

JUICIO CRÍTICO

SOBRE LAS OBRAS DE AGUA POTABLE DE SANTIAGO

(Continuacion)

SEGUNDA PARTE

CAPÍTULO I

AGUA DE RAMON.—SU ORÍJEN.—SUS CUALIDADES COMO POTABLE.—CAUSAS DE CONTAMINACION

El agua que corre por la quebrada de Ramon, ubicada en el primer cordón de la cordillera de los Andes, trae su oríjen en el derretimiento de las nieves; de esa agua parte se pierde por evaporacion, parte penetra entre las grietas de las montañas, volviendo a aparecer en las laderas de la quebrada en forma de vertientes (que se notan principalmente en la ladera norte), cuya agua viene a aumentar el caudal que se escurre en el lecho mismo de la quebrada.

El agua de Ramon por su oríjen «*agua superficial de montaña*» entra en la categoría de las aguas potables, (Curso de Hidráulica del señor C. Koning, año 1895, página 29); si a esto se agrega el uso tan antiguo, que hacían los habitantes de Santiago, de esa agua como bebida, i los bienes que ella ocasionaba, tendremos un argumento en favor de su potabilidad.

Pero, sin necesidad de entrar a discutir, es un hecho reconocido, que nunca se ha puesto en duda, la pureza de esa agua.

Los repetidos análisis químicos e hidrotimétricos a que en estos últimos tiempos se las ha sometido, han dado siempre resultados que comprueban sus buenas cualidades.

A fin de no estendernos demasiado, no daremos los análisis químicos que tenemos a la vista. De ellos resulta que los compuestos minerales en disolucion existen en tan pequeñas cantidades que no son dañosos para la salud, no existiendo en ella sales tóxicas como las de plomo, cobre i zinc; los ácidos *nítrico*, *nitroso* i *fosfórico* i la materia orgánica, *amoníaco libre* i *albuminoide* existen solo en indicios o en cantidades que no pasan de los límites perjudiciales (al hablar de las aguas de Vitacura nos detendremos mas en este punto).

En cuanto a su grado hidrotimétrico (1), de los diversos análisis resulta que ha fluctuado entre 9 i 10° lo que es aceptable para una agua potable (2).

Estando demostrada la buena calidad del agua de Ramon, pasemos a su *cantidad*.

El oríjen mismo de las aguas de Ramon hace suponer, lo que pasa en realidad, el caudal tan variable de esas aguas.

El caudal mínimo que se produce de ordinario en el otoño ha llegado a 9200 m³ por día; en cuanto a su caudal máximo no ha sido medido; pero es una cifra muchas veces superior a la citada, si se tiene en cuenta que la cuenca de la quebrada tiene una estension que no baja de 33 millones de metros cuadrados i que en tiempo de lluvias el agua que cae en esa superficie se escurre hasta el cauce de la quebrada, el que se convierte en un torrente que se lanza con gran fuerza arrastrando lodo i piedras, algunas de gran tamaño; como pude observar en el viaje que hice a dichos lugares en Abril del año 1897.

Dichos rodados se encuentran en gran cantidad esparcidos en los terrenos a que baña ese caudal i hasta 1 kilómetro de distancia de la compuerta i hácia el norte del camino entre los Estanques de la Reina i la quebrada.

Las causas de alteracion de las aguas de Ramon traen su oríjen en las lluvias i derretimiento súbito de las nevazones que con mucha frecuencia se hacen sentir en el invierno.

El agua, ya tenga uno u otro oríjen, se avalanza por las laderas arrastrando en su trayecto piedras, hojas, tierras, escremento de los animales que pastan en los cerros, todo lo cual es llevado hasta el cauce de la quebrada, cuyas aguas claras i puras en su oríjen, llegan opalescentes a la compuerta que las deriva; trasportando junto con el lodo, materias orgánicas vejetales i animales que la desvirtúan i corrompen.

El Municipio, a fin de evitar la contaminacion de esas aguas por la materia orgánica animal, proveniente de las manadas que en invierno, principalmente, pastaban en las laderas de la quebrada, espropió en 1893 toda la hoya de Ramon. Pero su cierre definitivo no se llevó con mucha actividad i de ahí provino la infeccion del agua comprobada el año 1896, como pasamos a esponer: El Consejo de Hijiene comisionó a los doctores Briones, Corvalan i Del Rio, para hacer un análisis bacteriológico de esas aguas, como tambien de las de Vitacura; en diferentes muestras de éstas no se encontró el *bacterium coli-commune*; pero sí en la quebrada de Ramon i en el estanque de la Providencia, como tambien en el agua tomada de la cañería del Instituto de Hijiene.

Dejemos la palabra a la citada Comision cuyo informe en su parte sustancial copiamos a continuacion, tomado del *Diario Oficial* N.º 1352 de 4 de Julio de 1896 que dice así:.....«si a esta Comision fuera permitido localizar los puntos en que probablemente ha sido infectada el agua en las ocasiones apuntadas, los fijaria en el acueducto « que va del estanque de la Reina al de la Providencia (2 de Abril) i en la quebrada de « Ramon misma (12 de Abril).

« Como bien pudiera acontecer que a los hechos u opiniones espresadas en este « informe se quisiera dar un significado distinto del que nosotros mismos le atribuimos,

(1) Un grado hidrotimétrico frances vale 0,00001 de CARBONATO de cal.

(2) Las mejores aguas potables son las que tienen su grado hidrotimétrico comprendido entre 15° i 20°. Curso de Hidráulica, C. Koning, 1895, páj. 42.

« declaramos que los estudios hechos sobre la materia no autorizan para conclusiones definitivas; a lo ménos, por lo que respecta a la quebrada de Ramon, donde causas ocasionales (que quizás pudieran ser fácilmente apartadas) dan talvez lugar a una infeccion pasajera del agua.

« Si las cosas ocurrieran como seria lójico suponer, la quebrada de Ramon deberia estar completamente al abrigo del *bact-coli*, pues es sabido que este micro-organismo solo proviene de materias fecales del hombre o animales, i la Comision no comprende cómo puede acontecer un hecho semejante en una estension de terreno espropiado con el objeto de hacerlo inaccesible a los portadores del *bact-coli*.

« Estima la Comision que regularizando la vijilancia de la quebrada de Ramon i haciendo este servicio en debida forma, no hai por qué temer que la presencia del tantas veces citado *bact-coli* sea un hecho constante. A nuestro juicio, la presencia del *coli* en este punto del curso de las aguas potables, solo es un indicio de un servicio que se hace mal i de una manera defectuosa.

« Por el contrario, la presencia del *coli* en el estanque de la Providencia indicaria un estado deplorable del acueducto que va del estanque de la Reina al de la Providencia i seria de suma utilidad que el honorable Consejo insistiera sobre la necesidad de remediar este mal permanente.

« Para terminar, séanos permitido hacer presente que hasta la fecha *ha sido posible* comprobar en el agua de la cañería del Instituto la existencia del *coli* en las ocasiones que a continuación se espresan:

« Muestra N.º 15.—25 de Febrero de 1896.—Agua potable de la cañería del Instituto.

« Muestra N.º 49.—24 de Marzo de 1896.—Agua potable de la cañería del Instituto.

« Muestra N.º 57.—31 de Marzo de 1896.—Agua potable de la cañería del Instituto. »

Concluye la Comision haciendo ver al Consejo la urgente necesidad de tomar medidas para evitar la contaminacion del agua.

El informe anterior pone de manifiesto los peligros que presentaba, i que aun presenta, como luego diremos, el agua de Ramon; pues no siendo vedado el acceso hasta la cuenca de la quebrada a los animales, pueden ellos ser los agentes de infeccion del tífus, cólera, etc., que nos proporcionen en el agua una plaga a la poblacion.

El resultado del informe anterior fué apresurar la terminacion de los cierros que impiden el acceso a la citada cuenca a los animales, i tambien la prohibicion de suministrar a Santiago el agua de Ramon.

Pero, si desde entónces el agua de Ramon no llega a Santiago, surtiéndose ésta solo con la de Vitacura, por los peligros que aquélla ofrece, no se estima lo mismo con los pobladores de Nuñoa, pues el agua de Ramon surte a Nuñoa por una derivacion de D=0,10 sacada de la cañería matriz i que sigue por la Avenida de Ossa (véase plano jeneral de las obras de abastecimiento).

Deciamos mas arriba, que existe aun el peligro de contaminacion de las aguas, por residuos orgánicos animales; ello queda comprobado por los hechos siguientes:

En varios viajes que he hecho a esas rejiones, me ha llamado la atencion encontrar

caballos i ovejas pastando dentro de los límites de la cuenca de la quebrada, a proximidad de la compuerta i a la vista de los cuidadores o guardianes, los cuales interrogados por mí hacía la procedencia de esos animales me dijeron pertenecian a un empleado superior de la Empresa que los mandaba allí para hacer crias (i?).

Dado este hecho no es de esperar que los subalternos comprendan la imperiosa necesidad de una vijilancia estricta, a fin de impedir el acceso a la hoya de la quebrada, a todo sér viviente que pueda ser portador de un jérmen infeccioso. Ni ménos se podrá pensar que los cuidadores, jente campesina e ignorante, se abstengan de lavar su ropa en la misma quebrada o bien que en sus viajes de inspeccion sean ellos mismos los vehículos de infeccion, i no seria de estrañar que piensen *que el cierro que limita la hoya es para impedir, no que los animales penetren en ella, sino para que los que en ella se suelten no salgan de sus límites.*

Puestas ya de manifiesto las causas de contaminacion de que ha estado i está todavía amagada el agua de Ramon i, en consecuencia, los habitantes de Nuñoa que, como dijimos, son abastecidos con esa agua, pasemos a indicar a la lijera los medios de evitar en lo posible su infeccion i de aprovechar un mayor caudal.

El medio de evitar las impurezas orgánicas animales en el agua de Ramon, seria una vijilancia estricta de los cierros, que son formados por cercos de alambres de púas; esa vijilancia debe ser ejecutada por empleados responsables i que tengan conciencia de los grandes males que, principalmente en época de epidemia, acarrearía un descuido de su parte; intelijentes, que comprendan la conveniencia de impedir el acceso a la quebrada a todo sér viviente i que ellos mismos en sus viajes de reconocimiento se abstengan en lo posible de toda funcion animal, *dentro de los límites de la hoya*, pues si no lo hacen así, ellos, los guardadores de su pureza, serían los causantes de la infeccion de tan preciosa agua.

En cuanto a los medios de aumentar la cantidad disponible de agua, la primera idea que se ocurre es la construccion de tranques de almacenamiento i decantacion. Existen los estudios del ingeniero don Valentin Martínez para la construccion de un tranque en la Quebrada, del cual no puedo dar detalles por no conocer ese proyecto; solo sé que el señor Martínez hizo estudios con ese fin. Solo haré notar que de la visita que hice a la quebrada parece obra de fácil realizacion la construccion de uno o mas tranques de decantacion, los que almacenarian un gran caudal (sentimos no tener datos sobre la cantidad de agua que el señor Martínez proyectaba acumular en su proyecto de tranque, que no he podido conseguir), pues su ubicacion está fijada por la topografia del terreno, a poca distancia de la compuerta entre los dos cordones de cerros que encierran a la quebrada, los que se estrechan al llegar al valle presentando laderas mui paradas i se separan hacía el interior; dando a la hoya de Ramon la forma de una pera (véase los planos).

El Municipio se ha preocupado en estos últimos tiempos de reducir a un mínimo las pérdidas de agua por evaporacion, i con ese fin ha efectuado la plantacion de árboles dentro de los límites de la hoya i a proximidad del cauce.

Si por este medio se consigue evitar, en parte, las pérdidas de agua por evaporacion, en cambio se atrae hacía esos puntos a los pájaros que con sus escrementos desvirtúan el agua i es de notar la gran cantidad que habita en esa rejion; por su parte los árboles dan abrigo a miles de insectos que se procrean, viven i mueren allí teniendo su

sepultura en el agua que, debido a esta causa, alterará sus cualidades; por otra parte, las hojas de los árboles son arrastradas por la lluvia i el viento hacia la corriente.

De lo anterior deducimos que, si bien la plantacion de árboles impide en parte las pérdidas de agua por evaporacion, se obtiene un resultado negativo en cuanto a la calidad del agua.

CAPÍTULO II

OBRAS DE TOMA DEL AGUA DE RAMON.—SU DISTRIBUCION.—SUS DEFECTOS.— CANTIDAD DE AGUA QUE PERMITEN APROVECHAR.—CANTIDAD NECESARIA PARA SANTIAGO

El cauce de la quebrada al llegar al valle es formado por una acequia labrada en el terreno natural. Esta acequia con 2 metros de ancho, está limitada por el lado de Santiago por una barranca, que donde están las compuertas tiene una altura de 2 metros 50 centímetros i por el lado de la cordillera por un reborde proveniente de las tierras sacadas de su escavacion.

En los inviernos se embanca el cauce a proximidad de las compuertas, lo que ocasiona limpieas periódicas.

Las obras de toma (véase planos) son constituidas por dos compuertas de fierro; una de m. 2.00×1.25 m. que corta al cauce, la otra de m. 1.10×1.10 m. está establecida paralelamente a la corriente, deslizando por un marco de fierro que está adherido al revestimiento de mampostería que en una estension de 4 metros se ha practicado en la roca misma en que terminan los últimos lomajes que limitan por el oriente la quebrada.

La maniobra se hace por un volante movido a mano, en cuyo núcleo engrana el tornillo de la compuerta. La compuerta que *corta el cauce* corre entre guideras de fierro, empotradas, por el lado de Santiago, en la mampostería del revestimiento i por el lado de la cordillera en un macizo de albañilería de ladrillo con espesor de 0.40 m. practicado al efecto.

El buen funcionamiento de estas compuertas, principalmente de la que *corta al cauce*, deja mucho que desear; tanto por los escapes de agua por las paredes i fondo, en el cual, segun me dijeron (pues no pude verlo a causa de que cuando visité las obras estaban embançadas) la compuerta, no existía umbral en donde encajara inferiormente la compuerta; apesar de que racional era suponer que en el fondo se hubiera colocado piedras labradas en que empostrara el marco.

El agua detenida en su curso es desviada lateralmente, pasando por un acueducto (mas propiamente alcantarilla) de m. 0.90×1.00 m. atravesando una estension de 4 metros por debajo del último lomaje de la quebrada i llega así a la acequia que la lleva a los estanques de La Reina.

Pasemos a ver la cantidad máxima de agua que se puede derivar con la disposicion ántes indicada.

El problema se presenta segun la disposicion indicada en la fig. 1. *Esto es, avaluar el gusto por un orificio lateral sumerjido practicado en un depósito de nivel constante;*

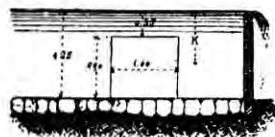


Fig. 1

pues el agua sobrante se estará vertiendo por encima de la compuerta que corta al cauce.

El gasto será dado por la ecuacion:

$$q = \omega \sqrt{2gK}$$

En la cual el valor K (altura bajo el nivel líquido del filete de velocidad media) es incógnito. Pero que determinaremos fácilmente por la ecuacion siguiente:

$$q = \omega \sqrt{2gK} = \int_{0,35}^{1,25} d\omega \sqrt{2gh}$$

o bien

$$0,90 \sqrt{2gK} = \int_{0,35}^{1,25} 1 \times dh \sqrt{2gh}$$

o sea

$$0,90 \sqrt{K} = \int_{0,35}^{1,25} h^{1/2} dh$$

de donde

$$\sqrt{K} = 0,88$$

i

$$K = 0,94$$

Entonces

$$q = 0,9 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,94}$$

$$q = 3,87 \text{ m}^3 \text{ por segundo}$$

En este caso tenemos contraccion completa i parcial i el gasto verdadero tomando en cuenta el coeficiente de contraccion θp será:

$$Q = q \theta p$$

en que

$$\theta p = \theta (1 + a p)$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta = 0,620 \\ a = 0,152 \\ p = \frac{1}{0,90 + 1 + 0,90 + 1} \end{array} \right\} \text{ para orificio rectangular}$$

sustituyendo estos valores en el de θp tenemos:

$$\theta p = 0,644$$

Luego

$$Q = 3,87 \times 0,644 = 2,49 \text{ m}^3 \text{ por segundo.}$$

De modo que con esta disposicion se puede desviar un caudal máximo diario de:

$$2,49 \times 3600 \times 24 = 215136 \text{ m}^3 \text{ en 24 horas.}$$

Suponiendo para Santiago una poblacion de 250,000 habitantes (cifra que estimo mayor que la verdadera) i adoptando 300 litros por dia i habitante, cantidad que estimo suficiente para abastecer todos los servicios, llegamos a una dotacion necesaria de 75,000 m³ diarios.

Como se ve las obras de toma en la quebrada pueden suministrar con exeso esa cantidad.

Pero el agua de la quebrada de Ramon en tiempo normal, cuando no es aumentada por las de lluvia en su hoya, es mui inferior a la necesaria.

Su caudal mínimo, que es el que nos importa conocer, ha sido avaluado en 9,200 m³ diarios (1) a principios del año 1887 i aun de esos 9,200 m³ no todo se aprovecha a causa de las pérdidas de agua por filtracion, evaporacion i pulverizacion en su largo trayecto, 12 km. próximamente, (desde los saltos hasta las compuertas) distancia que recorre fraccionada de trecho en trecho por numerosas cascadas i saltos.

A las pérdidas de agua por estas causas hai que agregar las ocasionadas por los escapes en la compuerta que «corta el cauce», los cuales se notan principalmente en el fondo a causa de los defectos de su construccion que hicimos notar.

Estas pérdidas de agua han sido avaluadas en $\frac{1}{10}$ del total i las por filtracion, evaporacion, etc., en $\frac{1}{20}$; segun se desprende del informe pasado por el ingeniero don Jacobo Kraus al Ministerio de Industria con fecha 12 de Febrero de 1896, con motivo de haber sido comisionado para estudiar si las pérdidas de agua citadas (pérdidas que se evitarian con el trabajo que el ingeniero don Valentin Martínez se ofrecia hacer, trayendo el agua por cañería desde las cascadas Salto Grande i Salto Chico (véase planos) permitiéndole aprovechar en subsidio la fuerza motriz de esas caidas) compensarian a las que no se aprovechaban provenientes de las vertientes laterales, entre los saltos i las compuertas, que no penetrarian en el acueducto hermético en que el señor Martínez conduciria el agua desde las cascadas citadas hasta las turbinas que proyectaba establecer.

El citado informe dice en su parte pertinente:

«El dia 9 de Febrero próximo pasado el caudal del ramal de la cascada (Salto «Grande») fué de 138 litros por segundo o sea 12,000 metros cúbicos por dia; el ramal «de Los Alcones (Salto Chico) de 92 litros por segundo o sea 8,000 metros cúbicos por «dia; entrando por consiguiente en la quebrada de Ramon, en su orijen, una cantidad «de agua de cerca de 250 litros por segundo o sea 20,000 metros cúbicos por dia.

(1) «Ensanche i mejora del servicio de agua potable de Santiago», por Ismael Renjifo, páj. 21, 4 JULIO

«La cantidad de agua que pasó el mismo día por los canales del estanque fué de « 190 litros por segundo, o sea 16,400 metros cúbicos por día i la que escapó por el « desagüe de la compuerta, de 30 litros por segundo o sea 2,600 metros cúbicos por día; « siendo, por consiguiente, el caudal de la quebrada en su salida cerca de 220 litros por « segundo o sea 19,000 metros cúbicos por día».

Como vemos según el informe anterior, siendo 20,000 metros cúbicos el caudal «en el origen» de la quebrada a las compuertas solo llegan 19,000 metros cúbicos, lo que hace una pérdida por evaporacion, filtracion, etc., de 1,000 metros cúbicos o sea $\frac{1}{20}$ del total.

Por otra parte, la cantidad de agua que se escapa por defectos de las compuertas es 2,600 metros cúbicos por día o sea $\frac{1}{10}$ del total.

La cantidad que nos importa conocer en todo abastecimiento de aguas, es el mínimo de que se pueda disponer en toda época.

El mínimo observado en el agua de Ramon es, como hemos dicho, de 9,200 metros cúbicos diarios, lo que, con una poblacion de 250,000 habitantes, nos da 37 litros por día i habitante, cantidad ínfima que no alcanzará a satisfacer el servicio privado (agua para bebida, lavado i usos domésticos).

Actualmente la experiencia ha enseñado i los higienistas lo prescriben, de aumentar la dotacion unitaria con la poblacion. Así en Roma, Marsella i varias ciudades de Estados Unidos de Norte América se han practicado trabajos para tener un caudal de 1,000 litros por día i habitante.

En Santiago, donde el servicio industrial es mui limitado, creemos que una dotacion de 300 litros por día i habitante, satisficiera todas las necesidades públicas i privadas.

El aumento de poblacion, hizo necesario en Santiago aumentar la dotacion unitaria i en vista de conseguir ese objeto fué que se tomaron las aguas de Vitacura, de cuya cantidad i calidad nos ocuparemos mas adelante.

CAPÍTULO III

CONDUCCION DEL AGUA DESDE LA QUEBRADA DE RAMON HASTA LOS ESTANQUES DE LA REINA.—SU DISPOSICION.—SUS DEFECTOS.—PELIGROS DE CONTAMINACION DEL AGUA EN ESTE TRAYECTO.

Habiendo dado ya a conocer las múltiples causas de contaminacion a que está espueta el agua de Ramon, en su origen (dentro de los límites de su hoya) pasemos a examinar los defectos de su conduccion hasta los «Estanques de La Reina».

Penosa impresion causa la visita de las obras de conduccion del agua desde las compuertas hasta los estanques. Ello consiste en un cauce a tajo abierto en el terreno natural cuya seccion media es la que se indica en los planos.

Los bordes de él son cubiertos de arbustos; las plantas silvestres, maqui, trébol, palqui, etc., forman con la zarzamora una cortina que en muchos trechos cubre por completo el cauce; allí se crían insectos i habitan numerosos pájaros. Los excrementos de los pájaros, los insectos, las hojas de los árboles, las lagartijas i ratones que viven en las márgenes del cauce son otras causas de infeccion de la ya contaminada agua de la quebrada.

A las causas anteriores hai que agregar otra de una importancia capital; esta es la infeccion del agua por mezcla con las infiltraciones de las aguas de riego de los potreros colindantes; lo que no es de estrañar i que ha sido citado como un hecho consumado por la Comision compuesta del doctor M. Cienfuegos i el señor Mariano Guerrero Bascuñan, nombrada por el Consejo de Hijiene a fin de informar sobre los peligros que en cuanto a la calidad del agua podria acarrear la instalacion de las turbinas Hércules proyectadas por el ingeniero señor Martínez para aprovechar la fuerza motriz de la caída del agua de la quebrada.

Esa Comision en informe pasado con fecha 5 de Mayo de 1896, dice respecto a las aguas de Ramon:

«Es tambien un hecho averiguado que durante los primeros seis meses el caudal « disminuye dentro de la quebrada por la evaporacion que se produce ENCONTRANDO « CIERTA COMPENSACION AL PASAR A TAJO ABIERTO POR LOS POTREROS, DONDE LAS « AGUAS DE INFILTRACION DE RIEGO ACRECIENTAN SU CAUDAL.»

En cuanto a la mezcla directa de las aguas de riego con las de Ramon, ha sido evitada abriendo zanjas a ámbos lados del camino que conduce desde los estanques a la quebrada, camino espropiado solo en 1893 con un ancho de 20 metros.

Las aguas corren así recibiendo las infiltraciones de las de riego en una estension de 3 kilómetros.

Examinemos las condiciones del escurrimiento entre las compuertas i los estanques de La Reina.

La seccion del canal de Ramon es la indicada en la fig. 2.

En este caso tenemos:

- 1.º Seccion prismática.
- 2.º Lecho inclinado sobre el horizonte.
- 3.º Pendiente constante del fondo.

En consecuencia, se cumplen las condiciones para el movimiento uniforme i en estas condiciones la velocidad será la misma en toda la estension de la corriente.

La pendiente es dada por la diferencia de cota entre la compuerta i los estanques dividida por la distancia.

Esto es:

$$I = \frac{790 - 654}{3,000} = 0.044$$

Lo que nos interesa conocer es la velocidad en el fondo para saber si hai arrastre del lecho.

Tenemos las ecuaciones del movimiento uniforme

$$(1) R I = b_1 U^2$$



Fig. 2.

en que

$$R = \frac{\Omega}{\psi} = \frac{\text{seccion mojada}}{\text{perímetro mojado}}$$

i como

$$Q = \Omega U$$

tenemos

$$(2) \quad I = \frac{\psi}{\Omega} \phi(U) = \frac{\psi}{\Omega} \phi\left(\frac{Q}{\Omega}\right)$$

Donde, substituyendo el valor de U sacado de la ec. (1) tenemos:

$$(2') \quad I = \frac{\psi}{\Omega} b_1 \left(\frac{Q}{\Omega}\right)^2$$

De la ecuacion (1) sacamos

$$(1') \quad U = \sqrt{\frac{RI}{b_1}}$$

En este caso tenemos el problema:

$$\text{datos} \quad \begin{cases} Q = \text{gasto por las compuertas} = 2.49 \text{ m}^3 \text{ p. s.} \\ I = 0.044 \end{cases}$$

$$\text{incógnitas} \quad \begin{cases} \Omega \\ U \end{cases}$$

Para conocer U que nos da la fórmula (1') necesitamos conocer Ω i ψ que nos permiten determinar

$$R = \frac{\Omega}{\psi}$$

En cuanto a

$$b_1 = 0.0004 \left(1 + \frac{1.75}{R} \right)$$

valor dado por Ganguillet i Kutter para lechos de cascajo, lo que es el caso actual.

En este caso ψ i Ω varían con H , no conocemos la lei de variacion; pero se deduce fácilmente de la figura 2 que:

$$\Omega = \frac{3}{2} H + H_2$$

$$\psi = 1.50 + 2 H \sqrt{2}$$

luego

$$R = \frac{\sqrt[3]{2} H + H^2}{1,50 + 2 H \sqrt{2}}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuacion (2') i tambien el valor de b_1 tenemos:

$$0,044 = \frac{1,50 + 2 H \sqrt{2}}{\sqrt[3]{2} H + H^2} \times 0,0004 \left(1 + \frac{1,75 (1,50 + 2 H \sqrt{2})}{\sqrt[3]{2} H + H^2} \right) \left(\frac{2,49}{\sqrt[3]{2} H + H^2} \right)^2$$

de aquí obtenemos

$$H = 0,0502$$

i

$$R = \frac{\Omega}{Q} = \frac{1,005}{2,905} = 0,346$$

sustituyendo este valor en el de b_1 tenemos

$$b_1 = 0,00242$$

i la ecuacion (1') nos da:

$$U = \sqrt{\frac{0,35 \times 0,040}{0,00242}} = 2,47 \text{ metros por segundo}$$

Esta es la velocidad media; la que nos importa conocer es en el fondo cuyo valor será:

$$U = \frac{2,47}{1,33} = 1,86 \text{ metros por segundo}$$

Como comprobacion de este valor veamos el que se obtiene aplicando, para el mismo caso, la nueva fórmula de Bazin (año 1896), aplicacion que ha sido calculada por el consocio señor Francisco Mardones, que trata esta cuestion de la manera siguiente:

«Aplicando la nueva fórmula de Bazin, veamos cuál será la altura H del agua i la « velocidad del escurrimiento en el Canal que deriva las aguas de Ramon, cuya seccion « transversal es la de la fig. 2.

$$\begin{array}{l} \text{Datos} \left\{ \begin{array}{l} Q = 249 \text{ m}^3 \text{ por segundo} \\ I = 0,044 \end{array} \right. \\ \text{Incógnitas} \left\{ \begin{array}{l} H = \\ U = \end{array} \right. \end{array}$$

Se tiene

$$\Omega = HL + H^2 \text{ i } \psi = L + \frac{2H}{\frac{1}{2}\sqrt{2}}$$

$$R = \frac{\Omega}{\psi} = \frac{HL + H^2}{L + 2,829 H} \quad (1)$$

tambien

$$U = \frac{Q}{HL + H^2} \quad (2)$$

Introduciendo (1) i (2) en la ecuacion del movimiento uniforme

$$R I = b_1 U^2$$

se tiene:

$$\frac{HL + H^2}{L + 2,829 H} \times I = b_1 \frac{Q^2}{(HL + H^2)^2} \quad (3)$$

De la última fórmula de Bazin

$$n = \frac{87 \sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

sacamos:

$$b_1 = \left(\frac{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}{87} \right)^2 = \frac{1}{87^2} + \frac{\gamma}{87^2} \times \frac{1}{R} + \frac{2\gamma}{87^2} \times \frac{1}{\sqrt{R}}$$

Si se introduce en la ecuacion (3) este valor en el cual se puede reemplazar R por su valor (1) se llega a una ecuacion funcion de H pero escesivamente complicada.

Por esta razon en la práctica se procede por tanto de la manera siguiente:

Sea

$$H = 0,50$$

Se tendrá:

$$\omega = 0,5 \times 1,5 + 0,5^2 = 1 \text{ m.}$$

$$\psi = 1,50 + 2,829 \times 0,5 = 2,9145$$

$$R = \frac{1}{2,9145} = 0,3431$$

Con este valor de R las tablas de Bazin dan, para $\frac{1}{\sqrt{b_1}}$ (entrando en la 5.ª categoría en la cual $\gamma = 1,75$ i que corresponde a canales en tierra de resistencia [escepcional, fondos de cascajos, paredes con vejetaion, etc.) la tabla da, decimos:

$$\frac{1}{\sqrt{b_1}} = 21,793$$

Introduciendo este valor en

$$U = \sqrt{RI} \frac{1}{\sqrt{b_1}}$$

se tendrá:

$$U = \sqrt{0,3431 \times 0,044 \times 21,793}$$

$$U = 2,6775$$

$$Q = \Omega U = 1 \times 2,6775 = 2,6775 \text{ m}^3 \text{ p. s.}$$

valor superior al efectivo, lo que indica que H es inferior a 0,50.

Tomemos

$$H = 0,48$$

$$\Omega = 0,9504$$

$$\psi = 2,85792$$

$$R = \frac{0,9504}{2,85792} = 0,33255$$

La tabla da para este valor de R (5.ª categoría)

$$\frac{1}{\sqrt{b_1}} = 21,551$$

Luego

$$U = \sqrt{0,33255 \times 0,044 \times 21,551}$$

$$U = 2,6068$$

$$Q = 0,9504 \times 2,6068 = 2,4775.$$

Lo que indica que el valor de H se aproxima mas a 0,48 que a 0,50.

Su valor no puede diferir mucho de 0,48125, número que se obtiene por interpolación entre

$H = 0,50$ para el cual $Q = 2,6775 \text{ m}^3 \text{ p. s.}$

$H = 0,48 \gg \gg \gg Q = 2,4775 \gg \gg \gg$ siendo 2,49 el valor real de Q .

Llamando v la velocidad superficial, tenemos

$$v = \frac{u}{0,80} = 3,26 \text{ m p. s.}$$

i llamando w la velocidad en el fondo, tenemos:

$$w = 0,60 v = 1,956 \text{ metros por segundo.}$$

Como se ve por uno u otro procedimiento se llega, para la velocidad en el fondo, a valores (1,86 i 1,956) que difieren mui poco.

Pero uno u otro valor sobrepasan al máximo $w = 0,614$ que es el que debe adoptarse para que no se produzca arrastre en un lecho de cascajo.

En la acequia de Ramon se ha evitado, en gran parte, que se produzca arrastre de fondo, por habersele dado una pendiente inferior a la del terreno, lo que se ha conseguido fraccionando la corriente por una serie de saltos dispuestos en escalones i colocados mas o ménos próximos segun lo mas o ménos accidentado del terreno.

El cauce exige limpias periódicas para arrancar el cieno que se deposita en el fondo, principalmente a proximidad de los estanques donde la pendiente es menor que en el resto del trayecto; ese cieno proviene principalmente del enturbiamiento del agua en los meses lluviosos del invierno.

En visita que hice el año 97 al cauce se notaba el desaseo en que se le mantenía, proveniente de la desidia, pues, segun me dijeron, hacia mas de *siete años* que no se le limpiaba, por escasez de fondos (?)

A las ya citadas causas de contaminacion del agua en el cauce, hai que agregar las que, por ignorancia o maldad, está constantemente espuesta, pues el cierro (cerco de alambre de púas) del camino dentro del cual corre la acequia impide el acceso a ella a los animales, pero no a la jente. Así en varias partes noté la huella de los caminos que recorren los peones en el interior de los potreros, los que para facilitarse el paso del cauce han colocado tablas en forma de puentes.

Así, pues, la acequia se encuentra atravesada constantemente por peones, jente ignorante i, en jeneral, de no mui buenas intenciones, a los cuales no me es estraño suponer se hayan dado el placer de bañarse; lo que pueden conseguir mui bien colocándose en uno de los *saltos* de que hemos hablado.

De desear sería que se impusiera una vijilancia constante de ese camino o bien se hiciera cierro mas perfecto mientras se coloca la cañería que conduzca el agua de las compuertas a los estanques, que es lo que racionalmente debe ejecutarse.

CAPÍTULO IV

«Estanques de La Reina»

DISPOSICION EN CONJUNTO.—ESTANQUES DE DECANTACION, SUS DEFECTOS.—ESTANQUE CIRCULAR, SUS DEFECTOS.—DISTRIBUIDOR.—ESTANQUE RECTANGULAR, SUS DEFECTOS.—CÁMARA O JAULA.

Siguiendo el curso del agua, hemos llegado a los «Estanques de La Reina.»

Lo primero que encuentra el agua al llegar al recinto que encierra los estanques, es una reja fija dispuesta oblicuamente a la direccion de la corriente destinada a detener los cuerpos en suspension que arrastre.

En los planos está indicado por los diferentes caminos que se puede hacer seguir al agua, ya sea que no se la aproveche, siguiendo el curso de la «*acequia al desagüe*» (véase planos «Estanques de La Reina») ya que llegue directamente al «Distribuidor», en donde se la puede dirigir: al «Estanque Rectangular», a la «Cámara» o vaciarse al «Desagüe»; ya que pasando por los «Estanques de Decantacion» siga al «Estanque Circular», de ahí al «Distribuidor», cuya disposicion permite dirigirla a cualquiera de los tres puntos ántes citados.

Estanques de Decantación

Estos estanques, que entran en la categoría de los continuos, pues el agua los atraviesa continuamente, no cumplen con el fin a que se les destina. Para comprender esto basta notar que el camino recorrido por el agua al atravesarlos es de 12 metros i que ella viene animada de una velocidad no despreciable, pues se notan en el fondo, de dichos estanques, rodados de $1\frac{1}{2}$ i hasta 2 centímetros arrastrados por la corriente. En vista de esto podemos afirmar, aunque no tuve ocasion de comprobar, que la velocidad média del agua en ellos es superior a la del arrastramiento de la materia en suspension, velocidad que se fija en 0.076 metros (Curso de Hidráulica C. Koning).

Dado el pequeño desarrollo que recorre el agua i la velocidad con que los atraviesa, no cumplen ellos con la condicion de que los $\frac{4}{5}$ de la materia en suspension se deposite i solo se detiene la parte mas densa de la materia; siguiendo el agua mui turbia (cuando así llega a esos estanques) a decantarse en el Estanque Circular.

En cuanto a la altura máxima a que el agua puede llegar, 1.30 metros dimension que queda bajo el mínimo minimorum aconsejado que es m. 1.50.

Con la altura de m. 1.30 hai peligro de alteracion del agua porque bajo la accion de la luz i el calor los depósitos del fondo entrarán en fermentacion; lo que se comprende si se tiene en cuenta que esta agua arrastra materias orgánicas vejetales, hojas, raíces, etc. i animales; así es frecuente encontrar escrementos de animales que flotan en la superficie.

El agua despues de atravesar estos estanques, por un dispositivo compuertas, cuyo funcionamiento se comprende fácilmente fijándose en los planos, puede seguir al Estanque Circular o al cauce que va al Distribuidor.

Para darse cuenta de la disposicion i dimensiones de los Estanques de Decantacion, véase los planos.

Estanque Circular

Su capacidad 14,500 metros cúbicos, en terraplen, forma tronco-cónica.

Las paredes tienen un talud de $\frac{1}{1}$ con un revestimiento de mampostería de espesor variable, m. 0.65 en el coronamiento, m. 1.20 en la base.

El radier con m. 0.50 de espesor es hecho tambien de mampostería.

El coronamiento del terraplen del recinto tiene un ancho de m. 4.25 con una inclinacion de $\frac{1}{5}$ para facilitar el escurrimiento de las aguas lluvias.

Al interior lleva un reboque de mortero de 2 centímetros de espesor.

Las bocas de entrada i salida del agua forman un ángulo de 145° . El agua entra por la parte superior i para amortiguar el choque se ha fraccionado la caída por escalones de m. 0.50.

La descarga se hace por un orificio horizontal de 40 centímetros de diámetro, cuyo cierre i abertura se consigue por una tapa o válvula que se puede maniobrar desde el coronamiento, por medio de un volante i tornillo de compuerta. La tapa jira al rededor de una charnela que va adherida al marco en que encaja.

El fondo está dispuesto en pendiente hacia el orificio de descarga.

Este estanque presenta el defecto de ser descubierto, lo que hace desvirtuar las aguas por el polvo i hojas que caen en ella arrastradas por el viento.

A estas causas secundarias de alteracion del agua hai que agregar la mas importante, debida a los efectos del calor i luz; por la descomposicion que bajo su influencia experimentarán las materias estrañas arrastradas por el agua, por el aire o arrojadas allí intencionalmente.

Una de las cualidades con que debe cumplir toda agua potable es su temperatura; ni cálida en verano, ni fria en invierno, su temperatura debe variar entre 10° i 15°.

Debido a no estar cubiertos los estanques de La Reina, es que se han notado en el agua temperaturas tan extremas como 6° i 27° observadas por el señor P. Lemétayer en 1890.

Cuando el agua viene turbia, en el invierno principalmente, bien poca cosa de la materia en suspension deja al pasar por los Estanques de Decantacion, i en consecuencia en el Estanque Circular se decanta depositando en el fondo su sedimento. Pero con la disposicion adoptada, colocar el orificio de toma al nivel del fondo, al establecer la comunicacion entre el estanque i el canal que la lleva al Distribuidor, el agua arrastrará los depósitos. No comprendo qué razones se tuvo para adoptar esa disposicion.

La misma salida para la toma sirve para las limpias; el agua de limpia llega al Distribuidor de donde es dirigida al Acueducto de Desagüe.

Segun me dijo el cuidador, la limpia de este estanque se hacia cada 3 meses, dejando un sedimento con un espesor de m. 0.15 a m. 2.20 en los meses de invierno, que se sacaba a pala i carretilla; el lavado se hacia despues.

El agua atraviesa el pretil que circunda al estanque por un acueducto de mampostería de m. 1.00 x m. 0.80 con espesor de m. 0.40 en bóveda i piés derechos; verificadas estas dimensiones se encuentran conformes.

Distribuidor

El objeto del Distribuidor o Marco lo hemos indicado ántes al principio de este capítulo.

Estanque Rectangular

Su capacidad 12,100 metros cúbicos; su disposicion i dimensiones se indican en los planos.

Las causas de alteracion del agua provenientes de los defectos del estanque son las mismas que hemos citado hablando del circular.

El coronamiento de éste se ha dispuesto a nivel del fondo del Circular de modo que el agua penetra por la parte superior i el choque de la caída es amortiguado por escalones como en el Estanque Circular.

La válvula de toma situada en el ángulo suroeste del estanque, tiene la misma disposicion, dimension i funcionamiento que la ya descrita del Circular.

La válvula de limpia igual a la anterior está situada en el ángulo noroeste.

La primera comunica con el acueducto de la ciudad; la segunda con el acueducto de desagüe, el cual se vacía en una acequia que remata en el Canal de San Carlos.

El radier tiene pendiente hacia las válvulas.

Calculemos el gasto máximo por la válvula de toma

Este se producirá con el estanque lleno.

Podemos asemejar este caso al de un depósito de nivel constante con orificio horizontal inferior; es decir, las cosas se presentarán como en la fig. 3.

Tenemos la fórmula

$$q = \theta \omega U$$

En este caso se verifica la contracción completa i total i para el coeficiente θ adoptaremos el valor dado por Smith para orificios circulares.

$$\theta = 0,625$$



Fig. 3

Luego

$$q = 0,625 \times 3,14 \times 0,20^2 \sqrt{2 \times 9,81 \times 4}$$

$$q = 674 \text{ litros por segundo.}$$

Veamos si este gasto abastecería una población calculada en 250,000 habitantes para Santiago.

Sin tomar en cuenta las variaciones del consumo i considerando un gasto constante de 300 litros por día i habitante o sea 75 millones de litros diarios, necesitamos un gasto constante de 868 litros por segundo, cantidad superior a la que puede suministrar la válvula de toma del Estanque Rectangular.

Si tomamos en cuenta las variaciones del consumo, para conocer las verdaderas dimensiones que debe tener la válvula de toma, esas variaciones son fijadas de la siguiente manera según Lindley.

El máximo del consumo tiene lugar en 8 horas desde las 10 de la mañana a las 6 de la tarde i en ese tiempo se escurre la mitad del consumo diario, lo que hace 37.500,000 litros en 8 horas o sea 1,302 litros por segundo.

Para este último gasto obtenemos como diámetro de la válvula de toma 0.77; esto en la hipótesis que el estanque tuviera una capacidad suficiente para almacenar el total (75 mil metros cúbicos) de agua necesaria para Santiago i de que la altura de agua, sobre el orificio de la válvula, se mantuviera en 4 metros.

Muros de recinto del Estanque Rectangular

El talud interior de estos muros es inclinado de m. 0.22 por metro.

En cuanto a su talud exterior, no pude verlo por estar cubierto por el terraplen que lo rodea.

Las dimensiones que se indican en los planos son las que señalan varios que existen en la Direccion de Obras Públicas.

Pero esas dimensiones puedo asegurar no son las verdaderas; pues si entramos a verificarlas, bajo la base de que el Estanque se encuentre lleno de agua hasta su coronamiento, lo que sucede frecuentemente, encontramos que la resultante de la composicion de las fuerzas, peso del muro i empuje del agua, sale m. 0.55 de la base del muro i el recinto debia haberse destruido bajo la accion del empuje, lo que no ha pasado.

I la resultante sale de la base del muro apesar de que se tome en cuenta el suplemento de resistencia proveniente del terraplen de recinto; en este último caso la resultante sale m. 0.18 de la base.

Estas investigaciones me han venido a demostrar que las dimensiones indicadas en los planos no son las verdaderas, pues que estos muros existen.

No me detengo a dar detalles de los cálculos que me conducen a los resultados anteriores, porque ello seria alargar inútilmente esta esposicion; pues esos cálculos, mui sencillos, cualquiera puede verificarlos, habiéndose practicado bajo las siguientes bases: altura de agua en el Estanque, la total es decir hasta el coronamiento m. 4.60; dimensiones del muro i terraplen de recinto, los que indican los planos; peso de la mamposteria 2,300 kgs.; de las tierras 1,400 i en todo el ancho de 5 metros del terraplen de coronamiento suponemos un jentio que da una carga uniforme de 300 kgs. por m. cuadrado.

En los planos «*Estanque Rectangular*» «2.º corte C D» corresponde a una posicion en que se encuentren dos contrafuertes cuyas dimensiones son las que se indican tomadas de los planos existentes en la Direccion de Obras Públicas.

No me fué posible averiguar la altura de esos contrafuertes, distancia a que estan colocados ni ménos comprobar su existencia.

Cámara o Jaula

Está construida en el orijen del acueducto que conduce las aguas a la ciudad i se puede considerar como la obra de toma del acueducto.

Su disposicion i dimensiones se ven en los planos.

El coronamiento es circundado por una reja i de ahí viene el nombre de *jaula* con que se le designa por los cuidadores.

A ella pueden llegar aguas del Estanque Circular, en caso de limpias o reparaciones del Rectangular, o bien llegar directamente sin pasar por estanque alguno, lo que permite hacer limpias o reparaciones en los dos estanques a la vez sin interrumpir el servicio.

Al verificar las dimensiones de los muros de esta cámara hemos partido de la hipótesis que ellos sufren el empuje de una altura de 4.60 de tierra a la que cubre una sobrecarga de 300 kgs. por metro cuadrado.

Estos muros se encuentran en buenas condiciones de estabilidad, pues encontramos

que la resultante cae dentro del tercio de la base i que su presion en la arista mas cargada es de 3.2 kgs. por centímetro cuadrado.

Por las razones ántes espuestas creo no tiene interes dar detalles de los cálculos que nos conducen a los resultados apuntados.

CAPÍTULO V

ACUEDUCTO.—CAÑERÍAS MATRICES.—CAJITA DE AGUA

Acueducto

Esta obra de 0.50×1.25 destinada a la conduccion del agua desde los estanques de La Reina a la ciudad, fué construida el año 1865.

Por los defectos de su construccion hecha de piedra i barro, no ofrece al agua un abrigo seguro contra la mezcla de las de infiltracion i esos mismos defectos son causa de entorpecimiento en el fácil escurrimiento.

En apoyo de lo anterior, copiamos a continuacion parte del informe pasado al Consejo de Hijiene, con fecha 8 de Diciembre de 1891, por la comision compuesta de los doctores D. Wenceslao Diaz, D. Francisco Puelma Tupper, D. Máximo Cienfuegos, D. Pablo Lemétayer i D. Alcibiades Vicencio, nombrada a fin de dictaminar sobre la necesidad de mejorar i ensanchar el servicio del Agua Potable de Santiago.

Dicho informe, tratando de la conduccion del agua de Ramon, dice, despues de hablar del cauce descubierto, entre las Compuertas i los Estanques... «La otra parte « que es cerrada i que corre a 2 o 3 metros bajo el nivel del suelo, se encuentra a menu- « do destruida en sus paredes por las raíces de los árboles vecinos que las atraviesan pa- « ra ir en busca del agua necesaria a su desarrollo. Rota de esta manera, o por otros ac- « cidentes, la continuidad de la pared del acueducto, transfórmase éste en muchas partes « de su trayecto en un verdadero *tubo de drenaje* que absorbe i mezcla con su corrien- « te interior las aguas de los pantanos o de los riegos cercanos a él. En otras, por el con- « trario, en que son distintas las condiciones del suelo, estas mismas aberturas dejan « escapar una parte del agua destinada a la ciudad», i continúa: «Este accidente de las « raíces que invaden el lúmen del acueducto, llega a tomar tales « proporciones que, una o dos veces por año hai que suspender « durante 12 horas la circulacion del agua a fin de que 70 u « 80 peones, introducidos dentro de aquél, puedan desembara- « zarlo de tan singular obstáculo.»

El agua de riego pasando por las grietas del acueducto, como queda dicho, ha sido probablemente otra causa de la presencia del *bacterium coli-commune* en el agua del Estanque de la Providencia de que ya hemos hablado en el Capítulo I.

Las dimensiones trasversales son las que se indican en la fig. 4 que *a priori* se puede asegurar son suficientes para resistir los esfuerzos que deben soportar.

Dada su seccion 0.696 m^2 i su pendiente 0.012 podemos asegurar sin necesidad de entrar a demostrar que es capaz de escurrir, sin presion, el caudal máximo que puede recibir.

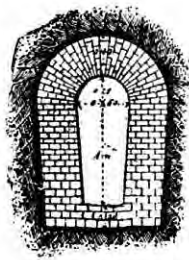


Fig. 4

Ese caudal sería el conducido por el canal, que viene del Distribuidor a la Cámara, cuya sección se indica en la fig. 5 i en el cual el agua puede alcanzar una altura máxima de m. 0.80; pues mas allá de ese nivel el agua se vacía por sobre las compuertas.

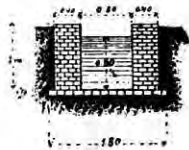


Fig. 5

Con esa altura (0.80) de agua tenemos una sección máxima mojada de 0.640 m^2 , inferior a la del acueducto i si a esto agregamos que la pendiente del acueducto 0.012 es superior a la del canal del Distribuidor a la Cámara (en la oficina del Ingeniero Jefe del Agua Potable encontré un perfil de ese canal, cuya pendiente era de 0.0097) queda averiguado que el acueducto puede escurrir *sin presión* el caudal máximo que se le puede suministrar.

El Estanque Rectangular comunica también con el acueducto a proximidad de la Cámara (véase planos).

Cañerías matrices

El mal servicio del acueducto ha obligado a reemplazarlo por cañería a la cual se ha fijado como diámetro interior m. 0.425.

Verifiquemos el diámetro $D = 0.425 \text{ m}$.

Gasto por segundo: El caudal de Ramon, mui variable como dejamos espuesto en el Capítulo I, ha aumentado hasta 24,000 metros cúbicos diarios; pero esta cantidad queda reducida a 20,400 tomando en cuenta las pérdidas por escapes de las compuertas $\frac{1}{10}$ i las por evaporación, pulverización, etc., $\frac{1}{20}$ del total.

Tenemos 20,000 metros cúbicos como caudal máximo diario por escurrir.

Hemos dicho antes que en 8 horas se consume la mitad del total diario.

La cañería de que nos ocupamos debe, pues, ser capaz de escurrir 10,000 metros cúbicos en 8 horas o sea 347 litros por segundo; esa cañería es la proyectada i en parte colocada entre la «Cajita de Lo Bravo» i el «Estanque regulador de La Reina».

El ingeniero don Valentin Martinez, que proyectaba ese estanque, cuyos planos no he encontrado, cuenta para el cálculo de esa cañería con una diferencia de nivel mínima de 66 metros i con un desarrollo de 4,300 metros.

Ya tenemos todos los datos necesarios para verificar el cálculo del diámetro de esa cañería.

Gasto $Q = 347$ litros por segundo

$$\text{Pendiente } I = \frac{H}{S} = \frac{66}{4,300} -$$

Para nuestro cálculo nos servimos de las tablas de Flamant.

En la segunda tabla encontramos que $\frac{Q}{I}$ para 350 litros vale 6.28; luego $\frac{Q}{I}$ para 347 litros valdrá:

$$\frac{\gamma}{I} = \frac{6.28 \times 347}{350}$$

$$\frac{\gamma}{I} = 622$$

luego

$$\gamma = 6.22 \frac{66}{4,300}$$

$$\gamma = 0.095$$

Este valor de γ se encuentra comprendido entre 0.107 para $D=0.40$ m. i $\gamma=0.086$ para $D=0.42$ dados por la primera tabla.

Aproximemos por interpolacion: Tenemos que a $0.107 - 0.086 = 0.021$ de diferencia entre los valores de γ corresponde 0.02 en los diámetros, luego la diferencia en los diámetros para una diferencia de $0.107 - 0.095 = 0.012$ entre los valores de γ será:

$$\frac{0.012 \times 0.02}{0.021} = 0.011 \text{ m.}$$

valor que agregado a $D=0.40$ correspondiente a $\gamma=0.107$ nos da para $\gamma=0.095$

$$D = 0.411.$$

Se adoptó $D=0.425$ m. probablemente para tener una dimension comercial.

Cañería de $D=0.65$

Esta parte desde la Cajita de Lo Bravo a la ciudad i fué calculada en las siguientes condiciones: segun nota pasada por el ingeniero don Valentin Martinez a la Municipalidad con fecha 2 de Abril de 1893 i que dice: «*partiendo con 22 metros de carga piezométrica (en vista de incendios) en la Avenida Oriente se necesita una altura motriz de m. 1.49 en el orijen de la cañería o sea en la nueva Cajita que dista 3,000 metros de la Avenida, siendo el desnivel del terreno m. 25.71*».

De lo anterior se deduce que esa cañería fué calculada para tener en la Avenida Oriente una altura piezométrica de 22 metros i para ello se contó con una diferencia de nivel de

$$25.71 + 1.49 = 27.20$$

Para calcular esta cañería que debe escurrir el gasto de 347 litros por segundo, tenemos como valor de $\frac{\gamma}{I}$ el mismo anterior:

$$\frac{\gamma}{I} = 6.22$$

En cuanto a

$$I = \frac{H}{S}$$

en este caso

$$I = \frac{27.20 - 22 \text{ (alt. piezométrica)}}{3.000}$$

$$I = \frac{5.20}{3.000}$$

Luego

$$\begin{aligned} \gamma &= 6.22 \frac{5.20}{3.000} \\ &= 0.0108 \end{aligned}$$

En la primera tabla de Flamant frente a ese valor de γ encontramos

$$D = 0.65 \text{ m.}$$

Conforme con lo que se indica en los planos.

Veamos la velocidad del agua en estas cañerías:

Cañería de $D = 0.425$. Una fórmula sencilla que nos da la velocidad, es:

$$U = 20 \sqrt{DI}$$

i en este caso

$$U = 20 \sqrt{0.425 \frac{66}{4.300}}$$

$$U = 1.60 \text{ m.}$$

$$\text{Cañería de } D = 0.65$$

En esta cañería tenemos para la velocidad

$$U = 20 \sqrt{0.65 \frac{5.20}{3.000}}$$

$$U = 0.66$$

Segun Fanning la velocidad varia con el diámetro e indica adoptar como máximo 75 centímetros para los tubos chicos i 2 metros para los grandes.

La cañería de $D = 0.425$ se puede considerar como mediana i la velocidad máxima admisible para el agua que la recorre la fijaremos en 1 metro; como la velocidad encontrada es m. 1.60 vemos que esa cañería se encuentra en malas condiciones de estabilidad.

En cuanto al mínimo de velocidad el señor Koning lo fija en m. 0.60 «*si las aguas apesar de ser puras acarrear arenas*» a fin de evitar los depósitos i obstrucciones.

En este caso tenemos para la cañería de $D=0.65$ i $U=0.66$, como lo vemos nos encontramos en el límite mínimo de velocidad i el peligro de depósitos existe, principalmente si se tiene en cuenta que el agua de Ramon tal como hoy se la conduce está espuesta a enturbiarse.

Cajita de agua en el oríjen de la cañería matriz de diámetro 0.60

Esta obra que formaba parte del proyecto elaborado para mejorar las condiciones en que se conducía el agua de Ramon elaborado por el ingeniero don Valentin Martinez i que estaba destinada a desempeñar el papel de depósito «*quiebra presión*» entre los de La Reina i la ciudad me dicen no ha sido construida.

Su disposición, dimensiones i funcionamiento se indican en los planos.

Estabilidad de la bóveda de cubierta

Dado el rebajo $\frac{1}{4}$, la sobrecarga m. 0.50 de tierra i la luz m. 2 se puede afirmar, *a priori*, que la dimension adoptada 0.20 (medio ladrillo) es suficiente para asegurar la estabilidad al derrumbamiento.

La estabilidad elástica queda comprobada fácilmente por la fórmula de Navier:

$$p = \frac{2F\rho}{e}$$

Veamos el valor de F .

$$\text{Tenemos } \begin{cases} \pi = 1,700 \text{ kgs. albañilería} \\ \pi = 1,500 \text{ kgs. tierras.} \end{cases}$$

La albañilería de la bovedilla en peso de tierra valdrá:

$$\frac{0.20 \times 1,700}{1,500} = 0.23$$

i con los 0.50 de terraplen que cubre a la bovedilla: tenemos

$$0.50 + 0.23 = 0.73$$

Luego

$$F = 0.73 \times 1,500 = 1,095 \text{ kgs.}$$

i la presión por centímetro cuadrado será:

$$p = \frac{2 \times 0.1095 \times 125}{20}$$

$p = 1.36$ kg. por centímetro cuadrado, presión aceptable.

En los planos se ve fácilmente que si la cañería matriz ($D=0.65$) no da escurrimiento al total del agua que llega a la cajita, se ha dispuesto un orificio de m. 0.40×1 m.—que vacía el sobrante al acueducto antiguo.

Veamos si ese vertedero es capaz de dar salida a toda el agua que llega, pues podemos suponer una obstrucción en la cañería matriz.

Sabemos, por haberlo dicho antes, que a la cajita llega un máximo de 347 litros por segundo i averigüemos con qué altura de agua sobre el umbral del vertedero se escurre ese gasto.

En este caso se trata de vertedero en «cresta gruesa» i según la experiencia de Lesbros el gasto es dado por la fórmula:

$$q = 0.35 \text{ l } H \sqrt{2gH}$$

i en este caso

$$0.347 = 0.35 \times 1 \times H \sqrt{2 \times 9.81 \times H}$$

de donde

$$H^{\frac{3}{2}} = \frac{0.347}{0.35 \sqrt{2 \times 9.81}}$$

$$\text{i } H = 0.13$$

Vemos, pues, que las dimensiones dadas al vertedero de descarga son demas suficientes para escurrir el total del agua que llega a la cajita i no existe peligro que ésta sea destruida por la presión que soportaría al suponerla llena de agua.

Si sometemos al cálculo las dimensiones dadas para los pies derechos (m. 0.60 de espesor con m. 1.70 de altura) vemos que no es suficiente el espesor de m. 0.60; pues si se hace la composición de las fuerzas que lo solicitan; empuje de la bóveda i terraplen, empuje del agua del interior i empuje de las tierras laterales, con su peso la resultante sale m. 0.02 fuera de base de los pies derechos, luego la dimensión trasversal m. 0.60 es deficiente.

El muro central, por el contrario, tiene una dimensión que es exajerada; esto se comprueba mui fácilmente.

Siguiendo el curso del agua llegamos al «Estanque Providencia»; pero antes de examinarlo pasemos a estudiar las aguas de Vitacura i sus obras de captación.

JORJE CALVO M.

(Continuará)

in AB

Referencias

Acueducto	—
Cañeria D-0.60	—
" D-0.65	—
" D-0.80	—
Tubos de drenaje D-0.60	—
" " " D-0.30 a 0.55	—
Cajita de reunion de las aguas drenadas	—
Cotas del terreno i radiar de los estanques	790-656-531-626
Boca-toma de las aguas de Ramon	—
Cañeria D-0.425	—

Elevacion segun A B

Plano

Cauce de la Quebrada

Agua de las calanques

A

B

C

D

Acueducto

Cañería. $D = 0.60$

" $D = 0.65$

" $D = 0.80$

Tubos de drenaje $D = 0.60$

" " " $D = 0.30$ a 0.55

Cajita de reunión de las aguas drenadas

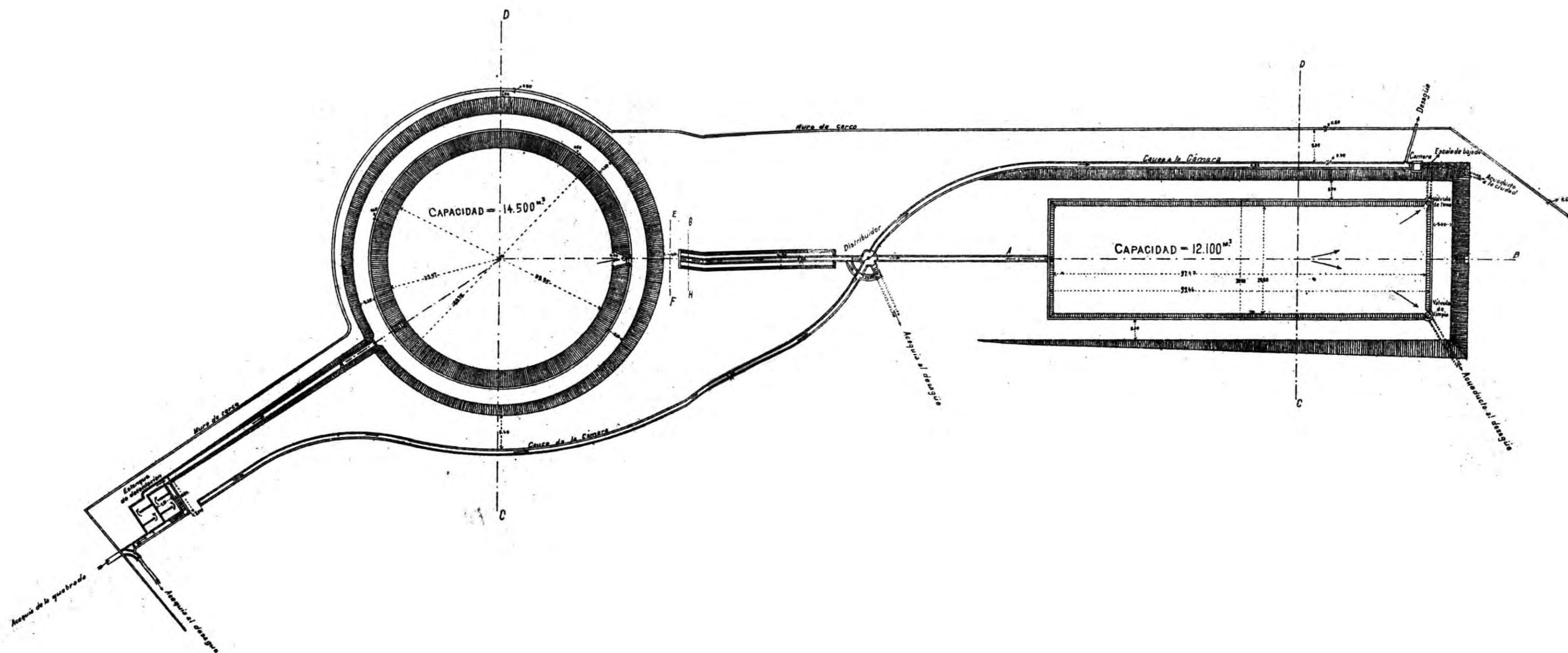
Cuñas del terreno a radiar de los estanques 790-656-591-626

Boca-toma de las aguas de Ramon

Cañería $D = 0.425$

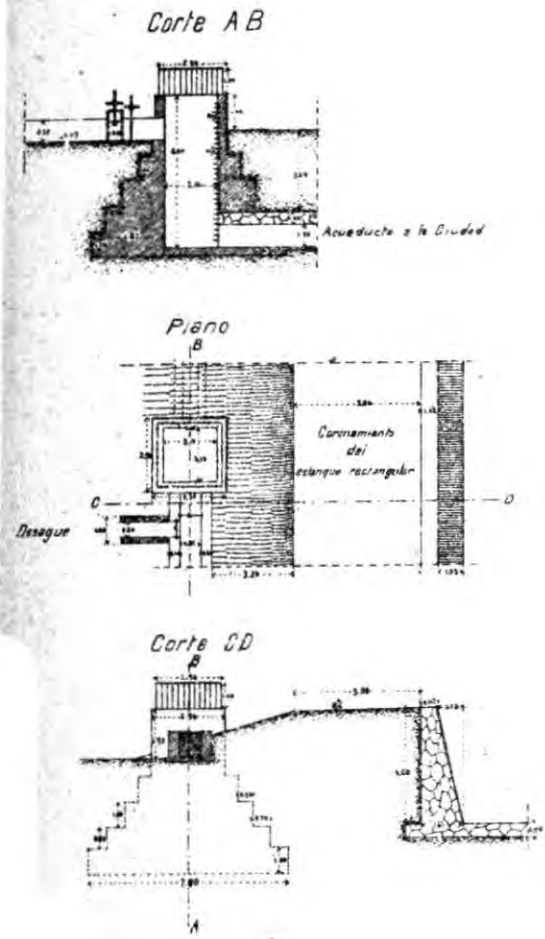
" $D = 0.10$

ESTANQUES DE "LA REINA"

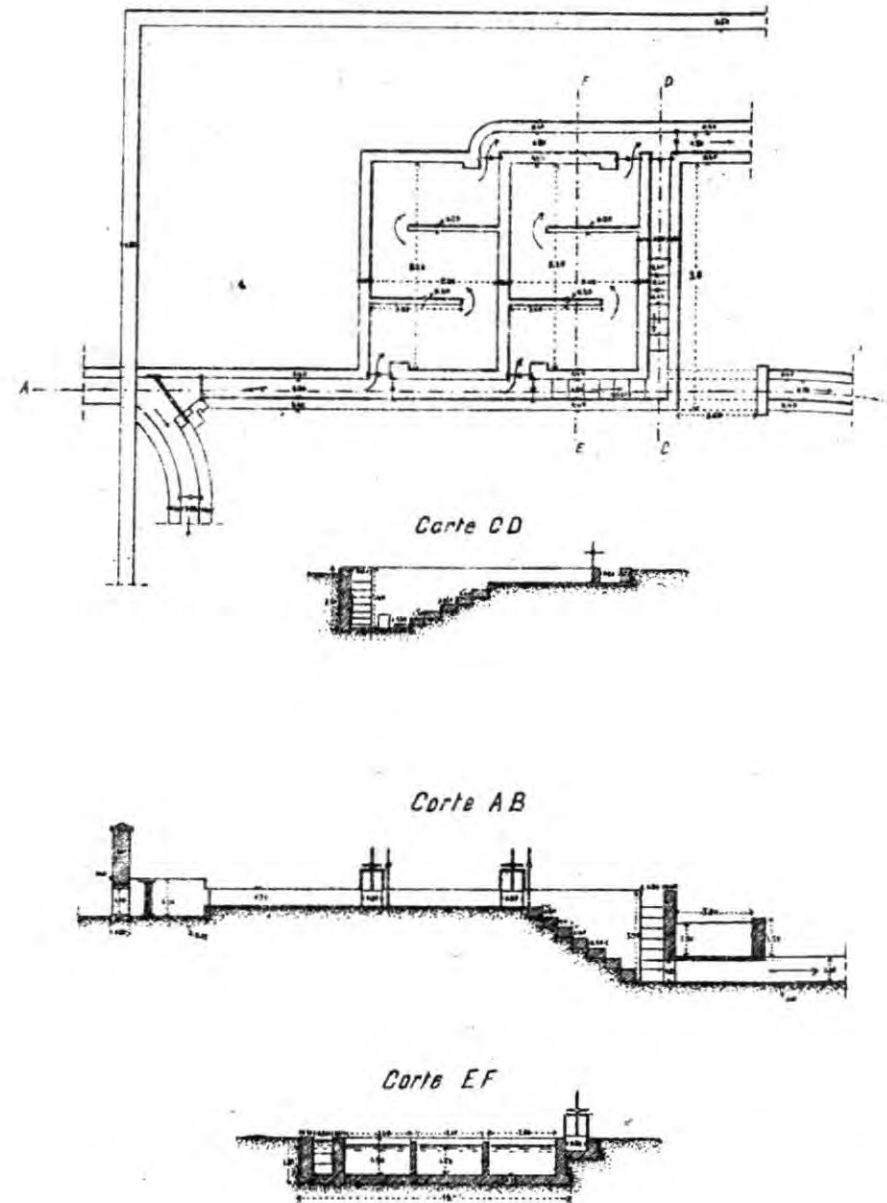


ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

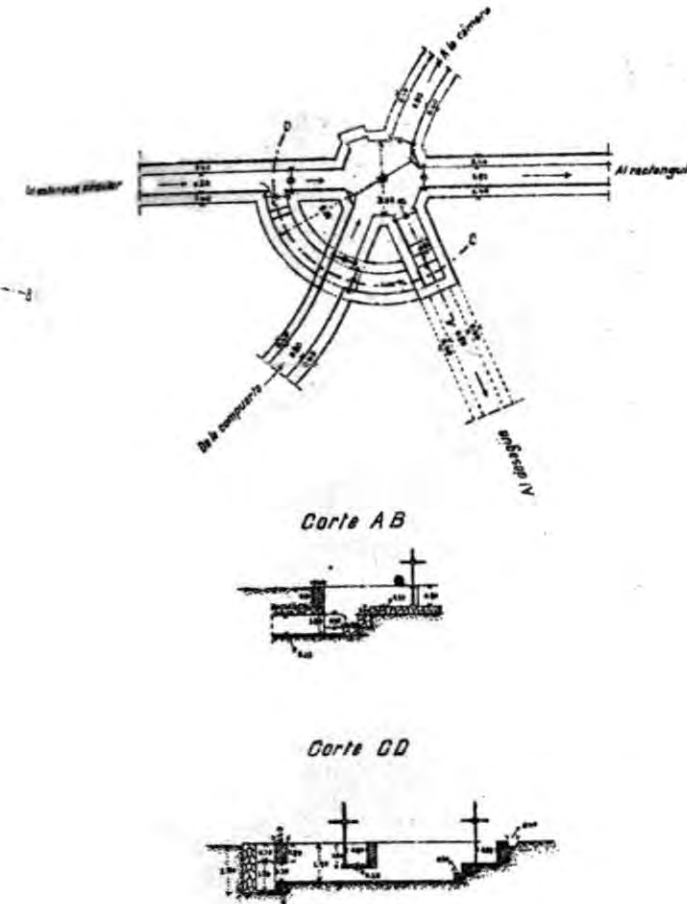
CÁMARA



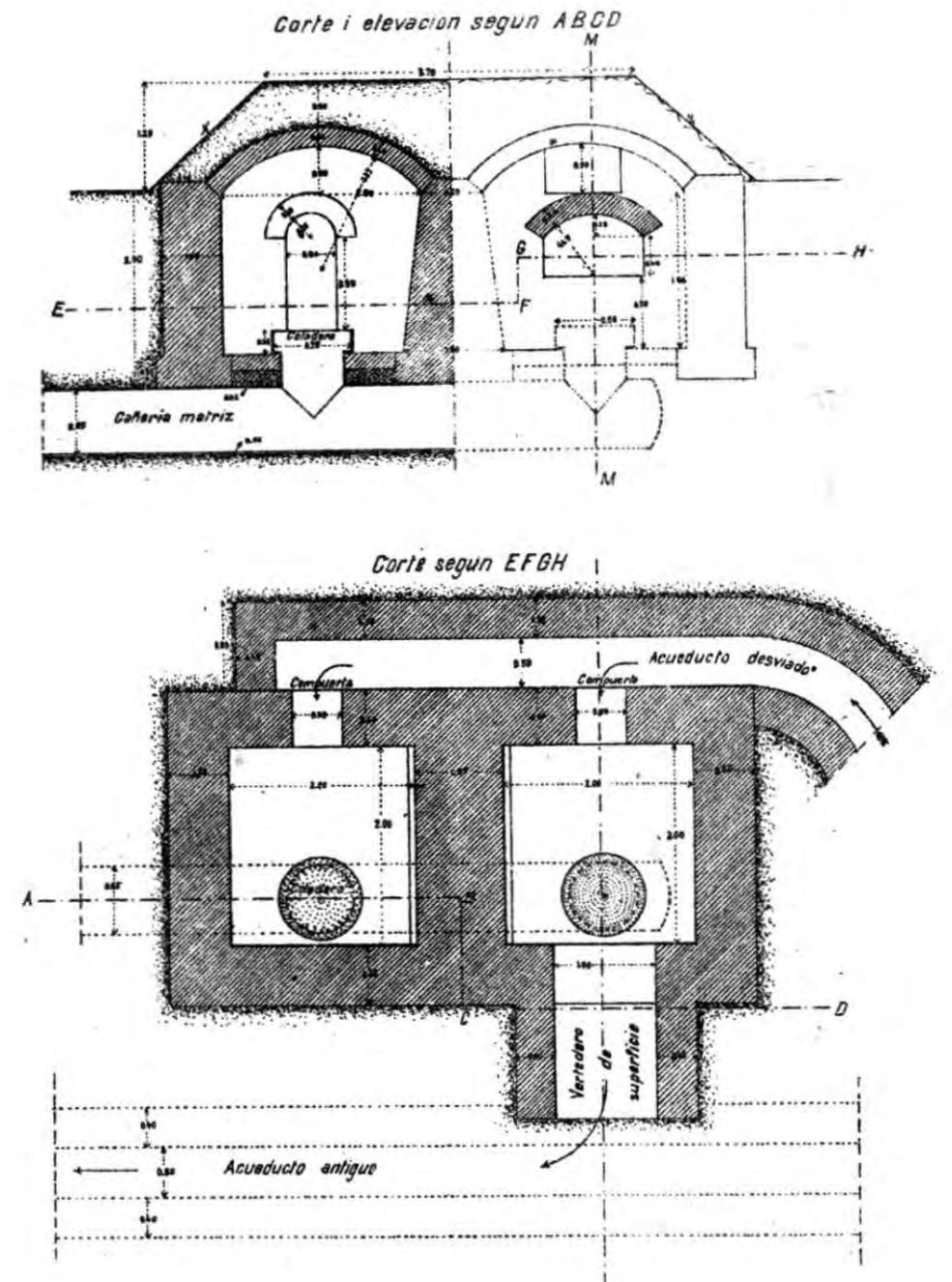
ESTANQUES DE DEGANTACION



DISTRIBUIDOR

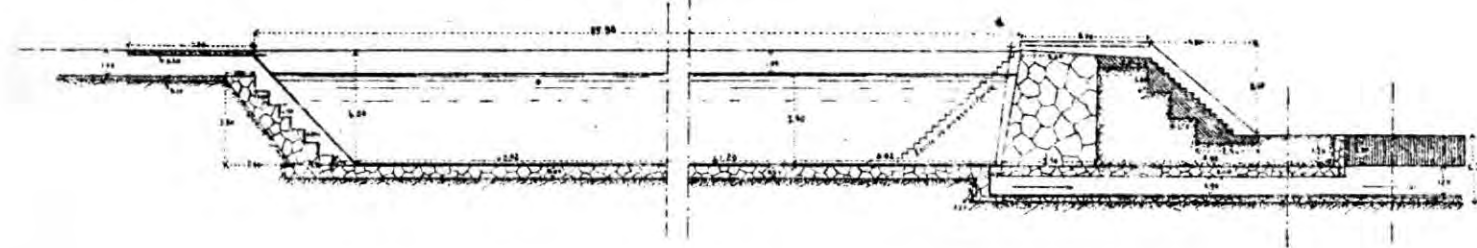


CAJITA DE AGUA EN EL ORIGEN DE LA CAÑERÍA MATRIZ

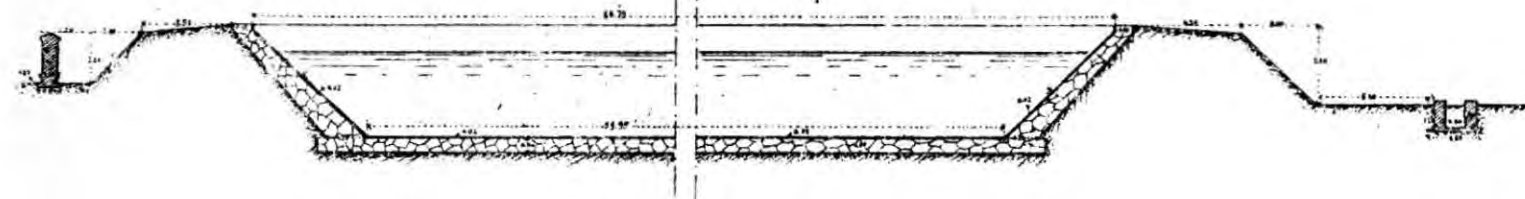


ESTANQUE CIRCULAR

Corte segun AB



Corte segun CD



Corte EF

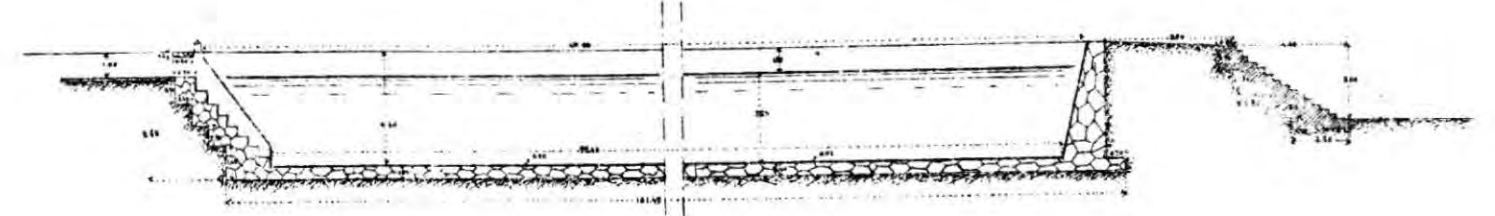


Corte GH

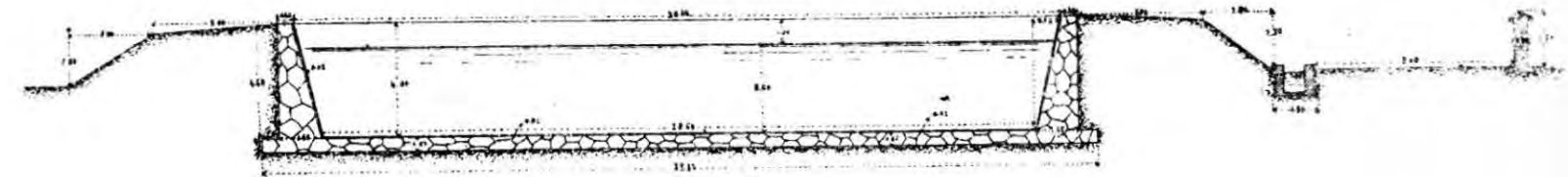


ESTANQUE RECTANGULAR

Corte segun AB



Corte segun CD



2.ª Corte CD

