

## Agua Potable de Santiago

POR

ALBERTO GONZÁLEZ ECHENIQUE

---

(Conferencia dada en el Instituto el jueves 7 de Agosto de 1913)

Los chilenos, desde que empezamos a darnos cuenta de las cosas i a contemplar la naturaleza, vemos hácia el Oriente las montañas maravillosas cuyo espectáculo no nos causa asombro. ¡Tan familiarizados estamos a él!

Pero si todos tenemos constantemente la imagen de la Cordillera ante nuestros ojos, ¡cuán grande es nuestra ignorancia respecto a los verdaderos fenómenos de su estraña naturaleza!

La Cordillera es todavía con sus lagos, sus desiertos i picos inaccesibles, sus minas, sus nieves i sus catástrofes, un paraje de leyenda i de aventuras.

El 95% de los chilenos creen que traspuesto el primer cordón se ve al otro lado la pampa argentina.

Los magníficos planos de la comision de límites han puesto en descubierto su hasta hace poco desconocida topografía.

La Laguna Negra era un lago misterioso que para verlo habia que correr infinidad de peligros. Leibold i Darwin, exploradores de esas rejiones, no la visitaron. Pisis no la puso en su plano. Vicuña Mackenna nos dejó un folleto sobre ella, en el cual la mitad de sus pájinas estan destinadas a describir los sufrimientos i aventuras de la comitiva.

La narracion de esos viajes era en aquel tiempo tan interesante como es ahora la lectura de los viajes al polo de Amudsen i de Scott.

Vicuña Mackenna fué acompañado de don Francisco Vidal Gormaz, de don Víctor Carvallo, de don Ernesto Ausart i de don Belisario Díaz. La exploracion tuvo lugar en el verano de 1873,

El objeto principal del viaje del famoso intendente era ver la manera de aumen-

tar el caudal de las fuentes que forman el Maipo para que los terrenos de regadío no sufrieran escasez en las épocas de sequía.

Nadie pensaba entonces en ir a buscar agua potable en las lagunas de la Cordillera.

Esta comisión levantó el plano i sondeó la Laguna Negra, determinó su altura sobre el mar, hizo diversas observaciones científicas i midió por primera vez las aguas del estero del Manzanito.

Las conclusiones a que llegaron los exploradores son diversas i respecto a las lagunas Negra i del Encañado que no deben desaguarse para efectos de irrigacion, mas que en casos de sequías tan extraordinarias que sean verdadera calamidad nacional.

A este respecto don Víctor Carvallo teme que bajando el nivel de las lagunas se disminuya el caudal del Yeso i del Manzanito, lo cual *seria matar la gallina que pone huevos de oro*.

El señor Carvallo hace cálculos aproximados del número de regadores que podria sacarse para aumentar el caudal de los rios, i recomienda que se hagan observaciones sobre las variaciones del nivel de la Laguna Negra sobre el agua caída en esas rejiones i sobre el caudal de los diferentes rios en las diversas épocas del año. Nadie se acordó despues del asunto.

Posteriormente volvió a llamar la atencion la Laguna Negra como fuente para aumentar el caudal del agua potable de Santiago.

Una comisión formada por don Víctor Klein, don Jorje Neut i don Arturo E. Salazar fué encargada por el Gobierno de examinar las fuentes posibles para aumentar la dotacion de agua potable de la ciudad.

Esta comisión, que verificó sus estudios en 1900, elevó un informe mui interesante que ha servido de base a los estudios posteriores.

Empezó por fijar la cantidad de agua que necesita la ciudad en 500 litros por habitante i por día.

En seguida llega a la conclusion de que las fuentes de provision de agua que entonces habia i que son las de ahora, no bastan para llenar satisfactoriamente las necesidades de la ciudad.

Era necesario, pues, estudiar nuevas fuentes de produccion i la comisión estudió la calidad i la cantidad de las aguas de los esteros de Colina, Arrayan, San Francisco, Yerba Loca, Molina, Covarrubias, Ramon, Macul, Canelo, Manzano i Manzanito i las aguas de Vitacura i de la Laguna Negra.

De todas éstas la comisión escluye San Francisco, Colina i Arrayan por estar en puntos mui poblados que exigen costosas espropiaciones.

Actualmente en la quebrada del Arrayan las minas están abandonadas i la poblacion se limita a algunas casas de inquilinos en la parte inferior.

La comisión escluyó tambien las aguas de Yervaloca i Vitacura por ser sospechosas i las del Canelo por estar destinadas al abastecimiento de otras ciudades.

Salvaron de la esclusion: Molina, Covarrubias, Ramon, Macul, Manzano i Manzanito.

La comision formula entónces dos combinaciones, una la de aprovechar en conjunto las aguas de Molina, Covarrubias, Ramon, Macul i Manzano i la otra la de aprovechar las del Manzanito i la Laguna Negra i se decide en definitiva por la segunda combinacion.

Entre estas dos combinaciones o proyectos es a todas luces preferible la segunda, pero la comision escluyó el Arrayan con sus magníficas i abundantes aguas en las puertas de Santiago i Vitacura cuyo rendimiento puede aumentarse i que de hecho se han aumentado despues de la fecha del informe.

Mi opinion, señores, basada en datos bien poco numerosos i completos es que hai dos soluciones para satisfacer las necesidades de Santiago: una la de traer las las aguas del Arrayan, Molina i Covarrubias en combinacion con un aumento del caudal de Vitacura mediante obras adecuadas i otra la de traer las aguas de la Laguna Negra i Manzanito i otros altos esteros cordilleranos.

La primera es la solucion económica i modesta que trae ménos agua i que está espuesta a mínimum imposible de proveer.

La segunda es la solucion grandiosa i definitiva que está libre de disminuciones peligrosas, pues basta para evitarlas echar mano a la colosal cantidad de agua almacenada en la laguna.

La solucion del Mapocho es de explotacion fácil porque sus obras quedarian en terreno fácilmente visitable i porque el trayecto seria mui corto, pero difícil porque durante las creces sus aguas se enturbian i serian necesarios estanques i filtros para purificarlas.

La solucion de la Laguna Negra nos da agua siempre clara i construyendo obras sólidas será fácil su explotacion.

Las autoridades, el público, casi todos los ingenieros i últimamente los proponentes han preferido la solucion de la Laguna Negra.

Una de las mas graves objeciones que se han hecho contra la solucion del Mapocho ha sido que captando sus aguas se produciria un desierto al Oriente de Santiago. Esto es exajerado i podria suplirse esa agua fácilmente construyendo un canal alto que lleve a esos terrenos aguas del Maipo.

En Febrero de este año las quebradas del Mapocho arrastraban las cantidades de agua siguientes:

Arrayan .....	1 200 litros por segundo
Molina i Covarrubias .....	1 600 id.
Yerba-Locha .....	3 600 » turbia
San Francisco.....	1 000 » poblada

Respecto a las demas pequeñas quebradas debieran ser para las comunas rurales en servicios independientes de Santiago.

Así Providencia i Ñuñoa podrian utilizar Razon, San Miguel, La Granja i Florida Macul, Puente Alto, San Bernardo i Buin, Canelo i Manzano. Se evitarian con esto los derroches i complicaciones actuales.

La comision hizo los reconocimientos necesarios para fijar las líneas jenerales del trazado i la ruta que recomendó fué la que se siguió en el estudio efectuado últimamente.

Posteriormente en 1909 la Empresa de Agua Potable comisionó a don Jorje Neut para que completara el reconocimiento de las aguas del valle de Santiago i para que llegara a conclusiones definitivas.

El señor Neut hizo un prolijo reconocimiento de todas las quebradas i en su informe se encuentran datos mui interesantes sobre los gastos en ese verano, que habia sido precedido por un invierno seco.

Los resultados jenerales de este reconocimiento son mui favorables a la solucion de traer el agua de la Laguna Negra, pues miéntras los demas esteros habian sufrido una disminucion en su caudal el estero del Manzanito que en 1901, despues de un invierno lluvioso, escurria 130 000 m<sup>3</sup> diarios en 1909 escurria 162 450 m<sup>3</sup>.

El señor Neut estudia dos combinaciones algo distintas de las de la comision de 1901.

La primera es la de traer el agua de los esteros de Covarrubias, Arrayan, Molina, Macul i Manzano, i la desecha por ser la cantidad de agua escasa i por el gran número de dias en que el agua baja completamente turbia.

La segunda es la aduccion de las aguas de la Laguna Negra i Laguna del Encañado en combinacion con el estero del Manzanito, solucion que acepta sin reservas.

Concluye el señor Neut aconsejando hacer estudios permanentes en los esteros i construir cerca del Manzanito una habitacion para observar su réjimen durante el invierno.

Tambien hizo interesantes estudios sobre la Laguna Negra el señor Jerardo van M. Brockman que aparecen publicados en el proyecto del Lago del Yeso.

Hizo durante un largo período medidas de la cantidad de agua del Manzanito i determinó por medio de una ingeniosa teoría el valor de la Laguna Negra como estanque de reserva llegando a la conclusion que en un período secular pasan por el rebalse i por consiguiente pueden estraerse del Lago solamente 8 000 000 m<sup>3</sup> término medio al año.

Esta reserva como agua potable es de un considerable valor.

S. E. el presidente actual se preocupó de resolver lo mas pronto posible el problema del agua potable que el señor Administrador de la Empresa años hacia trataba inútilmente de solucionar.

Se acordó entónces hacer los estudios definitivos i pedir al Congreso los fondos para la construccion de la obra.

Como seria sensible que hubiera entorpecimientos para el despacho de esta cuestion a causa de la diferente manera de apreciar, que son estudios definitivos, voi a

decir dos palabras sobre la manera como creo deben hacerse los estudios de un acueducto para pedir licitacion pública i para construirlo.

He notado entre los injenierios especialistas en ferrocarriles la creencia que estos trabajos no son completos si no se ejecuta un estacado como se acostumbra en las líneas férreas, pero los dos problemas son mui diferentes.

En primer lugar el radio de las curvas de una línea férrea es tan grande que cualquier pequeño error en el plano puede aumentar o disminuir enormemente los cortes i terraplenes i aun hacer imposible la construccion de la vía sin obras de arte especiales que en otro caso se podrian evitar. El radio de las curvas de un acueducto puede ser tan pequeño que a nadie preocupa esta cuestion, de modo que al construir la obra se puede estacar fácilmente el eje amoldándose al terreno, sin que haya entre las dos escavaciones, la calculada en el perfil del ante-proyecto i la hecha en realidad gran diferencia.

En segundo lugar cualquier variacion en la altura de un terraplen o de un corte hace variar el cubo enormemente pues sus paredes no son verticales, miéntras que en un acueducto la escavacion es jeneralmente vertical i un error en su altura produce una variacion en el cubo solamente proporcional a ese error.

I en tercer lugar el factor principal en el presupuesto de una línea férrea en terreno accidentado es los cortes i terraplenes, de modo que un error de sus cubos disminuye poderosamente la exactitud del presupuesto total i en un acueducto el factor principal es la albañilería cuya seccion es constante entrando las escavaciones a figurar en segundo término.

Creo pues que para proyectar definitivamente un acueducto, basta trazarlo sobre un buen plano con curvas de nivel.

Las obras de arte especiales como tomas, puentes, etc., creo que debe levantarse un plano mas prolijo i a mayor escala para proyectarlas.

Respecto a la nivelacion depende la prolijidad que se debe tener de la pendiente que se disponga. Si hai un exceso de pendiente i el perfil resulta lleno de caidas, basta i sobra con una nivelacion taquimétrica i no importará nada ubicar despues las caidas siguiendo sí las normas fijadas de antemano, pero si la pendiente es estrecha toda prolijidad gastada en la nivelacion será poca, pues cualquier error puede traer el fracaso completo del trazado.

---

Acordada anteriormente como hemos visto las fuentes que debian aprovecharse, la ubicacion de las tomas, la cantidad de agua i la ruta del trazado, la Empresa de Agua Potable contrató con el que habla la confeccion del proyecto para la aduccion del agua del Manzanito a Santiago.

En el contrato de estudio aunque no se eliminaba directamente la solucion de aprovechar la fuerza motriz, la eliminaba indirectamente al fijar el trazado por el fondo de los valles.

Sin pronunciarme sobre la conveniencia o la inconveniencia de aprovechar la fuerza motriz, problema sobre el cual podreis formaros un juicio con los datos publicados hasta ahora, debo decir que la Empresa de Agua Potable no estudió a fondo esta faz de la cuestión, respetando el dictámen desfavorable de la primera autoridad Higiénica del país. No se estudió pues la verdadera diferencia de precio entre los dos trazados, no se buscó una solución mas económica i al alcance de los constructores del país; aprovechando la energía para compararlas con la que se adoptó en definitiva i no estudió el verdadero costo de una caída independiente del agua potable.

El escrúpulo hijiénico es el responsable de la encarnizada lucha que libran ahora las dos soluciones, lucha que resuelta cuando aun no habia intereses de por medio, habria sido serena i tranquila i que planteada a última hora puede hacer peligrar el éxito mismo de las propuestas.

A propósito del escrúpulo hijiénico voi a contaros otro caso interesante que se relaciona con el problema en estudio.

Cuando don Domingo Víctor Santa María echaba las bases del proyecto de Alcantarillado de Santiago, bases que en sus líneas jenerales fueron adoptadas en la obra construida, fijó su atencion en la probable escasez de agua que habria en el porvenir, e ideó construir en la ciudad una doble red de cañerías de presión, una destinada a los diversos servicios domésticos con agua potable sin tacha i otra destinada al riego de jardines i de calles i al lavado de las alcantarillas con agua del Mapocho previamente decantada.

Los médicos pusieron el grito en el cielo i algunos de ellos declararon que la probabilidad de que por una equivocacion se uniera la red del agua potable con la otra era tan grave que ponía en peligro a todos los habitantes de la ciudad.

Hoi señores bebemos esa agua del río malamente filtrada i las calles no se riegan, las fuentes públicas están secas i en los jardines las plantas mueren por falta de riego.

Desechada la solución de aprovechar la fuerza motriz i de acumular las caídas, debe necesariamente destruirse esa energía con obras intercaladas a lo largo del trayecto.

El rozamiento natural de la pared comun de albañilería, cualquiera que sea su forma, no basta para disminuir la velocidad lo necesario para que no se destruyan las obras.

Hai que proyectar obras especiales. Una solución es construir las paredes aumentando el rozamiento artificialmente por medio de puntas de albañilería o de piedras.

El acueducto podria tener la misma pendiente del terreno.

Seria necesario aumentar el espesor de las paredes i el ancho del acueducto para que la napa de agua fuese delgada i pudiera estar en contacto con las puntas.

Otra solución es construir el acueducto con la pendiente del terreno intercalando en él tabiques transversales hasta hacer subir el agua a cierta altura donde tome una velocidad admisible.

Estos tabiques dejarían abierta la parte inferior del acueducto para evitar embanques i podrían construirse de cemento armado en una cancha especial e introducirlos en ranuras dejadas de antemano en las paredes, de modo de poder obtener prácticamente el resultado colocando mayor o menor número de tabletas.

Estas pueden afectar diferentes formas: por ejemplo el de la figura (\*) o el de verdaderas rejas de cemento armado.

Puede hacerse también la obra con cañerías de fierro o acero sin presión, pero con velocidades mayores que en la albañilería.

Otra manera de resolver la dificultad es hacer cañerías en presión con cajitas de agua intercaladas. Para evitar las velocidades inadmisibles se haría en el extremo inferior de cada trozo un estrechamiento calculado convenientemente i que habría que cambiar de tiempo en tiempo; también se podría colocar cañerías dobles i su extremo inferior con pistones colocados uno frente al otro para producir un choque entre las dos corrientes.

Otra forma de adaptar el perfil de la obra al del terreno i evitarse escavaciones profundas, es intercalar las caídas a muy corta distancia unas de otras, pero evitando que la velocidad que aumenta en la caída misma no se normalice en el trayecto antes de llegar a la caída inferior.

Para esto puede dividirse el agua por medio de un partididor para verter una porción contra la otra, con velocidades normales al eje jeneral de la obra.

Así las caídas pueden acercarse, disminuyendo las escavaciones i evitando una aceleración de la velocidad.

Otro tipo muy interesante de caída consiste en colocar barrotes en forma de láminas que hagan que los filetes líquidos sigan una dirección vertical.

Los barrotes inferiores están más juntos i son más gruesos que los superiores para que todas las ranuras tengan el mismo gasto.

Muchos otros tipos de caídas se pueden estudiar, pero voy a exponer el criterio que me guió para preferir los tipos adoptados.

Al preferirse la solución de traer agua de la Laguna Negra, es porque se desea hacer obras definitivas i no se justificarían mezzquinas económicas dejando velocidades exajeradas, caídas muy próximas unas de otras, o la obra en peligro de ser arrastrada por los ríos o por las nieves.

Creo, por consiguiente, que los espesores jenerales deben ser exajerados para poder compensar algún defecto de construcción como para dar al acueducto resistencia suficiente contra golpes o presiones imprevistas.

Creo también que si no se aprovecha la fuerza motriz se debe tener siempre presente que gravitan sobre las albañilerías 60,000 Km, de modo que las caídas deben ejecutarse tomando todas las precauciones posibles para evitar un fracaso, eligiendo dispositivos seguros i bien estudiados, proyectando espesores más bien exajerados i

---

(\*) No se ha publicado ninguno de los muchos planos i figuras con que ilustró el señor González su interesante conferencia.

colocando en los puntos de gran velocidad material especial como fierro fundido i piedra canteada i distanciando las caidas unas de otras, para que en el intermedio el agua recupere la velocidad normal.

Tambien se deben hacer las obras prudentemente visitables para no multiplicar las cámaras de visita i para poder materialmente ejecutar alguna reparacion.

Los coeficientes debidos al rosamiento los he adoptado mas bien exajerados para tener la garantía del escurrimiento de 3,00 metros cúbicos cantidad fijada en las bases. El peligro del desgaste del estuco i la reconocida falta de prolijidad de nuestros obreros, en este caso aumentada por trabajar de un tipo pequeño, hace que el estuco quede mui imperfecto.

Elejí la tercera categoría de la fórmula de Bazin i creo justificar esta eleccion con numerosos ejemplos prácticos i con obras proyectadas en el extranjero.

La velocidad del agua dentro del tipo es de 2,20 m por segundo i si el estuco quedase bien pulimentado la velocidad alcanza a 2,70 m.

En los tipos he proyectado obras corrientes i sencillas i me he alejado de novedades o de obras imposibles de calcular.

Los siguientes son los tipos adoptados en el proyecto.

Las caidas están provistas de un muro que forma un vertedero i que tiene en su parte inferior orificios revestidos de fierro fundido. Estos orificios tienen un triple objeto. Dejan escurrir el agua cuando el gasto en el acueducto es pequeño, evitando que caiga desde arriba sobre la albañilería desnuda. Evitar el embanque de la parte superior i dividir la cantidad de agua para que las velocidades no sean excesivas.

El tipo de pozo obedece a ideas semejantes.

Los tipos de tomas se han tomado con precauciones contra la nieve.

En la Laguna del Encanado se proyectó una torre que toma el agua a cierta profundidad para evitar las dificultades de un posible conjelamiento de la superficie.

En la toma inferior se proyectó un vertedero lateral provisto de vigas que pueden espaciarse a voluntad para asegurar el escurrimiento. Estas vigas impiden la introduccion de trozos de hielo en el acueducto

Las demas obras de arte proyectadas no tienen soluciones especiales.

No habiéndose hecho un levantamiento mas prolijo del terreno donde están ubicadas estas obras, naturalmente al construirlas será necesario alterar algo sus dimensiones pero los planos confeccionados son suficientes para fijar sus características i para calcular el cubo.

---

Voi a decirs algo sobre la calidad del terreno sobre que están las obras fundadas, que sobre este punto se han hecho muchas apreciaciones.

La verdad es que no basta para conocer esos terrenos haberlos visitado. Su perfecto conocimiento se desprende de la observacion continua de sus fenómenos durante algunos inviernos. Como esto es ya imposible tenemos que conformarnos con apreciaciones i con la esperiencia adquirida en otras obras similares.

El ejemplo del trasandino es mui poco semejante. Mientras el ferrocarril se re-

monta hasta 3 000 i tantos metros sobre el nivel del mar el acueducto llega hasta 2 500.

La cordillera de Maipo es en jeneral sólida miéntras que la de Aconcagua está llena de rodados peligrosos.

Ademas el ferrocarril presenta contra la nieve una plataforma mui ancha i cualquier piedra caída en ella interrumpe el tráfico miéntras que el acueducto totalmente enterrado puede soportar movimientos de la capa superior sin sufrir alteracion.

Los fracasos del trasandino se deben en gran parte al trazado en la ladera de los cerros siempre en movimiento aun en verano, miéntras que el acueducto o va en túneles, como lo proyectó el señor Brockman o enterrado en el fondo del valle como en el proyecto oficial.

En casi la totalidad del trayecto del proyecto oficial hai vejetaciones antiguas i aun potreros antiguamente alfalfados i los puntos débiles como el paso del Sifon primero del Yeso se pueden reforzar fácilmente.

En el presupuesto confeccionado he incluido gruesas partidas para defensas.

Mi franca opinion, señores, es que en ningun caso las nieves i piedras caidas de las alturas producirán un fracaso de la obra, pero que en algunos puntos será necesario tomar precauciones especiales i ejecutar refuerzos en los primeros años de explotacion.

---

Otro punto sobre el cual ha habido diversidad de opiniones es la ubicacion del estanque.

El programa de trabajo que se me encomendó fijaba como punto de llegada el actual estanque de Providencia, de modo que no he tenido intervencion en el proyecto ni en su ubicacion.

El estudio de otro estanque debe formar parte de otro programa relacionado con la red de la ciudad. El problema de la aduccion resuelve la cantidad de agua que necesita la ciudad.

El problema del estanque i de la red resuelve la presion que necesitan las cañerías en diversos barrios i es necesario estudiarlo con detencion.

El trabajo demoroso es el primero, el segundo, una vez determinado qué debe hacerse, puede ejecutarse rápidamente.

Miéntras tanto creo que es prudente construir el acueducto de manera que el nuevo estanque pueda colocarse mas alto. La excesiva presion no puede dañar pues es fácil disminuirla, una vez construido el estanque en un punto bajo no se podria aumentar la presion sin medios mecánicos.

Creo haberos espuesto las líneas jenerales i los puntos peculiares del proyecto oficial.

El Congreso dictó una lei admitiendo en ella que los contratistas pudieran hacer variaciones al proyecto i aun modificar las fuentes mismas de la produccion del agua.

Quedaba abierto ancho campo para la actividad i para la intelijencia de todos los ingenieros que podian luchar con razones técnicas para obtener la ejecucion del trabajo.

Las numerosas propuestas hechas por ingenieros competentes i por casas de prestigio mundial son la mejor prueba que el acueducto del proyecto oficial llenará cumplidamente su objeto de traer el agua de la Laguna Negra a Santiago.

### RESUMEN

En resumen señores, creo que los estudios técnicos de este problema están terminados.

Hai dos soluciones, una la del trazado por el fondo de los valles, destruyendo la enerjía en pequeñas caidas i otra acumulando las caidas i aprovechando la fuerza motriz.

Ambos proyectos están en poder del Gobierno i por lo demas tienen tipos i características bien semejantes.

Los ingenieros chilenos i estranjeros han agotado absolutamente el estudio con bien poco gravámen para el Estado.

El Gobierno se encuentra en situacion de resolver.

Si las propuestas fracasan es necesario dejar constancia que no serán los responsables los ingenieros que han gastado un gran esfuerzo en la elaboracion de proyectos i confeccion de propuestas. La responsabilidad caerá sobre la incapacidad creciente de nuestros gobernantes que han sido los responsables de los grandes fracasos de los últimos años.

I ¿por qué extrañarse? Ya está lejano el dia en que un senador temió que el ferrocarril a Valparaiso arruinara el negocio de carretas, pero aun suenan en los oidos las opiniones vertidas en el Senado sobre la ventaja de las antiguas acequias sobre las actuales alcantarillas.....

Hago votos fervientes porque esta vez cualesquiera que sea el criterio del Gobierno se de solucion al problema no postergándolo inútilmente i ordenando hacer costosos e inútiles i demorosos estudios.