

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.

Pantano del Chorro sobre el río Turón

por

D. MANUEL JIMÉNEZ LOMBARDO

Ingeniero de caminos, canales y puertos (1).

Desagüe de fondo.

Descripción general.—Tres funciones pueden desempeñar estos órganos de los pantanos: limpia del vaso, evacuación de avenidas y suministro de aguas de servicio.

Como hemos demostrado anteriormente, dada la entidad de las riadas, la segunda misión debe encomendarse al aliviadero de superficie, quedando el de fondo como un auxiliar; en el siguiente se describirá la toma de aguas de servicio, independiente de la de fondo, aunque está en circunstancias excepcionales, ó cuando se desee utilizar el líquido que quede por debajo de aquél pueda servir á dicho objeto. Resulta, pues, que el desagüe de fondo tiene por principal y casi única misión el efectuar las limpias.

El recodo tan pronunciado que presenta el río en las proximidades del emplazamiento de la presa y la facilidad relativa con que se deben perforar las galerías en la roca arenisca, inducen claramente á proyectar esta obra en túnel en la ladera derecha, sin debilitar el muro de la presa con el hueco de relativa entidad que representa el desagüe y sus cámaras.

En la hoja de planos correspondiente puede verse que la obra consta de la galería de desagüe, de 92 metros de longitud, con tres trozos: el primero, de ingreso, abocinado; el segundo, de compuertas, dividido en dos por un tabique longitudinal, y el tercero, de evacuación, con sección uniforme. Sobre el segundo se dispone las cámaras de alojamiento y maniobras de las compuertas, ingresándose á esta última por una galería con escalera recta.

El emplazamiento del eje se ha escogido de modo que reduciendo á límites prudenciales la longitud, quedé fuera de la proyección horizontal de la presa y no insistan sobre el hueco que representa las presiones verticales de la obra principal, y que la desembocadura se haga á suficiente distancia del pie de dicha presa.

Secciones y velocidades.—La solera del segundo trozo (com-

puertas) está situado en la cota 290, descendiendo por ambos lados hacia el ingreso y salida.

Como la sección mínima de desagüe está en este trozo y consta de dos rectángulos de 1,20 metros de altura y 1,10 de ancho, admitiendo el coeficiente de contracción 0,80, resultará en las compuertas la velocidad máxima, en caso de que se abran para ayudar al desagüe de avenidas

$$v = 0,80 \sqrt{2g(325 - 291,10)} = 20,6 \text{ m./1''}$$

y el caudal evacuado

$$Q = \times 1,20 \times 20,6 = 49,5 \text{ m}^3/\text{1''}$$

Cuando el nivel del agua en el pantano sea el del umbral del aliviadero de superficie (323) se tendrá

$$v = 0,80 \sqrt{2g \times 31,90} = 20,0 \text{ m./1''}$$

$$Q = 2,40 \times 20,0 = 48,0 \text{ m}^3/\text{1''}$$

y cuando deje de funcionar la toma de aguas de servicio (296,7)

$$v = 80 \sqrt{2g \cdot 5,6} = 8,4 \text{ m./1''}$$

$$Q = 2,40 \times 8,4 = 20,2 \text{ m}^3/\text{1''}$$

todo esto prescindiendo de los remolinos y pérdidas consiguientes de carga que puedan haberse originado.

El primer trozo ó de ingreso tiene una sección variable, empezando por una mixtilínea formada por un cuadrado de 2,50 metros de lado coronado por un semicírculo y terminando por un rectángulo de esa misma base y 1,50 metros de altura. En el supuesto teórico anterior las velocidades máximas variarán desde 5,70 á 13,2 m./1''.

El tercer trozo tiene una sección uniforme constituida por un rectángulo de 2 metros de altura por 2,50 de base coronado con un semicírculo, ó sean 7,45 metros cuadrados de sección, siendo la velocidad máxima

$$\frac{49,50}{7,45} = 6,66 \text{ m./1''}$$

La solera de este trozo tiene una inclinación de 0,02, y cuando el agua llegue sólo á los arranques de la bóveda, suponiendo que funciona como un canal descubierto, se tendrá:

$$\left. \begin{array}{l} S = 5,00 \\ P = 6,50 \end{array} \right\} R = 0,77$$

$$v = \frac{87 \times 0,77 \sqrt{0,02}}{\sqrt{0,77} - 0,46} = 7,05 \text{ m./1''}$$

$$Q = 7,05 \times 5,00 = 35,25 \text{ m}^3/\text{1''}$$

(1) Véase el número anterior.

Galería de desagüe.—Trozo primero.—En el primer trozo, además del frente de aguas arriba, se revestirá de fábrica todo el cañón, pues la naturaleza blanda de la roca no resistiría a las grandes velocidades que se acaban de citar.

La solera y muros serán de hormigón de 60 centímetros, de espesor mínimo, y la bóveda, de medio punto en la boquilla, va rebajándose hasta convertirse en un dintel plano en el final.

Para el cálculo de la armadura de esta bóveda se ha considerado la última porción, y supuesto que además de su peso propio podría tener que soportar un desprendimiento en forma de cuña, a 45°, insinuando en su centro (1); el momento máximo de un trozo de 1 metro de longitud apoyado en los muros laterales, será:

$$M = \frac{1}{8} (0,50 \times 2500) 2,50^2 + \frac{1}{4} (1,25^2 \times 3000) 2,50 = 3900 \text{ m./kg.}$$

Para el cálculo de las piezas seguiremos el método del Ingeniero de caminos D. J. M. de Zafra, en su obra *Construcciones de hormigón armado*, admitiendo sus mismos coeficientes (1.200 kilogramos para el metal, 45 kilogramos para el hormigón a la compresión y 4,50 para desgarramiento y adherencia, todos por centímetro cuadrado) aunque en realidad el tipo de hormigón que se empleara (800 kilogramos por metro cúbico de arena) admitiría mayores esfuerzos.

Colocando la armadura a los 5 centímetros del fondo, y admitiendo para valor medio del momento específico unitario 9, se tendrá

$$S = \frac{M}{\mu_1 \times c} = \frac{3900}{405} = 9,6 \text{ cm}^2$$

y se han colocado 10 barras de 12 milímetros, cuya sección es de 11,31 centímetros cuadrados.

Esta armadura se colocará en los tres últimos metros; en los otros tres, donde ya el dintel plano se convierte en arco rebajado, las barras son de 10 milímetros; en otros dos metros, donde el peralte es más pronunciado, serán también barras de 10 milímetros cada 20 centímetros, y en el último tramo, casi de medio punto, se prescinde de la armadura.

Galería de desagüe.—Trozo segundo.—En este trozo, y al objeto de no hacer una sola compuerta de peso exorbitante y manejo difícil, se ha dividido la planta en dos galerías de 1 metro de luz cada una, lo que presenta también la ventaja indudable de que funcione una de ellas en caso de avería é imposibilidad de apertura de la otra.

La pila intermedia tiene un espesor corriente de 1,50 metros, salvo los tamajares y el estrechamiento de los gárgaros de las compuertas. Cuando están éstas cerradas trabaja aquella como viga vertical, cuya luz máxima es de 2 metros, soportando una presión total máxima de

$$\frac{1}{10} (325 - 291,25) 250 \times 2,00 = 168750 \text{ kg.}$$

puesto que la distancia entre ejes de galerías es de 250 centímetros. Cuando las compuertas cerradas son las de agua abajo, el canto de esta viga es de 3,60 metros, que debe reducirse a 3 metros

(1) Los cálculos de resistencia, espesores y armaduras de los distintos elementos del desagüe de fondo se han hecho sólo aproximadamente, más bien por exceso y a los efectos del presupuesto, considerando que en la redacción de los proyectos parciales de ejecución es el lugar apropiado para afinar y precisar estas cifras.

por el estrechamiento del tajamar. Se tendrá así, en lo que se refiere a la flexión,

$$M = \frac{1}{8} 168750 \times 2,00 = 42200 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{42200}{9 \times 300} = 15,6 \text{ cm}^2$$

que se satisface con ocho barras de 16, cuya sección es 16,08 centímetros cuadrados. El esfuerzo cortante es de 105.313 kilogramos, que distribuidos entre los 45.000 centímetros cuadrados suponen 2,4 kg./cm², que el hormigón sólo puede soportarlo.

Cuando esté cerrada la compuerta de agua arriba en una galería y la de agua abajo en la otra, el trozo de pila entre ambas trabajará con viga horizontal, soportando una presión horizontal también. Ahora bien, este trozo se debe subdividir en dos (1): el que corresponde a la abertura de paso de las compuertas, que no se puede apoyar en el techo, y llevará, por tanto, armaduras horizontales, y el que está antes, que soporta el esfuerzo debido al anterior y el suyo propio. En el primer subtrozo, cuya luz es de 0,90 metros, ancho 1,20 y canto útil 0,70, se tendrá

$$M = \frac{1}{8} (3,44 \times 120 \times 90) 0,90 = 4180 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{4180}{9 \times 70} = 5,9 \text{ cm}^2$$

y se han proyectado ocho redondos de 10, cuya sección es de 6,28 centímetros cuadrados; como para resistir el esfuerzo en sentido contrario, cuando se abran las compuertas cerradas y se cierren las abiertas, hay que armarlo simétricamente, aun será mayor la resistencia de la pieza. El segundo subtrozo (viga vertical) puede considerarse como semiempotrado, siendo su luz 1,20 metros, el ancho 1,65 y el canto útil (pues que la sección de la pila no está aquí reducida por los gárgaros) 1,20 metros; la presión es la debida a la propia superficie más la reacción del subtrozo anterior, se tendrá:

$$M = \frac{1}{10} \left[3,44 (120 \times 165 + \frac{1}{2} 120 \times 90) \right] 1,20 = 10400 \text{ m./kg.}$$

$$S = \frac{10400}{9 \times 120} = 10,0 \text{ cm}^2$$

que se satisface con ocho barras de 8 y seis de 12 (sección de 10,81 centímetros cuadrados), colocadas estas últimas en la parte posterior, que es donde insistirá la reacción.

En cuanto al techo, en los dos primeros metros se conserva la misma armadura del final del trozo primero; después la luz se reduce a 1 metro, y el momento por metro lineal, con la sobrecarga supuesta de un desprendimiento en cuña, será:

$$M = \frac{1}{8} (0,50 \times 2500) 1,00^2 + \frac{1}{4} (0,50^2 \times 3000) 1,00 = 345 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{345}{9 \times 45} = 0,9 \text{ cm}^2$$

que se satisface con cinco redondos de 6 milímetros, cuya sección es 1,41 centímetros cuadrados.

Galería de desagüe.—Trozo tercero.—El trozo de evacuación tiene una sección uniforme toda ella, incluso la bóveda, revestida con hormigón de 60 centímetros de espesor. Desemboca en

(1) Se sigue en todo este estudio el admirable trabajo del Ingeniero de caminos D. Severino Bello para las compuertas del pantano de La Peña, aunque sin detallarlo, por las razones expuestas en la anterior nota.

una ladera de gran inclinación, por lo que la excavación es muy reducida, y el frente se reduce á hacer patente la forma de la sección, aunque con espesores más pronunciados.

Cámaras de compuertas.—Sobre el segundo trozo está la cámara de alojamiento de las compuertas, dividida en planta en cuatro compartimientos por medio de un muro longitudinal y otro transversal, que se cruzan.

Cada uno de los paneles del muro transversal se apoya por un lado en el revestimiento general de la cámara y por el otro en el longitudinal: su luz es 1,60 metros, la altura 1,50 metros, el canto útil (colocando los hierros á 5 centímetros de los paramentos) 1,05 metros y la presión media $0,10 (325 - 292,25) = 3,28 \text{ kg./cm}^2$. Se tendrá, considerando esta losa como semi-empotrada

$$M = \frac{1}{10} (3,28 \times 160 \times 150) 1,60 = 12600 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{12600}{9 \times 105} = 13,5 \text{ cm}^2,$$

y se adoptan 14 redondos de 12; sección 15,82 centímetros cuadrados.

En los muros longitudinales se tendrá:

$$M = \frac{1}{10} (3,28 \times 140 \times 150) 1,40 = 9650 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{9650}{9 \times 85} = 12,6 \text{ cm}^2,$$

adoptándose la misma armadura que para los transversales.

El techo de esta cámara (suelo de la de maniobras) podrá sufrir un esfuerzo de abajo arriba, debido á la presión del agua, de $0,10 (325 - 293) = 3,2 \text{ kg./cm}^2$, en los huecos correspondientes á los compartimientos, ó sea en cada uno $3,2 \times 140 \times 160 = 71.680$ kilogramos, que se pueden suponer concentrados en el centro de los vanos. El momento máximo será:

$$M = 71680 \times 1,00 = 71680 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{71680}{9 \times 75} = 106,2 \text{ cm}^2,$$

que se satisface con una armadura superior de 18 redondos de 30 (sección 120,17). Ahora bien, como esta armadura supone una cuantía $q = 0,011$, implica (Tabla 80, Zafra) otra inferior de $q' = 0,0067$, ó sea $s' = 0,0067 \times 140 \times 75 = 70,4$ centímetros cuadrados, que se cumplimenta con 18 redondos de 24 (sección 76,91). Quizás esta disposición podría variarse, economizando metal, disponiendo unas vigas armadas sobre el eje de la galería á las que se atarán las barras superiores, y suprimiendo, al reducir el momento, las inferiores; pero se conservan éstas y la disposición adoptada para que sirvan de contrarresto á las presiones de arriba abajo, que soportará la losa en la maniobra de las compuertas.

Esta maniobra, como luego se verá, puede originar un esfuerzo de 18.000 kilogramos, y siendo el vano de 1,60 metros ocasionará un momento

$$M = \frac{1}{4} Pl = \frac{1}{4} 18000 \times 1,60 = 7200 \text{ m./kg.}$$

$$s = \frac{7200}{9 \times 75} = 10,7 \text{ cm}^2,$$

sección inferior á la de los hierros inferiores que se han colocado para los efectos de la presión del agua.

Compuertas.—Aunque el cálculo y proyecto detallado de las compuertas y mecanismos de cierres corresponda al parcial de construcción correspondiente, precisa hacer en ésta una descrip-

ción del sistema general propuesto y de sus dimensiones y pesos aproximados, tanto á los efectos del presupuesto como para demostración de la suficiencia de las construcciones que los han de contener.

Se adopta, desde luego, el sistema de dobles compuertas: la de aguas arriba para cierre normal, y la de aguas abajo para cerrarla antes de levantar la anterior, equilibrando las presiones. Es tan conocido actualmente el sistema y las ventajas que reportan para el buen funcionamiento, que resulta ocioso el insistir en su conveniencia.

Las razones expuestas por el Ingeniero D. Severino Bello en su proyecto de cierres para el pantano de La Peña, y el admirable resultado que, según referencias del propio autor, están dando en esta grandiosa obra, inducen al que suscribe á proponer para este proyecto compuertas análogas, ó sea de fundición (con lo que se evita la flexión del vástago y en gran parte su oxidación) con marcos de bronce y trenes sueltos de rodillos para disminuir el rozamiento.

La compuerta propiamente dicha irá provista de nervios horizontales y verticales para proporcionarle la rigidez y resistencia necesaria; la unión de los marcos fijo y móvil se hará por un plano inclinado con relación á la vertical, al objeto de que desde la arrancada funcionen los rodillos; éstos rodarán sobre guías de bronce especial; se reforzará el hormigón en los gárgaros con guarniciones metálicas; y, por último, el vástago, también de bronce, se alianzará á los nervios horizontales.

Para determinar el peso aproximado de una compuerta se ha hecho el siguiente cálculo de dimensiones:

La presión media máxima es de 3,40 kilogramos por centímetro cuadrado, y cuando está suspendida, apoyada sólo en los rodillos, una faja horizontal de 40 centímetros soporta el momento máximo (siendo 1,30 metros la luz aproximada).

$$M = \frac{1}{8} pl^2 = \frac{1}{8} 3,4 \times 40 \times 130^2 = 287,300 \text{ cm./kg.}$$

Con la sección dada á este elemento, su módulo resistente es

$$\frac{I}{z} = 0,278 \times 40 \times 32 \times 6 = 1635 \text{ cm}^3,$$

el trabajo máximo á la flexión será

$$\frac{287300}{1635} = 176 \text{ kg./cm}^2,$$

inferior al límite de 200 kilogramos que se puede suponer en la fundición.

El esfuerzo cortante máximo en los extremos será:

$$\frac{1}{2} 3,4 \times 40 \times 130 = 8840 \text{ kg./cm}^2$$

y el unitario

$$\frac{8840}{(40 + 32) 6} = 21 \text{ kg./cm}^2$$

que sin inconveniente podría llegar á 160 kilogramos.

Vástago.—Dando á los nervios verticales el mismo espesor y saliente que á los horizontales, resultará en definitiva un peso propio aproximado para cada compuerta con sus marcos y vástago:

$$a = 3000 \text{ kg.}$$

La componente vertical del empuje del agua, siendo la presión total de $3,20 \times 1,25 \times 1,50 \times 10000 = 57000$ kilogramos, será:

$$b = 57000 \times \sin 2^\circ = 2000 \text{ kg.}$$

La resistencia á la rodadura de los rodillos será (tomando los coeficientes adoptados por Bello) cuando estén limpios:

$$c = 2 \times 0,0005 \times \frac{57000}{0,11} = 520 \text{ kg.,}$$

y cuando estén enarenados:

$$c' = 15 \times c = 7800 \text{ kg.}$$

Por último, cuando por desgaste de éstos ó descuidada maniobra rocen los marcos, siendo 0,22 el coeficiente de frotamiento de los bronce, el esfuerzo será:

$$d = 57000 \times 0,22 = 12540 \text{ kg.}$$

En maniobra normal, para levantar la compuerta anterior, previamente equilibrada, el esfuerzo vertical será como máximo

$$a + c' = 10800 \text{ kg.}$$

y para subir luego la posterior, que ya no está equilibrada, aunque sí limpia

$$a + b + c = 5520 \text{ kg.}$$

Si por extraordinario hubiera rozamiento entre los marcos en esta segunda compuerta, el esfuerzo sería:

$$a + b + d = 17540 \text{ kg.}$$

Por último, en caso muy extraordinario, podría ser el esfuerzo

$$a + b + c' = 12800 \text{ kg.}$$

Cuando se bajen las compuertas, si es la segunda para la maniobra de abrir ó la primera estando el embalse vacío, el esfuerzo en el vástago será de 3.000 kilogramos y de tensión. A embalse lleno, como los gárgaras estarán limpios por la acción del agua corriente, la tensión será

$$a + b - c = 3000 + 2.000 - 520 = 4480 \text{ kg.}$$

cuyo peso no es posible que se anule, aunque alguno de los rodillos no funcione, lo que no es probable.

En resumen, el vástago estará sólo sometido á tensiones (principal ventaja de la compuerta de fundición), siendo su máximo 18.000 kilogramos en números redondos, que se resistirá en buenas condiciones con una barra de bronce redonda de 6 centímetros de diámetro, sometida por centímetro cuadrado al esfuerzo de

$$\frac{18000}{28,27} = 637 \text{ kg.}$$

Mecanismo de maniobra. — Para la maniobra de las compuertas se dispone en cada una de ellas de un gato hidráulico de 60 centímetros de diámetro interior. Como el esfuerzo máximo es de 18.000 kilogramos y la superficie libre del émbolo es de unos 2.800 centímetros cuadrados, el agua deberá inyectarse á la presión máxima de 6,5 atmósferas.

Para prevenir cualquier avería en los gatos, ó para ayudarlos en caso de resistencia extraordinaria, se proyecta además un puente-grúa de 20 toneladas métricas de potencia, que al propio tiempo servirá durante el montaje; como el esfuerzo de 20 toneladas métricas aplicado en el punto medio de las vigas del puen-

te-grúa requeriría dimensiones extraordinarias ó armaduras especiales para éstos, se colocarán, en la misma línea de los vástagos, columnas de fundición apoyadas en el macizo, lo cual reduce la luz de las vigas á 2 metros y permite reducirlas al tipo núm. 32.

Galería de acceso. — Ya se ha dicho anteriormente que el acceso á la cámara de maniobras se hará por una galería escalonada, perforada en el macizo de roca, por considerar esta disposición más cómoda que los torreones verticales y más económica en el caso presente, por el coste relativamente reducido de la perforación del túnel en arenisca. Para evitar el ingreso de personas extrañas se cerrará esta galería con una verja metálica, revistiéndola toda con buen hormigón para precaver posibles filtraciones.

Conservación de conductos y compuertas. — La visita á las compuertas se hará por la misma galería de desagüe; las de agua abajo podrán repararse y conservarse cuando estén cerradas las de agua arriba; pero éstas sólo podrán registrarse en las épocas de vacío del vaso.

En cuanto al hormigón de revestimiento de los conductos se reparará también en estos periodos.

(Continuará.)

El sistema de señales del "Pennsylvania Railroad,"

por

A. H. RUDD

INGENIERO DE SEÑALES DEL "PENNSYLVANIA RAILROAD."

(*Railway Age Gazette.*)

Extractos de una conferencia dada en el *Railway Club* de Pittsburgh.

Con el fin de asegurar la exactitud de las indicaciones proporcionadas por las señales, establecemos circuitos de vía de corriente alterna para todas nuestras nuevas señales automáticas, porque hemos comprobado que la corriente de tracción ejerce una acción perturbadora en los circuitos de vía de corriente continua. Verdad es que con estos últimos pueden tomarse medidas de precaución, como la doble parada y la interrupción del circuito; los hemos ensayado con mayor ó menor éxito, pero el verdadero remedio está en la adopción del circuito de vía de corriente alterna, al cual hemos recurrido, no solamente en las instalaciones nuevas, sino que también vamos modificando en este sentido parte de las antiguas. Este cambio trae consigo el empleo de luces eléctricas y de motores de corriente alterna.

El gasto de instalación es considerable; en las líneas de doble vía alcanza, aproximadamente, 3.000 dollars por sección de bloc de 4.000 á 6.000 pies (de 1.220 á 1.830 metros) de longitud. Para ambas vías puede calcularse por milla en 8.000 dollars (24.855 pesetas oro por kilómetro). Esperamos que parte de este gasto podremos recuperarlo con el aumento de 5 por 100 en las tarifas de mercancías.

En cuanto á los gastos de explotación y conservación no han sido nunca tan reducidos. Con las señales electro-neumáticas, los gastos de conservación ascienden, aproximadamente, á 160 dollars por sección de bloc; en una línea de cuatro vías, son de 640 dollars por milla (1.988 pesetas oro por kilómetro). En este último caso los gastos del motor de corriente continua son de unos 90 dollars; en algún caso, raro, esta cantidad baja á 75 dollars. Con el motor de corriente alterna no pasa en ningún caso de 60 dollars. Se obtiene, pues, una economía de cerca de 400