

# 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

(CONCLUSIÓN) (1)

### CAPÍTULO VI

#### Descargas superficiales.

*Objeto y fin de su instalación.*—En varios lugares de esta Memoria nos hemos referido á la necesidad de disponer de una descarga ó aliviadero superficial, situado á la altura del máximo nivel que las aguas pueden alcanzar en el pantano. La conveniencia de esta descarga estriba principalmente en la posibilidad de regular el nivel de las aguas, de tal modo, que quede libre siempre una parte del vaso capaz de almacenar—sin que sea rebasada la altura máxima reglamentaria—la aportación probable de la cuenca alimentadora durante el resto del período de acaparamiento.

*Disposición general.*—Consiste esencialmente en un vertedero de nivel variable á voluntad. La longitud total de vertedero necesaria para conseguir el efecto propuesto—20 metros—ha sido distribuida en ocho vanos de 2,50 metros de anchura, cerrados por compuertas-vertedero sumergidas, que son manejadas desde una plataforma general superior. La excursión total de estas compuertas, y por consiguiente el máximo espesor de lámina vertiente previsto, es de 1,50 metros.

En su posición más baja, el umbral móvil queda á la altura 130,50 metros, á la que corresponde un volumen de 450 millones de metros cúbicos. Queda, pues, disponible, una parte del vaso de una capacidad de 90 millones de metros cúbicos, para retener las avenidas que, una vez alcanzada aquella altura, puedan sobrevenir. Como este volumen es muy superior (aproximadamente el doble), al que alcanzan las máximas avenidas ordinarias, su existencia ofrece una garantía de importancia.

Si la avenida sobreviene estando abiertos los cierres de las descargas superficiales, esta garantía es mucho mayor, pues dichas descargas irán simultáneamente aliviando una parte de la avenida, en proporción creciente con la altura ó carga de agua almacenada.

En todo caso pueden los cierres, que son de un manejo fácil y rápido, ser llevados á la indicada posición inicial.

*Capacidad de descarga.*—Los caudales á que pueden dar suce-

sivamente salida las descargas superficiales, cuando la carga aumenta, son los siguientes:

Espesor de la lámina vertiente <i>h</i> . — Metros.	Velocidad $\sqrt{2gh}$ — m. $\times 1''$	CAUDALES EVACUADOS		
		Por metro lineal $q = M \sqrt{2gh}$ — m <sup>3</sup> $\times 1''$	Por cada vano $q = 2,50m. \sqrt{2gh}$ — m <sup>3</sup> $\times 1''$	TOTAL $q = 20m. \sqrt{2gh}$ — m <sup>3</sup> $\times 1''$
0,10	1,401	0,056	0,140	1,120
0,20	1,981	0,160	0,400	3,200
0,30	2,426	0,295	0,738	5,900
0,40	2,801	0,454	1,135	9,080
0,50	3,132	0,634	1,585	12,680
0,60	3,431	0,834	2,085	16,680
0,70	3,706	1,050	2,625	21,000
0,80	3,961	1,283	3,208	25,660
0,90	4,202	1,532	3,830	30,640
1,00	4,429	1,794	4,485	35,880
1,10	4,635	2,060	5,150	41,200
1,20	4,822	2,338	5,895	47,160
1,30	5,000	2,628	6,645	53,160
1,40	5,171	2,922	7,400	59,440
1,50	5,325	3,225	8,238	65,900

*Efecto regulador.*—Para poner de manifiesto el enorme efecto regulador que ofrecen estas descargas merced á la gran extensión superficial inundada, se ha procedido de un modo análogo al seguido para calcular el correspondiente al embalse inicial creado por el antedique.

Como allí, se supone la llegada de avenidas de caudal constante y se calcula el tiempo invertido en alcanzar una altura *h* sobre el umbral de las compuertas-vertedero por la fórmula

$$t = \int_0^h \frac{S}{Q - q} dt,$$

en la cual todos los símbolos tienen análoga significación.

Se ha trazado una curva para cada uno de los caudales de avenida  $Q = 100 \dots Q = 200 \dots Q = 1.000$ , por un procedimiento gráfico (1), formando con el conjunto de estas curvas un cuadro ó ábaco (fig. 23).

(1) Supongamos que estando lleno el embalse hasta la altura del umbral de la descarga superficial sobreviene una crecida del río.

Designemos: por *Q*, el caudal constante de la avenida, á la cual es asignada, desde un principio, su máxima importancia; por *q*, el gasto de las descargas, variable con la altura *h* sobre su umbral, y por *s*, la superficie total inundada, dependiente de la misma variable.

En un instante cualquiera el incremento de volumen de agua almacenado,

(1) Véase el número anterior.

A continuación se ha formado un segundo cuadro expresión gráfica del mismo efecto regulador en el caso de estar abiertos los desagües de fondo y tomas (fig. 24).

De la misma manera que en los cuadros de las figuras 20 y 21 se ha marcado en éstos sobre cada curva  $Q$  la lluvia diaria teórica en milímetros que le corresponde, y trazado las curvas de volúmenes totales acotadas en millones de metros cúbicos y en milímetros la lluvia media general caída sobre toda la cuenca y aprovechada.

El primer cuadro comienza por la curva  $Q = 100$ . La última trazada es la correspondiente a  $Q = 1.000$ .

De su examen se deduce que el volumen arrojado por la mayor avenida registrada — 53 millones de metros cúbicos — no hubiera podido alcanzar, aun cuando se hubiese presentado con una extraordinaria intensidad — de 1.000 metros cúbicos por segundo — una altura superior a 0,85 metros sobre el umbral de las descargas, ó sea a la cota 131,35 al cabo de quince horas. El mismo volumen de avenida con una intensidad menor — 100 metros cúbicos por segundo — solamente hubiera alcanzado el nivel 131,30 al cabo de seis días y tres horas.

La lluvia total equivalente es de 106 milímetros, cuya lluvia media representa lluvias totales efectivas superiores a 250 y 300 milímetros sobre algunos lugares de la cuenca.

Estas cifras pueden ser aproximadamente duplicadas sin correr el riesgo de que la altura máxima admisible sea rebasada.

*Efecto regulador de la totalidad de los desagües.* — Los anteriores plazos y, por consiguiente, las garantías de seguridad en la explotación de la obra pueden ser extraordinariamente aumentados mediante el oportuno manejo de los cierres inferiores.

Tal aumento puede ser inmediatamente apreciado por la com-

durante el espacio de tiempo infinitamente pequeño,  $dt$ , será  $(Q - q) dt$ , viéndose a ocupar una parte del vaso  $Sdh$ .

Tendremos, pues,

$$(Q - q) dt = Sdh,$$

en cuya expresión pueden ser separadas las variables en la siguiente forma:

$$dt = \frac{S}{Q - q} dh.$$

Construyamos la curva

$$A = \frac{S}{Q - q} \text{ (fig. 22).}$$

El tiempo  $th$ , necesario para que el nivel de las aguas alcance la altura  $h$  sobre el umbral, será la ordenada correspondiente de la curva integral  $t = \int Adh$ .

Los ejes coordenados de referencia corresponden: el vertical, a las cotas ó alturas; el horizontal, a las restantes cantidades que intervienen en el cálculo, ó sea superficies, caudales y tiempos (véanse escalas dibujadas en la parte superior del gráfico).

De la curva  $q$ , representación gráfica de la ley de variación con la altura, del caudal a que pueden dar salida las descargas superficiales proyectadas, se deduce inmediatamente la  $Q - q$ . Las ordenadas de la curva auxiliar  $A = \frac{S}{Q - q}$  se han determinado efectuando gráficamente la operación indicada, para la que se ha tomado una unidad ó base,  $\gamma = 50$  milímetros. Las construcciones necesarias para la determinación de los puntos que corresponden a las alturas 0, 0,50, 1 y 1,50 metros están dibujadas con línea roja. Del mismo color se han marcado las curvas auxiliares correspondientes a las restantes avenidas estudiadas.

Se reproduce el trazado de la curva correspondiente a la avenida  $Q = 200$  metros cúbicos por segundo. En análoga forma se ha hecho el de todas las demás.

Basta formar la curva integral de la anterior, que pasa por el origen  $h = 0$ ,  $t = 0$ , para obtener la que buscamos, esto es, la curva que relaciona el tiempo con la altura.

La operación se ha efectuado gráficamente tomando una base de integración  $\lambda = 87$  milímetros. En el dibujo se representa con líneas negras el trazado de una sola curva, la  $Q = 200$ , omitiendo el de las restantes para evitar confusiones.

Los módulos, escalones y unidades se consignan en un cuadro lateral al pie del dibujo.

paración de los dos cuadros representados en las figuras 23 y 24.

Obsérvase desde luego que las curvas correspondientes a un mismo caudal  $Q$  son en el segundo cuadro mucho más tendidas, ó lo que es lo mismo, que ha de transcurrir mucho mayor plazo para que la misma altura ó cota sea alcanzada.

En cambio, las curvas de volúmenes están más próximas y tienen mayor inclinación.

La primera curva  $Q$  es la que corresponde al caudal constante de avenida de 400 metros cúbicos por segundo. Las anteriores no tienen interés, puesto que, según puede verse en el siguiente cuadro,

COTAS	CAUDALES EVACUADOS			
	Desagües de fondo. — $m^3 \times 1''$	Tomas. — $m^3 \times 1''$	Descargas superficiales. — $m^3 \times 1''$	TOTALES — $m^3 \times 1''$
130,00	105,226	191,986	»	297,212
130,50	106,856	198,073	0,000	304,929
131,00	108,486	204,160	12,680	312,646
131,50	110,085	207,884	35,880	353,849
132,00	111,684	211,608	65,900	389,192

a la altura del umbral fijo del vertedero ó descarga, le corresponde una capacidad de evacuación, superior ya a los 300 metros cúbicos por segundo.

En cambio se han trazado algunas curvas  $Q$  de caudal superior al máximo aceptado, hasta ahora, de 1.000 metros cúbicos por segundo, las correspondientes a las avenidas de 1.100, 1.200, 1.300, 1.400, 1.500 y 2.000 metros cúbicos por segundo, para demostrar la posibilidad de hacer frente, empleando al efecto todos los recursos disponibles, a la llegada de avenidas tan fabulosas como la últimamente indicada que equivale a la unitaria de 4 metros cúbicos por kilómetro cuadrado de cuenca. Esta inverosímil avenida solamente podría alcanzar la altura máxima, al cabo de quince horas, cuando el volumen total arrojado llegase a ser superior a 110 millones de metros cúbicos. La lluvia media por día y la total media, teóricas ó aprovechadas, equivalentes, son, respectivamente, 345,6 y 220 milímetros.

*Mayores avenidas posibles.* — Como quiera que estas extraordinarias avenidas, de escasa duración por la limitada extensión superficial de la cuenca alimentadora, no pueden tener lugar sino que concurra la desfavorable circunstancia de ocurrir el deshielo de una espesa capa de nieve, indicaremos cuál debiera ser ésta.

Según datos experimentales, recogidos sobre el terreno, puede estimarse en 0,10 la altura de agua equivalente a una capa de un metro de espesor.

Si el deshielo fuese la única causa de la avenida, ésta no podría revestir extraordinaria importancia, pues la radiación solar, aun en época bastante avanzada — los meses de Marzo ó Abril, por ejemplo —, no puede, por la duración de su efecto diario y por su inclinación, provocar la fusión de capas de tan considerable espesor como son las que corresponden, con arreglo a la indicada equivalencia, a las alturas de precipitación consignadas en el cuadro.

Sería preciso que el deshielo y arrastre de la nieve fuese facilitado por la caída de un fuerte aguacero. En tales condiciones el estudio calorimétrico no permitirá fijar, siquiera sea aproximadamente, la parte que al deshielo de la nieve, propiamente dicho, es imputable. A pesar de ello admitiremos, al objeto de fijar las ideas y poder dar una aproximada, acerca de la enorme cuantía

de los fenómenos meteorológicos que en el hidrógrafo examinado intervienen, que cada uno de ellos arroja una mitad del volumen total.

En este supuesto, la avenida de 2.000 metros cúbicos por segundo hubiera exigido un aguacero general de 110 milímetros de lluvia, á razón de 172,80 milímetros por día, y además que este aguacero hubiera ocasionado el arrastre de una capa de nieve de 1,10 metros; con una velocidad de 1,728 metros en veinticuatro horas, cosas ambas completamente imposibles dado el régimen geofísico en que vivimos.

Para ponerse en situación real hay que alejarse bastante de estas cifras fantásticas. Una avenida capaz de arrojar un volumen total de 100 á 120 millones de metros cúbicos, representa un límite que no podrá ser jamás superado, y tal avenida no podría rebasar la altura señalada, por considerable que sea el caudal, si oportunamente se recurre á abrir los desagües.

Esta oportunidad está asegurada porque el retraso de varias horas apenas puede producir un efecto sensible, y aun puede, sin grave riesgo, en casos de avenidas excepcionales ó poco corrientes, pero verosímiles, esperar más de un día con objeto de obtener un aprovechamiento lo más completo posible de las aguas aportadas al pantano por la cuenca alimentadora.

Para la debida interpretación de las lecturas de los ábacos reproducidos en las figuras 23 y 24 es preciso tener en cuenta: primeramente, que están trazados suponiendo que el caudal de la avenida es constante, ó sea que adquiere desde luego, ó por lo menos muy rápidamente—ya que aquello en la Naturaleza es imposible—su máxima importancia. Como tal cosa en la realidad no sucede así, una avenida cuyo caudal máximo llega á tener un valor extraordinario, podría ocasionar menor elevación en el nivel de aguas que una avenida de caudal constante relativamente reducido. En cualquier caso, cada una de estas avenidas teóricas, que han servido de base al estudio, equivaldrá, desde el punto de vista práctico, á crecidas cuyo caudal máximo sea mucho mayor.

Por esta razón es de especial interés, á juicio nuestro, la consideración del volumen total arrojado por la avenida y el examen y discusión, en el estudio facilitado por los ábacos, de las correspondientes curvas.

Es preciso tener muy en cuenta, también, el régimen de funcionamiento del pantano. Con arreglo á él, no llega á llenarse, aun en años muy abundantes, sucesivos á estiajes poco acentuados que consienten conservar un volumen remanente en el fondo del vaso, hasta el mes de Marzo, pudiendo esta fecha retrasarse bastante hasta llegar casi al principio del período de suministro, ó sea en pleno período de aguas bajas.

La capacidad media, de 510 millones de metros cúbicos, no es alcanzada tampoco sino pasada la casi totalidad del mes de Febrero y solamente á costa de las fuertes avenidas de esta época.

*Aprovechamiento de la capacidad máxima del embalse*—De lo anterior se deduce la posibilidad de aprovechar la enorme capacidad que corresponde á la altura definida por las posiciones límites de las compuertas-vertedero, ó sea, en definitiva, la total del vaso hasta el nivel máximo reglamentario.

Efectivamente, llegado el final de Marzo, se puede ir elevando el nivel variable del umbral con la única condición de dejar un margen ó reserva de 0,50 metros, por bajo del máximo (cota 132), á cuyo fin pueden ser manejadas las compuertas-vertedero según convenga. Corresponde á este margen de altura una capacidad de 31,75 millones de metros cúbicos, que es aproximadamente el volumen que discurre en la actualidad por el Ebro en Arroyo, durante el mes de Junio y la segunda quincena de Mayo. El objeto es llegar al comienzo del período de suministro

con el embalse totalmente lleno regulando perfectamente la circulación de avenidas de primavera, únicas que pueden llegar al cauce á través del embalse.

Las fechas en que tales operaciones de cierre y descarga ó alivio parcial deberán ser efectuadas quedarán cada año perfectamente definidas por la situación del embalse, por la existencia de nieves en la cuenca alimentadora y por los datos que vaya suministrando el estudio continuo del régimen meteorológico.

En un año de deshielo prematuro ó muy completo, aun cuando el embalse haya llegado á un nivel muy alto, podrá ser elevado el umbral de las descargas y reducido en mucho el temor de no aprovechar totalmente la capacidad del embalse. Un descenso prudencial de las compuertas-vertedero proporcionado á su importancia bastará para compensar la sobreelevación que un aguacero pudiera ocasionar.

El agente encargado de la maniobra de aquellos cierres puede tener conocimiento de la importancia y aportación probable de aquél con bastante anticipación á la llegada de las aguas al pantano.

Por el contrario, en un año de nieves persistentes convendrá mantener bajo durante toda la primavera el umbral de las compuertas en previsión de que aquéllas pudieran ocasionar una avenida de consideración.

La altura á que las compuertas deberán estar esperando la llegada de las aguas de deshielo dependerá del espesor de la capa de nieve conservada, de la época, ....

En cualquier caso, cuando haya comenzado á descender el caudal de una avenida podrán ser elevadas las compuertas con objeto de aprovechar por completo su aportación de agua al embalse.

Todas estas operaciones son de un resultado seguro merced á la regulación automática que proporciona la extraordinaria superficie del embalse. El efecto de ésta es retrasar y suavizar los producidos por la entrada y salida de aguas, dando tiempo á rectificar cualquier maniobra falsa ó exagerada.

La reserva de la capacidad correspondiente á la altura de 0,50 metros comprendida entre las cotas 131,50 y 132 es suficiente para esperar las mayores avenidas probables, aun cuando el funcionario encargado de la explotación del pantano se haya aventurado á elevar las compuertas-vertedero hasta fijar un umbral ó labio á la primera altura indicada en época algo avanzada, pero en que todavía se conserva en la cuenca alta una cantidad de nieve relativamente importante.

En efecto, si sustituimos en la fórmula general

$$T = \int_0^{0,50} \frac{S}{Q - q} dh,$$

S y q por sus valores en función de la altura h,

$$q = 27 h$$

$$S = 3.150.000 h + 63.000.000$$

y verificamos la integración y cálculos numéricos correspondientes, resulta que el tiempo necesario para que la cota 132 llegue á ser rebasada, es el que frente á cada caudal de avenida se indica en el siguiente cuadro:

Caudal de la avenida. — m³ × 1''	h = 0,50 T I E M P O			Caudal de la avenida. — m³ × 1''	h = 0,50 T I E M P O		
	Días.	Horas.	Minutos.		Días.	Horas.	Minutos.
100	3	21	37	600	»	14	56
200	1	21	52	700	»	12	47
300	1	6	15	800	»	11	8
400	»	22	31	900	»	9	52
500	»	17	58	1.000	»	8	55

Ahora bien, si por evaluación errónea de la cantidad de nieve remanente ó porque tenga lugar una lluvia torrencial fuese necesario aumentar estos plazos, y con ellos las garantías de seguridad, puede recurrirse al manejo de los desagües, en cuyo caso los plazos serían los que se indican en el cuadro siguiente, en que aparecen calculados también no sólo los volúmenes de avenida necesarios para alcanzar la altura fijada de 0,50 metros, sino, además, el plazo y volumen correspondientes á la elevación parcial de 0,10 metros.

Caudal de la avenida. — m <sup>3</sup> × 1''	h = 0,50				h = 0,10			
	TIEMPO			Volumen en millones de m <sup>3</sup>	TIEMPO			Volumen en millones de m <sup>3</sup>
	Días.	Horas.	Minutos.		Días.	Horas.	Minutos.	
400	14	5	»	635	2	20	»	127
500	2	20	»	132	»	15	30	26
600	1	16	»	87	»	8	»	18
700	1	3	»	69	»	5	20	14
800	»	21	»	60	»	4	»	12
900	»	17	»	55	»	3	20	11
1.000	»	14	»	51	»	2	50	10
1.200	»	10	30	46	»	2	19	9
1.400	»	8	30	44	»	1	40	9
1.600	»	7	15	42	»	1	15	8
1.800	»	6	15	40	»	1	10	8
2.000	»	5	30	39	»	1	05	8

*Conclusiones.*—De todo lo anteriormente expuesto se deduce:

1.º La absoluta falta de necesidad de un amplio aliviadero de superficie con capacidad de evacuación regulada por la importancia de las mayores avenidas conocidas ó probables.

2.º La posibilidad de sustituirlo por una descarga superficial de reducidas proporciones.

3.º La enorme conveniencia de cerrar estas descargas con órganos móviles que consienten variar, según las circunstancias, la altura del umbral.

4.º La absoluta seguridad que proporciona al pantano la existencia de los amplios desagües exigidos por la naturaleza del servicio á prestar.

Queda también justificada la diferencia esencial de criterio con que se han proyectado los desagües de fondo y tomas y las descargas superficiales.

En aquéllas, muy amplias y capaces, se prevé un entorpecimiento, una obstrucción, y para compensarles se dispone una reserva prudencial y adecuada; en éstas, por el contrario, se ha procurado limitar la importancia de las obras á lo indispensable, prescindiendo de toda reserva ó margen que es, con amplitud y grandes ventajas, ofrecido por los primeros.

*Descripción de las obras.*—*Tomas y descargas superficiales.*—

*Emplazamiento.*—La proximidad de los niveles á que se encuentran las tomas por grandes vanos, las tuberías y las descargas superficiales induce á agrupar estas obras buscando para el haz de galerías de evacuación correspondientes el trazado de perforación mínima.

Este trazado es el que resulta de cortar el cerro sobre el cual se asienta el pueblo de Arroyo, aprovechando un valle secundario de acentuado entrante en la ladera derecha del Ebro. Por este valle, situado al pie de la fábrica de vidrio «La Cantábrica», se desarrolla el tramo final de la carretera de Orzales á Valdearroyo.

Las galerías arrancan del fondo de esta depresión, y van á buscar el lugar más próximo de la misma ladera derecha, lugar muy adecuado al objeto, puesto que se halla aguas abajo del dique y suficientemente distanciado de él.

Siguiendo el curso del río, las distancias que median entre el

dique y las bocas de entrada y salida de las galerías son, respectivamente, 4.600 y 250 metros.

En el mismo lugar desagüan las galerías laterales ó de fondo. Reúnense allí, por consiguiente, las aguas procedentes de todos los desagües del pantano, antes de su incorporación definitiva al cauce antiguo del Ebro. Este queda, pues, interrumpido completamente en un largo trozo, el comprendido entre la presa provisional de derivación y el malecón izquierdo del cauce artificial de descarga.

El dique ocupa la parte central ó media de este trozo de cauce que quedará en seco, provisionalmente, en toda su longitud, y de un modo definitivo en la parte situada aguas abajo del dique.

*Disposición general.*—La evacuación del caudal derivado por las tomas exige dos galerías independientes. Cada una de ellas corresponde á dos vanos ó compuertas que pueden arrojar un caudal máximo de 83,307 metros cúbicos por segundo.

Los desagües superficiales y las tuberías están agrupadas. Por cada una de las dos galerías dispuestas para la evacuación del caudal total de aguas á que pueden dar salida, desagüan tres tuberías y cuatro de los ocho vanos, de 2,50 metros de luz, en que ha sido distribuida la longitud total de vertedero regulable.

El caudal máximo correspondiente á cada una de estas dos galerías extremas, y más elevadas, es, según se recordará, 55,447 metros cúbicos por segundo, muy aproximadamente igual al máximo calculado para las de fondo, con cuyas características —pendiente y sección— coinciden las que examinamos.

En el conjunto de tomas y desagües superficiales pueden señalarse dos trozos.

1.º Un canal ó excavación á cielo abierto que consiente el acceso del agua contenida en el pantano, á los vanos más profundos de este grupo, ó sea á las grandes tomas (cota 120).

Este canal se desarrolla por el fondo del valle secundario de Arroyo. Su sección es escalonada, pues tiene una parte central más profunda. La diferencia de nivel entre las banquetas laterales y el fondo de la parte central, es aproximadamente la que media entre los umbrales de las tuberías y el de las grandes tomas.

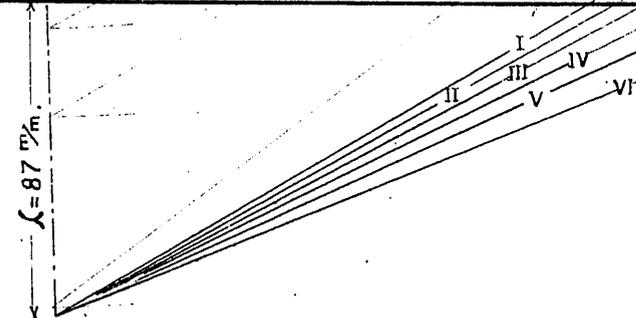
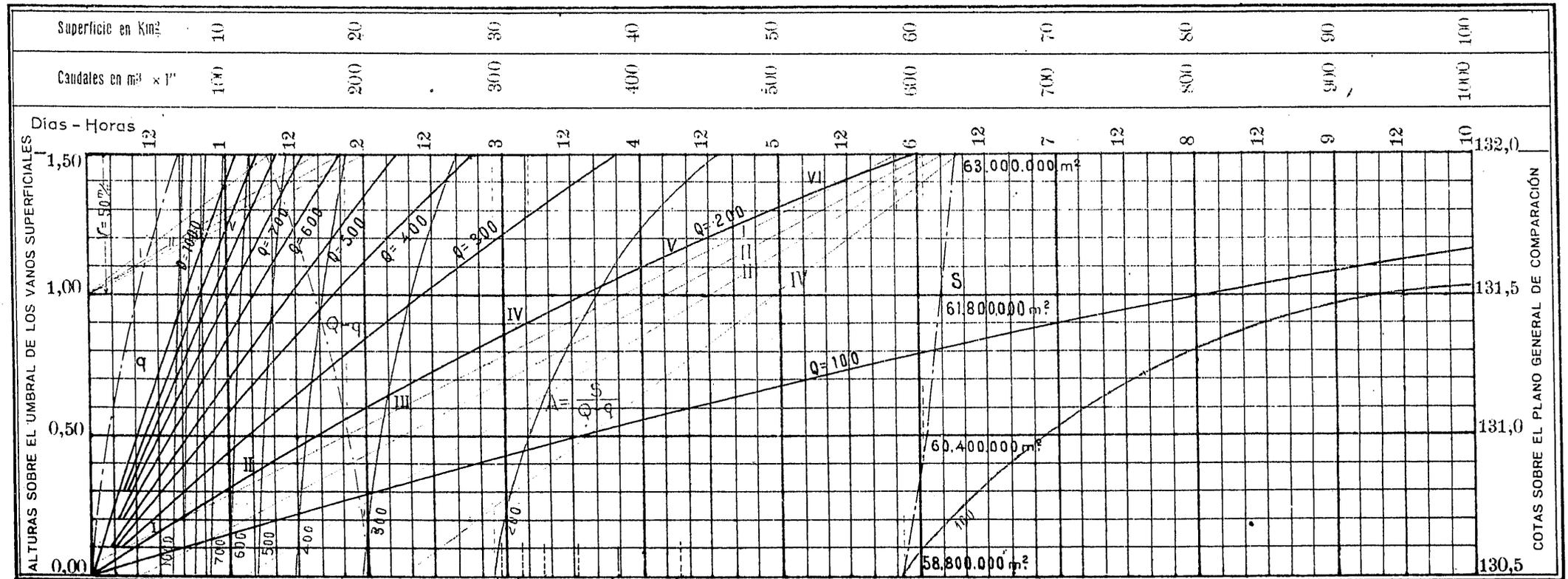
Lleva una acentuada pendiente hacia el interior del embalse, con objeto de que al descender el nivel del agua vaya dejando en seco el fondo.

Por la misma razón las banquetas laterales son pendientes hacia el centro.

En la parte de canal más próxima al cierre, los taludes van revestidos con muros de fábrica para evitar desprendimientos de materiales, en lugar situado cerca del radio de acción sensible de la corriente provocada por la salida del agua. Estos desprendimientos son muy de temer por las alternativas á que dichos taludes, especialmente los laterales superiores, han de estar sometidos. Tanto por su situación, como por la circunstancia de ser probable el corte de capas de margas carbonosas y materiales más fácilmente desagregables, se proyectan los muros inferiores más robustos y estables. La acción de la corriente es en esta parte también más sensible y, por tanto, los efectos de arrastre más enérgicos. Los muros superiores son en desplome. En realidad estos nuevos tienen el carácter de verdaderos revestimientos, pues, dada la naturaleza de los terrenos en que la excavación ha de ser practicada, no son de temer empujes de importancia.

2.º El segundo trozo está constituido por las galerías, que forman un haz para elo y rectilíneo. Se conserva en toda su longitud—442,94 metros—la separación inicial y la alineación única es recta. Entre las dos galerías centrales media una distancia entre ejes de 9 metros, suficiente para el caso por la homogenei-

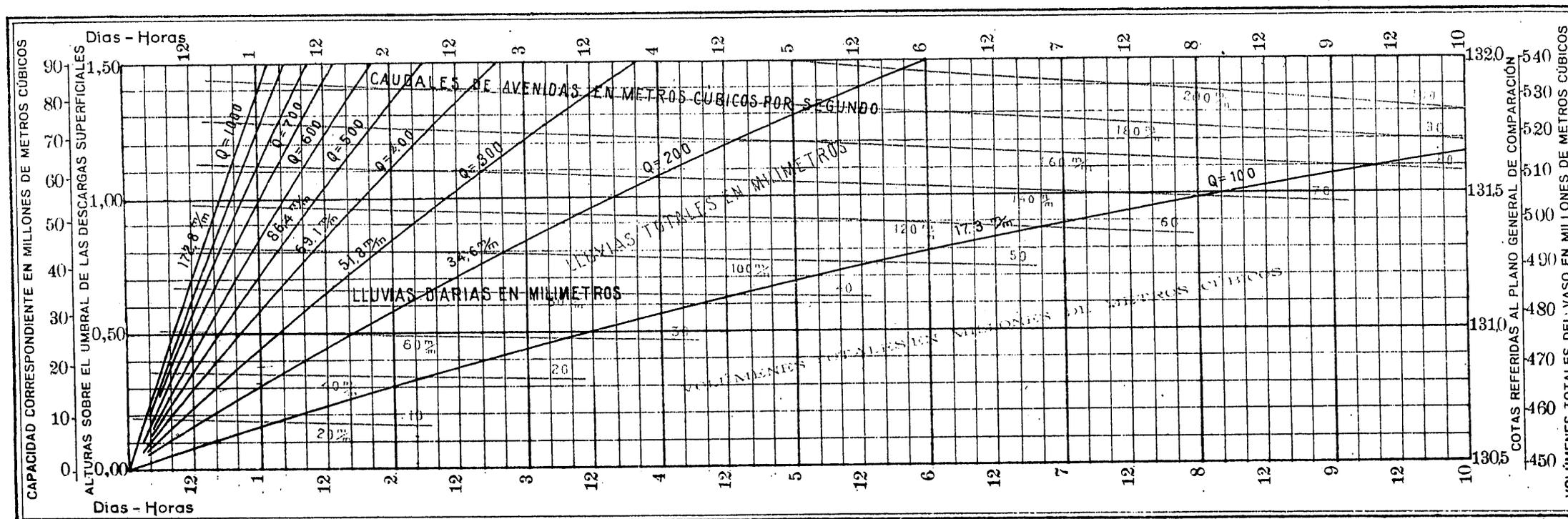
# EFECTO REGULADOR DE LA DESCARGA SUPERFICIAL



- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Módulo . . . . .                   | $\gamma = 50 \text{ m. m.}$   |
| Base de integración. $L$ . . . . . | $L = 87 \text{ m. m.}$  |
| $h$ . . . . .                      | $\varphi = 0,01 \text{ m}^3 \text{ por } 1''$                       |
| $Q, q, Q - q$ . . . . .            | $\beta = 2 \text{ m}^3 \times 1'' \text{ por } 1 \text{ m. m.}$     |
| $S$ . . . . .                      | $\alpha = 200.000 \text{ m}^2 \text{ por } 1 \text{ m. m.}$         |
| $A = \frac{S}{Q - q}$ . . . . .    | $\delta = \frac{\alpha}{\beta \gamma} = 2.000 \frac{1''}{\text{m}}$ |
| $T (\pi = A \delta h)$ . . . . .   | $\gamma = 50 \text{ m. m. por día} = 172'' \times 1 \text{ m. m.}$  |

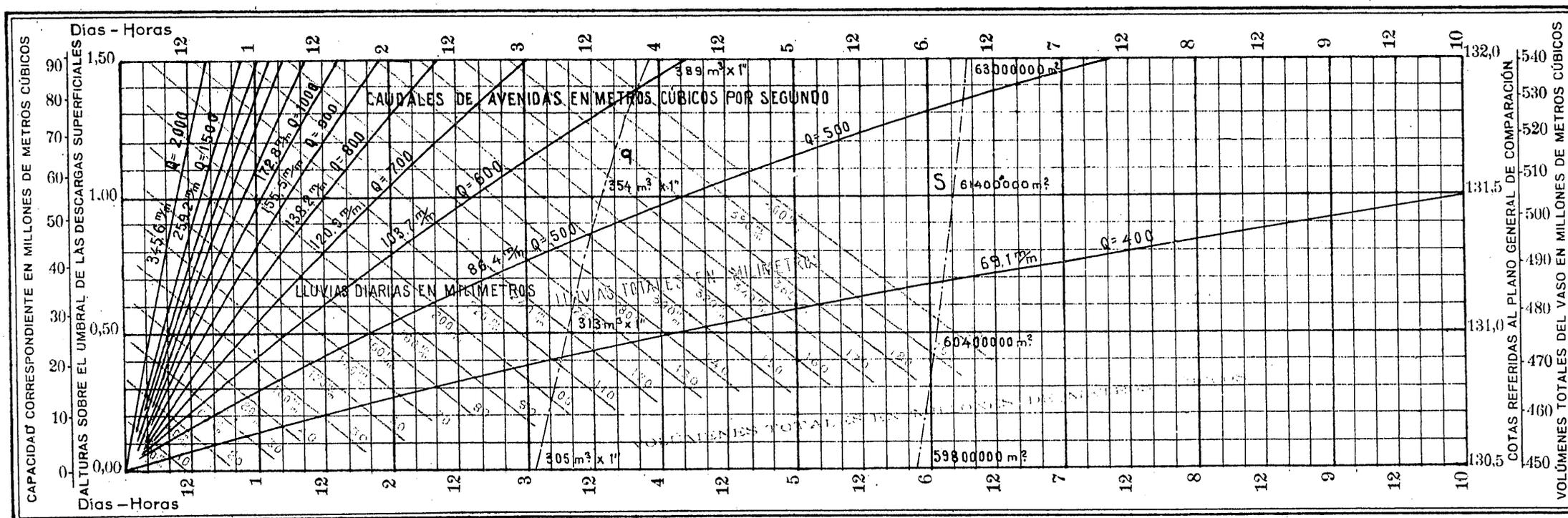
# EFFECTO REGULADOR DEBIDO A LA CAPACIDAD DE LA PARTE SUPERIOR DEL VASO

## TOMAS Y DESAGÜES DE FONDO CERRADOS



# EFFECTO REGULADOR DEBIDO A LA CAPACIDAD DE LA PARTE SUPERIOR DEL VASO

## TOMAS Y DESAGÜES DE FONDO ABIERTOS



dad y continuidad de los bancos de areniscas que han de ser atra-vesados; y entre cada una de las extremas y la central del mismo lado, una distancia de 22,50 metros, y un desnivel de 5 metros.

En los puntos de cruce, en proyección horizontal, de las galerías intermedias, ó sea las centrales y más profundas de este grupo, con las de fondo, queda entre el tra-dós de una y la solera de la otra un desnivel de 2,23 metros. El túnel núm. 2 de la variante del ferrocarril de La Robla á Valmaseda (proyecto complementario núm. 1 bis, trozo 2.º) cruza en planta á estas galerías pasando sobre las galerías laterales más altas á 5,35 metros.

*Obra de cierre.*—Entre los dos trozos anteriores, separándolos, está el macizo general de fábrica donde van alojados los órganos de cierre y los mecanismos para su maniobra.

La disposición general de las tomas—grandes vanos rectangulares y tuberías—es semejante á la descrita y justificada en el capítulo anterior. Difieren únicamente estos cierres de los de fondo, en que el espesor del macizo de fábrica es algo mayor, de modo que la parte abocinada es algo más larga, y en que los órganos de obturación y maniobra son sencillos. No hay inconveniente alguno en aumentar aquella distancia, toda vez que á la altura mínima de 8 metros sobre el fondo, quedando un volumen inferior de unos 50 millones de metros y estando la obra en lugar muy alejado de la trayectoria que los arastres podrían llevar, las aguas que penetren por estos vanos estarán desprovistas de todo material sólido en suspensión; y no es necesario disponer de órganos dobles de cierre porque, aparte de la posibilidad de establecer una ataguía, pantalla ó cierre provisional, que en los desagües de fondo no existe, los periodos durante los cuales las compuertas pueden estar levantadas y las llaves abiertas, serán mucho más prolongados y más frecuentes. Casi todos los años, al final del periodo de suministro, quedarán durante algún tiempo en seco las compuertas, y durante un plazo mayor, que puede llegar á ser de tres meses, las tuberías.

Las galerías centrales, ó sea las de descarga de las grandes compuertas de tomas, siguen inmediatamente á los correspondientes vanos, de modo que en planta su eje coincide con la traza del plano medio de éstos.

Entre el umbral del marco de la compuerta y el fondo de la solera de la galería existe un escalón de un metro. Como la altura de aquélla es de 2,50 metros y el mayor tirante ó altura de agua en la galería es de 3,30 metros (fig. 17), el dintel del marco de las compuertas queda por encima del nivel del agua en el origen de la galería y en seco, por consiguiente, el piso de la cámara de compuertas.

*Cámara de compuertas y mecanismos de las tomas.*—Hacia la mitad de la altura de esta cámara van apoyados sobre un entramado metálico horizontal los aparatos de maniobra de las compuertas.

A la misma altura están los mecanismos correspondientes á las llaves de paso de las tuberías de toma.

Todos los aparatos de maniobra quedan alojados en una galería general de mecanismos muy fácilmente visitable.

Las cámaras de compuertas propiamente dichas están divididas en varios compartimientos por medio de muros y tabiques. Corresponde uno á cada grupo de tres llaves y otro independiente para cada compuerta rectangular. Los tabiques que los separan son de hormigón armado.

Los muros—de un espesor de 3 metros—constituyen sólidos contrafuertes del conjunto para resistir los empujes laterales y la carga de las bóvedas.

*Descargas superficiales.*—*Depósito receptor.*—La parte superior

de todo el frente del muro ó macizo de cierre está destinada á los vanos superficiales de descarga. Al verter sobre el umbral de éstos ó sobre el labio ó borde superior de las compuertas-vertedero caen las aguas al fondo de una galería alojada en el espacio que media entre la de mecanismos y el muro de frente. Esta galería ó depósito va cubierta con bóvedas cilíndricas de generatrices normales al muro y de directriz en forma de arco carpanel, que se apoyan sobre arcos torales de medio punto, de la misma luz que la galería, y situados en los espacios que median entre cada dos grupos de vanos superficiales.

Estos arcos torales se corresponden con los muros de separación de las cámaras de compuertas, de modo que el conjunto forma un contrafuerte general acusado al exterior por medio de una robusta pilastra ataluzada al  $\frac{1}{5}$  hasta la altura del umbral de las descargas, ó sea hasta el nivel máximo normal ó inferior y vertical en el resto.

Las pilastras sirven de apoyo á unos arcos carpaneles mediante los cuales se acusan, también al exterior, las bóvedas interiores y tienen por objeto establecer la continuidad de la plataforma general, sobre la cual van montados los aparatos de maniobra de las compuertas-vertedero.

Cada uno de los arcos exteriores cubre un grupo de dos vanos, entre los que va un apoyo intermedio. Tanto estas pilas como las semipilas extremas van provistas de tajamares circulares, coronados á la altura de máximo embalse por sombreretes curvos.

*Evacuación de las aguas recogidas en el depósito receptor.*—Las aguas caídas en la galería general ó gran depósito receptor son evacuadas por sumideros que arrancan de su fondo y van á desaguar en las galerías de descarga laterales.

El número de sumideros es ocho; corresponden, simétricamente, cuatro á cada galería de descarga, y uno á cada vano superficial. Todos ellos van seguidos de una tajea ó conducto, que funcionará en carga cuando el caudal evacuado alcance un valor próximo al máximo.

Las bocas de los sumideros están también distribuidas simétricamente; cuatro arrancan de un pozo central, y las otras cuatro de las esquinas de la galería, la cual se prolonga por sus extremos (3,50 metros por cada lado) por medio de dos trozos alojados en el macizo de los machones laterales y cubiertos por bóvedas cilíndricas en prolongación con el intradós de los arcos torales.

Contornea las bocas de los sumideros un murete de hormigón armado de 0,90 metros de altura, provisto de pequeños orificios ó barbicanas en su parte inferior. Del mismo material son proyectados los tabiques de separación de los conductos de evacuación, de los sumideros y la parte de tapa situada bajo la solera de la galería ó depósito general receptor.

Tiene por objeto el reborde ó murete que contornea las bocas de los sumideros retener un volumen inicial de agua que sirva de amortiguador de los efectos que, sobre las fábricas, pudiera ocasionar la caída de caudales crecientes é importantes. Como las barbicanas, cuyo único objeto es dar lentamente salida á las aguas retenidas en el fondo del depósito, cuando haya cesado su entrada por los vanos superficiales, tendrán una sección muy pequeña, en cuanto por cualquier causa, ya sea por una elevación accidental del nivel de las aguas en el embalse, forzosamente muy lento, ya por la maniobra de una ó varias compuertas-vertedero que, aunque no tanto, también lo es, comience á entrar agua al depósito, quedará constituido el colchón amortiguador.

Directamente sobre el fondo no podrán, por consiguiente, caer, sino caudales verdaderamente insignificantes, sin acción erosiva sensible.

Mientras el caudal evacuado sea reducido, las aguas verterán libremente sobre los muretes, cayendo á los sumideros encargados de descargarlas, pero, poco á poco, conforme aquel caudal vaya creciendo, las bocas de entrada irán anegándose hasta llegar á quedar sumergidas. A partir de ese momento, los conductos de evacuación trabajarán en carga. En estas condiciones, cada sumidero deberá consentir el paso de 8,24 metros cúbicos por segundo, que es el caudal máximo correspondiente á una compuerta-vertedero. Una sección de 0,90 metros cuadrados, con carga de 3 metros sobre el centro de presión, puede servir para el caso. En la figura correspondiente (lámina VI, sección *ab-cd* y *mn-pq-rs* *AB* y *A, B,*) aparece indicado el nivel máximo que las aguas podrán alcanzar en el depósito receptor. Se puede, pues, contar para el efecto perseguido con una lámina de agua de espesor variable, y creciente con la importancia del caudal cuya caída ha de amortiguar, y que, como mínimo, tendrá la altura de los muretes, ó sea 0,90 metros. La variación de la altura de caída, que tiene lugar en sentido inverso, contribuye en igual ó mayor proporción al mismo efecto.

*Tuberías de toma.*—Reunidos los conductos de evacuación de los sumideros, arrancan normalmente de los muros extremos ó laterales del depósito, formando un haz que vuelve en arco de circunferencia de 90°, para desaguar en las galerías correspondientes, sobre las bocas de salida de las tuberías de toma.

Estas tuberías vienen, mediante un doble acomodamiento, á coincidir en dirección, y su eje á superponerse en planta, con el de los conductos de los sumideros y con el de la galería común de descarga.

*Ventilación.*—La galería general de mecanismos ó aparatos de maniobra de las tomas ó desagües intermedios de suministro normal está en comunicación con el depósito de recepción descrito en los párrafos anteriores por medio de cuatro grandes ventanales, en medio punto, cuya base queda un metro por encima del máximo nivel que las aguas pueden alcanzar en dicho depósito, y éste á su vez con el exterior, por la parte de vano superficial no cerrado en caso alguno por las compuertas-vertedero.

Como las cámaras donde se alojan las grandes compuertas rectangulares de toma son abiertas, y están en comunicación con las correspondientes galerías—las centrales—, resulta que á lo largo de éstas puede establecerse libremente la corriente de aire que conceptuamos indispensable á los fines indicados ya.

Las galerías laterales están también en comunicación con la atmósfera por sus extremos, y quedan, por consiguiente, ventiladas. Del lado de aguas arriba, una corta galería transversal, que acomete al muro frontal de un ensanchamiento extremo de la galería de mecanismos, desempeña esta importante misión, al mismo tiempo que sirve para permitir el acceso del personal encargado de la explotación y conservación de las obras.

*Escaleras de bajada á las galerías de mecanismos y cámara.*—Los indicados ensanchamientos de la galería general de mecanismos quedan alojados en el macizo de los machones extremos. Por su interior se desarrollan las escaleras de bajada, dispuestas especialmente al objeto de dejar un hueco libre ó pozo, contiguo á la puerta de entrada al edificio que las cubre, para el fácil descenso de las piezas ú órganos de recambio de las compuertas, llaves y aparatos de maniobra. Un pescante grúa indicado en la correspondiente figura (sección por *P Q*) y un transbordador que corra á lo largo de la galería facilitarán el transporte y montaje de aquellos elementos.

*Edificación.*—La parte anterior de los machones sirve de asiento á edificaciones de dos plantas, cuyo destino puede ser el alojamiento del personal encargado de la vigilancia de las obras y del puesto receptor de las comunicaciones y órdenes relacionadas

con la explotación del pantano. La superficie ocupada es de 45 metros cuadrados.

Estas dos edificaciones tienen entrada independiente, pero están comunicadas entre sí por el interior de una galería apoyada sobre el muro de frente, dentro de la cual están situados los aparatos de maniobra de las compuertas-vertedero. Cada una tiene además acceso á la correspondiente escalera de bajada, de modo que también están comunicadas interiormente por la galería general de mecanismos.

*Compuertas-vertedero.*—Réstanos únicamente, para terminar la descripción de esta parte de las obras, hacer alguna indicación acerca de las compuertas-vertedero.

Son análogas á las que hemos incluido en anteriores proyectos (1) y ha utilizado con excelente resultado el Ingeniero del canal Imperial de Aragón Sr. Lasierra en las recientes obras de ampliación del pantano de Mezalocha (río Huerva, Zaragoza). Nuestro distinguido compañero ha modificado el aparato de maniobra en el sentido de suprimir las columnas ó bases de fundición; las compuertas van suspendidas por sus extremos por medio de cremalleras que engranan con piñones montados sobre un mismo eje, al cual es transmitido el movimiento del volante de maniobra por medio de un doble engranaje cilíndrico y tornillo sin fin.

Aceptamos estas modificaciones, sancionadas por la experiencia, por considerarlas apropiadas al caso presente. Todas las sillares y cojinetes pueden ir apoyados sobre una bancada general formada por dos robustas piezas laminadas sostenidas por caballetes metálicos empotrados en la fábrica ó unidos á piezas que lo estén.

La compuerta propiamente dicha está constituida por un entramado de viguetas de acero laminado, que en su cara anterior, plana, lleva roblonada una chapa de palastro del mismo material.

El borde interior y los costados están formados por viguetas en forma de U, en cuyo hueco se aloja el cojinete de articulación de las barras laterales sustentadoras. La compuerta se apoya contra su asiento ó marco de fundición, obligada por la presión del agua. No es indispensable la interposición de tiras de bronce.

El labio ó borde superior de la compuerta está formado por una pieza de fundición cuya longitud es la total de la compuerta. Esta pieza puede ser fácilmente sustituida cuando la acción del rozamiento debido al paso del agua haya llegado á producir un desgaste sensible.

Las barras de suspensión van alojadas en el espacio hueco ó gárgaro, que sirve para el descenso de la compuerta, de modo que quedan libres del choque de la corriente de agua.

Estos gárgaros consienten, además, el paso del aire bajo la lámina vertiente, la que, por lo tanto, será libre. Al efecto, el reborde ó asiento saliente del umbral de fundición va hacia el exterior, ó sea del lado del embalse. Esta disposición ofrece las mayores garantías para la conservación de la compuerta.

## CAPÍTULO VII

### Obra final de descarga.

*Emplazamiento.*—Reúnense todas las galerías, tanto las procedentes de las tomas y descargas superficiales, como las de evacuación de los desagües de fondo, en un mismo lugar, situado en la ladera derecha del Ebro y á unos 250 metros aguas abajo del dique.

(1) Pantano de la Virga (Santander-Burgos) y Arguis (Huesca). El último fué aprobado técnicamente en virtud de Real orden de 3 de Junio de 1911.

La obra de descarga ó caída, anterior al cauce, siguiendo el cual han de incorporarse de nuevo las aguas retenidas en el pantano al primitivo del Ebro, es única.

Obtiénense de esta agrupación notables ventajas de un orden principalmente económico, sin complicar por ello el arduo problema que plantea la caída de crecidísimos caudales, desde una altura relativamente grande, sobre una ladera de fuerte inclinación.

Todas las galerías inciden normalmente á esta ladera, á fin de que su longitud sea la menor posible. Las obras dispuestas para recibir las aguas en su caída se desarrollan siguiendo la línea de máxima pendiente, porque así conviene para su mejor apoyo y estabilidad.

Es forzoso el establecimiento de un pozo, ya que no se presta el terreno al establecimiento de uno ó varios rápidos, desarrollados por la ladera. Estos rápidos serían costosísimos por la gran importancia de los caudales que pueden llegar á salir por las galerías, pues habrían de tener una gran anchura, al objeto de reducir la altura, ó tirante de agua, y con ello el efecto de erosión sobre el fondo.

*Naturaleza é importancia de la obra de descarga.*—Hay que advertir que se trata de un caso distinto del que habitualmente se presenta en la evacuación de las aguas de avenida que lleguen á rebasar la altura correspondiente al umbral del vertedero, ó de las suministradas por pantanos destinados á otros fines más concretos, como son, el riego de una zona determinada, ó la regularización del caudal aprovechado en una industria. En tales casos, las descargas superficiales ó vertederos funcionan pocas veces y durante brevísimo plazo, los desagües más capaces, destinados á aliviar ó vaciar el embalse y provocar limpias, se encuentran en la parte más baja de la presa y no exigen, por consiguiente, obras de caída, y las tomas, que dan paso á caudales más reducidos, desaguan por medio de cauces que, con frecuencia, tienen su origen en la misma presa y se desarrollan por alguna de las laderas del valle.

En el caso presente, los importantes caudales que han de ser evacuados durante el largo período de suministro, de un modo normal, ó sea prácticamente continuo, tienen su salida por galerías cuya boca se encuentra á bastante altura sobre el nivel del río, y á los desagües de fondo solamente será preciso recurrir, para el objeto, en circunstancias que no se presentarán sino en años excepcionales.

La cuestión se complica ó dificulta por la naturaleza del terreno, que exige fuertes revestimientos de fábrica ú obras de protección y defensa.

Como de la constitución del terreno depende la naturaleza del dique, el problema que nos ocupa ha revestido, por la causa que acabamos de indicar, excepcional importancia y dificultades en los grandes pantanos cuyo dique es de escollera, de tierra ó mixto, y esta dificultad ha subido de punto cuando, por la que ha existido para alejar del dique las obras de evacuación ó descarga, éstas han tenido que establecerse sobre él ó en su prolongación, hasta llegar, en algún caso—muy divulgado por la Prensa técnica mundial—, á ser reconocida la necesidad de construir una obra de ensayo, reproducción en escala no muy reducida de la proyectada, que sirviera para confirmar ó rectificar las previsiones del proyecto.

Pero aun en la mayoría de estas grandes obras que pueden servir de antecedente ó estudio, como quiera que de lo que se trata es de evacuar accidentalmente caudales sobrantes, cuando por sobrevenir una avenida estando lleno el embalse llegue á rebasar el nivel del agua la altura del aliviadero de superficie, la duración del período durante el cual tiene lugar la caída suele

ser muy breve, y el hecho repetirse muy de tarde en tarde. Los efectos de desagregación y erosión, en los que tanto influye el tiempo y la continuidad de la acción, son en tales condiciones mucho menos sensibles, aun cuando ésta sea igualmente enérgica, que si se tratara, como sucede en nuestro caso, de una acción muy prolongada, ó sea prácticamente continua.

Para precisar bien los términos de la cuestión reproducimos á continuación los principales datos:

PROCEDENCIA DE LAS AGUAS	CAUDAL — m <sup>3</sup> × 1''	Altura de caída. — Metros.
Galerías laterales más elevadas de evacuación de las descargas superficiales y tubos de toma.	2 × 55,447 = 110,894	14,40
Galerías intermedias. Descarga de las grandes compuertas de toma.....	2 × 83,307 = 166,614	9,60
Galerías inferiores. Descarga de los desagües de fondo y tuberías inferiores.....	2 × 55,842 = 111,684	1,30
TOTAL.....	389,192	

*Disposición general de esta obra.*—La forma en que están distribuidas las bocas de salida de las galerías, y la altura á que se encuentran sobre el fondo del valle, sugiere la idea de una obra general escalonada.

Las aguas procedentes de las galerías superiores irán recorriendo sucesivamente todos los escalones. Se reunirán con ellas, á su paso por el escalón correspondiente, las derivadas por las compuertas de toma y evacuadas por las galerías intermedias, y ambas se sumarán á las que puedan proceder de los desagües de fondo en el cauce general de incorporación. El escalón adoptado, divisor común de las alturas totales de caída de las galerías superiores é intermedias, es 2,40 metros. Las primeras exigen seis escalones y cuatro las segundas.

El criterio seguido para proyectar la obra que nos ocupa se deduce de las consideraciones que siguen:

Es, ante todo, conveniente reducir la anchura de la obra, ó sea el desarrollo del umbral ó labio de los vertederos ó escalones, á fin de evitar la apertura de grandes cajas ó desmontes, y la construcción costosa y difícil, de extensos ensolados.

La reducción de la anchura total, ó desarrollo de los escalones, lleva consigo una variación inversa del espesor de las láminas vertientes. Este aumento provoca otro, mucho más rápido, de las acciones dinámicas de erosión y socavación, á las que es preciso oponerse robusteciendo los muros y soleras.

La más económica, estable y conveniente será una solución media, que, sin exagerar las proporciones de las obras, no exija alturas vertientes capaces de provocar la desagregación ó ruina de revestimientos ó fábricas de espesores corrientes y moderados.

Una disposición especial nos ha consentido, sin embargo, reducir mucho la anchura de la obra, sin correr tal riesgo. Consiste esencialmente en disponer los escalones en forma de vertedero precedido de varios sumideros ó desagües de fondo que, al propio tiempo que reducen la altura de la lámina vertiente, establecen una corriente horizontal que debilita ó anula el efecto de socavación debido á su caída.

Precede á los desagües de fondo un escalón corrido de escasa altura, cuyo objeto es crear en el fondo de cada cuenco un depósito que llenarán las primeras aguas evacuadas por los desagües correspondientes, proporcionando un amortiguador á la caída de los sucesivos caudales de importancia creciente.

*Funcionamiento de los sumideros anegables.*—Fácil es darse cuenta de su funcionamiento á la vista de una cualquiera de las secciones de estos vertederos especiales ó de la figura esquemática siguiente (fig. 25). Varía con la importancia del caudal á que deben dar paso.

Una vez llenos los depósitos, ó sea enrasado el nivel en cada cuenco á la altura del borde superior del escalón que precede á

proporción, que ha sido fácil ajustar los escalones sucesivos á la separación original de las galerías de descarga, dotando á cada escalón de la amplitud suficiente para el desagüe de los caudales á que deben dar paso en el caso extremo de una completa abertura de los cierres.

La anchura de la descarga correspondiente á las galerías superiores destinadas á evacuar los caudales á que, como máximo,

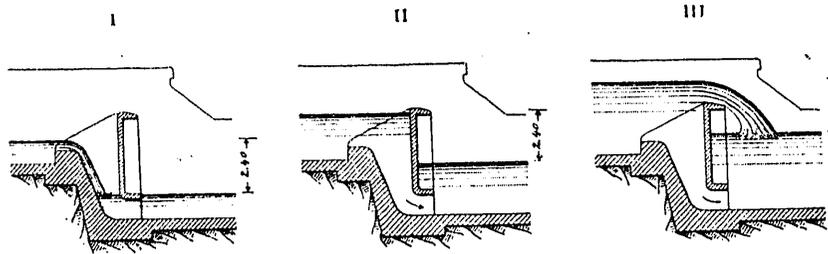


Fig. 25.

las aberturas ó sumideros inferiores, comienzan las aguas á verter en el interior de éstos, sobre el fondo anegado por las detidas; en el cuenco siguiente.

En cuanto el espesor de la lámina vertiente sobre el correspondiente escalón del fondo llegue á igualar á la diferencia de nivel que media entre el borde del escalón y el dintel del vano de fondo anterior, éste comenzará á desaguar en carga. Los movimientos tumultuosos del agua producidos por la caída quedarán amortiguados por el muro ó pantalla de frente del vertedero propiamente dicho.

Conforme vaya creciendo el caudal irá aumentando también la altura del agua en los cuencos hasta que llegue un momento en que su nivel rebasa la altura de la cresta del vertedero. A partir de ese instante la evacuación superior é inferior será simultánea, pero la caída de la masa de agua vertiente se producirá sobre otra, cuya parte más profunda estará animada de una pronunciada velocidad horizontal, de modo que la vertical de la caída, amortiguada ya, no podrá producir efectos de socavación en el fondo.

Es interesante advertir que la velocidad de salida del agua llegará á adquirir, en cuanto la boca de entrada de los sumideros quede anegada, un valor constante, que es el correspondiente á la carga ó desnivel—que lo es también—, pues los fenómenos se repiten análogamente en los sucesivos escalones.

Este valor, que es precisamente el debido al desnivel constante entre escalones ó módulo general de la obra—2,40 metros—, ó sea 6,86 metros por segundo, no es peligroso para la existencia de las fábricas en los lugares en que ha de ser alcanzado, ó sea en las bocas de salida. A corta distancia de éstas el ensanchamiento brusco de la sección de la masa de agua en movimiento producirá una sensible y beneficiosa reducción en la velocidad, que asegurará la buena conservación de las fábricas y del conjunto de la obra.

Los muretes ó escalones del fondo debe án ir provistos de pequeños mechinales ó desagües que consientan de un modo lento el de los cuencos, cuando haya cesado la circulación del agua. Estos muretes constituyen verdaderos nervios ó esfuerzos de la solera general en los lugares donde el trabajo á que ha de estar sometida es más intenso, y podrán ser ejecutados con la misma fábrica de mampostería ú hormigón en masa, convenientemente enlucida.

El labio ó umbral del vertedero propiamente dicho y los tabiques ó contrafuertes que le sostienen completando la sección de los sumideros serán de hormigón armado.

*Justificación de los principales elementos de esta obra.*—Esta disposición ha consentido reducir las longitudes vertientes en tal

pueden dar salida las tuberías y vanos superficiales es de 7,50 metros. El desagüe unitario máximo será  $\frac{55,447}{7,50} = 7,392$  metros cúbicos por segundo.

Las galerías intermedias ó centrales, destinadas á evacuar las aguas procedentes de las tomas, van seguidas inmediatamente de una descarga de 18,50 metros de anchura, á la que corresponde un desagüe unitario de  $\frac{2 \times 83,300}{18,50} = 9,005$  metros cúbicos por segundo.

Todas estas aguas se reúnen en un cuenco más amplio, al cual llegan lateralmente las que proceden de las galerías superiores y por el frente posterior las evacuadas por las grandes galerías de toma. El desagüe total tiene lugar por el frente anterior, cuya longitud es de 22,50 metros; el unitario correspondiente será

$$\frac{2 \times 55,447 + 2 \times 83,300}{22,50} = 12,333 \text{ metros cúbicos por segundo.}$$

El espesor de lámina vertiente previsto para los desagües parciales es de un metro, al cual corresponde un caudal unitario de 2,215 metros cúbicos por segundo. Deberán ser aliviados por los sumideros los caudales complementarios de 5,177 y 6,790 metros cúbicos por segundo, respectivamente, cuyos caudales podrían encontrar salida en las condiciones previstas por aberturas continuas de alturas  $h' = 0,67$  y  $h' = 0,88$  metros.

Estas alturas deberán ser suplementadas á fin de tener en cuenta la reducción de la sección debida á la existencia de los tabiques ó contrafuertes en unos términos correctivos cuyo valor será

$$\alpha = \frac{h' \times 1,50}{6} = 0,17 \text{ metros y } \beta = \frac{h' \times 4}{14,50} = 0,24 \text{ metros.}$$

Las alturas totales resultarán, aproximadamente, ser de  $h = 0,85$  y  $h = 1,15$  metros.

El desagüe total de las cuatro galerías superiores exige forzar algo estas cifras. No hay en ello inconveniente, pues es mucho menos probable el caso extremo de máximo caudal por acumulación ó coincidencia de los máximos parciales. El espesor de la lámina vertiente podrá, á lo sumo, llegar á ser de 1,50 metros, al que corresponde un caudal de 4,068 metros cúbicos por segundo; el complementario será 8,265 metros cúbicos por segundo, que puede salir con la carga fijada, por una abertura de la longitud total y 1,08 metros de altura. La corrección correspondiente á la causa indicada será  $\gamma = \frac{h' \times 5,50}{17} = 0,35$  metros,

y la altura definitiva de los vanos ó sumideros de 1,40 metros.

Para el cálculo de estos caudales se han utilizado las fórmulas corrientes aplicables á vertederos y orificios sumergidos con

coeficientes  $m = 0,50$  y  $m = 0,90$  (contracción incompleta, tubo adicional cónico), inferiores sin duda alguna á los reales, por la circunstancia de llegar las aguas animadas de velocidad.

Para dar clara idea de la reducción conseguida en el desarrollo de la sección vertiente en los diferentes escalones, bastará indicar que el total anterior, debido á las cuatro galerías superiores, hubiera exigido, con la misma lámina de 1,50 metros de espesor, una longitud en vertedero ordinario de  $\frac{277,494}{4,068} = 68,21$  metros superior al triple de la proyectada. Análogas son las deducciones alcanzadas en los escalones anteriores. Adoptando la misma disposición general la anchura total de la obra hubiese sido de unos 120 á 130 metros.

*Acometida de las galerías de fondo.*—Las galerías de evacuación de los desagües de fondo pasan por debajo de los cuencos laterales, ó sea de los que preceden al de reunión de las intermedias y superiores. La boca ó frente es prolongación del muro anterior de recinto, y á partir de él, el desagüe tiene lugar por dos canales á cielo abierto, cuyos cajeros están limitados del lado interior por los muros frontales correspondientes á los últimos cuencos ó escalones de la descarga (fig. 26).

Pendiente.....	0,002 m.
Velocidad media.....	3,61 m. por 1''
Caudal.....	389,178 m. <sup>3</sup> por 1''

Para dar una idea de la variación del caudal y de la velocidad con la altura indicamos á continuación los valores correspondientes á las de 1 y 2 metros:

	<u>h = 1</u>	<u>h = 2</u>
Superficie de la sección mojada.....	28,70	59,59 m. <sup>2</sup>
Perímetro mojado.....	30,82	33,56 m.
Radio medio.....	0,93	1,77 m.
Velocidad.....	1,60	1,90 m. por 1''
Caudal.....	45,92	113,05 m. <sup>3</sup> por 1''

El nuevo cauce es en su origen prolongación de la obra de descarga. Cruza transversalmente el valle y viene á acordarse con el actual por medio de una amplia curva.

Completa esta parte de las obras la regularización del cauce del río en el trozo que inmediatamente sigue al de descarga. Ha

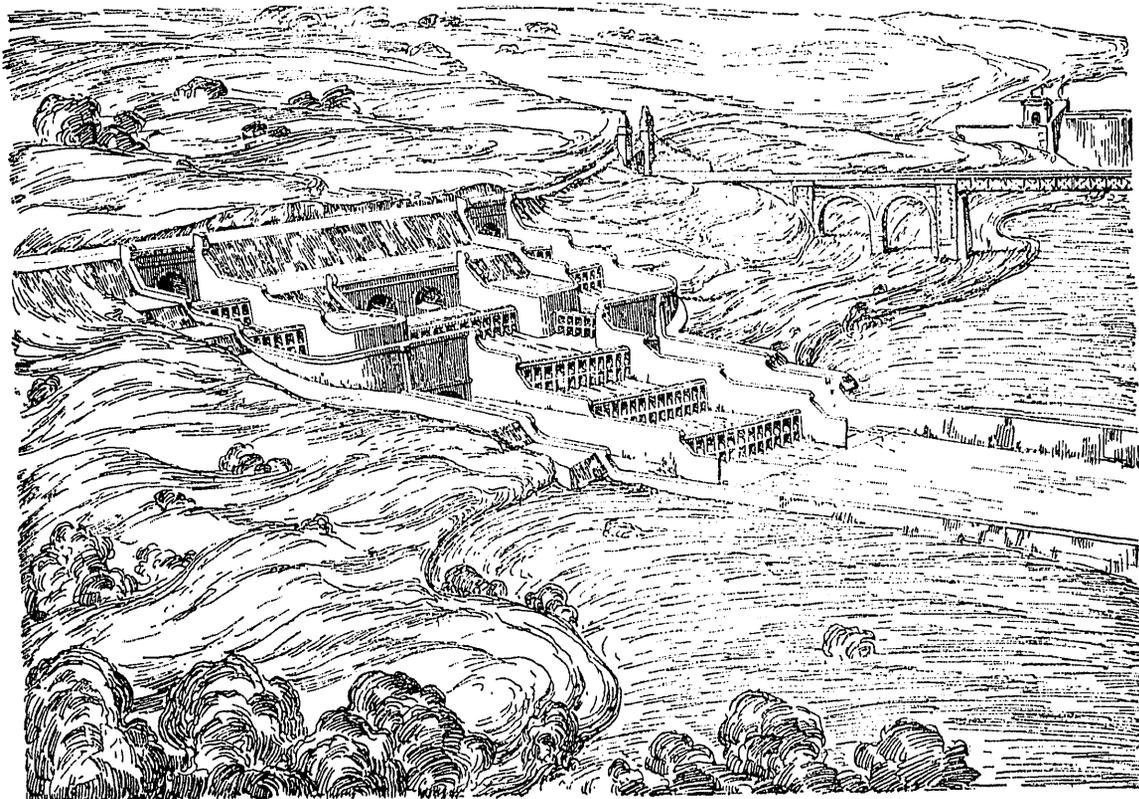


Fig. 26.

*cauce final de descarga ó de incorporación al Ebro de las aguas retenidas en el embalse.*—Estos canales vierten á un depósito final, de donde arranque el cauce general de incorporación. La diferencia de altura entre los niveles máximos correspondientes es de 1,25 metros. Su altura ha sido fijada con la condición de que no puedan entrar en las galerías por retroceso las aguas del depósito, cuando solamente viertan los desagües superiores. Al efecto podrán ser obturadas las correspondientes barbacanas.

Las características del cauce general son las siguientes:

Anchura en la base.....	27,50 m.
Altura de la lámina de agua.....	3,30 m.
Taludes revestidos con inclinación de.....	45° sexagesimales.
Superficie de la sección mojada.....	107,59 m. <sup>2</sup>
Perímetro mojado.....	37,06 m.
Radio medio.....	2,90 m.
Coefficiente de rugosidad.....	1,30 m.

sido proyectada con el doble objeto de asegurar su conservación y de garantizar la circulación de las aguas impidiendo su retroceso hasta el pie del dique.

Para que esta regularización pueda ser efectuada, será indispensable que desaparezca la presa del molino del Padrón, cuyo aprovechamiento no podrá ser realizado, en lo sucesivo, por la irregularidad local debida á la completa alteración del régimen del río.

El trozo de cauce antiguo que media entre el dique y el malecón izquierdo del nuevo deberá ser rellenado por productos sobrantes de los desmontes, para evitar el estancamiento de las aguas de lluvia directamente caídas sobre él y de las procedentes del talud de aguas abajo del dique y trozos de ladera inmediatos. En su lugar deberá establecerse un pequeño cauce de saneamiento que vierta estas aguas al general, á una altura superior á la de su máximo nivel.