

El Proyecto del Lago del Yeso

POR

RAMON SALAS EDWARDS

Estas líneas no son sino una breve esposicion del proyecto del Lago del Yeso.

Para hacer fácil su lectura se suprimirá la discusion de las soluciones, los detalles técnicos que exigen el exámen detenido de los planos de construccion, i la esposicion de los cálculos i observaciones experimentales, de las que sólo los resultados mas importantes se establecerán.

Mas amplias informaciones i planos completos del terreno i de las obras se encuentran en una publicacion oficial, que se puede consultar en las diferente bibliotecas técnicas, jenerales i administrativas, i que existe en el depósito de impresos del Ministerio de Obras Públicas.

Esta publicacion consta de dos volúmenes, titulados Lago del Yeso: Testo del proyecto (XV-87-14 gráficos) i Atlas del Proyecto (20 planos), firmados por don Jerrardo van M. Broekman, a quien el Gobierno confió el estudio del proyecto.

El autor de esta esposicion conoce el proyecto por haber trabajado en él.

SÍNTESIS HIDROGRÁFICA E HIDROLÓGICA DEL RIO MAIPO

En el adjunto plano hidrológico del rio Maipo, aparece una parte del territorio de la República, que en estas latitudes mide unos 150 Km de ancho, desde la cordillera de Los Andes, cuyo *divortia aquarum* de 5 000 m de altura sobre el mar aproximadamente aparece indicado, hasta el Pacífico, que no cabe dentro del Mapa.

Entre esta cordillera i la de la costa se estiende el fértil valle central, que en las diferentes latitudes toma el nombre de los rios que lo atraviesan i sirven para su regadío, i que en el valle de Maipo, en los alrededores de Santiago, alcanza una altura de 500 m sobre el mar.

El rio Maipo se forma por la agregacion sucesiva de los siguientes afluentes principales: Maipo Alto, Volcan, Yeso i Colorado.

La pendiente media con que el Maipo baja desde la altura de 5 000 m hasta el mar, resulta de dividir este desnivel por el desarrollo que el rio alcanza al atravesar los 150 Km de territorio, i es como de $2\frac{1}{2}\%$; pero esta pendiente no es uniforme, suave en la desembocadura, es como de 1% en el valle central; i en la parte superior de los diferentes rios mencionados, entre los cerros que forman la cordillera se eleva a 2, 4, 10% , i mas en los últimos pequeños esteros, cuya acumulacion forma los rios.

En el mapa aparecen indicados los *divortia aquarum* de las hoyas de los rios principales.

En esta parte del pais no llueve sino en invierno, i esta condicion a que nos hemos habituado es un verdadero fenómeno escepcional: al otro lado de Los Andes, en Mendoza las lluvias mas intensas caen en la estacion calurosa, i en Buenos Aires llueve con igual frecuencia e intensidad en todos los meses del año.

Los vientos que traen en invierno la evaporacion del océano, la dejan caer en todo el ancho del territorio, pero principalmente en las rejiones de los Andes, frias por su gran altura, donde es mas intensa la condensacion de los vapores acuosos.

Las evaporaciones que se condensan en la rejion andina, no caen en forma de lluvia sino que, solidificada el agua por la baja temperatura, en forma de granizo o nieve.

Esta nieve permanece sin deshacerse o derritiéndose mui débilmente todo el invierno, i por esto los caudales de los rios en la cordillera son mínimos en invierno; cuando llega la primavera comienza el deshielo que va progresivamente aumentando hasta los grandes calores de Diciembre i Enero, entonces agotada en gran parte la provision de nieve caída, i bajando mas tarde la temperatura, empiezan a disminuir los deshielos, que continuan disminuyendo durante todo el otoño, para volver nuevamente a su mínimo en el invierno siguiente.

Esta marcha jeneral tiene sus variaciones ocasionales, años hai en que cae poca nieve que se derrite luego i comienza el rio temprano a decrecer, otros en que el derretimiento se atrasa por haber sido tardia la entrada de los calores de verano, etc.

Todos los rios andinos de la rejion, considerando como tales los cursos sobre 2 000 m, tienen un régimen semejante, su caudal mínimo de Junio i Julio es como la mitad del caudal medio, su caudal máximo de Pascua i Año Nuevo es como el duplo.

Hai naturalmente diferencias debidas a la forma de las hoyas, su orientacion al viento i al sol, talvez a la presencia de grandes acumulaciones seculares de nieve, tales como los ventisqueros de Nieves Negras en la hoya del Volcan, etc.

En jeneral tambien los caudales son proporcionales a la estension de las hoyas, que dan en esta rejion como 20 litros por segundo por cada Km^2 como caudal medio;

esta cifra no es rigurosamente constante de una hoya a otra: varía como la cantidad de lluvia caída varía de un pueblo a otro vecino.

Tampoco esta cantidad es invariable de un año a otro; bien que no es tan variable como las alturas de agua caída; pues los años de abundantes nieves acumulan un sobrante que no alcanza a derretirse i suple en parte las nieves escasas de otros años.

La altura de las lluvias anualmente caídas en Santiago varía de 100 a 800 milímetros i los gastos del Maipo de 2 000 a 4 000 millones de metros cúbicos anuales; al paso que las lluvias varían en razón de 1 a 8, los gastos sólo de 1 a 2.

En la época de los grandes derretimientos el caudal varía considerablemente según la hora del día, mas o menos espuesta a los rayos solares; en Enero en hoyas medianas como, la del río Yeso en la boca del valle—300 km²,—el río después de los calores del día tiene doble caudal del que corre después de los fríos de la noche.

Es de notar que en la cordillera alta durante el verano, la temperatura llega a 40° C i durante la noche de esos mismos días baja a 0°.

En los meses de invierno, Junio i Julio, las variaciones son casi insensibles, i en las hoyas estensas se compensan en gran parte las creces de un afluente con las bajas de otros.

Fuera de estas variaciones, que constituyen el régimen diario de los ríos andinos, fuera de las variaciones indicadas anteriormente que constituyen su régimen anual i fuera de las variaciones de año lluvioso i años secos, hai gran número de irregulares variaciones aperiódicas ocasionadas por los días fríos i calientes, los días de sol i días nublados, los días de viento intenso i de relativa calma; a consecuencia de ellos el río no pasa con continuidad de su mínimo a su máximo, sino que durante algunos días tiene incrementos hasta de 30%, que desaparecen i reaparecen irregularmente.

Mui diferente es el régimen de los ríos en su curso superior, en efecto la nieve que cae bajo los 2 000 m, en jeneral se derrite con los primeros calores, i mas abajo no cae nieve sino lluvia, que en gran parte se escurre inmediatamente; así se originan con lluvias prolongadas las enormes creces fugaces de los cursos inferiores.

El río Maipo después de recibir su último afluente, el río Colorado, al llegar al lugar llamado «La Obra», donde están las boca-tomas de los primeros grandes canales de irrigación, tiene un gasto cuyo mínimo es 30, 40 o 50 m³ por segundo según los años, cuyo máximo sube a 120, 160 o 200 m³, prescindiendo de las creces transitorias de invierno, i cuyo valor medio es de 70, 90 ó 110 m³ por segundo.

El río se divide aproximadamente en 5 000 partes o regadores del canal de Maipo; así cada regador da un caudal medio como de 18 litros por segundo, con mínimo de los mínimos de 6 litros (invierno de año seco) i máximo de los máximos de 40 litros (verano de año lluvioso).

La hoya que desagua en el Maipo hasta este punto, mide unos 5 000 km², cada regador es pues producido por 1 km² de cordillera aproximadamente.

El agua que escurre de una estension de hoya andina en esta rejion, en el curso del año, equivale a una capa de 40, 60 u 80 cm, segun los años.

Esta altura es en término medio como el doble de la altura anual de lluvia en Santiago; la altura de nieve—reducida a agua—que cae en la cordillera sería todavía mucho mayor pues no toda escurre, sino que gran parte se infiltra i evapora.

NECESIDADES DE LA IRRIGACION

En el mapa anterior aparecen indicados los canales principales que distribuyen en el valle central el caudal del rio Maipo, para la irrigacion.

Las líneas que marcan el curso de los rios, son raices que beben en la cordillera el agua que destila la nieve, i converjen en el gran tronco del rio Maipo; de él arrancan ramificaciones, que se dividen i subdividen i distribuyen en el valle, el agua fertilizante, desde La Angostura hasta Colina, en una estension de 150 000 hectáreas.

Es inmenso el valor del agua de irrigacion, el derecho a cada regador se vende en unos \$ 20 000; el rio Maipo vale \$ 100 000 000.

El valor del terreno que se riega con sus aguas, incluyendo el valor de estas, es de unos \$ 300 000 000; naturalmente sin incluir el valor de la ciudad de Santiago, por si sólo vale el doble i el triple de esta cifra.

Para cada regador hai un km² de cordillera i un km de cordillera produce en año seco 400 000 m³.

Limitada la cantidad de agua de que se dispone, el agricultor pide que se le entregue en la forma mas adecuada para su aprovechamiento.

Se objeta la diferencia de años secos i lluviosos, mas ¿quién puede poner lei a los cielos o guardar los sobrantes de años abundantes para completar años secos, tratándose de diferencias que alcanzan a 2 000 i 3 000 millones de m³?

Se objeta que el agua que escurre durante los meses de lluvia no es necesaria para la agricultura, que durante primavera i otoño viene poca, que en verano suele sobrar, i esta fundada queja, puede ser satisfecha en parte al ménos: puede guardarse las aguas de invierno para la primavera i los sobrantes de verano para otoño.

El régimen anual con que escurre el rio, con caudales, que en verano son dobles del caudal medio i en invierno la mitad, no es la distribucion anual de las necesidades agrícolas; cierto es que ellas son mayores en verano pero no en esta proporcion i en invierno se reducen totalmente estas necesidades.

En resumen: el agua para la irrigacion falta en el valle de Maipo, principalmente en primavera i otoño: conviene reservar los sobrantes del invierno i del verano para la primavera i el otoño.

Esta es la cuestion, cuestion de regularizacion.

La ciudad de Santiago—con buenos o malos títulos—saca de uno de los canales de la Sociedad del Canal de Maipo, agua para el servicio de sus acequias i alcantar

rillas; pero la escasez de agua de los años últimos ha hecho reclamar enérgicamente contra ella, i tanto mas cuanto que se proyecta privar al rio de uno de sus afluentes el Manzanito, para destinarlo a agua potable.

Esto ha excitado a la Administracion Pública, a buscar los medios de incrementar el poder irrigatorio del rio, mediante obras de regularizacion, para llegar a un convenio de compensacion con la Sociedad del Canal de Maipo.

Esta es una crisis o excitacion periódica, funcion de los caudales del rio i por ende de la abundancia de las lluvias.

Por el año 1875 hubo un considerable movimiento de opinion en favor de estas obras a consecuencia de algunos años secos «La hora de las represas ha sonado ya para Chile» exclamó un ingeniero de entónces. Vicuña Mackenna i otros repitieron el eco de esa hora que sonaba en la campana de los tiempos.

Las lluvias abundantes de los años siguientes apagaron el sonido completamente.

Hoi despues de nuevos años secos, suena nuevamente la hora de las represas i su sonido tiene los penetrantes ecos arjentinos, del alto valor alcanzado por el agua i por la tierra.

Pero los años lluviosos apagarán nuevamente los ecos de la campana.....

EL LAGO ARTIFICIAL DEL YESO

Si se hubiera de guardar el total del agua de invierno, se deberia ubicar los tranques de almacenamiento en el curso inferior del Maipo, por donde pasa el caudal total; en ellos tambien se podria pretender guardar las creces de lluvia.

No hai en las hoyas bajas, sitios adecuados para obras de estas dimensiones gigantescas.

Para guardar el total de los sobrantes de verano se puede ubicar las obras de almacenamiento en alguno de los cursos superiores, en alguno de los afluentes; pues para esto no se ha de guardar el total del caudal, sino una reducida porcion de él.

Un sitio especialmente adecuado para almacenar el agua, ya recomendado en tiempo de Vicuña Mackenna, i cuya fama desde entónces ha seguido estendiéndose, es el Valle del Yeso a 2 500 m sobre el mar.

El lago artificial proyectado en este Valle, aparece indicado en mapa.

Subiendo por el rio Yeso, que al llegar allá va encajonado en un desfiladero angosto de unos 60 m de ancho, por donde baja el rio con una pendiente de 25 por mil, se llega de improviso a un amplio valle de $1\frac{1}{2}$ kilómetro de ancho i sólo de 8 por mil de pendiente.

En esta parte el rio Yeso ha recojido el agua de 325 kilómetros cuadrados de cordillera, que producen la décima parte del caudal total del Maipo.

El caudal de verano que en años medios se podrá almacenar ahí, cortando el curso del Yeso, es de 100 millones de metros cúbicos, que serian consumidos por la irrigacion en su mayor parte en el otoño siguiente. I el caudal que se podrá almace-

nar en invierno alcanza a unos 80 millones de metros cúbicos, que unidos al sobrante, serian consumidos en primavera.

El Lago Artificial que se proyecta es capaz de 140 millones de metros cúbicos

No es posible, evidentemente regularizar completamente el rio Maipo, con un lago artificial que sólo recibe la décima parte del caudal del rio: continuarán los otros $\frac{9}{10}$ escurriendo en invierno, inútilmente; i aun el sobrante del Maipo en el verano no podrá ser almacenado completamente, pues es mayor que el caudal del Yeso.

Pero este valle es un sitio perfectamente adecuado para iniciar obras útiles i económicas de regularizacion.

Lo adecuado de la configuracion topográfica, se puede juzgar comparando en este i otros embalses semejantes, el cociente que resulta de dividir el volumen de agua almacenada por el volumen de la obra de tierra que cierra la garganta.

Para hacer justa esta comparacion es necesario suponer las diversas gargantas cerradas por tranques de iguales proporciones i taludes.

Haciendo esta comparacion con un tipo *hipotético* de tranque de base igual a la altura, se obtiene las siguientes cifras, en siete embalses americanos de 50 a 200 millones de metros cúbicos de capacidad:

Santo Amaro, Brasil	2 000
Peñuelas, Chile	1 900
Lago del Yeso	1 400
Lower Otay, California.....	850
Morena, California.....	550
Litle Bear, California.....	350
Necaxa, Méjico.....	150

Las obras necesarias para el almacenamiento del agua en este valle, comprenden la formacion de un tranque o mejor de un cerro artificial en la garganta i una torre de toma.

El cerro artificial sería formado por un procedimiento relativamente nuevo, nacido en Estados Unidos, de donde se ha estendido a Europa i principalmente a las naciones que aún tienen grandes obras de irrigacion por construir, como Méjico i Japon.

Un enérgico chorro de agua, que sale con gran velocidad de un largo cañon, constituye una verdadera arma de destruccion, una verdadera artillería de gran calibre i proyectil continuo.

Estos chorros aplicados contra terrenos de acarreo los demuelen facilmente.

Con el gran caudal de agua, se hace escurrir el *detritus* originado, hasta los bordes de una laguna que cubre toda la estension donde debe levantarse el cerro artificial.

El material mas grueso se deposita en las orillas i va reforzando i levantando los bordes; el mas fino avanza hacia el centro, donde decanta; se efectua un lento drenaje; el escurrimiento de agua hace penetrar en el masa las partículas finísimas, i este *colmataje* produce la impermeabilidad de la masa central.

Así, mientras los chorros demuelen el terreno i mientras el *detritus* es arrasado por el agua, se va constituyendo un macizo, cuyo núcleo es material fino impermeable i cuyas laderas están constituidas por piedras i material grueso.

El agua bajo presion se obtiene de la Laguna Negra; que está vecina al Valle i 200 m mas alta que él.

El material destinado a formar el cerro artificial por este procedimiento hidráulico, es el que constituye la garganta del valle.

Este valle parece haber sido un antiguo lago glacial; en efecto los grandes ventisqueros que en cierta edad jeológica descendian desde la cordillera, empujaban una gran masa de rocas que trituraban en su marcha, moraina frontal: cuando la elevacion de temperatura comenzó a deshelar los ventisqueros, se recojieron los hielos, i las aguas de derretimiento quedaron detenidas por esta moraina frontal, que cerraba el valle orijinando un gran lago; mas tarde se rompió este dique: se abrió en esta moraina la garganta actual de sólo una vijésima parte del ancho del valle.

Estas morainas son el material reconocido como mas adecuado, para aplicar el procedimiento hidráulico descrito.

Así, pues, el hombre iría allá a reparar esa boca por donde se vació el antiguo lago con el mismo antiguo material, con un procedimiento copiado de la naturaleza, i su obra armonizaría en método, material, forma i dimensiones con la cordillera.

El tranque puede en estas condiciones alcanzar proporciones gigantescas sin grandes costos, sus dimensiones i las de la garganta del valle pueden consultarse en los dos cortes adjuntos.

El cubo de escavacion para la limpia del suelo es de 350 000 metros cúbicos, el del pedraplen i terraplen hidráulico es de 1 900 000 metros cúbicos.

Las obras de toma son constituidas por un gran túnel de 5 metros de diámetro i 800 de largo a través de la moraina, i por la gran torre de toma cuya elevacion se reproduce anexa.

En esta toma se destruye la inmensa enerjia que representa un caudal de 40 metros cúbicos por segundo con una caída de 40 metros de altura.

La torre, que mide 67 metros desde la base a la cúspide, es doble, un tubo interior de 3 metros de diámetro, i un muro exterior de 15 metros de diámetro i 250 metros de espesor en la base.

El agua puede penetrar en el forro interior por 16 conductos dotados de válvulas colocadas entre ambos forros, i de compuertas de seguridad colocadas del lado exterior.

Estas 16 bocas de admision estan dispuestas en 4 filas de 4 bocas cada una, i las 4 bocas de cada fila están en los extremos de dos diámetros perpendiculares.

Por estas 4 bocas diametralmente opuestas entrarán chorros de agua, que chocarán entre sí; se resistirán mutuamente sin dañar la albañilería; igualmente poderosos ninguno cederá i despues de elevarse majestuosos, caerán rendidos sobre una masa de agua que amortiguará su golpe, i les dejará escurrir tranquilamente por regulados orificios hacia el túnel de salida.

El rebalse necesario para evacuar el caudal del rio, lleno el lago i cerradas las compuertas, está constituido por una copa que rodea la torre en su parte alta i desagua en el tubo central; a lo largo de sus 30 metros de desarrollo pueden verter las mayores creces del rio.

Para prever ademas el remoto peligro de creces anormales que exedan todos los cálculos, se proyecta revestir el cerro artificial i formar sobre él una especie de canal, de manera que las mayores creces puedan pasar por él, sin destruirlo.

El tipo de este revestimiento i su costo no ha sido fijado; se reserva su determinacion para efectuarla en curso de ejecucion i de explotacion parcial del lago.

El presupuesto total de la obra alcanza a unos 4 millones de pesos de 18 d. i su plazo de ejecucion a unos 4 años.

La obra importa pues unos \$ 800 de 18 d por regador, sólo un 4% del valor de las aguas del Maipo, i aumenta el valor práctico de ellas en una proporcion considerablemente mayor; pues mediante la reserva de los excesos relativos de verano e invierno, incrementa en 20% i 30%, los caudales insuficientes de primavera i otoño.

RAMON SALAS EDWARDS

Santiago, Agosto 31 de 1912.

PLANO HIDROLÓGICO DEL RIO MAIPO

TORRE DE TOMA



