no obstante haberse renunciado á represar las aguas, lleguen estas á un nivel poco inferior (0<sup>m</sup>,524) al que alcanzaban en Jesus del Monte segun el primitivo proyecto, las variaciones no ocasionarán aumento de gasto

notable, como lo justifican los cálculos y figuras que acompañan á este informe. Y que para surtir de agua tanto á las pocas casas que quedan mas altas que el depósito de distribución, como á los castillos de la Plaza, seria conveniente establecer en el mismo Jesus del Monte una máquina elevatoria de la fuerza correspondiente á este trabajo.

La comision cree deber terminar manifestando que todos los trabajos ejecutados bajo la direccion del Sr. D. Francisco de Albear, aunque sin los recursos que en paises mas adelantados encuentran los hombres del arte, llevan el sello de la inteligencia que en tantas ocasiones tiene acreditada.

Tal es, Exmo. Sr., el resultado de la inspeccion que V. E. ha tenido á bien encomendarnos.

Habana 31 de Mayo de 1863.—Exmo. Sr.—Manuel Fernandez de Castro.—Nicolás Valdés.—José Ruiz Leon.—Joaquin F. Aenlle.—Pedro Salterain.



---

## ESPLICACION

DE LA

### LAMINA QUE ACOMPAÑA A ESTE INFORME.

---

#### PERFILES DE LA FIGURA 1.<sup>a</sup>

Solera en arco.      Solera ovoidea.

	Solera en arco.	Solera ovoidea.
Area exterior. . . .	7, <sup>m</sup> 2829	7, <sup>m</sup> 2781
Area interior ó hueco. . . .	3, 60	3, 773
Area de fábrica. . . .	4, 229	4, 008
Perímetro mojado. . . .	4, 752	4, 54
Seccion de agua. . . .	2, 88	2, 88
Radio medio. . . .	0, 606	0, 6348

PERFILES DE LA FIGURA 2.<sup>a</sup>

	Solera semi-circular.	Solera en arco.
Area exterior. . . . .	8, <sup>m</sup> 6786	8, <sup>m</sup> 252
Area interior ó hueco. . . . .	4, 1416	4, 142
Area de fábrica. . . . .	4, 537	4, 378
Perímetro mojado. . . . .	4, 4916	4, 533
Seccion de agua. . . . .	2, 88	2, 88
Radio medio. . . . .	0, 641	0, 635

PERFIL QUE LA COMISION DEDUCE DE SUS CÁLCULOS.

*Secciones del cajero.*

1. <sup>a</sup> ee'e'e rectangular. . . . .	Altura de agua. . . . .	1, <sup>m</sup> 44
2. <sup>a</sup> a'cb' semicircular. . . . .	Altura. . . . .	1, 655
3. <sup>a</sup> a'c'b' solera ovoidea. . . . .	Altura. . . . .	1, 45

	Seccion rectan- gular.	Seccion semicir- cular.	Seccion ovoidea.
Perímetro mojado. . . . .	4, <sup>m</sup> 88	4, <sup>m</sup> 63	4, 382
Seccion del agua. . . . .	2, <sup>m</sup> 288	2, <sup>m</sup> 288	2, <sup>m</sup> 288
Radio medio. . . . .	0, <sup>m</sup> 59	0, <sup>m</sup> 622	0, 667

Para la seccion ovoidea  
a b c'.

Para la seccion semicircular  
a b c.

Area total. . . . . 8, <sup>m</sup>2648

8, <sup>m</sup>2123

Area interior. . . . . 4, 39

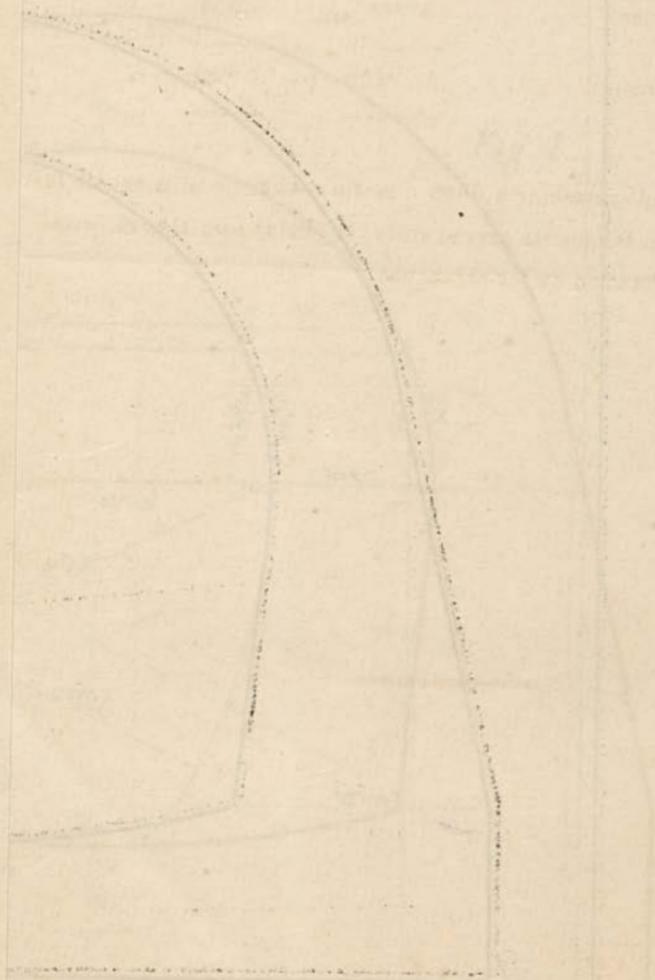
4, 02

Area de fábrica. . . . . 4, 258

4, 103 Diferencia 0, <sup>m</sup>2155



Mark

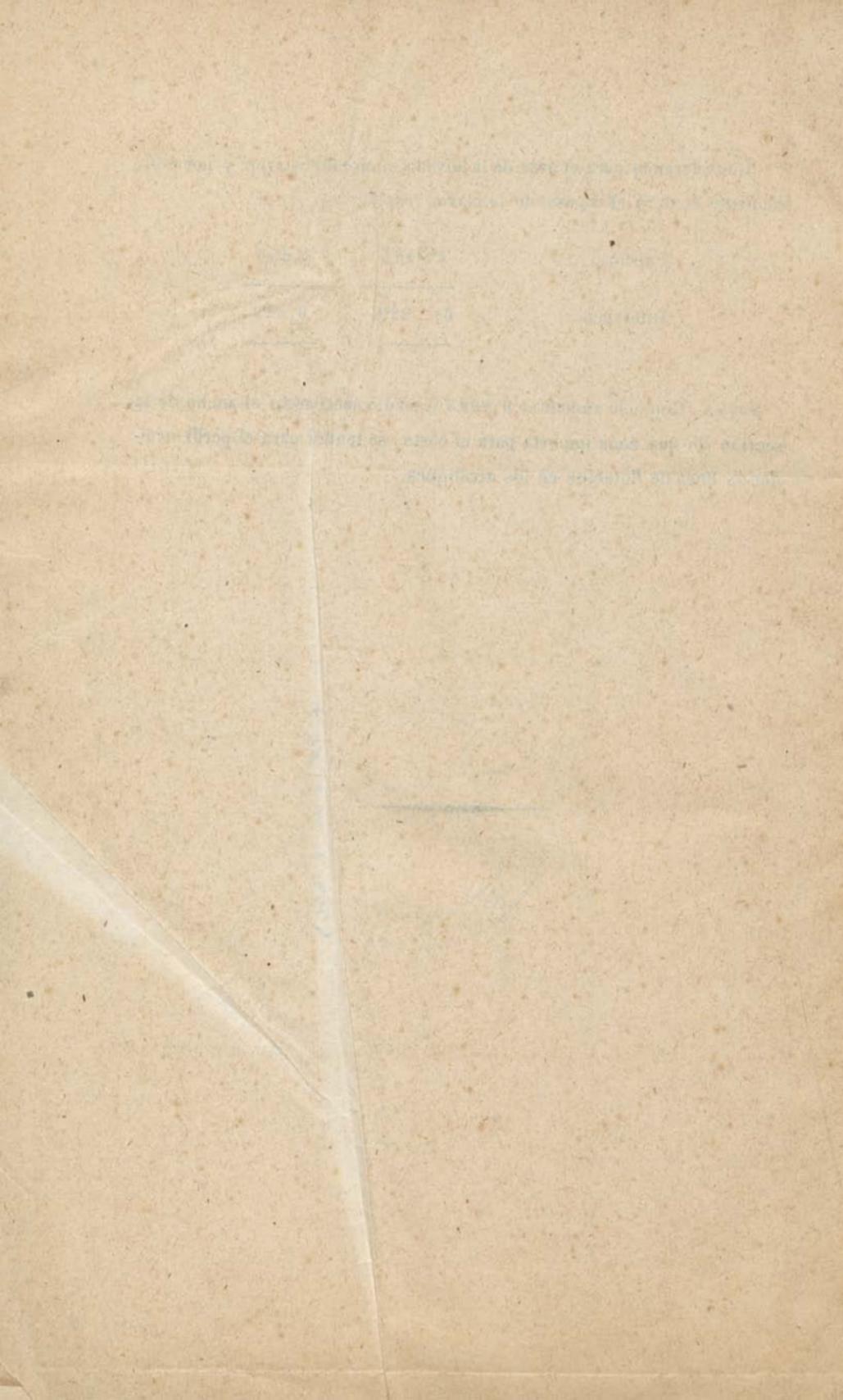


Considerando para el área de la bóveda el círculo exterior y por consiguiente de  $0,^m4$  el espesor de la clave, resulta:

Fábrica . . . . .	<u>4<sup>m</sup>2487</u>	<u>4,352</u>
Diferencia. . . . .	<u>0, 229</u>	<u>0,229</u>

NOTA. Con solo aumentar  $0,^m005$  ó medio centímetro el ancho de la sección (lo que nada importa para el costo) se tendrá para el perfil ovoideo la línea de flotación en los arranques.







UNIVERSITE PARIS 3



D

001 615103 4