

## PROYECTO DE EMBALSE DE AGUAS

PARA RIEGO, EN LA PROPIEDAD DE DON BELARMINO MARIN, DENOMINADA "PATACON", EN LA PROVINCIA DE CURICÓ

---

Tratándose de realizar un proyecto de tranque, es necesario resolver las cuestiones previas siguientes:

- 1.º Eleccion o emplazamiento del embalse.
  - 2.º Establecer el rol de las aguas exijido por los fines que se persiguen.
  - 3.º Ubicacion del tranque propiamente dicho, i
  - 4.º Obras accesorias..
- 

### A

*Ubicacion o emplazamiento del embalse.*— En el caso que nos ocupa está determinado por la configuracion misma de la localidad; pues se trata de una cuenca única rodeada de cerros por todos lados, con una salida estrecha de las aguas i en una situacion tal que recoge todas las de las distintas vertientes i las agnas lluvias de una hoya hidrográfica bastante grande.

Podria agregarse que esta cuenca se encuentra cerca de los terrenos por irrigar i en una altura tal que permite aprovechar en su totalidad las aguas almacenadas.

La naturaleza del suelo es adecuada, por cuanto las faldas de los cerros que bañarán las aguas del embalse, son constituidas de granito descompuesto (maicillo) mezclado con arcilla, dando un conjunto compacto que no estará espuesto a disolverse ni a ser alterado por las aguas.

El fondo del embalse es un terreno vegetal, bastante sólido i poco permeable.

Las aguas lluvias i dos vertientes permanentes alimentarán el tranque; el fondo de los cauces de ámbas vertientes está constituido de granito descompuesto permeable, que debe ser de acarreo en su mayor parte, por cuanto en varios puntos observamos que la roca o tosca dura aparecia en la superficie.

### B

#### *Volúmen de aguas por conocer o rol de las aguas*

1.º *Volúmen necesario.*— Este volúmen depende de cuatro factores: de la rejion de que se trata, de la estension por regar, de la naturaleza del cultivo i del sistema de riegos.

La rejion de que se trata está en la provincia de Curicó i a unas quince leguas al poniente del Ferrocarril, de modo que podria considerarse formando parte de la zona central de Chile, por tanto, de lluvias abundantes en invierno i por escepcion en verano; fuertes calores en esta época.

La estension por irrigar, dada la naturaleza i condiciones del suelo en el plan, que es constituido de tierra vejetal con légamo en partes i que conservará la humedad, siendo el resto de faldas suaves de cerros, nos ha inducido a dividir el suelo así: dos terceras partes de plan, con riegos escasos i de tarde en tarde, la otra tercera parte con riegos mas frecuentes.

Las necesidades actuales serian las de regar 60 hectáreas correspondientes a plan i 30 correspondientes a faldeos, segun los resultados que arroja el levantamiento de la zona hecho a taquímetro i cuyo plano se acompaña.

El cultivo que comunmente habrá en este suelo será de chacras i pasto. Se adopta jeneralmente como temporada de riego la de seis meses en los alrededores de Santiago, pero por los datos recojidos en Curicó, i por la naturaleza del suelo, parece suficiente considerar solo la de cinco meses.

La administración francesa suele adoptar para las concesiones de aguas la cantidad de un litro por segundo i por hectárea durante la temporada de riego, i en España solo medio litro en las mismas condiciones.

Basándonos en estudios practicados por los ingenieros chilenos que se han dedicado a esta clase de trabajos i en la práctica deducida por los grandes agricultores del pais, podria creerse mas adecuado el término medio de 0,75 litros por segundo i por hectárea, haciendo los riegos metódicamente i con procedimientos razonados.

En el canal de Maipo, un regador se estima en 15 litros por segundo i a veces ménos cuando hai sequías, llegando por escepcion al máximo de 20 litros, i basta un regador para cultivar 15 hectáreas 722, o sea cada hectárea un gasto permanente de 0,95 litros por segundo.

Pero, si tomamos en cuenta que en la zona nuestra el temperamento es mas templado i húmedo por estar cerca de la costa i que tratándose de aguas almacenadas por procedimientos artificiales se tendrá esmero en una distribucion razonada de ellas, de modo a evitar pérdidas, se justificará el factor 0,50 litros por segundo i por hectárea que hemos adoptado; igual al de España.

Los riegos se practicarán cada 7, 10, 12 o 15 dias, segun el suelo i la clase de cultivos. En la práctica se hacen jeneralmente cada 12 o 15 dias. Tomaremos los períodos de 15 dias, no influyendo en nada esto respecto a la cantidad de agua necesaria, puesto que ya tenemos adoptado el factor de 0,50 litros por segundo i por hectárea.

Con estos datos, necesitamos en el período de 5 meses de riego la cantidad de 6480m<sup>3</sup> por hectárea i como la superficie por regar es de 90 hectáreas, el volúmen de aguas necesario será de

$$6480\text{m}^3 \times 90 = 583200\text{m}^3$$

2.º *Volúmen de aguas disponible.*—Dos fuentes surtidoras alimentarán el tranque: las aguas lluvia i dos vertientes.

*Lluvias.*—Respecto de las aguas lluvia, una parte se escurre en la superficie; otra

se infiltra segun la naturaleza del suelo, de su constitucion jeológica, de la mayor o menor pendiente, de la vejetacion, etc; otra se evapora en proporciones variables en un mismo lugar con los años i en un año con las estaciones.

Se sabe que la razon entre la cantidad de aguas que se puede recojer por escurrimiento superficial i el agua caída, se llama *coeficiente de escarrentía* del cuenco.

En el lago de Tucino (Italia) en que hai cuencas mui paradas, el coeficiente de escurrimiento alcanza a 73 por ciento; para la Durance (Francia) es solo de 43 por ciento; en Wapper (tranque de Alemania) se ha encontrado como término medio para la primavera 0,567, para el verano 0,463, para el otoño 0,737 i para el invierno 0,827, siendo para todo el año 0,648.

Duran Clayd aconseja tomar coeficientes bajos para no esponerse a percances, i al efecto indica tomar 33 por ciento, es decir, colocarse en las condiciones mas desfavorables.

Parece, sin embargo, que esos coeficientes tan bajos no serian exactos aquí, por cuanto en Europa llueve con frecuencia en verano, haciendo bajar el coeficiente de escarrentía por efecto de la sequedad del suelo i de la mayor evaporacion en las faldas por donde se escurre el agua, miéntras que en Chile llueve por escepcion en verano. Además, nuestro embalse recoje sus aguas en pleno invierno i en esa estacion el coeficiente de escarrentía en Alemania es de 0,827.

En atencion a lo espuesto, se podria adoptar en este caso un coeficiente de 0,50.

Corrobora este modo de pensar, las observaciones que ha hecho el ingeniero Guillermo en el lago de Peñuelas; dice el señor Lyon que el 50 por ciento de las aguas lluvia se aprovechan. Siendo de notar que las faldas de los cerros son mas o ménos suaves, miéntras que en el caso que nos ocupa son bastante paradas.

Además, segun M. Minard, de las observaciones practicadas en el embalse de Gros-Bois, situado en un terreno bastante impermeable de la Borgoña, el agua embalsada era 0,58 de la que acusaban los datos pluviométricos en la cuenca de recepcion respectiva.

El ingeniero italiano señor Pareto, añade que hai depósitos en que esta relacion llega a 0,69; pero que en los mejores terrenos hai que adoptar un término medio jeneral de 0,50.

Con el coeficiente adoptado i los datos proporcionados por la seccion metereológica del Observatorio Astronómico de Santiago (en Curicó no los hai), desde 1849 a 1900, aparece solo el año 1863 con 0,00865 de agua caída, es decir el año ménos lluvioso en un período de 51 años de esperiencias.

Como la hoya hidrográfica tributaria del embalse, segun el plano que se acompaña mide 872 hectáreas 7580; para el año 1863 daría como volúmen aprovechable  $0,00865 \times 8727580 \text{m}^2 \times 0,50 = 376068$  metros cúbicos de agua.

*Vertientes.*—Estas son dos cuyo aforo practicado el 22 de Mayo del presente año, despues de varios dias de sequía, dió por resultado la cantidad de 15 litros por segundo, en conjunto.

Dada la naturaleza permeable del suelo en la parte donde se hizo el aforo i que corresponde al emplazamiento del muro de represa, dado el espesor de 8 metros mas o ménos de esa capa permeable, deducido de la inclinacion de ámbos cerros i anchura del valle, parece que no es aventurado suponer que las aguas que corren por entre esa capa

permeable alcancen a un tercio de las que corren superficialmente, i como esas aguas serian tambien detenidas por el muro, resulta que el volúmen de 15 litros aforado, será aumentado en un tercio, es decir, tendremos 20 litros por segundo proporcionado por las vertientes. En los 5 meses de riego dan 259200 m.<sup>3</sup>

Luego, el volúmen total de aguas disponible para el año desfavorable de 1863 (véanse los documentos acompañados al final) seria de

$$376068 \text{ m.}^3 + 259200 \text{ m.}^3 = 635268 \text{ metros cúbicos.}$$

La capacidad de la cuenca debe ser igual al volúmen de aguas lluvia por almacenar, comprendido el volúmen correspondiente a la evaporacion, puesto que las aguas de las vertientes empezarán a almacenarse una vez iniciados los riegos.

Estudiando el plano del embalse, por medio de las curvas de nivel, se ha llegado a fijar como altura de aguas la cota 92 m., que da como capacidad de embalse

$$418912 \text{ m.}^3$$

*Volúmen aprovechable.*—La causa que hace disminuir el volúmen de aguas disponibles, es la evaporacion que se produce en la superficie del agua almacenada. Para calcular el volúmen del agua evaporada, se multiplicará la superficie de evaporacion por la altura de evaporacion en el tiempo de que se trate.

Del plano hemos deducido el siguiente cuadro:

COTAS	SUPERFICIE	VOLÚMEN ENTRE LAS SUPERFICIES	
		Parcial	Total
78	0	56 m. <sup>3</sup>	56 m. <sup>3</sup>
79	169 m. <sup>2</sup>	2471	2527
80	6218	6329	8856
81	6440	3142	16998
82	9976	23407	40405
84	13538	48049	88454
86	37064	84916	173260
88	48100	108843	282213
90	61010	136699	418912
92	75976		

*Superficie de evaporacion.*—Tomaremos la superficie media entre dos curvas de nivel como superficie de evaporacion durante el tiempo que demora en escurrirse el volúmen de agua que las superficies encierran.

*Altura de evaporacion.*—Consideraremos solamente la que resulta para la temporada de 5 meses de riego, por cuanto en la temporada de invierno habrá siempre agua en exceso para reponer la que se evapora.

En Peñuelas se ha observado una evaporacion de 0 m. 97 en 8 meses.

Segun los datos del Observatorio de Santiago, la evaporacion máxima desde 1896 a 1900 en la temporada de 5 meses, seria de 0 m. 884. Adoptaremos esta cifra.

La altura de evaporacion diaria seria,

$$\frac{1 \text{ m. } 884}{150 \text{ días}} = 0 \text{ m. } 006$$

Para determinar el volúmen de agua evaporada entre dos curvas de nivel contíguas se multiplicará la superficie media entre ámbas curvas por el número de días que demora en bajar el agua del tranque de la curva de nivel mayor a la menor i por el coeficiente 0 m. 006 determinado.

El número de días que demora en bajar el agua de una curva a otra se deduce de la ecuacion siguiente:

$$\begin{array}{ccc} \text{Volúmen necesario} & \text{Valor entre} & \text{Vertientes} \\ \text{días} & \text{curvas.} & \\ \text{hect.} & \text{h.} & \\ x \times 90 \times 0. \text{ m. } ^3 005 \times 60' \times 60'' \times 24 = V + 0 \text{ m. } ^3 020 \times 60 \times 60 \times 24 \times x & & \\ \text{Agua evaporada} & & \\ - S \text{ m. } \times x \times 0,006 & & \end{array}$$

Siendo  $x$  el número de días que demora el agua en bajar de una curva de nivel a la siguiente,

$V$ . el volúmen entre estas dos curvas,

$S$ . m. superficie media de evaporacion.

De la ecuacion anterior, se deduce:

$$x = \frac{V \text{ m. } ^3}{2160 \text{ m}^3 + S \text{ m. } \times 0 \text{ m. } 006}$$

Haciendo uso de los valores del cuadro precedente, formamos el que sigue:

COTAS	SUPERFICIES	SUPERFICIES MEDIAS	VOLÚMEN ENTRE CURVAS		DIAS DE DESAGÜES	VOLÚMEN EVAPORADO	
			Parcial	Total		Por día	Total
m.	m. <sup>2</sup>	m. <sup>2</sup>	m. <sup>3</sup>	m. <sup>3</sup>		m. <sup>3</sup>	m. <sup>3</sup>
92	75976	68493	136699	418912	53,1	411	21824
90	71010	54555	108843	282213	43,8	327,33	14337
88	48100	42582	84916	173360	35,1	255,5	8968
86	37064	25301	48049	88454	20,8	151,8	3157
84	13538	11757	23407	40405	10,5	70,5	740
82	9776	8208	8142	16998	3,6	49	176
81	6440	6329	6329	8856	2,8	38	106
80	6218	3193	2471	2527	1,1	19	21
79	169	84	56	56	0,02	0,5	
78	0						
					170,8		49329

De aquí deducimos que el volúmen aprovechable será igual al volúmen disponible, ménos el volúmen evaporado, o sea

$$635268 \text{ m.}^3 - 49329 \text{ m.}^3 = 585939 \text{ m.}^3$$

Habíamos dicho que el volúmen necesario era de 583200 m.<sup>3</sup>, luego, en las condiciones mas desfavorables hai un exceso de 2739 m.<sup>3</sup>, exceso que puede cubrir las pequeñas filtraciones del tranque i del canal que conducirá el agua a los terrenos por irrigar.

El aumento de 20 dias en el desagüe total del tranque se esplica fácilmente, fijándose que el volúmen total que contiene el tranque hasta la cota 92 m., es de 418912 m.<sup>3</sup> i a esto hai que agregar el volúmen que proporcionan las vertientes en los 170,8 dias, es decir, 295142 m.<sup>3</sup>, lo que da un total de 714054 m.<sup>3</sup>, que quitando la evaporacion de 49329 m.<sup>3</sup> da como escurrimiento 664725, que excede en 81525 m.<sup>3</sup> al agua necesaria.

### C

*Ubicacion del tranque.*— La ubicacion en este caso queda fija, dada la configuracion del terreno i la única salida que tienen las aguas. No es a propósito el suelo para la

ubicacion del tranque, por cuanto es constituido de granito descompuesto mezclado con arcilla, pero es de suponer que a cierta profundidad se encuentre la roca impermeable. Los sondajes que se alcanzaron a practicar en ambas riberas i que solo llegaron a 1 m. 50 de profundidad, manifestaron que el granito iba tomando cada vez mayor resistencia; a esa hondura solo la barreta podia emplearse con éxito.

Respecto a peligros para las poblaciones situadas aguas abajo del tranque, no existen en este caso, por cuanto las únicas casas de la hacienda que estan en las cercanías, se encuentran a un nivel tal que las pone fuera de todo peligro. Tampoco hai poblaciones mas alejadas.

*Material del tranque.*—Los tranques de tierra alcanzan a 20 i 25 metros de altura, rara vez pasan de esos límites, aunque en Inglaterra e India se han construido de 30 metros i mas.

Hemos solucionado el estudio con un tranque de tierra, por las razones siguientes:

1.º La altura máxima de aguas es de 14 metros hasta la cota 92 m., es decir, se encuentra comprendido entre los tranques de tierra.

2.º Hemos dicho que la naturaleza del suelo en el punto de su ubicacion es permeable, de modo que habrá que buscar la roca o suelo impermeable i resistente a bastante profundidad, 10, 12 o mas metros. Constituyendo el tranque de albañilería, su costo seria considerable, miéntras que adoptando un macizo arcilloso que baje hasta el fondo, seria económico i de fácil ejecucion.

3.º El material arcilloso para un tranque de tierra se encuentra al pié mismo donde se ubicará i su clase es mui buena, juzgando por el análisis practicado que dió 83 por ciento de arcilla i 17 por ciento de cuarzo, feldspato, mica i óxidos de fierro. Si se quisiera emplear la albañilería habria que trasportarla desde 15 leguas de distancia i por malos caminos, porque en las vecindades no hai de buena clase.

4.º La economía que debe entrar por mucho en un proyecto de esta naturaleza, sobre todo cuando no es el Estado o una sociedad, sino un particular el que realizará la obra, hacen pensar en la conveniencia de adoptar una solucion en armonía con los recursos de que se dispone, siempre que ofrezca las garantías necesarias

5.º Los frecuentes temblores en Chile, sobre todo en las zonas norte i central, que desde 1866 hasta 1885 alcanzaron a 20 por año, como término medio, i en el año 93 hasta 51 temblores, algunos de ellos mui fuertes, deben tomarse en cuenta como un inconveniente en construcciones de albañilería tan delicadas como son la de los tranques.

Respecto a las diferencias de temperatura, que son bastante bruscas en Chile i que podrian partir la greda, serian atenuadas en gran parte por plantaciones adecuadas en sus taludes de aguas abajo.

Las consideraciones anteriores nos han llevado a solucionar el problema con un tranque de tierra.

*Sistema.*—En los tranques de tierra se presentan dos soluciones: la francesa e inglesa.

El sistema frances consiste en formar el tranque con un material único, homogéneo, arcillo-arenoso; el sistema ingles adopta un macizo central de arcilla, con fajas laterales de menor proporción de arcilla a medida que se alejan del macizo central. El frances tiene la ventaja de realizar bastante resistencia por ser homogéneo el material; miéntras

que el ingles usa taludes mas tendidos para conseguirla, lo que se traduce en mayor gasto sin ventaja aparente. En efecto, los ingleses usan aproximadamente taludes de 3 de base por 1 de altura del lado de las aguas i de 1,5 por 1 del lado opuesto; ademas, el macizo central de arcilla, segun Rawlinson, debe ser igual a la tercera parte de la altura de aguas al nivel del suelo i disminuyendo de espesor hácia arriba i abajo; el ancho del coronamiento igual a la mitad de la altura del tranque.

Por lo demas, en el sistema ingles se producen asientos desiguales por la falta de homogeneidad del macizo.

Fundado en lo anterior, hemos adoptado el sistema frances i tambien por el hecho de disponer de bastante material arcilloso.

#### FORMAS I DIMENSIONES

1.º *Esteriores o sobre el suelo.*—La forma jeneral del tranque en su seccion transversal será la trapezoidal, auuque del lado de las aguas se usará la disposicion Vallée para impedir la accion de las olas i del sol sobre el material del tranque.

La altura de la obra desde la cota 78m. hasta la 92m., que será el nivel del agua en lleno completo, es de 14 metros. La revancha se considera jeneralmente como 1/10 de esta altura como mínimo, es decir, de 1m.40, que será la que adoptaremos dada la ubicacion del tranque en la parte norte del embalse, de modo que cuando esté lleno que será en invierno i principios de primavera, el viento reinante no producirá olas que tengan mucho efecto sobre el tranque mismo, por eso no hai utilidad en aumentar la revancha, ménos aun si se piensa que el embalse está abrigado de los vientos por cerros altos.

Así, pues, la altura total de la obra será de 15m.40.

La forma del tranque está subordinada tambien a las circunstancias locales, a los materiales de que se dispone i al esmero que se gaste en su construccion.

A causa de los materiales que entran en su construccion, los tranques de tierra no se prestan al cálculo de sus dimensiones, i su espesor no está determinado sino por reglas empíricas mas o ménos justificadas.

Dumas i otros autores dicen que conviene dar a los tranques en su coronamiento un espesor igual a la mitad de su altura, miéntras que otros injenieros afirman que este espesor debe quedar el mismo cualquiera que sea la altura del tranque.

Mr. Trantvine, injeniero norte-americano, ha propuesto fijar el espesor del coronamiento segun la fórmula:

$$\begin{array}{ll}
 c = 2p + 2\sqrt{H} & \text{en la cual} \\
 p = 0.3048 \text{ (pie ingles)} & \\
 c = 0.61 + 2\sqrt{H} & H = \text{altura de la obra en m.} = 15\text{m.}40 \\
 c = 8\text{m.}45 &
 \end{array}$$

Este espesor se aproxima al que indican los injenieros partidarios que tenga la mitad de su altura como ancho del coronamiento.

Respecto a la inclinacion de los taludes, M. Guillemin dice, que en Francia al ménos, parece reunir hoy dia mayor aceptacion este perfil: del lado de las aguas 1.5 de base por 1 de altura, dejando la eleccion entre el plano inclinado i el tipo Vallée; del lado de

abajo una sucesion de superficies inclinadas recortadas por banquetas horizontales i cuya union semeja una curva con su convexidad vuelta hácia el tranque i análoga a la que toman las tierras abandonadas a sí mismas, es decir, la inclinacion de 1 por 1, próximamente.

Luego, las dimensiones exteriores del tranque serán las indicadas en la figura (1).

## 2) *Formas i dimensiones interiores o bajo el suelo*

Los sondajes de m. 1,50 de hondura que se practicaron en los cerros laterales, en la curva de nivel 83 metros i en el eje del tranque, nos indican que el terreno resistente e impermeable, necesario para establecer la fundacion, estará a una profundidad de 8, 10 o mas metros. Esta incertidumbre nos induce a adoptar la siguiente disposicion (fig. 2).

Las escavaciones se limitarán en el ancho del muro, es decir, a los 46,95 m. al nivel del suelo. Ademas, con el objeto de contrarrestar el deslizamiento se harán escalones verticales i horizontales, los que al mismo tiempo harán disminuir el espesor del muro hácia abajo, porque no hai necesidad de tanto espesor para conseguir la resistencia e impermeabilidad, desde que a cierta hondura el muro se encuentra rodeado de terreno vírjen.

Estos escalones tendrán una altura de 1,50 m. para facilitar la extraccion de las tierras.

Por lo demas, conviene, por razones de economía, seguir hácia abajo en la parte central con un macizo de espesor igual a un tercio de la altura de aguas,  $\frac{1}{3} \times 14 = 4,60$  m., dándole una forma cónica con taludes de 1 por 6 mas o ménos, hasta llegar a una anchura mínima de 2 m. i a partir de ese punto se seguirá de igual ancho hasta encontrar el terreno resistente e impermeable, en donde se empotrará este macizo a lo ménos 1 m., véase la figura 2.

El número de banquetas del lado de las aguas será de 5 i del lado opuesto de 3, lo que da una resistencia mayor al deslizamiento.

Esta forma quedará inalterable cualquiera que sea la profundidad a que haya que bajar para encontrar la roca impermeable.

Los empotramientos en las laderas de los cerros se harán semejantes a esta figura i la disposicion puede verse detalladamente en el plano.

*Composicion del tranque.*—Esta debe ser de un buen *carroi*, esto es, una mezcla de arena con arcilla en una proporcion tal que la arcilla rellene los huecos que deja la arena. Dumas aconseja tomar la proporecion siguiente: 2 de arena por 1 de arcilla. De esta manera se obtiene una mezcla semejante a los morteros, en que la cal ha sido reemplazada por la arcilla, i que no tiene los defectos de los terrenos arcillosos que presentan dislocaciones i hundimientos a causa de la variacion de volúmen que experimenta la arcilla por la mayor o menor cantidad de agua que contenga, ni tampoco una mezcla arenosa que seria permeable i espuesta a filtraciones.

Si este conjunto fuese demasiado seco, bastará humedecerlo con un poco de agua en forma de lluvia o llovizna.

La tierra arcillosa que hai al lado de donde se ubicará el tranque es apropiada para su construccion; en efecto, hemos dicho que el análisis dió 83 por ciento de arcilla pura

i 17 por ciento de cuarzo i otras sustancias. Se ve, entónces, que echándole un 150 por ciento de arena pura, se tendrá 167 por ciento de arena con 83 por ciento de arcilla, lo que da la relacion del carroi anterior.

Esta mezcla se hará en un piso especial de madera o ladrillos i de modo que resulte completamente homogéneo el conjunto.

*Apisonado.* — En una obra importante i delicada como es un tranque, se impone el uso de aparatos especiales para asegurar su buena ejecucion, es por eso que se exigirá el uso de un rodillo de fundicion para ejecutar el apisonado, que, por lo demas, hará mas rápido i económico el trabajo, a la vez que en mejores condiciones. La superficie exterior del rodillo será acanalada, lo que tendrá la ventaja de disminuir la superficie de contacto con las tierras i, por consiguiente, con igual peso obtener una mayor presion en el apisonado.

Tambien contribuirá el acanalado a producir mejor union entre las diversas capas que van formando el muro, produciendo una penetración entre una i otra capa.

Eligiendo un cilindro de diámetro igual a 1,20 m. i con un largo de 1,10 m., su peso muerto puede ser de 3,200 k., lo que dará una presion de 29 kilos por centímetro cuadrado; sobrecargado llegará a 6,400 k. i da 58 k. por  $c/m^2$ . Si para este cilindro tomamos como coeficiente de rodadura  $f=50$  k. por tonelada que es el que le corresponde, necesitamos 320 kilos como esfuerzo de traccion, de modo que cuatro caballos podrian hacer el servicio durante 10 horas, a razon de 0,90 m. por segundo como velocidad. Ademas, en cuanto se pueda, las carretas que acumulen el material desde la cancha se les hará dar una vuelta completa en el piso del tranque.

Se procederá a formar el muro por capas sucesivas de un espesor de 12 a 15 centímetros i el apisonado se hará con todo esmero, sobre todo en la parte que da del lado de las aguas, i apisonando a mano en las juntas del tranque con los cerros laterales.

El carroi deberá resistir 5 kilos por centímetro cuadrado. El apisonado debe reducir la arcilla 20 a 25 por ciento. Para asegurarse prácticamente que la compresion está bien hecha, bastará colocar, segun indica M. Fontaine, una barra de madera de seccion cuadrada de un centímetro i cargada con 100 k., debe penetrar a lo mas 1 milímetro.

*Revestimiento* — Del lado de las aguas se usará el sistema Vallée, en escalones. Se formará este revestimiento con bolones desvastados de 0,40 m. que van sobre una cama de concreto de 0,10 m. de espesor. Conviene que el revestimiento vaya aumentando hasta alcanzar 1 metro en la base. El ancho del terraplen se aumentará un poco del lado de las aguas, para cortarlo despues al formar el talud Vallée i encontrar así un asiento semejante al terreno virjen.

Las ventajas de esta disposicion son: 1.º bastante sólido para resistir la accion de las aguas i del oleaje; 2.º es formado de partes independientes para localizar los defectos i 3.º es fácilmente accesible en todas sus partes.

Aguas abajo habrá una sucesion de superficies inclinadas (sin revestimiento) i con banquetas horizontales. Se le pondrán plantaciones de acacia hasta una altura de 5 metros desde el pié del chaflan para atenuar la accion de los calores en verano, ademas, consolidan el terraplen.

*Torre de toma de aguas.* — Nos hemos dado las dimensiones, por comparacion, i vamos a verificar su estabilidad.

Segun la disposicion que se indica, desde la parte superior de los cimientos hasta la altura máxima de aguas, tendremos como alto para la torre 14 m. 50 i hasta su coronamiento 15,90 m.

Una de las solicitaciones desfavorables será cuando el tranque esté sin agua i sople un fuerte viento. Veamos si resistirá bien a ese empuje.

Tomando momentos con relacion al punto *a* (fig. 3), i aplicando la fórmula de los coeficientes de estabilidad, tenemos:

$$\frac{\text{Mto. resist.}}{\text{Mto. solicit.}} = m. = \frac{\text{Peso torre} \times \frac{4.10}{2}}{Q \text{ accion viento} \times d}$$

$$\text{Peso torre} = P = V \times D = \left[ \frac{1}{3} y (D^2 + D_0^2 + DD_0 - l^2 y) \right] \rho$$

$$\rho \text{ densidad albañ.} = 1800 = \left[ \frac{15,90}{3} \left( \frac{4,10^2}{3} + \frac{2,70^2}{3} + \frac{4,10 \times 2,70}{3} \right) - 1,50 \times 15,90 \right] 1800^k$$

$$= [5,3(16,81 + 7,29 + 11,07) - 35,37] 1800^k$$

$$= (186,40 - 35,77) 1800 = 271,134$$

$$\text{Mto. resist. } a = 271t \times 2,205 = 555,55 \text{ toneladas-metro.}$$

$$\text{Empuje del viento} = Q = S \times q \text{ por m}^2 = q \frac{D + D_0}{2} y = q \frac{4,10 + 2,70}{2} \times 15,90$$

$$q = 176 \text{ k.}$$

$$Q = 54,06 \times 176 = 9,515$$

$$\text{Brazo de palanca} = \delta = \frac{1}{3} y \frac{2 D_0 + D}{D_0 + D} + 0,80 = 5,3 \frac{5,20 + 4,10}{2,20 + 4,10} + 0,80$$

$$= 5,3 \frac{9,5}{6,8} + 0,80 = 8,20$$

$$\delta = 8,20$$

$$\text{Mto. solict. } a = 9,515 \times 8,20 = 78,023 \text{ toneladas-metro.}$$

Introduciendo en la fórmula los valores encontrados,

$$\frac{555,55}{78,23} = m = 7,12$$

Para el caso que nos ocupa, habria bastado para *m* un valor igual a 2,5; de manera, pues, que el valor encontrado nos indica que la torre resiste en mui buenas condiciones a la solicitacion del viento.

*Presion en la arista peligrosa a.*—Aplicaremos la fórmula jeneral de flexion compuesta

$$p = \frac{P}{w} + \frac{M V}{I} \text{ en que}$$

$$M = Q \times \delta = 9500 \text{ k.} \times 820 \text{ c/m}$$

$$V = \frac{570}{2} = 285$$

$$I = \frac{1}{12} B H^3 = \frac{1}{12} \times 570 \times 570^2$$

reemplazando

$$p = \frac{330000}{570 \times 570} \times \frac{9500 \times 820 \times \frac{570}{2} \times 6}{\frac{1}{12} 570 \times 570^2} = 1,001^k + 0,25$$

$$p = 1,251$$

Tasa que resiste mui bien el terreno.

*Orificios para la toma de agua.*—Como se sabe, la cantidad de agua para el riego es de 583200 m.<sup>3</sup> Los riegos se practicarán durante el dia, fijemos 8 horas de trabajo diario, en los cinco meses de riego tendríamos:

$$\text{Días Horas} \\ 150 \times 8 = 1200 \text{ horas} = 4320000 \text{ segundos, por lo tanto, el gasto será}$$

$$Q = \frac{583200000}{4320000} = 135 \text{ litros}$$

Estos orificios se distribuirán en la torre como lo muestra la figura 4. Sus dimensiones se calcularán con la hipótesis desfavorable de que bajando el agua hasta la parte superior de ellos, escurran el gasto de 135 litros.

Tomemos un orificio rectangular i horizontal de superficie  $dw$ , cuya altura de agua sea  $x$  i cuya altura del orificio sea  $dx$  (fig. 5).

Aplicando la fórmula jeneral de los orificios en pared delgada (serán orificios inclinados a 45° hácia adentro para aminorar el golpe de agua en la pared opuesta) tenemos fórmula jeneral:

$$Q = m w \sqrt{2 g h} \text{ para el costo que nos ocupa}$$

$dQ = m d w \sqrt{2 g x}$  en que  $dw = l dx$  luego,  $dQ = m l dx \sqrt{2 g x}$ , integrando entre los límites 0 i  $h$ , se tendrá

$$Q = m l \sqrt{2 g} \int_0^h x^{\frac{1}{2}} dx, \text{ la integral será}$$

$$\frac{h^{1.5}}{1.5}$$

luego

$$Q = m l \sqrt{2 g} \times \frac{h^{1.5}}{1.5}, \text{ haciendo } h = l, \text{ porque vamos a disponer los orificios cuadrados,}$$

$$Q = \frac{m l^{2.5} \sqrt{2g}}{1.5} \text{ de donde}$$

$$l = \sqrt[2.5]{\frac{1.5 Q}{m \sqrt{2g}}}$$

Dando a  $m$  el valor que ha dado la esperiencia, de 0,60 se tendrá

$$l = \sqrt[2.5]{\frac{1.5 + 0,135}{0,60 \sqrt{2} \times 9,8}} = \sqrt[2.5]{\frac{0,202}{2,68}} = \sqrt[2.5]{0,076}$$

$l = 0$  m. 356, se tomará

$l = 0$  m. 36

El orificio inferior de la torre se ha calculado de manera que su borde superior quede al mismo nivel del agua al final de la temporada de riego.

Hemos visto que el exceso de agua que queda en el tranque al finalizar los riegos es de 2,739 m.<sup>3</sup>; consultando el cuadro anteriormente calculado, se nota que ese volúmen ocuparía hasta la cota 80 m., luego, esta cota será el nivel superior del último orificio.

Es interesante calcular el volúmen de agua que entrará a la torre por uno de estos orificios con la carga máxima de 4 m. de agua

Se hará un cálculo idéntico al anterior, con la diferencia que los límites de la integral en lugar de ser  $o$  i  $h$  serán  $h'$  i  $h' + h$ , siendo  $h'$  la altura de agua hasta el borde superior del orificio; la espresion de  $Q$  sería

$$Q = m l \sqrt[2]{\frac{(h' + h)^{1.5} - h'^{1.5}}{1.5}} \text{ poniendo los valores de } h \text{ i } h' \text{ que son:}$$

$$h' + h = 4 \text{ m.} + 0,36 = 4 \text{ m. } 36$$

$$\text{i } h' = 4 \text{ m.}$$

$$Q = 0,60 \times 0 \text{ m. } 36 \sqrt[2]{20} \times \frac{4.36^{1.5} - 4}{1.5} = 0,965 \times \frac{9,105 - 8}{1,5}$$

$$Q = 0,965 \times 0,736 = 0 \text{ m. }^3 710$$

Esto nos indica que al principio no hai necesidad de abrir toda la compuerta sino un poco para obtener el agua necesaria al riego.

Para amortiguar el efecto del agua que se precipita de lo alto de la torre, se ha dejado en el fondo un colchon de agua de 2 m. de profundidad i de seccion igual al resto de la torre, (fig. 4).

*Acueducto de toma.*— Este acueducto tendrá la forma de la fig. 6, es decir, exactamente igual a las alcantarillas comunes. Se ha adoptado esa forma por tener el conducto poca longitud i tener pendiente disponible a voluntad. Para facilitar la vijilancia que en estos casos es de mucha importancia, se adoptarán dimensiones un poco exajeradas. Además, cada 3 m. de altura de terraplen se le agregará medio ladrillo (0 m. 15) de espesor a la bóveda, i se aumentarán en consecuencia los piés derechos i cimientos.

Este acueducto tendrá en su interior un emboquillado de cemento alisado de 2 c/m de espesor i exteriormente una chapa de cemento *no* alisado.

*Pendiente.*—Calculemos la pendiente que deberá tener el acueducto suponiendo que el agua suba hasta el nivel de los arranques de la bóveda.

Aplicaremos para el escurrimiento la fórmula de M. Bazin que es,

$$(1) \quad \frac{\sqrt{RI}}{u} = a \left( 1 + \sqrt{\frac{\gamma}{R}} \right) \text{ i la de Castelli}$$

$$(2) \quad Q = \Omega u$$

Para el caso de paredes alisadas, Bazin indica  $\gamma = 0,06$ ;  $a = 0,0115$ .

Los datos son:  $Q$  i  $H$

Los incógnitos:  $I$  i  $u$

Ademas:

$$\Omega = 0 \text{ m.}^2 40$$

$$\psi = 2 \text{ m. } 10$$

$$R = \frac{0,40}{2,10} = 0,19$$

Despejando a  $I$  de (1) i reemplazando  $u$  por su valor sacado de (2), tenemos

$$I = \frac{Q^2 a^2 \left( 1 + \sqrt{\frac{\gamma}{R}} \right)^2}{\Omega^2 R} \text{ reemplazando por sus valores}$$

$$I = \frac{0,135^2 \times 0,0115^2 \left( 1 + \sqrt{\frac{0,06}{0,19}} \right)^2}{0,40^2 \times 0,19} \text{ efectuando}$$

$$I = \frac{0,018225 \times 0,00013225 \times 1,29^2}{0,16 \times 0,19} = \frac{0,0000031}{0,0304}$$

$$I = 0 \text{ m. } 0001$$

El canal necesita, pues, mui poca pendiente para escurrir los 135 litros.

La velocidad que tomará el agua será

$$u = \frac{Q}{\Omega} = \frac{0 \text{ m.}^3 135}{0 \text{ m.}^2 40} = 0,337 \text{ m.}$$

*Compuerta de fondo.*—Frente a la boca del acueducto i al lado opuesto de la torre se colocará una compuerta de fondo, con el objeto de verificar la limpia del embalse i solo servirá con este objeto. Tendrá las mismas dimensiones del acueducto.

Como al final del riego queda el agua del embalse hasta la cota 80m., se cerrará el orificio inferior i se almacenará el agua de las vertientes hasta la cota 80m.55, es decir, hasta la clave de la bóveda del acueducto de toma.

Abriendo en ese momento un poco la compuerta de fango, el agua se precipitará

por el acueducto con una carga inicial de 1m.05 i arrastrará el fango que haya en sus alrededores (fig. 7).

Calculemos la pendiente que deberá tener el acueducto para que con una altura de agua de 0m.20 se produzca una velocidad de 0m.50, capaz de arrastrar piedrecillas del tamaño de un huevo de paloma.

Con estos datos queda fijado el gasto

$$Q = \Omega u$$

$$Q = 0m.20 \times 0m.50 \times 0.50 = 0m.^3 050$$

Introduciendo este valor en la fórmula de Bazin, tenemos,

$$I = \alpha^2 \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)^2 \frac{Q^2}{R \Omega^2}$$

$$\begin{aligned} \Omega &= 0m.^2 10 \\ \psi &= 0m.90 \\ R &= \frac{0m.^2 10}{0m.90} = 0.11 \end{aligned}$$

Poniendo sus valores

$$I = \frac{0.0115^2 \left( 1 + \frac{0.06}{\sqrt{0.11}} \right)^2 \times 0.0025}{0.11 \times 0.10^2}$$

efectuando,

$$I = \frac{0.00013 \times 1.39 \times 0.0025}{0.11 \times 0.01} = \frac{0.00000045}{0.0011}$$

$$I = 0m.0004$$

En consecuencia, será esta la pendiente que adoptaremos para el canal en lugar de la encontrada ántes.

Con esta pendiente se deduce en el plano el largo del acueducto, que resulta de 50m.; luego, la cota de la boca de salida será

$$79m.50 - 50m. \times 0m.0004 = 79m.48$$

El acueducto no atravesará el tranque, sino que se internará hácia el cerro, de manera que siempre esté ubicado en terreno virjen.

Veamos qué cantidad de agua podrá escurrir el acueducto a boca llena i sin presion, con la pendiente que acabamos de adoptar. La fórmula es

$$\frac{\sqrt{RI}}{u} = \alpha \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)$$

Con las dimensiones de la fig. 8, se tendrá

$$\Omega = 0m.80 \times 0m.50 + \frac{3.14 \times 0m.25^2}{2} = 0.4 + 0.098 = 0m.^2 498$$

$$\psi = 0m.50 + 2 \times 0m.80 + 3.14 \times 0.25 = 0.50 + 0.785 = 2m.885$$

$$R = \frac{\Omega}{\psi} = \frac{0m.^2 498}{2m.885} = 0.172$$

ademas

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.0115 \\ \gamma &= 0.06 \\ I &= 0m.0004 \end{aligned}$$

Despejando a  $u$  de la ecuacion anterior i poniendo los valores

$$u = \frac{\sqrt{0.172 \times 0.0004}}{0.0115 \left( 1 + \frac{0.06}{\sqrt{0.172}} \right)} = \frac{0.0083}{0.01311} = 0.633$$

$$Q = \Omega u = 0m.^2 498 \times 0m.633 = 0m.^3 313$$

Como se ve, el acueducto abastece con creces las exijencias del riego.

Con el gasto de  $0m.^3 135$  se obtiene, con la fórmula anterior,  $H = 0m.43$ , esto nos servirá para fijar el fondo del canal de riego.

VERTEDERO DE REBALSE

Primeramente determinaremos la mayor cantidad de agua que llegará al vertedero en la unidad de tiempo, una vez establecido el régimen, que será el caso mas desfavorable.

Para esto, consultando el Boletin metereológico de Santiago i las observaciones de la Bolsa de Valparaiso, desde 1875 a 1900, encontramos que las mayores lluvias son:

CIUDAD	AÑO	MES	DIA	N.º DE HORAS	AGUA TOTAL CAIDA	POR HORA
Santiago...	1875	Dicbre...	10	14	60 m/m	4.3
»	1871	Julio...	17	10.12	93.4	9.22
»	1891	Octubre..	14	20 minutos	18.1	44.3
Valparaiso.....	1875	Dicbre...	10	16	122.34	7.6

Como se puede notar, la mayor corresponde a  $44m/m$  3 por hora pero solo fué un chubasco que duró 20 minutos. Por efecto de su poca duracion, no se tomará en cuenta en el cálculo del vertedero, pero sí calcularemos la altura a que llega el agua con esta lluvia, una vez fijadas las dimensiones.

Adoptaremos la lluvia inmediatamente inferior, es decir, la de  $9m/m$  22 por hora, que duró 10 horas, tiempo sobrado para que se establezca el régimen en el embalse.

En un segundo tenemos

$$\frac{0m.00022}{3600} = 0m.00000256$$

Tomando el coeficiente de escorrentía igual a 1 i sabiendo que la hoya hidrográfica es de  $8727580\text{m}^2$ , tendremos como volúmen de aguas por escurrir en el vertedero, durante un segundo,

$$Q = 8727580 \times 0,00000256 = 22\text{m}^3340$$

El derrame se hará por un canal que va a botar las aguas a una pequeña quebrada vecina, como se puede notar en el plano, de modo que este estudio lo dividiremos en dos partes:

Canal de evacuacion, i

Vertedero de cresta gruesa.

*Canal de evacuacion.*— La condicion que debe llenar este canal es la de escurrir el gasto máximo del vertedero de cresta gruesa, es decir, los  $22\text{m}^3340$ .

Podemos calcular la pendiente que deberá tener el canal, dándonos a priori las dimensiones, que por lo demas, se aproximarán a una seccion de mejor escurrimiento (fig. 9).

La fórmula de Bazin es

$$(1) \quad \frac{\sqrt{RI}}{u} = \alpha \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right) \quad \text{Los datos son } Q \text{ i } H.$$

Los incógnitos  $I$  i  $u$ .

$$\Omega = \frac{12}{2} \times 1 = 6\text{m}^2.$$

$$\psi = 5 + 2,828 = 7\text{m} \cdot 828$$

$$R = \frac{6}{7,828} = 0,76$$

$$\alpha = 0,0115$$

$$\gamma = 0,46$$

Despejando a  $I$  de la fórmula (1)

$$I = \frac{\alpha^2 \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)^2 u^2}{R} = \frac{\alpha^2 \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)^2 Q^2}{\Omega^2 R}$$

Reemplazando por sus valores

$$I = \frac{0,0115^2 \left( 1 + \frac{0,46}{\sqrt{0,76}} \right)^2 \times 22.340^2}{6^2 \times 0,76} = 2$$

$$I = \frac{0,00013225 \left( 1 + \frac{0,46}{0,87} \right)^2 \times 542,89}{36 \times 0,76}$$

$$I = \frac{0,00013225 \times 2,34 \times 543}{27,36}$$

$$I = \frac{0,168}{27,36} = 0\text{m} \cdot 0061$$

La pendiente es, pues, de 6 m/m. La velocidad que tomarán las aguas será

$$u = \frac{Q}{\Omega} = \frac{22.340}{6m.^2} = 3m.66. \text{ Velocidad que, aunque alta, se}$$

aceptará, por cuanto en raras ocasiones solo se producirá.

*Vertedero de cresta gruesa.* — Este vertedero se establecerá en terreno vírjen, pero al lado del tranque mismo. La fórmula correspondiente para calcularlo es:

$$Q = m. l. H \sqrt{2gH} \text{ en la que}$$

$$m = 0,35 \text{ (Lesbros)}$$

$$H = 1 \text{ m., porque la revancha es de 1,40 m.}$$

$$Q_{\text{máx.}} = 22m.^3 400.$$



Calcularemos  $l$  despojándolo de la fórmula anterior i poniendo sus valores

$$l_{\text{máx.}} = \frac{Q_{\text{máx.}}}{m H_{\text{máx.}} \sqrt{2g H_{\text{máx.}}}} = \frac{22m.^3 340}{0,35 \times 1 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 1}}$$

$$l_{\text{máx.}} = \frac{22m.^3 340}{1,56} = 14m.22$$

Luego, el ancho del vertedero será de 14m.22.

Al tratar de las lluvias máximas hemos dicho que existe una escepcional de 44m/m<sup>3</sup> por hora; vamos a determinar la altura que tomará el agua en la cresta del vertedero, altura que limitará las paredes verticales de este.

La cantidad de agua que llega al vertedero en un segundo de tiempo es,

$$\frac{0m.0443}{3600''} \times 8727580m.^2 = 0m.0000123 \times 8727580 m.^2$$

$$Q = 107m.^3 349$$

Despojando a  $H$  de la fórmula del vertedero i colocando los valores encontrados,

$$H = \sqrt[1,5]{\frac{Q}{m l \sqrt{2g}}} = \sqrt[1,5]{\frac{107,349}{0,35 \times 14,32 \sqrt{20}}} = \sqrt[1,5]{\frac{107,349}{22,4}} = \sqrt[1,5]{4,79}$$

$$H = 2m.84.$$

Esto quiere decir que los muros del vertedero deben tener una altura de 2m.90 a contar desde el umbral (fig. 10).

Calcularemos ahora qué altura tomará el agua en el canal de evacuación, con el gasto de 107m.<sup>3</sup>349, Aplicando la misma fórmula de Bazin, tenemos

$$\frac{\sqrt{RI}}{u} = a \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right)$$

WENCESLAO SIERRA M.  
Ingeniero Civil

(Continuará)



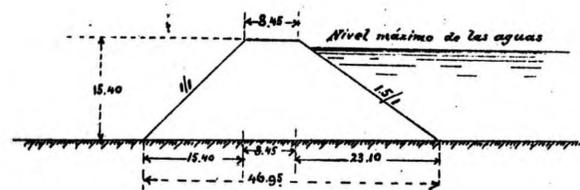


Fig. 1

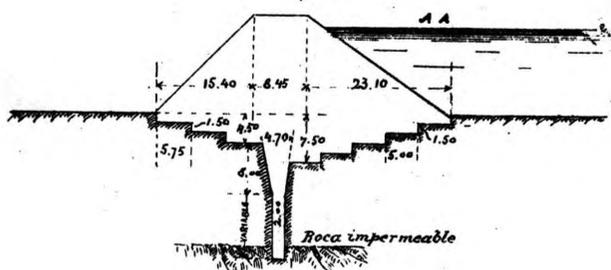


Fig. 2

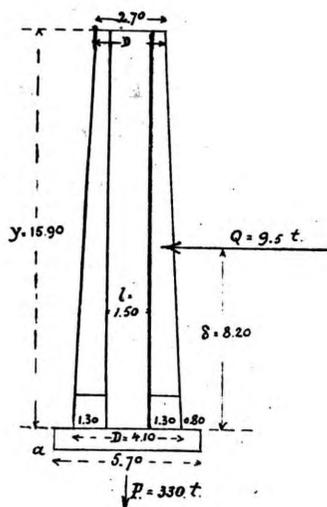


Fig. 3

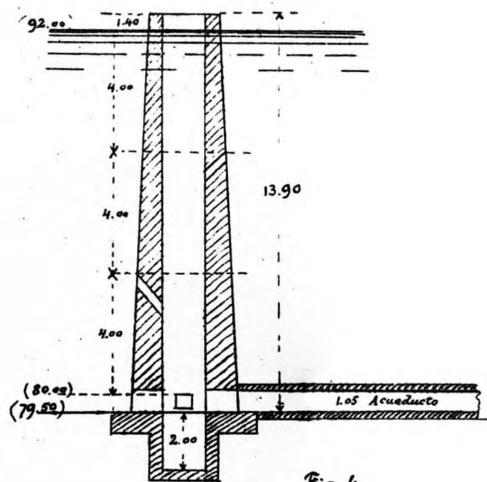


Fig. 4

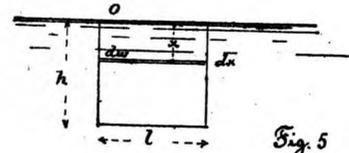


Fig. 5

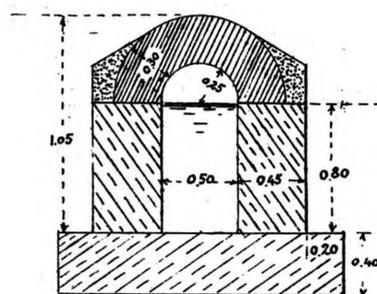


Fig. 6

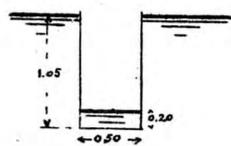


Fig. 7

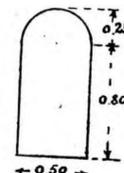


Fig. 8

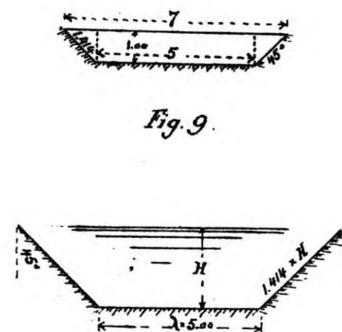


Fig. 9



Fig. 10

Corte del vertedero i canal de evacuacion.

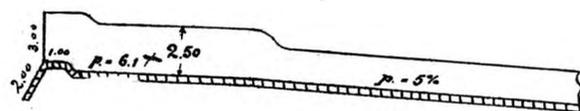
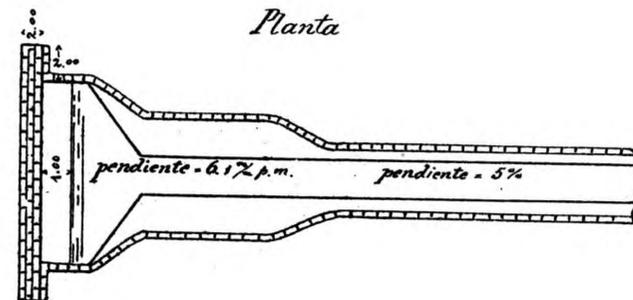


Fig. 11

Planta



Compuerta

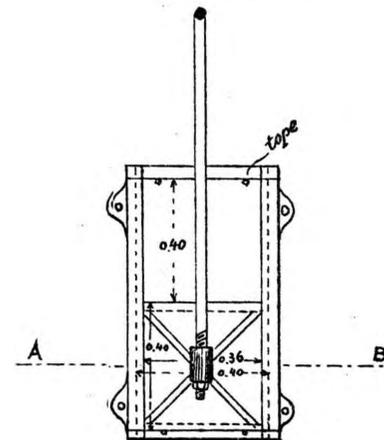


Fig. 13

Corte AB



Canal de riego.

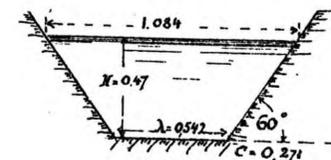


Fig. 15

pl. = 3960 K.

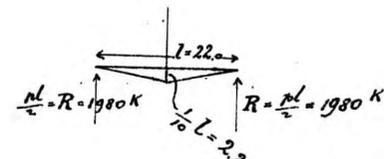
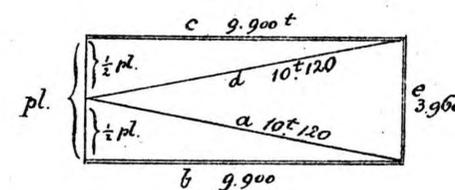
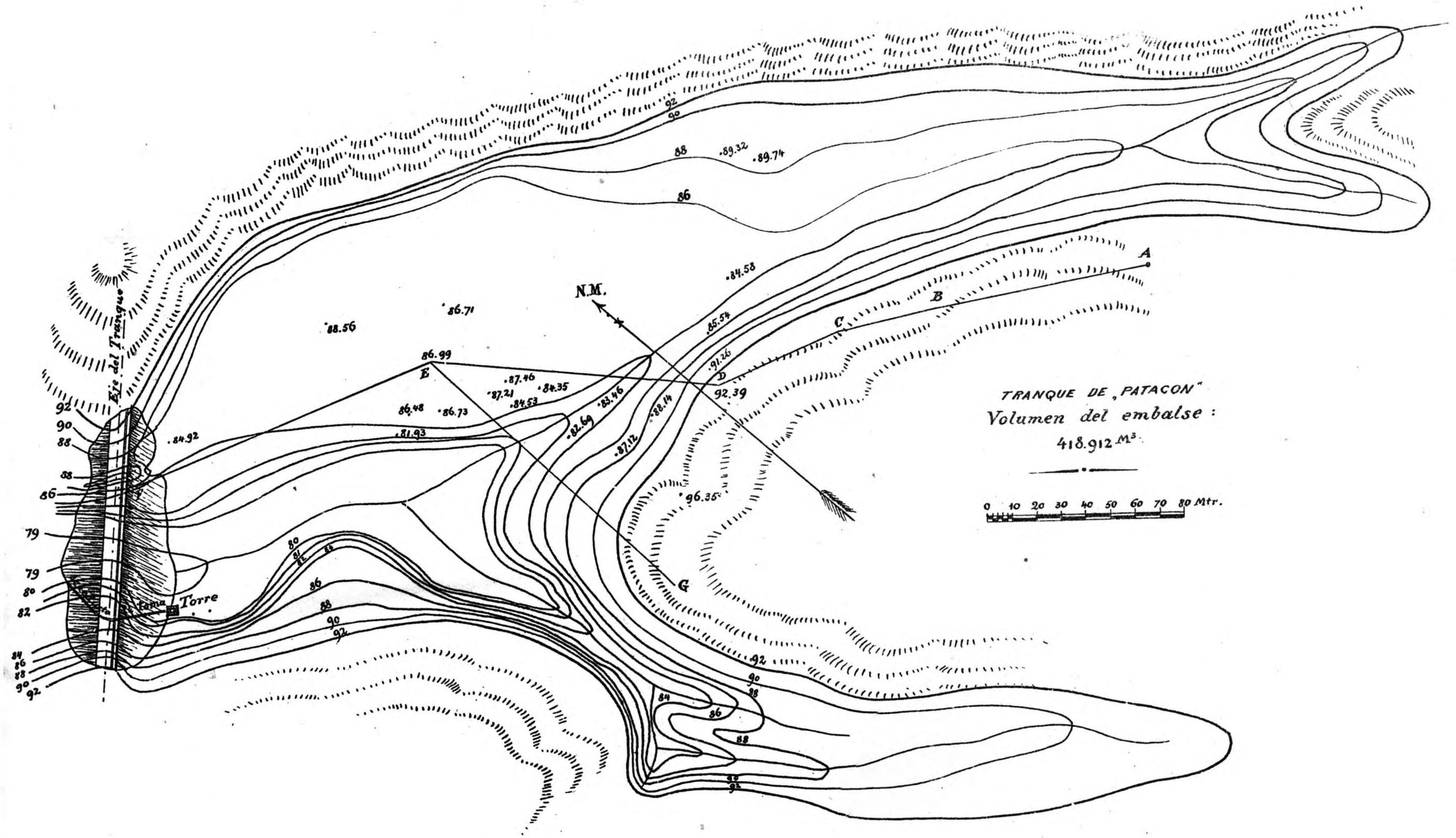
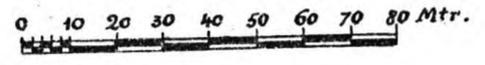


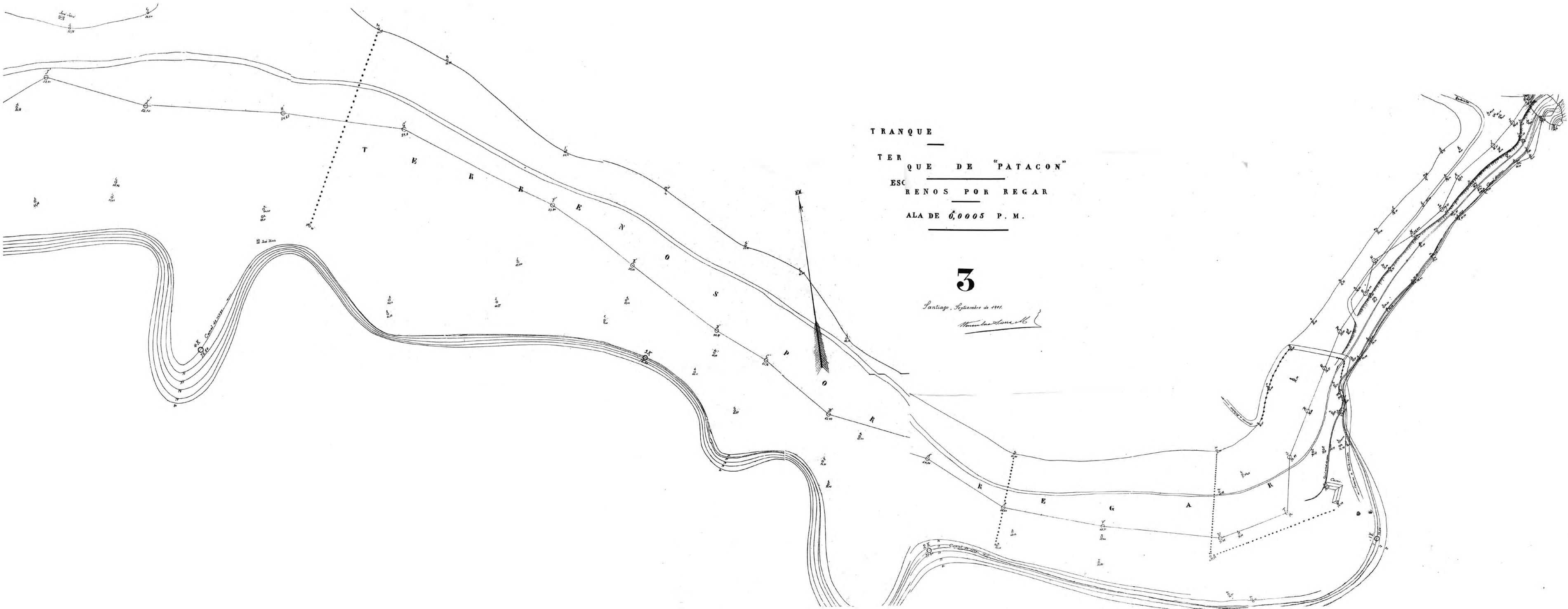
Fig. 16





TRANQUE DE "PATAGON"  
 Volumen del embalse :  
 418.912 M<sup>3</sup>.





TRANQUE  
 TER  
 QUE DE "PATACON"  
 ESC  
 RENOS POR REGAR  
 ALA DE 0,0005 P. M.

3

Santiago, Septiembre de 1901.  
*Monsieur Luna*

# TRANQUE DE "PATACON."

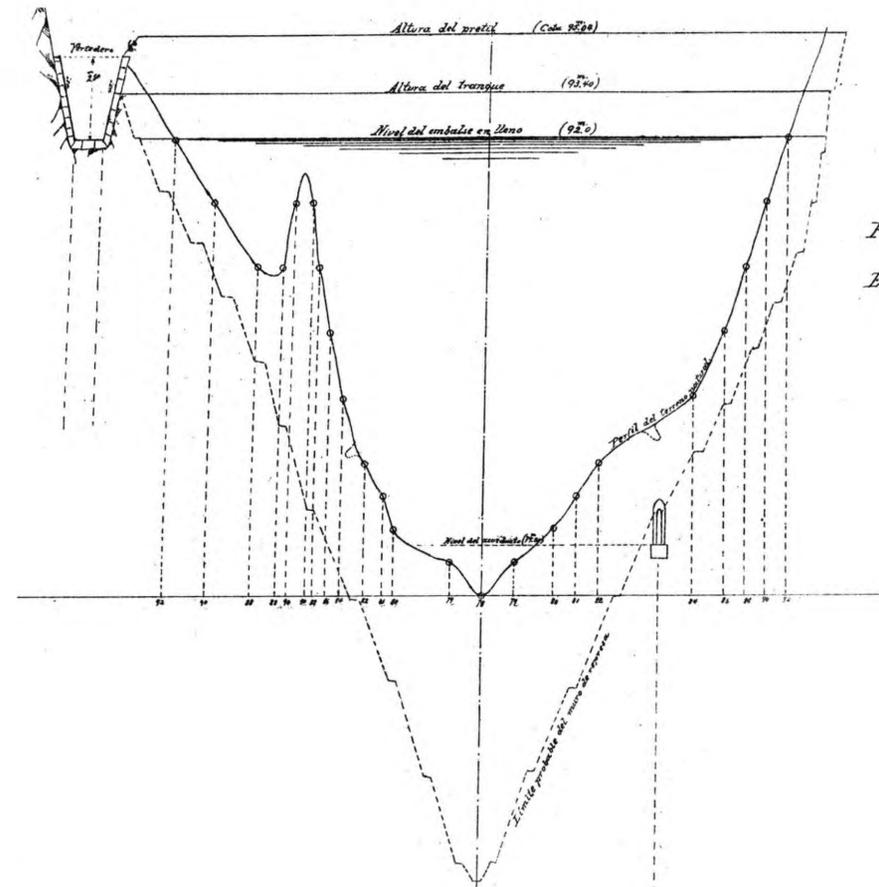
## DETALLES.

ESCALA DE . . .

# 4

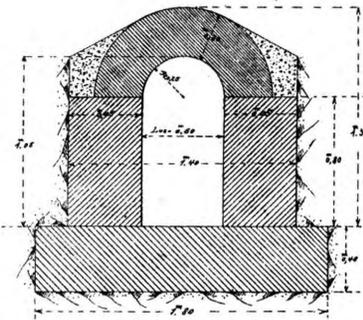
Santiago, Septiembre de 1901.

*Manuel Linares*

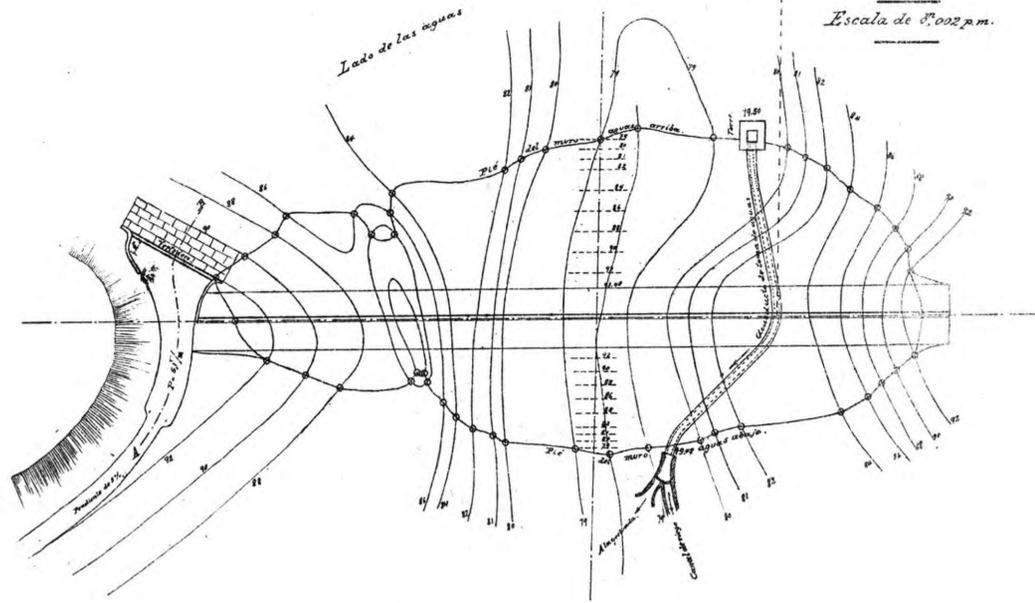


### Acueducto.

Sección transversal en los extremos  
Escala de 1:100 p.m.



Planta del tranque  
Escala de 1:1000 p.m.



Corte transversal del tranque.  
Escala de 1:100 p.m.

