

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

EL PANTANO DEL EBRO ⁽¹⁾

Sección práctica ó efectiva de los desagües de fondo.—De lo anterior se deduce que los desagües de fondo habrán de tener, por lo menos, una sección teórica de unos 4 metros cuadrados. La sección real de las aberturas, en el plano de los cierres, habrá de ser algo mayor para tener en cuenta la reducción debida á la contracción de la vena líquida. Esta puede, sin embargo, hacerse incompleta y relativamente muy reducida mediante el empleo de tubos adicionales convenientemente dispuestos. En las obras se han adoptado los cónicos de mayor rendimiento por sus proporciones y por la inclinación de sus generatrices respecto al eje—unos 10 á 12°—, los que ocasionan tan sólo una reducción del 6 por 100.

La sección práctica indispensable resultará ser, por consiguiente, de $\frac{4}{0,94} = 4,25$ metros cuadrados, á la que habrá que suplementar una reserva para casos de interrupción ó mal funcionamiento de un mecanismo ó de un cierre.

Estimamos necesario, para que tal funcionamiento quede asegurado en la medida que exijan los fines del pantano, que la reserva prevista se aproxime á una cifra equivalente al 50 por 100 de la calculada.

Con el mismo propósito, tratándose de un pantano alimentado con aguas muy limpias, y no siendo necesario, por consiguiente, disponer de una fuerza muy grande de arrastre para provocar limpiezas de gran eficacia, ni restablecer con el mismo objeto el régimen normal del río á embalse vacío durante ciertas épocas del año, conviene multiplicar el número de vanos ó aberturas para hacer más fácil el manejo de sus cierres.

Se proyectan dos compuertas de fondo á la altura mínima definida por las consideraciones preliminares de este capítulo, de 1,25 metros de anchura por 2 metros de altura. El área total resulta ser de $2 \times 1,25 \times 2 = 5$ metros cuadrados y la sección teórica equivalente de $0,94 \times 5 = 4,70$ metros cuadrados.

Esta sección, ligeramente superior á la calculada, podría haber sido suplementada, de acuerdo con lo que se indicó, con un tercer vano de iguales dimensiones, pero se ha considerado preferible hacerlo con dos tuberías de gran diámetro, cerradas por llaves de compuerta de un tipo corriente, á cuyo manejo, siempre fácil aun á embalse lleno, podrá recurrirse en cualquier caso,

tanto para el suministro de caudales relativamente pequeños, como para poder asegurar, sin riesgo de pérdidas de agua, la renovación de la contenida en el fondo del vaso.

Esta es indispensable, pues de lo contrario podrían reunirse, por falta de remoción debida al estancamiento, las aguas más cargadas de materias orgánicas ó de sales procedentes de la disolución parcial de algunas rocas muy abundantes en los terrenos de la cuenca vertiente (por ejemplo las calizas cavernosas y dolomías del cretáceo), en el transcurso del plazo, muy largo á veces, durante el cual el fondo del vaso ha de quedar constantemente cubierto de agua.

Regístranse en los lagos diferencias muy acentuadas en la composición de muestras tomadas en lugares próximos, aun en aquellos que son alimentados por una sola corriente principal; con mayor razón ha de manifestarse el fenómeno en el embalse del Ebro en el que concurren las aportaciones de ríos de tan distinto régimen, naturaleza, condiciones y curso, como el Híjar ó el Ebro, y el Virga ó el Proncio. La acumulación de materias orgánicas, debida á una preponderancia accidental de la alimentación debida á estos dos últimos ríos podría, siquiera fuese en breve plazo, y en menor proporción que actualmente, alterar las buenas condiciones de potabilidad habituales en las aguas del Ebro, con perjuicio de la salubridad de algunos poblados inferiores al pantano. Por el contrario, la acumulación de caudales de estiaje debidos principalmente á las aguas de las fuentes de Fontibre, Rinosa y otros manantiales menos importantes, perjudicaría á los mecanismos de cierre sobre los que podría, tal vez, en el transcurso de un largo plazo de parada, provocar incrustaciones que dificultasen su manejo y conservación.

Las tuberías propuestas, utilísimas para la explotación de la obra, son suficientes para el indicado objeto sin necesidad de recurrir á las grandes compuertas cuya maniobra tan sólo será necesaria, bajo cargas reducidas, al final de algunos periodos de acentuada sequía. Son dos, de un metro de diámetro y de una sección de 0,78 metros cuadrados.

Aun cuando precede al cierre un trozo cónico, en forma de tubo adicional de gran rendimiento, la reducción de la carga debida á la longitud de la tubería que sigue al cierre, y á los codos, produce en definitiva una reducción en la sección efectiva ó teórica de 18 por 100. Dicha sección resultará ser en consecuencia $2 \times 0,82 \times 0,78 = 1,28$ metros cuadrados y la total de los desagües de fondo de $4,70 + 1,28 = 5,98$ metros cuadrados, que es, casi exactamente, la calculada como sección definitiva—4,25 metros cuadrados—adicionada ó suplementada en la proporción prevista.

(1) Véase el número anterior.

Capacidad de los desagües de fondo.—Los caudales á que estos desagües pueden dar salida bajo las diferentes alturas ó cargas de agua en el pantano que se indican, son las siguientes:

Cotas.	COMPUERTAS		TUBERÍAS			
	Cargas h Metros.	$q = 2,35 \sqrt{2gh}$ $m^3 \times 1'$	h' Metros.	$q' = 0,64 \sqrt{2gh}$ $m^3 \times 1'$	$Q = q + q'$ $m^3 \times 1'$	$\frac{2Q}{3}$ $m^3 \times 1'$
113	»	»	»	»	»	»
114	»	»	»	»	»	»
115	1	10,408	»	»	»	»
116	2	14,720	1	2,835	17,555	35,110
117	3	18,029	2	4,009	22,038	44,076
118	4	20,816	3	4,910	25,726	51,452
119	5	23,274	4	5,669	28,943	57,886
120	6	25,495	5	6,338	31,833	63,666
121	7	27,537	6	6,943	34,480	68,960
122	8	29,441	7	7,499	36,940	73,880
123	9	31,227	8	8,018	39,245	78,490
124	10	32,914	9	8,504	41,418	82,836
125	11	34,521	10	8,963	43,484	86,968
126	12	36,056	11	9,402	45,458	90,916
127	13	37,529	12	9,819	47,348	94,696
128	14	38,944	13	10,221	49,165	98,330
129	15	40,312	14	10,606	50,918	101,836
130	16	41,635	15	10,978	52,613	105,226
131	17	42,904	16	11,339	54,243	118,486
132	18	44,158	17	11,684	55,842	111,684

OBSERVACIONES.—Cota del umbral de la toma 120. Gasto total correspondiente, 63.666 metros cúbicos por segundo.

Expresión gráfica de las leyes de variación de estos caudales son las curvas más bajas del gráfico general (fig. 13). La escala correspondiente está representada en un costado lateral del cuadro.

Galerías de descarga de los desagües de fondo.—Las galerías de descarga de estos desagües deben ser capaces de conducir, en régimen normal, el caudal á que como máximo pueden dar paso. Este caudal corresponderá al caso en que el embalse se encuentre lleno y los cierres ó compuertas completamente abiertos, y alcanza el valor de $Q = 4,70 \sqrt{2g \times 18} + 1,28 \sqrt{2g \times 17} = 111,684$ metros cúbicos por segundo.

Para que pueda circular tan gran caudal es preciso disponer dos galerías.

Cada una de ellas deberá, pues, tener una capacidad máxima de conducción de 55,842 metros cúbicos por segundo, que corresponde á la apertura completa, á plena carga, de una compuerta y de una llave.

Para la circulación máxima, ó sea para este caso extremo, se ha admitido un valor para la velocidad media de unos 5 metros por segundo, de modo que la sección deberá ser de 11 metros cuadrados como mínimo.

La forma dada á esta sección, muy corriente en los túneles de grandes canales y acueductos, es la indicada en la figura 14, en la que se ha hecho un estudio gráfico completo, mediante la representación de la ley de variación con la altura, de la sección, del radio medio, de la velocidad y del caudal.

Las dimensiones de la sección son tales, que en el caso extremo, al que corresponde una de las ordenadas trazadas sobre el dibujo, queda una superficie superior suficientemente grande para que pueda establecerse la ventilación, ó sea la corriente de aire simultánea con la líquida, que es indispensable para garantizar la existencia de las obras y la constancia del caudal de agua.

Aun contando con un coeficiente de rozamiento con las paredes muy reducido ($\gamma = 0,06$, correspondiente á paredes enlucidas), la pendiente necesaria para originar la velocidad máxima de 4,90 metros por segundo, es bastante crecida (según la fórmula moderna de M. Bazin, utilizada para todo el cálculo, de 0,0025). En su crecimiento dependiente del aumento de la altura del agua en la galería, pronto alcanza la velocidad elevados valores,

que rápidamente se aproximan al máximo. Así, por ejemplo, el caudal normal de suministro en pleno verano, que puede elevarse á la cifra de unos 60 metros cúbicos por segundo, y que á plena abertura puede ser arrojado por los desagües con una carga algo inferior á 6 metros sobre el centro de presión de las compuertas, ó sea cuando el nivel del agua en el embalse esté por bajo de la cota 120, será ya de 4,25 metros por segundo, alcanzando el tirante de agua en la galería el valor de 1,80 metros.

Aprovechamiento de los desagües de fondo para la derivación total del río en aguas bajas y medias.—Los desagües de fondo deben ser, además, capaces para cumplir una doble é importantísima misión de carácter provisional. Deben dar salida al caudal de estiaje y aguas bajas durante la construcción del antedique y, una vez realizada ésta, consentir la evacuación de las más elevadas avenidas probables del río, en tanto dura la del dique definitivo, contando, al efecto, con la regulación debida á la capacidad del embalse parcial que aquél puede crear.

Nos limitaremos por el momento al primer aspecto reservando el segundo para un atento examen posterior.

Claro es que para no reducir, prematura é inoportunamente, la sección de desagüe, no han de establecerse los cierres hasta tanto, por lo menos, que no esté el antedique completamente terminado y enrasado á la altura prevista por sucesivos cálculos. Podrá, pues, contarse, para los efectos de este primer funcionamiento de las galerías, con su sección completa por la cual el agua ha de entrar sin carga, como pudiera hacerlo en el caso teórico de un aliviadero seguido de un canal. En tales condiciones las dos galerías podrían evacuar, sin que el agua llegase á rebasar la coronación de la presa provisional de derivación, un caudal de 58 á 60 metros cúbicos por segundo, muy superior al que habitualmente circula por el río, aun en época de aguas altas. Efectivamente, según el régimen normal, la cifra de 5 metros cúbicos por segundo es apenas superada durante cortísimos plazos, y muy rara vez durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, y la mayor, la de 60 metros cúbicos por segundo, únicamente rebasada en caso de avenidas procedentes de fuertes y prolongados aguaceros, como las de otoño, ó de rápidos deshielos causantes de las mayores ocurridas en la primavera.

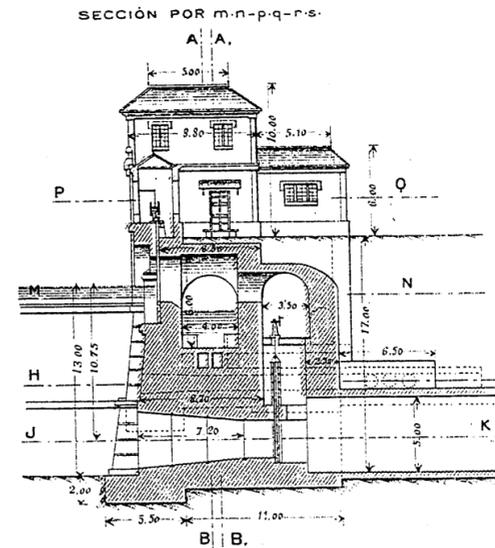
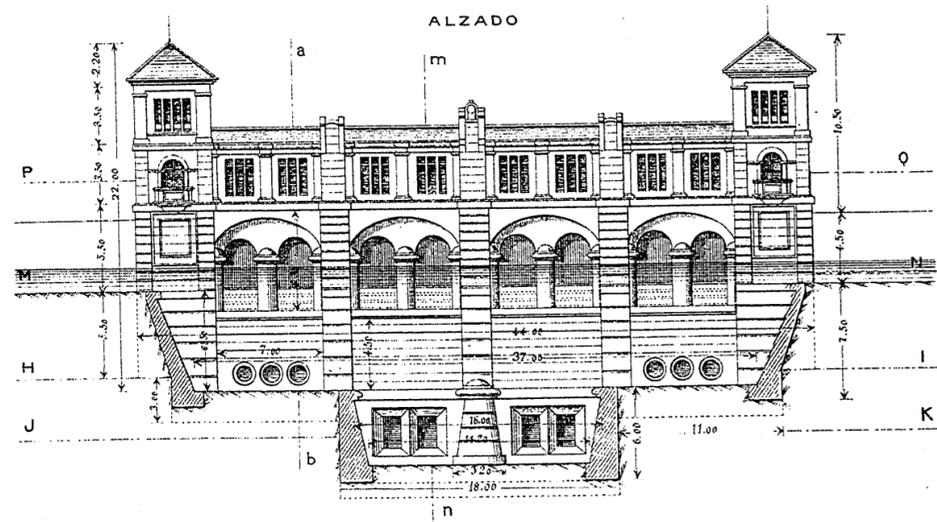
Podría suceder que la falta de revestimiento de algún trozo de la galería, no indispensable para el sostenimiento del terreno, redujese su correspondiente capacidad de descarga. Aun cuando así fuese y alcanzase el coeficiente de rozamiento del agua con las paredes un valor elevado, 1,30 por ejemplo, dicha capacidad conservaría el de 15 metros cúbicos por segundo, por cada galería, ó de 30 por las dos, muy superior todavía á las necesidades del caso (1).

Sección práctica ó efectiva de las tomas.—La sección teórica máxima, deducida del cálculo gráfico, es de 10,30 metros cuadrados.

Con criterio semejante al seguido para proyectar los desagües de fondo la sección práctica en el plano de cierre será $\frac{10,30}{0,94} = 10,95$ metros cuadrados.

Esta sección puede ser ampliamente conseguida con cuatro compuertas de 2,50 metros de altura y 1,25 metros de anchura. Cada una de ellas tendrá $2,50 \times 1,25 = 3,125$ metros cuadrados y el conjunto $4 \times 3,125 = 12,50$ metros cuadrados, con un exceso de 1,55 metros cuadrados equivalente al 14 por 100 de la sección total.

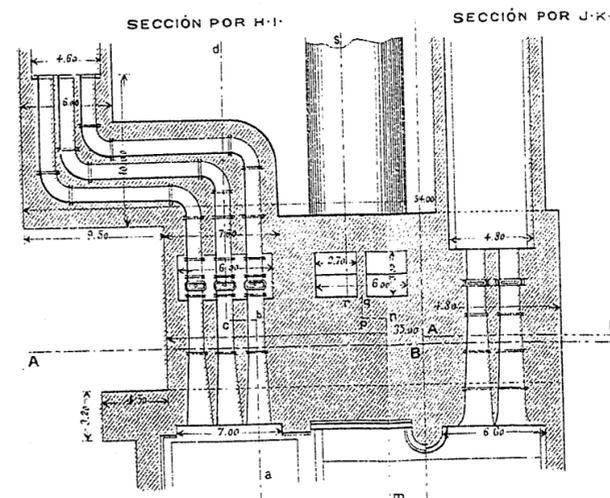
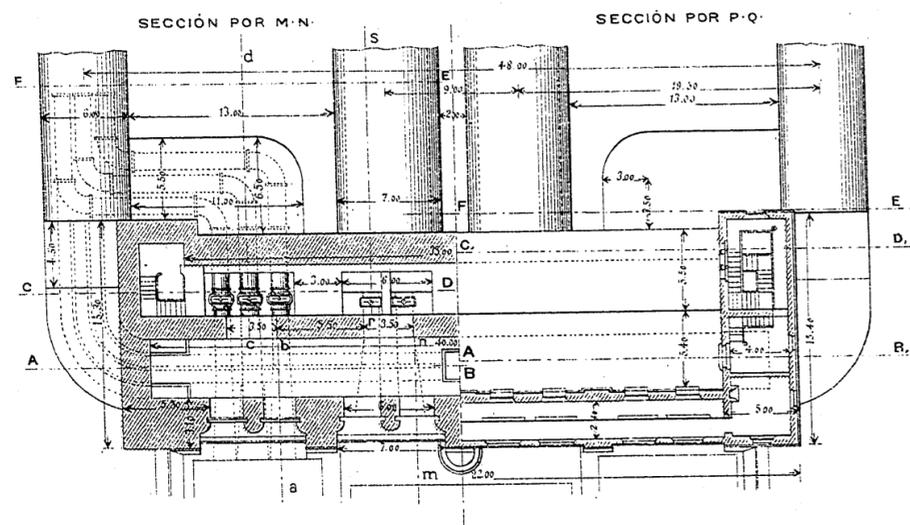
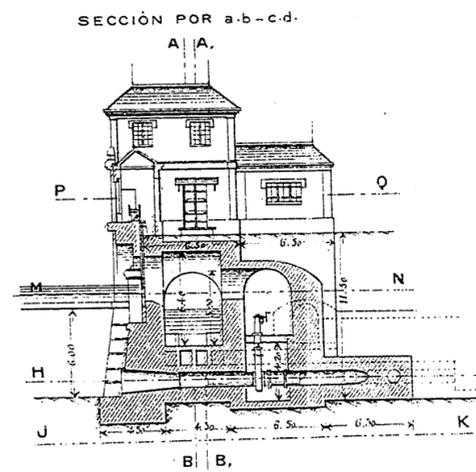
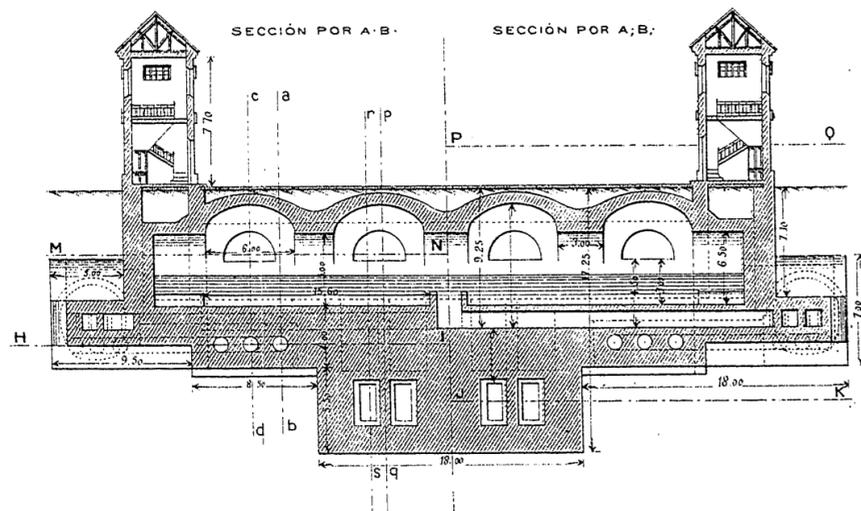
(1) Los aforos son efectuados con atención que garantiza su relativa exactitud. Al efecto se ha construido un tramo, y en él montado un aparato registrador ó fluviógrafo en el cual deja el agua registrada una huella continua de su paso. (Figuras 15 y 16). Funciona desde el año 1911.



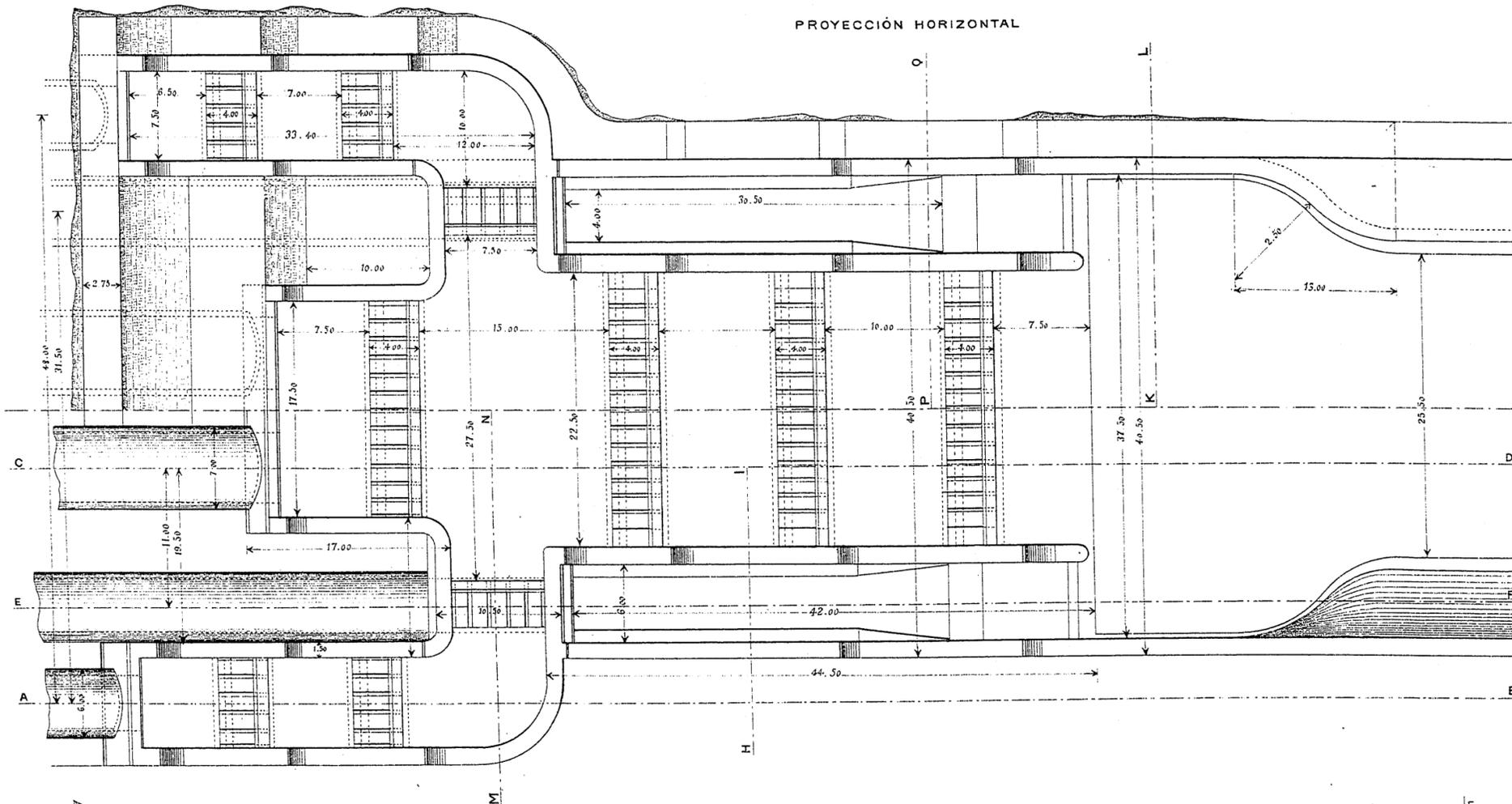
PROYECTO
DEL
PANTANO DEL EBRO
EN
REINOSA

—TOMAS—
DESCARGAS SUPERFICIALES

ESCALA 1-400



PROYECCIÓN HORIZONTAL

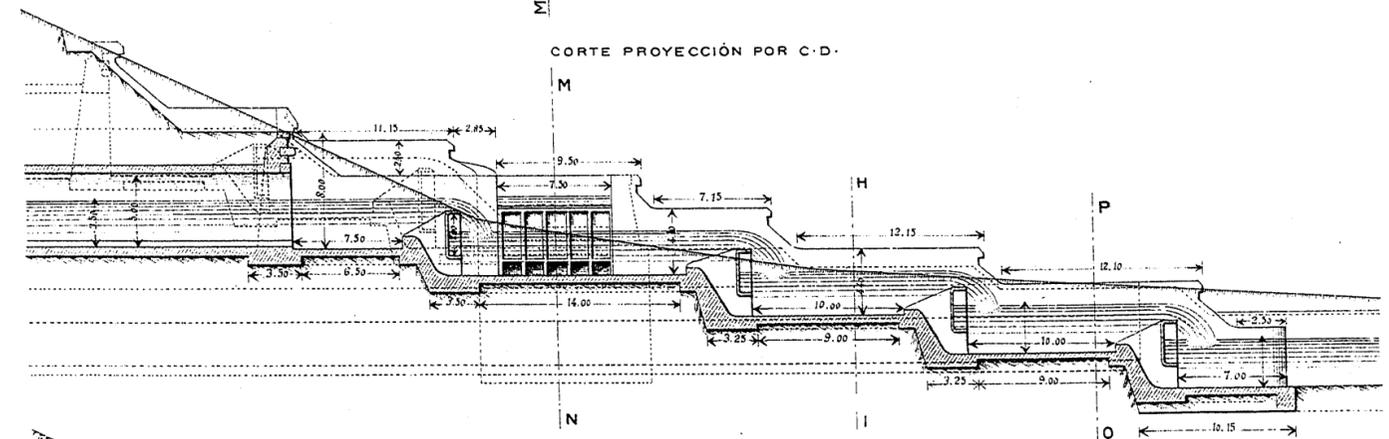


PROYECTO
DEL
PANTANO DEL EBRO
EN
REINOSA

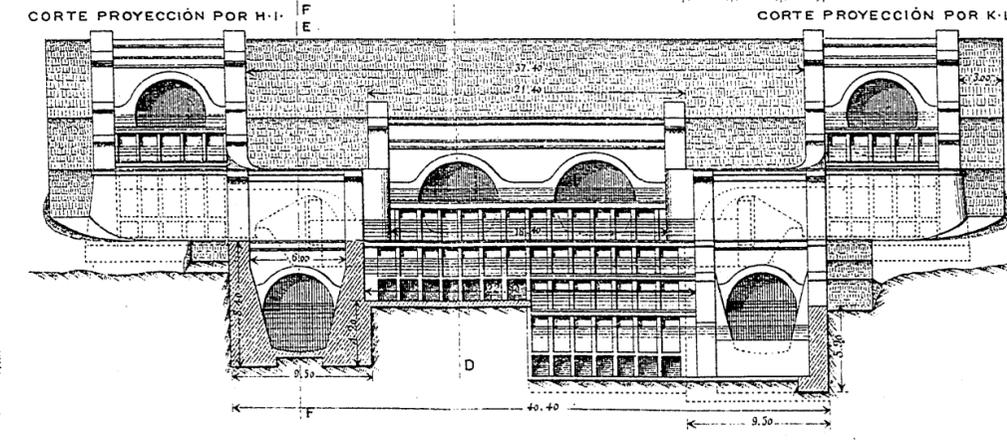
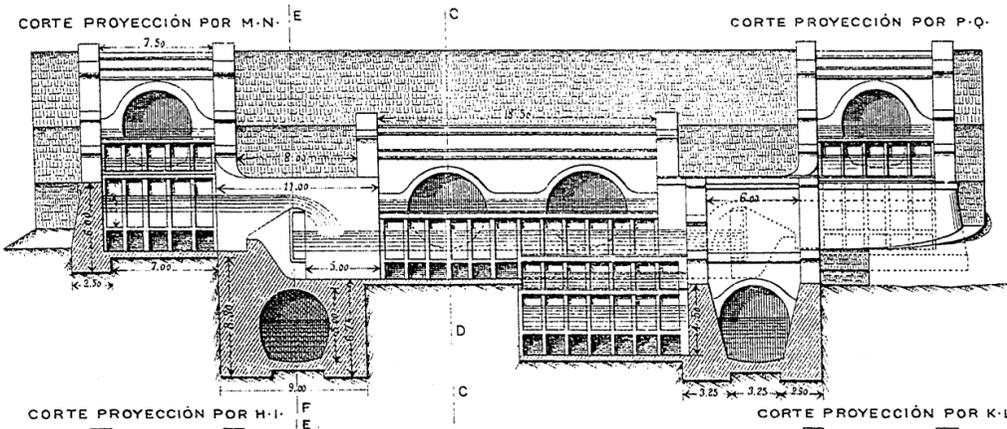
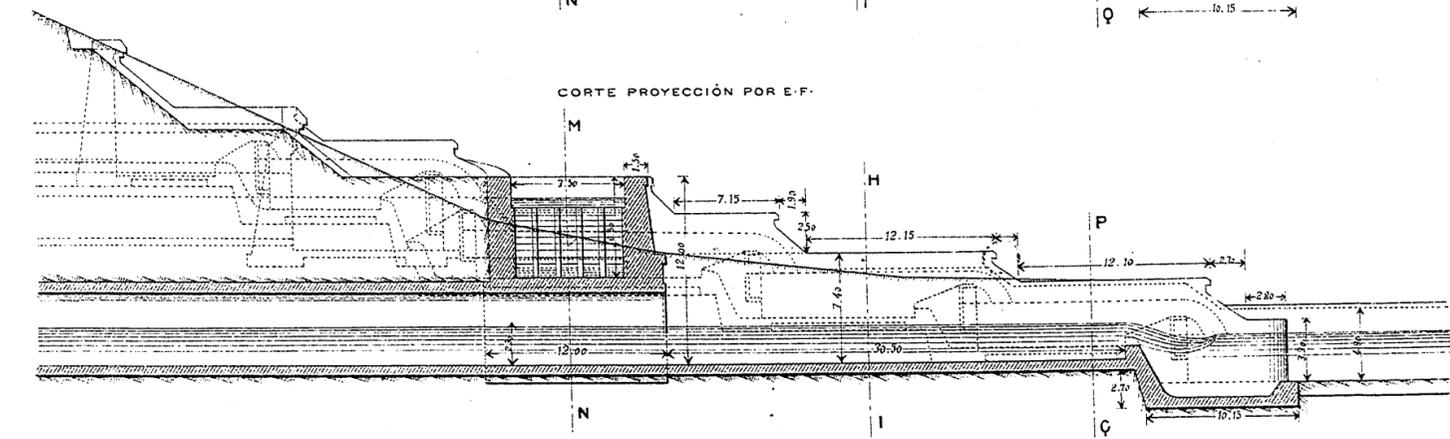
OBRA FINAL DE DESCARGA

ESCALA 1-400.

CORTE PROYECCIÓN POR C-D.



CORTE PROYECCIÓN POR E-F.



A aumentar este exceso, garantizando y facilitando, cuando no excusando, el funcionamiento de los mecanismos necesarios para la maniobra de los cierres, contribuirán tuberías me-
jantes á las de los desagües de fondo.

Estas tuberías, cuya principal misión, aparte de la indicada,

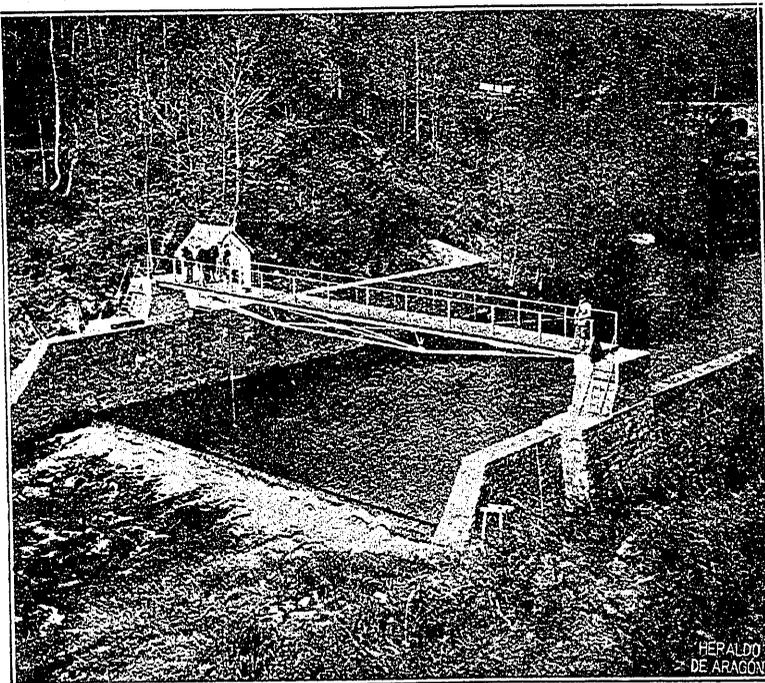


Fig. 15.

SERVICIO HIDROGRÁFICO.—Tramo de aforo de Arroyo.

será suministrar los pequeños caudales que exige la regulariza-
ción del régimen durante los días extremos del período estival,
y los suplementarios indispensables para asegurar durante el in-
vierno la circulación constante del caudal legal en el tramo su-

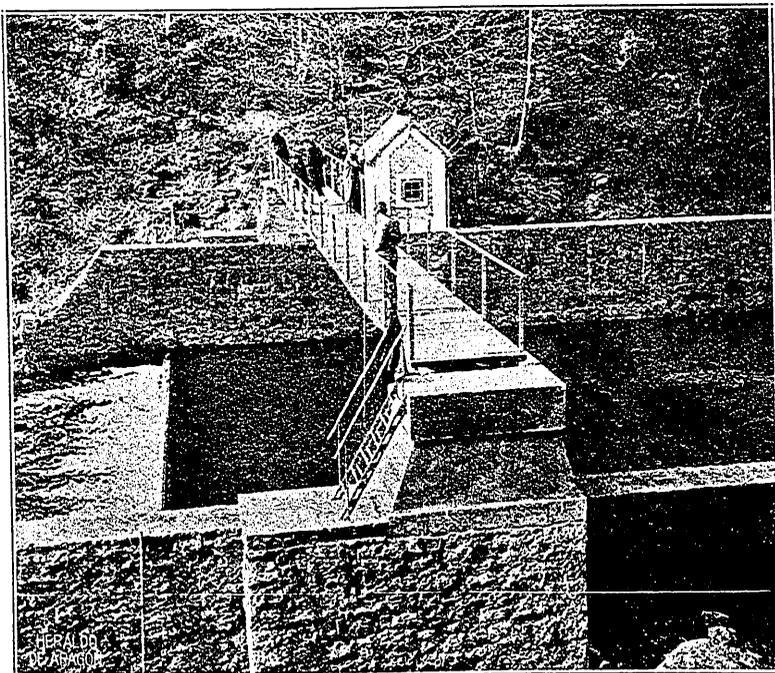


Fig. 16.

SERVICIO HIDROGRÁFICO.—Tramo de aforos de Arroyo.

perior del río, pueden quedar á un nivel superior al de las gran-
des compuertas de toma.

Efectivamente, el caudal necesario para suplementar el de
Puentelarra, garantizando su constancia, es de unos 15 metros
cúbicos por segundo, en Enero, Febrero y Marzo de años excep-
cionales, como 1913 (invierno 1912 13), y oscila entre 10 y 12
metros cúbicos por segundo durante algunos cortos períodos de

escasez local, en años normales, durante los meses de Noviembre,
Mayo y Junio (1).

Estos volúmenes suplementarios, que deben ser regulados
con gran exactitud á fin de reducir pérdidas durante el período
de acaparamiento, pueden en un principio ser suministrados por
las tuberías inferiores. A fines de Noviembre, según el régimen
de funcionamiento del pantano, el volumen almacenado oscila,
como mínimo, alrededor de unos 50 millones de metros cúbicos,
que es aproximadamente la capacidad creada por el antedique,
correspondiente á una altura de agua en el embalse inferior al
umbral de las compuertas de toma. En Enero el volumen rete-
nido es ya, como mínimo (2), de unos 100 millones, pero alcanza
como valor medio el de 300 millones de metros cúbicos.

Los caudales suplementarios en Abril, Mayo y Junio podrían
darse ya, siempre, con una toma situada á la altura definida por
el volumen de 250 millones de metros cúbicos ó sea á la de
126,70 metros. Y como quiera que seis tuberías de un metro de
diámetro, dispuestas en forma análoga á las proyectadas en los
desagües de fondo, pueden dar paso con un metro de carga á un
caudal de 17,010 metros cúbicos por segundo — superior al
máximo suplementario previsto —, las tuberías en cuestión po-
drán estar á la cota 125.

Cuando el agua descienda de aquel nivel puede ser perfecta-
mente graduado el caudal mediante el oportuno manejo de las
grandes compuertas, que trabajarán con una carga inferior á
4 metros; pero se puede también recurrir á las llaves del fondo,
que soportan una carga de 11 metros, bajo la cual pueden dar
salida á un caudal de 18,804 metros cúbicos por segundo.

Los mismos tubos del fondo pueden dar los pequeños cauda-
les—hasta de 12 metros cúbicos por segundo—cuando la carga
sobre ellos sea de 4 metros ó, lo que es lo mismo, cuando el nivel
del agua en el pantano esté á la cota 119, á la que corresponde
un volumen de 31,50 millones de metros cúbicos, equivalente al
6 por 100 de la capacidad total, que ha de quedar siempre rema-
nente, salvo excepcionalísimas circunstancias, remanente en el
fondo del pantano.

La sección total de los desagües intermedios, ó tomas, resul-
tará ser de $4 \times 2,50 \times 1,25 + 6 \times 0,78 = 17,18$ metros cua-
drados, y la teórica equivalente de $0,94 \times 12,50 + 0,82 \times 4,68$
 $= 15,58$ metros cuadrados, que supone una reserva ó exceso de
5,28 metros cuadrados, equivalente, aproximadamente, al 50 por
100 de la teórica deducida del cálculo gráfico.

Capacidad de las tomas.—La capacidad máxima de estos des-
agües será $Q_1 = q_1 + q'_1 = 166,614 + 44,994 = 211,608$ me-
tros cúbicos por segundo, y la variación correspondiente á la del
nivel del agua en el pantano, la que sigue:

Cotas.....	COMPUERTAS			TUBERÍAS			Caudales totales. $Q = q + q'$ $m^3 \times 1'$
	Cargas h	Velocidades $\sqrt{2gh}$	Caudales $q = 11,25 \sqrt{2gh}$	h'	Velocidades $\sqrt{2gh}$	Caudales $q' = 3,84 \sqrt{2gh}$	
	Metros.	m. \times 1'	m ³ \times 1'	Mets.	m. \times 1'	m ³ \times 1'	
120	»	»	0,000	»	»	»	0,000
121	»	»	24,500	»	»	»	24,500
122	»	»	45,072	»	»	»	45,072
123	1,75	5,859	68,842	»	»	»	68,842
124	2,75	7,345	86,304	»	»	»	86,304
125	3,75	8,577	100,780	»	»	»	100,780
126	4,75	9,653	113,422	1	4,429	17,010	130,432
127	5,75	10,621	124,796	2	6,264	24,054	148,850
128	6,75	11,507	135,208	3	7,672	29,460	164,668
129	7,75	12,332	144,878	4	8,858	34,014	178,892
130	8,75	13,102	153,958	5	9,904	38,028	191,986
131	9,75	13,830	162,502	6	10,849	41,658	204,160
132	10,75	14,180	166,614	7	11,718	44,994	211,608

(1) Se señala en 22 metros cúbicos por segundo el caudal asignado en
Puentelarra.
(2) Véase «Régimen local de funcionamiento del embalse».

Variación con la altura de la capacidad de descarga de los desagües.—Todos estos caudales han sido llevados sobre las correspondientes ordenadas, á partir de los puntos de las curvas representativas, la capacidad de descarga de los desagües de fondo y en la misma escala (fig. 13). En el gráfico así formado han sido señalados los diversos desagües por medio de zonas rayadas con líneas del mismo color empleado en la curva que les corresponde. Las ordenadas totales, contadas á partir del eje horizontal de referencia (á la cota 112 m.), son las que resultan de sumar sucesivamente las capacidades de todos los desagües, comenzando por los más profundos.

Se ha dibujado también la curva que relaciona la capacidad del vaso con la altura, y referido sobre ella, por medio de líneas verticales, los puntos del contorno envolvente de las anteriores, que tienen cota entera—en metros cúbicos por segundo—de modo que resulta graduada en capacidades de descarga. La proyección de esta curva graduada sobre una escala paralela á la regular de volúmenes y contigua á ella, nos proporciona el medio de señalar de un modo inmediato el caudal de agua á que los desagües proyectados pueden dar salida para cada volumen almacenado en el pantano. Las curvas parciales totalizadas nos permiten juzgar acerca de la proporción en que cada desagüe interviene en el caudal total, y definen el límite de la intervención posible de cada uno de ellos en el suministro de un caudal determinado.

Análogamente hubiera podido trazarse una escala funcional, ó sea una escala de alturas transformada en caudales evacuados, mediante la proyección del contorno envolvente de las curvas de gastos sobre la escala horizontal, dando lugar á una traducción gráfica de los cuadros numéricos anteriores.

De la lectura del nomograma de escalas correspondientes ó acopladas, formado según hemos visto, resulta inmediatamente que el caudal suplementario de 50 metros cúbicos por segundo, muy próximo al mayor previsto, puede darse cuando el volumen de agua retenido sea tan sólo de 17 millones de metros cúbicos (3 por 100 del total).

Obsérvese también que, no obstante la escasa importancia relativa de los desagües de fondo, á los que corresponden, por consiguiente, curvas de caudales muy tendidas, ó sea curvas cuyas tangentes tienen un reducido coeficiente angular (elemento dependiente de la sección), el crecimiento de la capacidad de descarga en función del volumen es muy rápido en la parte más baja del embalse. Ello es debido al lento crecimiento del volumen con la altura, ó sea, dicho de otro modo, á lo rápidamente que éste aumenta al principio cuando el volumen crece de un modo regular y demuestra que los desagües de fondo pueden ser, por lo que al funcionamiento del pantano se refiere, relativamente pequeños.

Por el contrario en la parte media y alta del vaso, en cuanto el volumen almacenado pasa de 100 á 150 millones de metros cúbicos ó, lo que es lo mismo, la altura de las cotas 123 á 124, tal crecimiento es sumamente lento, á pesar de ser bastante rápido el de la curva de caudales correspondientes á las tomas. Esta observación pone de manifiesto la absoluta necesidad de disponer á la altura indicada, que, como es lógico, viene á coincidir con la señalada en el estudio general del régimen de funcionamiento del pantano, de otros desagües, y de que éstos sean mucho más amplios que los anteriores.

También queda justificada por este medio la mayor amplitud absoluta dada á la sección suplementaria en estos desagües que en los de fondo, mayor amplitud absoluta que procede de la conservación del margen proporcional de reserva.

Como quiera que el crecimiento de la capacidad de descarga va siendo cada vez menor por dos causas, por ser menor la inclinación de la curva de caudales, y por ser más rápido el creci-

miento del volumen con la altura del agua en el pantano; como, por otra parte, la seguridad de la obra, en cierto modo medida por el volumen sin ocupar, disponible para casos de avenidas, va disminuyendo, es preciso suplementar estos desagües hacia la parte más alta del vaso.

De ahí la necesidad de los vanos superficiales de descarga, merced á los cuales vuelve á ser de nuevo rápido, como lo es al principio, el crecimiento de la capacidad de evacuación ó salida de los desagües.

Tal crecimiento resulta ser, pues, grande cuando es indispensable; en la parte baja para el completo aprovechamiento del pantano, y en la parte alta para garantizar su existencia. En la zona media ó de aprovechamiento normal, el crecimiento del caudal—inevitable por la constancia de la sección—es sumamente lento á partir de un valor práctico, superior al mayor que el pantano puede suministrar.

La curva correspondiente á la descarga superficial regulable está representada sobre el mismo dibujo (fig. 13), en forma totalmente semejante á las anteriores. Como el caudal máximo á que dicha descarga puede dar lugar (á la cota límite 132) es de 65,90 metros cúbicos por segundo, la total del conjunto de los desagües puede llegar á ser de

	Metros cúbicos por segundo.
Desagüe de fondo.....	111,684
Idem intermedios ó tomas.....	211,608
Descargas superficiales.....	65,900
TOTAL.....	389,192

cuyo caudal supera, aunque no en mucho, al máximo instantáneo correspondiente á la mayor avenida del río que hemos tenido ocasión de registrar.

Viene esto á demostrar que los desagües proyectados, cuya necesidad está señalada por otras razones, no son excesivas, ya que sumados los de fondo é intermedios á los de superficie arrojan un caudal que apenas supera al mayor registrado—el cual lo habrá sido muchas veces y lo podrá volver á ser fácilmente—, siendo así que en los casos corrientes es práctica normal, y en general recomendable, disponer de un aliviadero de superficie que, por sí solo, sea capaz de evacuar el mayor caudal de avenida probable.

Las especialísimas condiciones del pantano en proyecto son tales que es posible prescindir de una instalación de esta naturaleza—en este caso de construcción costosísima ó peligrosa—sin que por tal concepto se pierdan ó desmerezcan las excepcionales garantías de seguridad que la obra debe ofrecer.

Al tratar concretamente de la descarga superficial en el capítulo siguiente, estudiaremos más detenidamente cuestión de tanta trascendencia.

Galerías de descarga de las tomas.—Para la descarga del caudal a que las tomas y desagües superiores pueden dar paso, se han agrupado las descargas superficiales con las tuberías, disponiendo al efecto dos galerías paralelas, cuya capacidad de conducción máxima, $\frac{65,900 + 44,994}{2} = 55,447$ metros cúbicos por segundo, es prácticamente idéntica á la que tienen las de fondo. Es pues aplicable cuanto respecto á ellas dijimos (fig. 14).

La evacuación de los caudales correspondientes á las grandes compuertas de toma exige dos galerías más capaces que las anteriores. La capacidad máxima será de $\frac{166,614}{2} = 83,30$ metros cúbicos por segundo.

La sección elegida para estas galerías es también bastante

frecuente en grandes colectores y canales importantes. Razones constructivas aconsejan el empleo de la bóveda continuada hasta los extremos de la solera, para el mejor aprovechamiento de la resistencia del material empleado en los revestimientos, y para la más fácil circulación de las aguas, y al mismo tiempo, que dicha solera sea cóncava con acentuada curvatura.

La sección resultante es geométricamente muy apropiada para el caso; así lo muestra el rápido crecimiento con la altura ó tirante de agua, de su radio medio. (fig. 17).

La velocidad máxima, correspondiente al caudal límite indicado, será de 4,90 metros por segundo, y para tal caso la pendiente necesaria de 0,002.

De la misma manera que en las galerías ya descritas la velocidad del agua es crecida aun para caudales normales, sin exceder los límites prácticos que la experiencia aconseja, en relación con la naturaleza de la fábrica de que han de estar formadas las paredes y fondo del cajero.

Un caudal de 20 metros cúbicos por segundo, por ejemplo, alcanzaría una altura de 1,30 metros y circularía con una velocidad de 3,25 metros por segundo.

Evacuación de las avenidas del Ebro por los desahües de fondo durante la construcción del dique definitivo.—Para terminar la exposición teórica de los principios fundamentales sobre que descansa el proyecto de las obras necesarias para desempeñar el servicio que nos ocupa, justificaremos la suficiencia de los desahües de fondo definitivamente terminados, es decir, después de establecidos los cierres, para dar salida a las mayores avenidas probables del río durante el período de construcción restante, á favor del efecto regulador debido a la capacidad creada por el dique provisional. Esta es, á la altura de su coronación, prescindiendo del parapeto (cota 122), de 79 millones de metros cúbicos.

Las mayores avenidas registradas por nosotros han sido las siguientes (1):

AÑO	MES	DÍAS	VOLUMEN TOTAL Metros cúbicos.	CAUDAL MÁXIMO m ³ × 1''
1912	Febrero.....	4 á 12	53.166.240	149,00
»	Abril y Mayo.....	28 á 2	30.828.520	125,00
»	Noviembre.....	17 á 20	22.291.200	148,00
1913	Abril.....	4 á 8	20.861.270	105,00
»	Mayo.....	14 á 17	16.286.400	98,00
»	Noviembre.....	10 á 12	10.022.400	62,00
1914	Febrero.....	5 á 10	26.123.044	98,00
»	Febrero.....	20 á 28	47.269.080	261,00

Ninguna de ellas ha llegado á arrojar un volumen mayor que el creado, de modo que estas avenidas—algunas de las cuales, como las de Febrero de 1912 y 1914, alcanzaron una gran intensidad—hubieran podido quedar detenidas sin peligro en el embalse parcial, aun cuando hubiesen permanecido cerrados los desahües, conservando todavía un margen suficiente para poder dar salida á las aguas de la avenida con lentitud, al objeto de aprovecharlas durante el próximo estiaje.

Pero estas avenidas pueden ser, y lo serán, superadas. El recuerdo de las excepcionales del Ebro, ninguna de las cuales ha coincidido con las anteriores fechas, nos induce á prever que, de un modo aproximadamente semejante, las de Arroyo pudieron tener mucha mayor importancia.

Por otro lado no es difícil que concurren diversas circunstancias favorables á la acumulación de elementos para la formación de una gran riada en Arroyo. Basta para el caso pensar en la pro-

longación de la crudeza de un invierno abundantísimo en nieves, hasta los primeros días de Marzo y aun de Abril, con bajas temperaturas persistentes que mantengan la nieve acumulada en los puertos y en la zona montañosa más elevada, seguido bruscamente de una acentuada elevación de temperatura debida á un viento SO. ó Sur, procedente de la meseta caldeada por el sol á través de una atmósfera clara y transparente. Supongamos, además, que estas circunstancias concurren en un día despejado, seguido de otro ú otros, durante los cuales caiga un fuerte aguacero, de los que son pródigos en la citada época los vientos que tienen componente occidental (1).

Todas estas circunstancias son verosímiles. No lo es tanto su coincidencia completa, pues algunas de ellas son casi contradictorias, dentro de lo humanamente presumible, de acuerdo con las observaciones registradas y con el régimen general de vientos y lluvias del del Norte de España; así, por ejemplo, la coexistencia ó sucesión muy rápida de un viento cálido del SO. ó del Sur y de un fuerte aguacero de análoga procedencia. Pero aun cuando no



Fig. 18.
SERVICIO METEOROLÓGICO.—Estación general de Reinosá.

en tan justa medida, ni con la misma desdichada inoportunidad, pueden coincidir las condiciones suficientes para dar lugar á una riada comparable, con algunas de las cuales se conserva memorable recuerdo en el país. Merece ser citada como reciente una del Híjar, acaecida en el invierno 1909-10, que destruyó la mayor parte de los puentes que establecen el paso al camino de Espinilla á Campóo de Arriba ó Suso (Naveda, Celada, Mazandrero, Riaño, Entrambasaguas, Abiada.....), de los pueblos situados en la margen derecha del río (Naveda, Celada, Mazandrero, Entrambasaguas y La Lomba).

Para prever estos casos efectuaremos la comprobación, aceptando una avenida hipotética desarrollada en forma análoga á la mayor que conocemos (Febrero de 1914), pero con intensidad y duración dobles de las registradas. Dicha avenida supone la circulación rápida de un volumen total de 189 millones de metros

(1) Para el estudio del régimen meteorológico de la cuenca alimentadora del pantano, se han montado: una estación meteorológica central en Reinosá, tres estaciones meteorológicas ordinarias en Abiada, población de Yuso (Santander) y Cabañas de Virtus (Burgos) y cinco estaciones pluviométricas en Mazandrero, Soto, Fombellida, Orzales y Arroyo. En la estación de Reinosá, una de la más completa de España (fig. 18), se recogen datos á partir de 1911.

Todo el servicio meteorológico, dependiente de la División hidráulica del Ebro, corre á cargo del maestro de niños de Reinosá D. Francisco Hernández. (Documentos anejos á la Memoria del proyecto, números 4 y 5.—«Datos meteorológicos».—Alimentación del pantano.)

(1) En el proyecto figuran los trozos de curva de régimen correspondientes. (Documento anejo á la Memoria núm. 3, VI.)

cúbicos, equivalentes á una lluvia aprovechada media de 380 milímetros, que representa la caída en extensas zonas de la comarca, durante un corto plazo, de una altura de lluvia muy superior á 500 y aun á 600 milímetros. Procediendo por comparación equivaldría (1) á una lluvia de 140 milímetros en un día sobre la estación pluviométrica de Abiada.

Supondremos, además, que tan extraordinaria avenida se presenta cuando el pantano iniciado no está completamente vacío, es decir, en circunstancias normales medias.

Las escalas y nomogramas deducidos (fig. 13) nos proporcionan elementos para trazar las curvas representativas de la transformación originada por la existencia del embalse.

Efectuadas las operaciones gráficas indispensables para hacer la transformación (2), llaman la atención, desde luego, la considerable reducción del caudal de la avenida después de pasar por el pantano, y el gran retraso ó tiempo transcurrido entre los máximos.

El tipo de la fijada, es general. Casi todas las más importantes del Ebro suelen presentarse en la misma forma. A la primera, rápida y extraordinaria crecida, siguen otras escalonadas, más distanciadas cada vez y menos caudalosas. La subida es brusca y el descenso relativamente lento, con alternativas muy marcadas. Estos máximos relativos posteriores son los que dan lugar al mayor caudal transformado ó, lo que es lo mismo, los que consiguen remansar un mayor volumen en el pantano, que encuentran ocupado parcialmente por las aguas de la primera crecida.

Aun contando con ello y admitiendo una larga duración del período de aguas altas, menos probable que la cuantía del primer máximo, éste quedaría reducido de 523,50 á 110,50 metros cúbicos por segundo y tendría lugar á los dieciséis días.

El volumen ocupado llega á ser, como máximo, de metros cúbicos 71.555.360, cuya capacidad corresponde á una cota de 121,60, más baja, aun en tan extremado caso, que la de coronación del antedique.

Otra manera más general, aunque menos expresiva, de plantear la cuestión, es la siguiente:

Supongamos que sobrevenga en circunstancias normales, esto es, estando el pantano completa ó casi completamente vacío, una avenida de caudal constante y de duración indefinida. Calculemos el tiempo que tarda una avenida de tal naturaleza, irreal y sumamente desfavorable, en alcanzar una altura determinada.

Si designamos por Q el caudal constante de la avenida, por q y S , respectivamente, la capacidad de los desagües y la superficie inundada, variables ambas con la altura h , y por t el tiempo, tendremos inmediatamente la siguiente ecuación diferencial

$$(Q - q) dt = Sdh. \quad (1)$$

La superficie viene relacionada con la altura en la parte más profunda del vaso, por la expresión:

$$S = 320.000 h^2.$$

La curva que representa la variación de la capacidad de los desagües, puede ser sustituida en su primera parte (fig. 13) por un trazado poligonal cuyos vértices son

$h = 0$	$q = 0$
$h = 4$	$q = 44$
$h = 7$	$q = 65$
$h = 10$	$q = 146.$

(1) El régimen meteorológico general, y muy especialmente el pluviométrico, son objeto de detenido estudio, fundado en numerosas observaciones, en el cap. IV.—«Cuenca de alimentación del pantano».—«Evaluación de sus recursos hidráulicos».

(2) En la Memoria del proyecto se reproduce el trazado, como justificación del argumento á que el ejemplo estudiado conduce, pero para los efectos de esta publicación conceptuamos suficiente la expresión de los resultados.

Las rectas que los unen, cuya sucesión viene á sustituir á la curva efectiva, tendrán por ecuaciones

$$\begin{aligned} \text{Entre } h = 0 \text{ (113) y } h = 4 \text{ (117)} & \dots \dots \dots q = 11 \cdot h \\ \text{» } h = 4 \text{ (117) y } h = 7 \text{ (120)} & \dots \dots \dots q = 16 + 7h \\ \text{» } h = 7 \text{ (120) y } h = 10 \text{ (123)} & \dots \dots \dots q = 27h - 124. \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de S y q deducidos de las anteriores relaciones en la (1) y separando las variables, tendremos

$$\begin{aligned} t &= \int_0^{h \leq 4} \frac{320.000 h^2}{Q - 11h} dh \\ t &= \int_{h \geq 4}^{h \leq 7} \frac{320.000 h^2}{(Q - 16) - 7h} dh \\ t &= \int_{h \geq 7}^{h \leq 10} \frac{320.000 h^2}{(Q + 124) - 27h} dh \end{aligned}$$

Si designamos por t_4 el valor definido de la primera integral entre los límites $h = 0$ y $h = 4$, y por t_7 la suma del anterior con el definido de la segunda entre los límites $h = 4$ y $h = 7$, el tiempo total necesario para que una avenida de caudal constante Q alcance una determinada altura h , será el siguiente:

$$\begin{aligned} h < 4 \dots \dots \dots T &= \int_0^h \frac{320.000 h^2}{Q - 11h} dh \\ h > 4 & < 7 \dots \dots \dots T &= t_4 + \int_4^h \frac{320.000 h^2}{(Q - 16) - 7h} dh \\ h > 7 & < 10 \dots \dots \dots T &= t_7 + \int_7^h \frac{320.000 h^2}{(Q + 124) - 27h} dh \quad (1). \end{aligned}$$

Por medio de estas fórmulas se ha calculado los elementos necesarios para formar el gráfico (fig. 19) que acompaña á la Memoria del proyecto.

Las curvas trazadas corresponden á avenidas de caudales constantes de 100, 200 1.000 metros cúbicos por segundo.

La escala horizontal corresponde al tiempo y está dividida en días y en horas, por grupos de cuatro. Sobre las laterales, correspondientes á la altura, se han representado las funcionales de volúmenes totales y parciales del vaso.

De las ecuaciones fundamentales se deduce inmediatamente que cada curva tendrá por asímptota la horizontal trazada á una altura igual á la carga necesaria para que los desagües den salida al caudal constante de la avenida. Un caudal constante de 100 metros cúbicos, por ejemplo, no podría nunca llegar á llenar el vaso hasta la cota 121,25, pero el nivel tendería indefinidamente á alcanzar esa altura. Lo mismo sucedería con una avenida de 120 metros cúbicos por segundo respecto del nivel de la corona-

(1) Todas estas integrales indefinidas tienen la misma forma

$$t = \int \frac{ah^2}{m - nh} dh,$$

que es de solución inmediata.

Basta, efectivamente, hacer las siguientes sustituciones:

$$\frac{m}{n} - h = u \quad \text{ó} \quad h = \frac{m}{n} - u \quad \text{y} \quad dh = -du.$$

para que quede transformada en la siguiente:

$$\begin{aligned} t &= -\frac{a}{n} \int \frac{\left(\frac{m}{n} - u\right)^2}{u} du = -\frac{a}{n} \left[\left(\frac{m}{n}\right)^2 \int \frac{du}{u} - 2 \frac{m}{n} \int du + \int u du \right] \\ &= \frac{a}{n} \left[\frac{2m}{n} \left(\frac{m}{n} - h\right) - \left(\frac{m}{n}\right)^2 \cdot l. \left(\frac{m}{n} - h\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{m}{n} - h\right)^2 \right]. \end{aligned}$$

ción del antedique (cota 122), de modo que, para que las aguas pudieran rebasar este nivel, sería preciso que el caudal de la avenida superara esta cifra, bastante importante ya.

El tiempo necesario para que pudiera ser rebasada dicha coronación disminuye al aumentar el caudal. Tal disminución es mucho menos rápida que este aumento, de modo que es posible esperar, sin temor alguno, crecidas verdaderamente fabulosas, de una duración más inverosímil que su cuantía.

Una avenida de 1.000 metros cúbicos por segundo, equivalente á 2 metros cúbicos por kilómetro cuadrado de cuenca vertiente, no llenaría el embalse parcial sino en el transcurso de treinta y tres horas. Sería necesario para conseguirlo que un caudal de 300 metros cúbicos por segundo—superior al máximo instantáneo registrado en Febrero de 1914, que fué seguido de un rapidísimo descenso—estuviera llegando de un modo continuo durante cinco días y seis horas.

De otro modo más claro, pueden ser apreciadas las grandes garantías que el embalse parcial ofrece como regulador provisional de avenidas. Señalemos, en efecto, sobre cada curva, á partir del origen, una escala de volúmenes alcanzados por la correspondiente avenida. Si unimos los puntos que están igualmente acolados tendremos un haz de curvas, cada una de las cuales corresponderá á un volumen total, cualquiera que sea la forma en que tal volumen haya llegado á reunirse, ya sea en poco tiempo con un gran caudal, ya inversamente.

El examen de estas curvas (limitadas al trozo interesante del cuadro) permite ver que, para que una avenida llegue á llenar el embalse parcial con un caudal de 1.000 metros cúbicos por segundo como máximo, hace falta que arroje un volumen superior á 120 millones de metros cúbicos (1).

Obsérvese también, siempre con esa limitación de caudal, que para que las aguas pudieran alcanzar la altura de las obras de toma sería necesaria una avenida de 60 millones de metros cúbicos con el caudal máximo, y que serían precisos 80 ó más, es decir, por lo menos, el doble de las avenidas más copiosas conocidas para llegar á ese mismo nivel, si el caudal constante no supera á los observados y probables.

Sobre las mismas curvas están indicadas las lluvias totales y uniformes, totalmente aprovechadas, que pueden dar lugar á los volúmenes correspondientes. La de 240 milímetros representa una lluvia efectiva media de 279 milímetros, para alcanzar la cual es preciso que en algunos lugares haya llegado á una cifra superior á 500 milímetros. Así, por ejemplo, la mayor lluvia mensual registrada—372 milímetros en Abiada, Octubre de 1913—correspondió á las de 171,9 milímetros en Reinosa, 136 milímetros en Cabañas de Virtus y 50 milímetros en la población de Yuso.

Por último, sobre las curvas correspondientes á los diversos caudales de avenida están indicadas las precipitaciones diarias, totalmente aprovechadas, equivalentes. La consignada en la curva $Q = 400$ representa una lluvia efectiva superior á la mayor local, registrada en Abiada el día 22 de Febrero de 1914, durante el cual no llovió en varias estaciones de la red pluviométrica de la cuenca.

Como resumen de todas las consideraciones anteriores expo-

(1) Todas las curvas vuelven, muy cerca ya del eje vertical de alturas, rápidamente para arrancar tangencialmente del punto que tenga, según la escala funcional de volúmenes, igual cota.

Haremos observar que la curva 80, que es aproximadamente la que corresponde á la capacidad que limita la curva de cota 122, arranca del extremo superior del eje marginal de la izquierda y, por consiguiente, que es la última que queda completamente dentro del cuadro. Las sucesivas, hasta la 120, se saldrán para caudales muy superiores al máximo fijado de 1.000 metros cúbicos por segundo.

nemos nuestro convencimiento de que, aun en circunstancias verdaderamente extraordinarias, el embalse parcial puede regularizar con los desagües de fondo abiertos las avenidas á que la cuenca vertiente ó alimentadora puede dar lugar, sin que sea de temer el desbordamiento del dique provisional.

Aprovechamiento del embalse parcial durante la ejecución de las obras.—Creemos que, no solamente no ofrece peligro desde tal punto de vista, sino también que puede desde luego ser aprovechado para alcanzar en seguida un apreciable efecto útil de estas primeras obras. Tal efecto inmediato pudiera ser, por ejemplo, la seguridad en la alimentación del canal Imperial de Aragón, para completar la cual solamente en un año del largo período 1898-915, hubiera sido preciso un volumen superior al que puede ser retenido en el embalse parcial.

Bastaría para ello, con que una vez pasada la época de las riadas de primavera, es decir, en cuanto se tenga noticia de la desaparición de la mayor parte de la nieve en la parte alta de la cuenca, se cerrasen los desagües de fondo.

Aun prescindiendo de las aguas de Abril, que suelen ser abundantes, las de Mayo y Junio solamente (1) pueden ser suficientes al objeto perseguido.

Claro es que en esta época ya no son de temer las avenidas. Hacia el final de este corto y tardío período alimentador, dichas avenidas no pueden tener importancia y podrían ser aliviadas mediante un oportuno manejo de las compuertas de desagüe. Pero no será necesario recurrir á este medio, pues las galerías de toma pueden actuar como aliviadero de superficie, automático y amplio.

Para precisar bien esta posibilidad se han trazado dos cuadros (figuras 20 y 21) análogos al que les precede y que no exigen, por tanto, nueva explicación (2).

En el segundo está señalada la altura que indefinidamente tendería á alcanzar el nivel del agua, si sobreviniese una avenida, tan considerable para la época de que se trata, como la de 100 metros cúbicos por segundo de caudal. La de 200 metros cúbicos por segundo podría ser soportada durante cinco días, y durante doce horas la de 1.000 metros cúbicos, cuya producción exigiría, no ya un cambio de régimen meteorológico local, sino una verdadera alteración en las leyes aerofísicas conocidas.

La representación gráfica nos excusa de insistir sobre el particular.

El momento más oportuno y seguro para efectuar el cierre de los desagües habrá de decidirse en vista del resultado de las observaciones meteorológicas, del estado de la cuenca, del régimen hidrográfico anterior, etc.... De todo ello podrán existir, á la sazón, sobrados antecedentes.

Se ha tanteado, por último, la construcción de un aliviadero de superficie provisional á la altura de las tomas. Aun cuando su longitud es relativamente crecida, 40 metros, no aumenta de un modo sensible la garantía de seguridad de la obra y podría entorpecer en cambio su marcha.

Descripción de las obras.—Desagües de fondo.—Disposición general.—Nos limitaremos en este capítulo á describir las obras correspondientes á los desagües de fondo; las obras de toma, que van unidas á las descargas superficiales, serán descritas y justificadas en el siguiente, así como la obra general de incorporación al cauce del río, de la totalidad de las aguas á que todos los desagües ó vanos puedan dar salida.

La característica de los desagües de fondo—grandes vanos rectangulares cerrados por compuertas y tubos—está en que

(1) Estas aportaciones mensuales están indicadas en la representación gráfica del régimen de funcionamiento del pantano (fig. 2.^a).

(2) Las curvas Q han sido trazadas por un procedimiento gráfico explicado más adelante.

los cierres han sido colocados á alguna distancia de la boca ó entrada de las galerías.

No hay inconveniente en hacerlo así—y sí grandes ventajas de índole práctica—, por la circunstancia ya indicada, de que las aguas llegarán limpias, ó mejor dicho, desprovistas de arrastres, á las proximidades del dique, ó sea al lugar donde estos desagües están situados.

Recordaremos que los desagües de fondo son cuatro: dos rectangulares de 2,50 metros cuadrados y dos circulares de un metro de diámetro. Los primeros son los más profundos, tienen su umbral á la cota 113, ó sea, aproximadamente, un metro por encima del fondo del valle, y un metro por bajo del nivel de coronación de la presa provisional. Los tubos tendrán su eje á la cota 115.

Siguiendo el curso de las aguas pueden ser señalados en los desagües de fondo tres trozos, los siguientes (lámina V):

1.º Un primer trozo en canal, á cielo abierto, que arranca del estribo derecho de la presa provisional de derivación en prolongación del tramo de río anterior á la revuelta que precede al lugar de emplazamiento del dique. Tiene una anchura en la solera de 25,50 metros, y está limitado en su última parte, donde la trinchera es más profunda, por dos muros laterales de 25 metros de longitud. Su altura total, incluyendo zócalo é imposta, es de 7,50 metros. El principal objeto de estos muros es el proteger los taludes de la excavación, evitando el contacto inmediato del agua, y las alternativas bruscas originadas por las variaciones de su nivel que podrían dar lugar á desprendimientos capaces de entorpecer ó impedir la entrada á los desagües. Su sección es en desplome con talud exterior de $\frac{1}{3}$.

El muro de la izquierda está enlazada y acuerda con el estribo de la presa provisional de derivación.

2.º Sigue al anterior un trozo de 25 metros de longitud, en túnel. Del muro de frente ó boquilla donde termina el trozo anterior, arrancan tres galerías. Las laterales están destinadas á facilitar el paso de las aguas por los grandes desagües rectangulares, ó sea los de fondo propiamente dichos. La central desempeña el mismo papel respecto de las dos tuberías.

Todas estas galerías, de sección muy superior á la de los cierres correspondientes, habrán de llevar sólidos revestimientos de fábrica, capaces de resistir, ampliamente, los esfuerzos de presión exterior y los de subpresión.

Los revestimientos de las galerías laterales están formados por una bóveda de medio punto de 4,50 metros de luz, y un espesor de 0,50 metros en la clave, y un metro en los arranques. La bóveda se apoya sobre muros de 2,75 metros de altura, ataluzados hacia el interior de la galería al $\frac{1}{5}$. La solera, cuya anchura total es de 6,50 metros, tiene 0,50 metros de espesor.

La galería central tiene forma circular, interrumpida por una solera semejante á las anteriores y situada sobre ellas á una altura de 1,50 metros.

Las tres galerías deberán llevar un esmerado enlucido, cuyo principal objeto es el de impermeabilizar la fábrica en la medida de lo posible.

3.º El trozo final está constituido por dos galerías destinadas á evacuar el caudal á que pueden dar salida los cuatro vanos de desagüe. Éstos han sido agrupados simétricamente, de modo que á cada una de las galerías corresponden: un vano rectangular y la tubería del mismo lado.

Las tuberías desagüan á una altura inferior á la del umbral de las compuertas. Entre este umbral y el punto más bajo de la tubería media un escalón de 1,50 metros.

Como para esa altura ó tirante de agua las galerías pueden evacuar (fig. 13) un caudal de 22,50 metros cúbicos por segundo,

y el que á lo sumo puede salir á plena carga por cada tubo es de 11,684 metros cúbicos por segundo, resulta que las aguas procedentes de la maniobra de éstos no puede alcanzar á las compuertas.

Por análoga razón no podrá alcanzar el agua—suponiendo siempre á plena carga, completamente abiertos todos los desagües— la altura del dintel de las compuertas, sobre el cual está el piso de las cámaras, á 1,25 metros.

En la hoja V de los planos, corte proyección por *HI*, están indicados los niveles máximos de las aguas, en la izquierda, suponiendo solamente abierto el tubo correspondiente, y á la derecha abierto el tubo y completamente levantada la compuerta.

Las dos galerías de descarga vienen á ser en su origen prolongación de las de acceso á las grandes compuertas, ó sea de las laterales del trozo anterior.

La distancia entre los ejes de las dos galerías de descarga es de 19 metros en dicho origen, pero á corta distancia se aumenta hasta 31,50 metros, conservándose esta distancia en todo el resto.

Obra de cierre.—Entre los trozos 2.º y 3.º van los cierres. La parte de sección más reducida, que ha de ser la obturada por las compuertas, va precedida de un abocinamiento, revestido con virolas de fundición ajustadas á la forma fijada teóricamente, ya sea rectangular ó circular, piramidal ó cónica. Estas virolas metálicas estarán formadas por varios segmentos unidos entre sí por medio de bridas interiores.

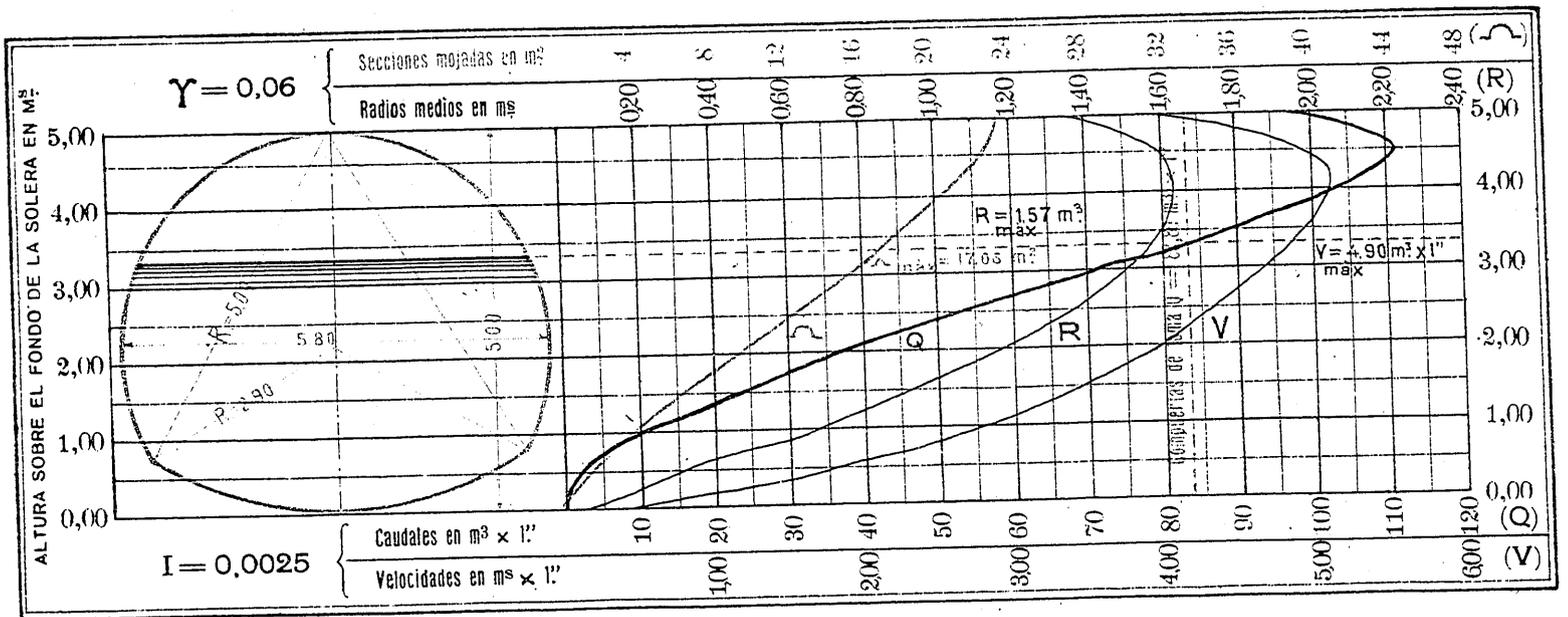
El revestimiento de los vanos rectangulares va interrumpido para dar lugar á la colocación y asiento de los marcos y gárgaros metálicos de las compuertas. Los cierres serán dobles, es decir, estarán formados por dos compuertas sucesivas y semejantes. La única diferencia entre ellas estará en que la segunda, la de aguas abajo, tendrá dimensiones algo mayores, á fin de favorecer el paso de la corriente, evitando el choque de su masa ó, por lo menos, de los filetes líquidos animados de más velocidad, con las aristas exteriores del correspondiente marco.

Las compuertas serán de fundición con nervios horizontales, cuya separación variará aumentando á partir del borde inferior. Estos nervios serán, como la chapa general anterior ó pantalla, de espesor uniforme y tendrán, aproximadamente, la forma de sólidos de igual resistencia á la flexión. Llevará, además, dos nervios verticales, situados hacia el tercio central de la compuerta; estos nervios tendrán el doble objeto de repartir la presión y de servir de apoyo á las sillas de la articulación de amarre de la varilla de maniobra.

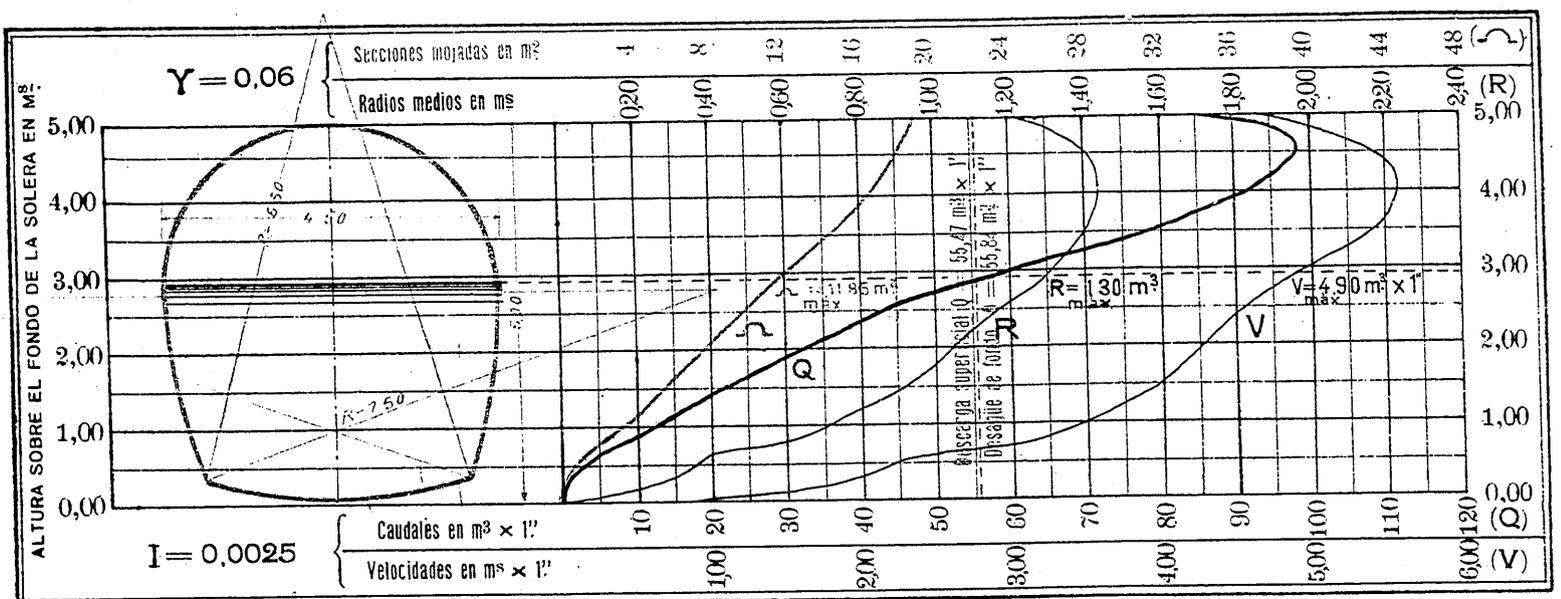
El gárgaro ó caja metálica del marco se prolonga, por la parte superior, en una longitud igual al espesor del piso de la cámara de compuertas y mecanismos. Apoyados sobre ésta, y unidos por medio de bridas con tornillos á las paredes laterales de la caja de los marcos, van unas cámaras metálicas de chapa de palastro, reforzadas en sus aristas y en sus frentes mayores con cantoneras de acero laminado, capaces de alojar la compuerta. Estas cámaras de agua irán cubiertas con sombreretes de acero fundido, que por un prensa-estopas superior dejan pasar el vástago de las varillas de maniobra. Los frentes anterior y posterior deberán poder resistir la presión debida á la carga que actuará en el interior cuando la compuerta esté cerrada ó muy poco abierta, y la exterior atmosférica cuando la compuerta esté completa ó casi completamente levantada, en cuyo caso la contracción de la vena producirá una succión que provocará un vacío relativo en la cámara.

El apoyo de la compuerta sobre el marco es continuo, y tiene lugar por medio de bandas de acero fosforoso y de bronce, sujetas por medio de tornillos de cabeza embutida á los costados fijos de éste y á los bordes de aquélla.

GALERÍAS DE DESCARGA DE LAS TOMAS INTERMEDIAS

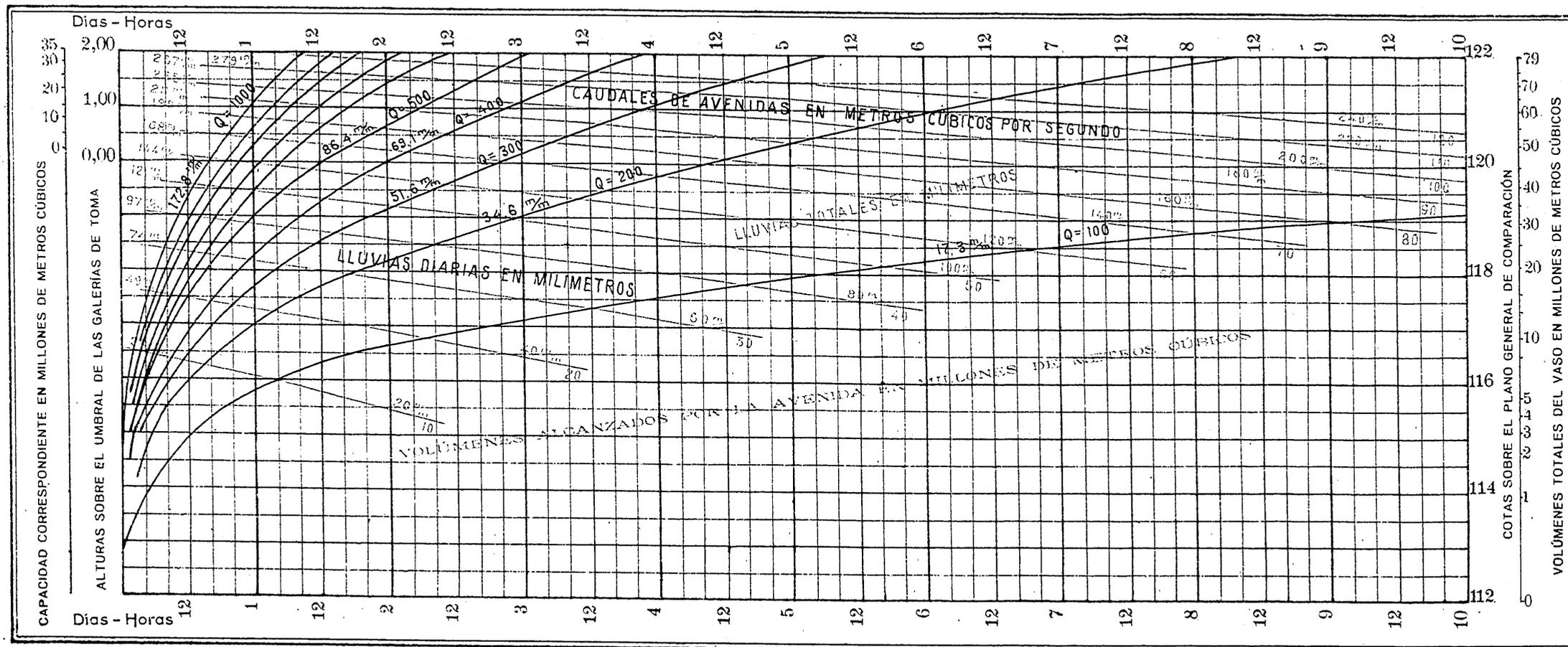


GALERÍAS DE DESCARGA DE LOS DESAGÜES DE FONDO Y SUPERFICIALES



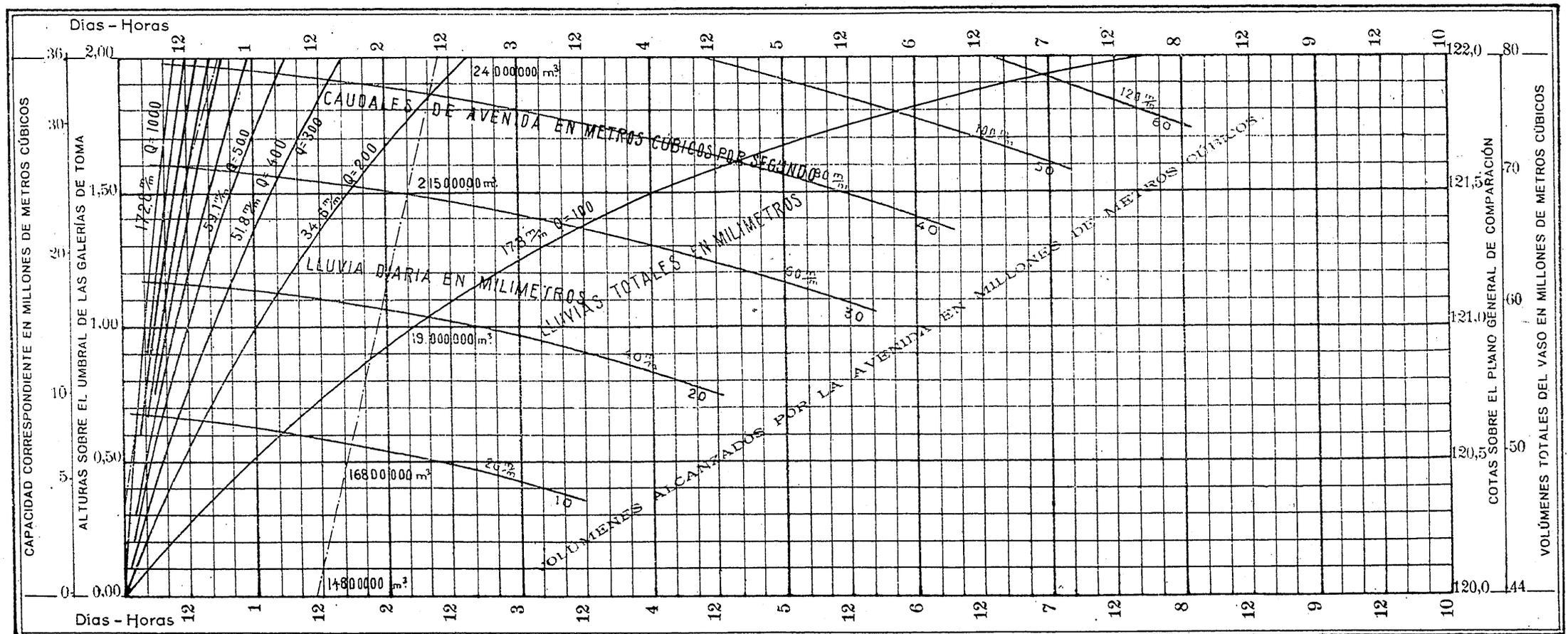
LEY DEL CRECIMIENTO DEL VOLUMEN REMANSADO EN EL FONDO DEL PANTANO

DESAGÜES DE FONDO ABIERTOS



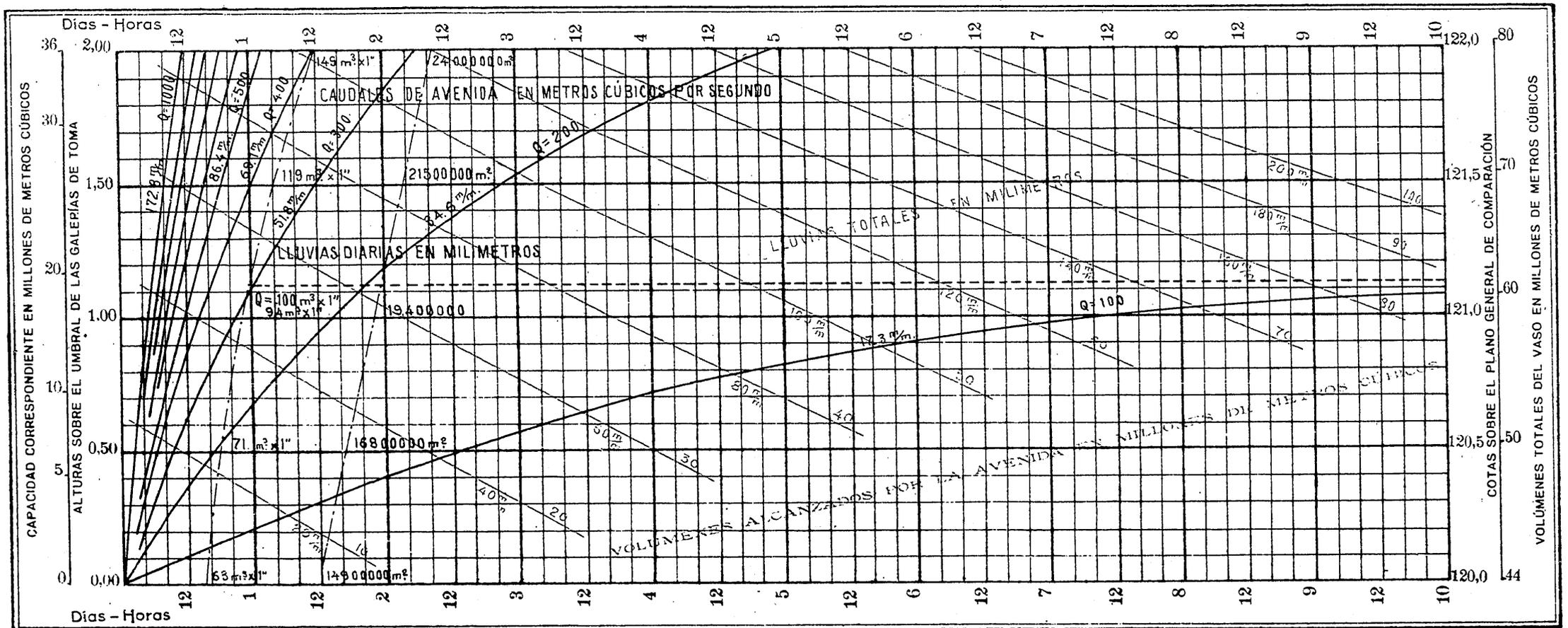
EFFECTO REGULADOR DE LAS GALERÍAS DE TOMA FUNCIONANDO COMO SOBRADERO

DESAGÜES DE FONDO CERRADOS



EFFECTO REGULADOR DE LAS GALERÍAS DE TOMA FUNCIONANDO COMO SOBRADERO

DESAGÜES DE FONDO ABIERTOS



Habida cuenta del peso y de los esfuerzos de subpresión, del rozamiento y de los esfuerzos resistentes accidentales, el que habrá de ser efectuado sobre la varilla de maniobra á plena carga —unos 18 metros— cuando el pautano esté completamente lleno, será en el arranque:

	Kilogramos.
Elevación de la compuerta, tensión	16.000
Descenso ídem íd., compresión	19.000

Los esfuerzos necesarios para producir el arranque, ó sea para iniciar el ascenso ó descenso, varían con la posición de la compuerta; los indicados son los máximos. Corresponden en la elevación á la posición más baja y en el descenso á la más elevada.

Estos esfuerzos podrán ser efectuados fácilmente por medio de un sencillo aparato de maniobra, accionado á brazo, de un modelo ó tipo corriente. La reducción del esfuerzo es doble; ocasiona una reducción muy importante el husillo del vástago, y este esfuerzo reducido ya es á su vez objeto de una nueva reducción comparable con la primera por un engranaje de tornillo sin fin que actúa sobre la tuerca tractora. En el eje de este tornillo podría ir montado el volante de maniobra, pero para reducir aún más el esfuerzo y, sobre todo, para aligerar la operación, proporcionando la intensidad del esfuerzo á vencer con el muscular de los encargados de la maniobra, podrá ser intercalado á voluntad por medio de un embrague un engranaje cilíndrico doble, cuya reducción total puede ser de $\frac{1}{4}$.

Para aumentar el rendimiento del aparato los rozamientos serán de bolas, especialmente en el cojinete de suspensión de la compuerta, ó sea en el apoyo sobre la columna de fundición que sirve de base de la rueda horizontal ó tuerca. Los aparatos de maniobra se apoyarán sobre un sólido piso formado por un entramado de vigas laminadas empotradas por sus extremos en la fábrica de los muros laterales.

Las tuberías se cerrarán por medio de llaves de compuerta que el comercio ofrece con resistencias muy superiores á las exigidas por las cargas que habrán de soportar las que proyectamos.

El tipo adoptado es corriente. Como quiera que existe altura bastante para ello, la tuerca de maniobra va al exterior, de modo que la parte fileteada de la varilla es la alta. La unión de la lenteja ó compuerta con el extremo inferior de la varilla podrá quedar reducida á una sencilla articulación.

La disposición general del aparato de maniobra es semejante á la anteriormente descrita. Solamente diferirá en que la reducción podrá ser mucho menor.

Estas llaves de paso son, como las compuertas de los desagües grandes, dobles, al objeto de garantizar el cierre en todo caso. La proporción en que esta duplicidad aumenta el presupuesto, no ya el general, sino el parcial de la parte de obra que nos ocupa, es verdaderamente insignificante.

Las llaves de paso y las cámaras de agua de las compuertas grandes van apoyadas sobre el fondo de tres cámaras de fábrica alojadas en socavones ó ensanchamientos de las galerías de entrada. El piso ó entramado metálico las divide en dos partes, una inferior, que podemos llamar cámara de compuertas siguiendo la designación general y otra superior ó de mecanismos. A la altura de estas cámaras superiores están comunicadas entre sí las dos por medio de dos galerías horizontales holgadamente capaces de

consentir el paso de los órganos más voluminosos que en la formación de los cierres intervienen.

Acceso á la galería de mecanismos. — Ventilación.—La entrada á la galería general de mecanismos, ó sea el conjunto de las cámaras y de los pasos, se efectúa por la cámara central, comunicada con el fondo de una chimenea o pozo que se apoya sobre la parte maciza del correspondiente muro de cierre. Por el interior de esta chimenea se desarrolla una escalera destinada exclusivamente al personal encargado de la conservación y explotación de las obras, pues las herramientas, piezas de repuesto y recambio, materiales para reparaciones, etc., podrán ser bajados por medio de un pescante grúa (lámina V.—Corte proyección por RS.) aprovechando la caja ó hueco central.

Esta chimenea desempeña además una misión esencial: la de consentir el tiro ó corriente de aire, simultánea á la del agua, que es indispensable para garantizar la conservación y el funcionamiento previsto de las obras.

La circulación de aire se establecerá libremente desde las galerías de evacuación ó descarga, á través de las cámaras de compuertas —ampliamente abiertas, merced á la disposición adoptada para los cierres— de las de mecanismos, que son para el caso una prolongación de las anteriores, de las galerías horizontales de paso ó comunicación entre ellas, del hueco de entrada á la cámara central y del pozo ó chimenea.

Esta va coronada por una caseta cuya cubierta está especialmente dispuesta para consentir el paso de la corriente de aire por el centro ó caja de la escalera, aun cuando la puerta de entrada, y las ventanas del lado del embalse y laterales se encuentren cerradas para resguardar el interior de las inclemencias del tiempo.

La caseta va rodeada de una plataforma ó explanación, interrumpida por el acceso. El origen de éste se encuentra inmediato á la carretera de Reinosa á Las Rozas por Arroyo (trozo 2.º, de Arroyo á Las Rozas.—Proyecto complementario núm. 3).

RESUMEN.—Como resumen de todo lo expuesto, en relación con la disposición de los desagües de fondo, indicaremos que su justificación está:

1.º En que todas las cámaras, galerías.... son accesibles y cómodamente visitables. La vigilancia puede ser continua y eficaz, tanto durante el período de cierre como en el de servicio.

La sustitución de elementos ó piezas de la parte metálica será fácil y rápida. Merced á la duplicidad de los cierres podrá ser efectuada en cualquier momento la de una compuerta, una cámara de agua ó una varilla, con la condición de que si se trata de la superior, se encuentre completamente levantada la compuerta de aguas abajo, y se mantenga en tal situación hasta que aquella pueda ser cerrada. Los mecanismos de maniobra podrán ser reparados ó sustituidos en el momento en que convenga.

Lo mismo puede decirse de los órganos similares de llaves de paso.

2.º En que siendo abiertas todas las cámaras y galerías, la circulación de aire se establece naturalmente á través de ellas, con notoria ventaja para la conservación de las fábricas, que no están sometidas á presión interior ni en contacto continuo ó periódico con el agua, evitándose así la construcción de chimeneas, pozos ó galerías independientes de ventilación. El resultado será que todas las fábricas estén sometidas á esfuerzos de sentido constante.

(Continuará.)

