

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**Redactor-Presidente....** Excmo. Sr. D. Eduardo López Navarro, Inspector general del Cuerpo.  
**Redactores.....** Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.  
 D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela d- Caminos.  
 D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).  
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero de Caminos del mismo Cuerpo, *Secretario*.  
**Colaboradores.....** Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

## ABASTECIMIENTO DE AGUAS A BILBAO

(CONTINUACIÓN)

| Designación<br>de los elementos.          | Agua pura. | Potable.      | Sospechosa. | Mala.        |
|-------------------------------------------|------------|---------------|-------------|--------------|
| Grado hidrotimétrico total.....           | 0 á 15     | 15 á 30       | + de 30     | + de 100     |
| Grado después de la<br>ebullición.....    | 2 á 5      | 5 á 12        | 12 á 18     | + de 20      |
| Cloro por litro....                       | — de 15    | + de 40       | 50 á 100    | + de 100     |
| Acido sulfúrico por<br>litro.....         | 2 á 5      | 5 á 30        | + de 30     | + de 50      |
| Materia orgánica<br>(en oxígeno).....     | — de 1     | — de 2        | de 3 á 4    | + de 70      |
| Productos volátiles<br>al rojo sombra.... | — de 15    | — de 40       | 40 á 70     | + de 70      |
| Bacterias por cm. <sup>3</sup> .          | — de 1.000 | 1.000 á 5.000 | + de 10.000 | + de 100.000 |

Por un accidente imprevisto, no pudieron remitirse las muestras en tubos esterilizados al rojo que pide el Laboratorio del Comité consultivo de higiene pública de Francia, y sólo se enviaron los frascos esterilizados llenos por inmersión; siendo probable que al tomar el agua se hayan introducido gérmenes extraños á ella, que habrán pululado en los días transcurridos hasta que se hicieron los cultivos. Hay, pues, seguridad de que al comprobar el análisis micrográfico ha de encontrarse menor número de bacterias que las halladas ahora. La cuestión, por otra parte, no es esencial; porque antes de filtrarse las aguas del Támesis y del Lea, empleadas en el abastecimiento de Londres, contienen de 8.300 á 45.400, y de 4.700 á 39.200 gérmenes por cm.<sup>3</sup>, según los análisis de Frankland, y las aguas del Sprea, usadas en Berlín, contienen de 125.000 á 10.800.000 gérmenes por cm.<sup>3</sup>, según los análisis de Koch.

Más adelante se verá que para derivar del Cerneja un metro cúbico de agua por segundo, es indispensable regularizar el gasto por medio de un pantano. El embalse de las aguas no perjudicará en lo más mínimo á su calidad, como lo demuestra el ejemplo de los pantanos del Lozoya, de que se abastece Madrid, pues el pantano del Cerneja estará situado á mayor altura, en clima más húmedo y menos caluroso, y más lejos de poblado que los pantanos del Lozoya, y además tendrá mayor profundidad que el embalse del pontón de la Oliva.

Glasgow, Manchester, Nueva York y otras muchas grandes ciudades que pudieran citarse, se abastecen de pantanos; siendo de advertir, que el embalse inferior del Croton para el abastecimiento de Nueva York, mide 160 hectáreas de superficie, 2 1/2 millones de metros cúbicos de cabida y 12,50 metros de profundidad, y se halla, por tanto, en condiciones mucho peores que el proyectado para el abastecimiento de Bilbao.

Los lagos Teyel y Müggel, de los cuales proceden la mayor parte de las aguas para el abastecimiento de Berlín, no pueden considerarse, rigurosamente hablando, como pantanos, porque son ensanches de los ríos Havel y Sprea; pero estos ríos son poco caudalosos, y el segundo de los lagos mencionados no tiene más que 8 m. de profundidad, sin

que estas desfavorables circunstancias sean causa de que el agua se contamine en el embalse.

Dadas las condiciones que tendrá el pantano proyectado, no es de temer que se adulteren las aguas embalsadas pero sí que se enturbien, especialmente en el verano, cuando las turbonadas produzcan súbitas riadas, encuentren el pantano casi vacío.

Esta sola circunstancia bastaría para justificar la necesidad, ó al menos la conveniencia, de establecer filtros para clarificar el agua; pero además debe tenerse en cuenta que los filtros ejercen una acción importante sobre las sustancias disueltas, y son un medio eficazísimo de oxidación de la materia orgánica y de esterilización del agua que les atraviesa.

Desde los estudios memorables de Frankland, la eficacia de los filtros de arena para la depuración de las aguas potables y alcantarillas es, en Inglaterra, un principio que nadie discute, y que la ley sanciona imponiendo su uso. Para no citar más que el ejemplo del abastecimiento de Londres, se indica á continuación el efecto que producen los filtros sobre el número de microbios que las aguas contienen:

|                           | Número<br>de<br>microbios. |
|---------------------------|----------------------------|
| Agua sin filtrar.....     | 8.300 á 45.400             |
| Compañía de Chelsea.....  | 60 á 169                   |
| " West-Middlesex.....     | 145 á 180                  |
| " Southwark.....          | 94 á 2.270                 |
| " Grand-junction.....     | 17 á 4.894                 |
| " Lambeth.....            | 129 á 2.587                |
| Lea.....                  | 4.700 á 39.200             |
| Compañía East-London..... | 224 á 445                  |
| " New-River.....          | 53 á 363                   |

Antes de resolverse el Ayuntamiento de Bruselas á emplear las aguas del Mosa para completar el abastecimiento de la ciudad, se dirigió, en 1892, á los ayuntamientos de las grandes poblaciones, que usan agua del río, preguntándoles el resultado obtenido por la filtración. Las respuestas confirmaron prácticamente la acción de los filtros, que siempre reducen enormemente el número de bacterias.

En Rotterdam la pérdida varía del 90 al 99 por 100; en Breslau, los gérmenes innumerables que contienen las aguas del Oder se reducen á 153, por término medio, y aun á 12; en Vlaardingen, las aguas del Mosa contienen de 19.720 á 22.890 microbios, y después de filtradas, de 14 á 32, llegando la pérdida al 99,9 por 100; y en otras ciudades se obtienen resultados análogos.

La experiencia más concluyente es la de Altona, que usó impunemente las aguas filtradas del Elba, mientras Hamburgo, que toma las aguas del mismo río más arriba y no las filtraba, sufría una terrible epidemia cólica.

En el Congreso Internacional de higiene, celebrado en Moscu el año 1897, se adoptó la conclusión de que el solo procedimiento que aparece actualmente aplicable á la purificación en grande del agua de alimentación es la filtración lenta por arena, con ó sin procedimiento de oxidación de las materias orgánicas, por el intermedio de la ventilación, de la electricidad ó de reactivos inofensivos (1).

Lo expuesto acerca de la calidad de las aguas del Cerneja no deja la menor duda respecto á sus excelentes condiciones para usarla en el

(1) *La Technologie Sanitaire*. — 1897, pág. 188.

abastecimiento de Bilbao, y para mayor garantía se proyecta filtrarlas lentamente con objeto de conseguir su clarificación y esterilización.

*Cantidad de agua disponible.*—Para no demorar innecesariamente la redacción de este proyecto, ha sido preciso limitar los aforos al corto plazo transcurrido desde mediados de Abril á fin de Septiembre del corriente año; tiempo suficiente para medir el caudal de estiaje, que es el dato más esencial.

Se han hecho los aforos en el molino de Agüera, midiendo la altura del agua en el canalizo y en el vertedero de la presa, de los cuales se deduce que el canal de Cerneja mide:

|                      | Litros<br>por<br>segundo. |
|----------------------|---------------------------|
| En Abril y Mayo..... | 2.000                     |
| En Junio.....        | 800                       |
| En Julio.....        | 700                       |
| En Agosto.....       | 200                       |
| En Septiembre.....   | 600                       |

El gasto medio por segundo, en los seis meses citados, será:

$$\frac{2.000 \cdot 2 + 800 + 700 + 200 + 600}{6} = 1.050 \text{ litros;}$$

y como, indudablemente, será mayor en los otros seis meses del año, hay suficiente cantidad de agua para derivar un metro cúbico por segundo, á condición de regularizar el consumo por medio de un pantano, cuya cabida corresponda al déficit en los meses de estiaje. El embalse deberá contener:

|                       | Metros<br>cúbicos.            |
|-----------------------|-------------------------------|
| Déficit en Junio..... | 84.600 . 30 . 0,2 = 507.600   |
| Idem en Julio.....    | 84.600 . 30 . 0,3 = 761.400   |
| Idem en Agosto.....   | 84.600 . 30 . 0,8 = 2.030.400 |
| Idem en Septiembre... | 84.600 . 30 . 0,4 = 1.015.200 |
| Suma.....             | 4.374.600                     |

ó sea 4  $\frac{1}{2}$  millones de metros cúbicos.

No se han hecho observaciones pluviométricas en la localidad; pero no es aventurado asegurar que la cantidad de lluvia en el valle del Cerneja, situado en la cumbre de la cordillera Cantábrica, será muy superior á la que caiga en la costa.

Los estudios de Belgrand demuestran que la ley del incremento de la lluvia con la altura se verifica en las cordilleras expuestas á los vientos húmedos, y que la influencia de la elevación es menor que la de los obstáculos que los vientos encuentran (1). La cordillera Cantábrica corre de Este á Oeste, los grandes temporales del Atlántico son del Norte y los vientos húmedos del Sur, circunstancias que explican el hecho de la gran cantidad de lluvia que cae en las montañas de Santander y de Vizcaya. A ello contribuyen también las densas nieblas que cubren las cimas durante la mayor parte del año, las frecuentes tormentas de verano y el rocío de las noches despejadas.

Para precisar la ley del incremento de la lluvia con la altura, pueden servir de tipo las observaciones pluviométricas en la cuenca del Sena, hechas con especial esmero, según los cuales, la lluvia recogida mide:

| PUNTOS DE OBSERVACIÓN | Elevación<br>sobre el nivel<br>del mar.<br>Metros. | Altura<br>de<br>lluvia.<br>Milímetros. |
|-----------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Elbeuf.....           | 7                                                  | 591                                    |
| Rouen.....            | 7                                                  | 700                                    |
| Chateau-Chinon.....   | 540                                                | 1.156                                  |
| Les Sttons.....       | 595                                                | 1.616                                  |
| Haut Folin.....       | 902                                                | 1.600                                  |

(1) En una ley de meteorología, comprobada por numerosas observaciones. *Marié Cavy. Meteorologie générale*, pág. 32).

Resulta de estas cifras que en la región alta de la cuenca, situada de 540 á 902 metros sobre el nivel del mar, la cantidad de lluvia es más del doble que en la región marítima.

Hace ver el plano general, que la presa proyectada se sitúa á 753 metros sobre el nivel del mar, y que la divisoria de la región superior del Cerneja mide 930 metros de altura en el puerto de los Tornos, ó sea en el punto más bajo, y 1.433 metros en la cumbre más elevada. Aumentando una cuarta parte á la cantidad de lluvia medida en la costa, se tendrá seguramente un mínimo de la que cae en la cuenca del Cerneja.

Las estaciones meteorológicas que pueden servir de comparación son las de Bilbao y Santander, habiendo elegido la primera por caer en ella menos agua que en la segunda (1).

De las observaciones meteorológicas relativas al último quinquenio, excepcionalmente seco, resulta una altura media anual de lluvia de 1.081 mm. A esta cifra corresponde una altura de 1.350 mm. en la cuenca del Cerneja (2), ampliando el coeficiente 1,25 antes indicado.

Estimado prudencialmente, y más bien por defecto que por exceso, en 1,35 metros la altura de la lluvia anual en la región alta de la cordillera, se obtendrá la cantidad de agua disponible midiendo la superficie de la cuenca y calculando las pérdidas ocasionadas por la evaporación y por la infiltración.

Dichas pérdidas varían enormemente, según la naturaleza del terreno, y acusan diferencias crecidas aun en los clasificados como impermeables. Así, por ejemplo, la proporción entre la cantidad de agua que recorre sobre terrenos impermeables y la lluvia, varía del 60 al 94 por 100 en los puntos siguientes:

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| Pantano de Glasgow.....            | 0,60 |
| Pó.....                            | 0,64 |
| Furens (según Graeff).....         | 0,64 |
| Afluentes superiores del Loira.... | 0,64 |
| Durance.....                       | 0,70 |
| Coletores de París.....            | 0,70 |
| Mosa (según Poincaré).....         | 0,94 |

Los tres vallecitos de Cerneja, del Ventorrillo y del Remontanillo, que han de alimentar al pantano proyectado, reúnen las condiciones más favorables para disminuir las pérdidas por evaporación y por infiltración. El subsuelo está formado por rocas compactas é impermeables; la capa superficial de arcilla y turba es de poco espesor y está saturada de agua todo el año (3); la gran pendiente de las laderas hace que el agua de lluvia no se detenga en ellas; y las frecuentes nieblas anulan la evaporación.

Parece, en consecuencia, que no debe estimarse en menos del 70 por 100 de la lluvia, el agua que podrá recogerse en el pantano; y midiendo 35 kilómetros cuadrados la cuenca, la cantidad de agua disponible no bajará de 33 millones de metros cúbicos al año, ó sea 2 millones más de la necesaria para la derivación de 1.000 litros por segundo, que es el caudal del aprovechamiento solicitado.

En la previsión de que estos cálculos salgan fallidos y de que la cantidad de agua recogida sea insuficiente, se consigna en el presupuesto una partida alzada, bastante crecida, para construir una zanja en la margen derecha, que recoja las aguas de la ladera y las conduzca al pantano; debiendo ser este nuevo aprovechamiento objeto de una concesión especial, que se solicitará, si fuera preciso, en tiempo oportuno. Por tan sencillo procedimiento puede aumentarse indefinidamente, sin perjuicio alguno para la localidad, la superficie que alimente al pantano, hasta obtener la cantidad de agua necesaria.

Se ha determinado la capacidad del pantano en relación con la cantidad de lluvia probable durante el verano; pero, según noticias adquiridas en la localidad, hay memoria de alguna sequía excepcional de tres meses, en cuyo plazo quizá no pasase el caudal medio de 100 litros por segundo. En tal caso el déficit sería de 900 litros por segundo, y el embalse debería ascender á 6.852.600 metros cúbicos, más el volumen correspondiente á la pérdida por evaporación; resultando insuficiente el pantano proyectado, de 4  $\frac{1}{2}$  millones de metros cúbicos de cabida.

Dos soluciones pueden adoptarse para aumentar el embalse, ó ele-

(1) Según el *Manual del Ingeniero de Colombo*, la lluvia anual en Santander, mide 1.25 mm. de altura.

(2) En el *Atlas de Géographie moderne* de F. Schrader, se incluye la cordillera cantábrica entre las regiones montuosas de Europa, en las cuales alcanza la lluvia anual 2 metros de altura.

(3) Según las observaciones de Charnock, citadas por Debaube, en un terreno saturado de agua, la evaporación es inferior á la de una superficie líquida.

var seis metros la presa proyectada, ó construir otro pantano en el sitio indicado en el plano.

A las profundidades máximas de 34 y de 40 metros en el pantano de Agüera corresponden las cabidas de 4.691.800 y 7.327.081 metros cúbicos, y las superficies medias de 230.000 y 316.000 metros cuadrados. La cabida del pantano superior es de 2.464.580 metros cúbicos y la superficie media 120.000 metros cuadrados.

La evaporación media diaria en Bilbao es la siguiente:

|           | Junio.  | Julio. | Agosto. |
|-----------|---------|--------|---------|
| 1896..... | 5,0     | 5,5    | 4,4     |
| 1897..... | 5,3     | 4,9    | 4,5     |
| 1898..... | 4,8     | 5,4    | 6,3     |
| 1899..... | 6,2     | 6,1    | 6,2     |
| 1900..... | 5,1     | 6,5    | 5,1     |
|           | 5,3     | 5,7    | 5,3     |
|           | 5/4 m/m |        |         |

Con los datos expresados, la capacidad útil de los embalses será:

|                                                      | Cabida.<br>—<br>Mts. cúb. | Evaporación.<br>—<br>Mts. cúb. | Volúmen.<br>—<br>Parcial. | Utilizable.<br>—<br>Total. |
|------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Pantano de Agüera...<br>De 40 m. de profundidad..... | 7.327.081                 | 153.576                        | "                         | 1.173.505                  |
| De 34 m. de idem...                                  | 4.681.800                 | 111.780                        | 4.580.020                 | 6.986.280                  |
| Pantano superior.....                                | 2.464.580                 | 58.320                         | 2.406.260                 |                            |

Ambas soluciones proporcionan un embalse superior á los 6.852.500 metros cúbicos, que serían necesarios en el caso de una sequía de tres meses, durante los cuales el caudal medio del río quedase reducido á 100 litros por segundo.

Se deduce de lo expuesto acerca de la cantidad de agua disponible, que los aforos practicados no bastan para demostrar experimentalmente, que el caudal medio del Cerneja en el emplazamiento señalado á la presa, es superior á 1.000 litros por segundo, y que para regularizar el gasto será suficiente un embalse de 4 1/2 millones de metros cúbicos; pero las consideraciones aducidas permiten formar juicio exacto sobre ambos puntos, y lo que es más esencial, indican el modo práctico y sencillo de aumentar el caudal de la corriente y el volumen del embalse cuanto sea preciso para que el gasto continuo de la derivación llegue á 1.000 litros por segundo.

#### DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO

**Pantano.**—Antes se ha dicho, que para poder tomar, durante el verano, mil litros de agua por segundo, era preciso embalsar 4 1/2 millones de metros cúbicos, por lo menos.

Ninguna duda ha ofrecido, contra lo que ordinariamente sucede, la elección del emplazamiento de la presa, porque la constitución geológica del terreno señala, á primera vista, la única solución posible y completamente satisfactoria. El punto elegido está situado hacia el final de las areniscas compactas, y á una prudente distancia de las fajas de calizas silíceas, que se intercalan en aquéllas; resultando de este modo establecido el embalse en un terreno impermeable, y la presa sólidamente cimentada, y próxima además á las canteras que habrán de explotarse para su construcción.

Consignar en su informe los Sres. Mallada y Adán de Yarza, que usará conveniente que en los cálculos sobre la cantidad de agua susceptible de embalsarse, se descuenta, por prudencia, una cantidad que podría ser de un 4 á un 5 por 100 en los primeros años, por la absorción ejercida por las rocas no enteramente impermeables. Pasado algún tiempo después de funcionar el pantano, el mismo lodo tenue que arrastran las aguas irá cerrando los poros de las areniscas que se harán cada

vez más impermeables y no dejarán pasar cantidades apreciables del agua almacenada" (1).

No se ha tenido en cuenta esta indicación y se ha supuesto que el terreno del embalse es completamente impermeable; porque transcurrirá un largo plazo antes de que el consumo de agua llegue á 1.000 litros por segundo; y las pérdidas por filtración, que haya en los primeros años, serán muy inferiores al sobrante del caudal disponible.

**Altura de la presa de Agüera.**—Las aguas del Cerneja son ordinariamente limpias, y aun en las riadas arrastran mayor cantidad de piedras que de tierra. La capa de tarquin, que se deposite cada año, será de poco espesor, pero á fin de alargar el plazo que medie entre las limpias, se ha elevado la toma de aguas 6,60 m. sobre el talweg.

La capacidad del embalse, correspondiente á las cotas de 6,60 á 40 metros, es la consignada en el siguiente cuadro:

| (a)<br>Altura<br>del agua.<br>Metros. | Superficie<br>del embalse.<br>M. <sup>2</sup> | VOLUMEN                     |                               | OBSERVACIONES             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                       |                                               | Parcial.<br>M. <sup>3</sup> | Al origen.<br>M. <sup>3</sup> |                           |
| 0.00                                  | 23.935                                        | "                           | "                             | (a) Las alturas del       |
| 2.00                                  | 36.500                                        | 60.423                      | "                             | agua están referidas á la |
| 6.00                                  | 73.453                                        | 219.906                     | 280.341                       | barbacana inferior del    |
| 10.00                                 | 115.351                                       | 377.608                     | 657.949                       | pozo de toma, situada     |
| 14.00                                 | 168.641                                       | 567.984                     | 1.225.933                     | 6m,60 sobre el talweg.    |
| 18.00                                 | 208.614                                       | 754.510                     | 1.980.443                     |                           |
| 22.00                                 | 272.253                                       | 961.734                     | 2.942.177                     |                           |
| 26.00                                 | 348.453                                       | 1.241.412                   | 4.183.589                     |                           |
| 27.40                                 | 377.565                                       | 508.221                     | 4.691.800                     |                           |
| 28.40                                 | 399.000                                       | 388.281                     | 5.080.081                     |                           |
| 29.40                                 | 439.000                                       | 409.000                     | 5.439.081                     |                           |
| 30.00                                 | 419.500                                       | 429.250                     | 5.918.331                     |                           |
| 31.40                                 | 463.000                                       | 451.250                     | 6.369.581                     |                           |
| 32.40                                 | 481.500                                       | 472.250                     | 6.841.831                     |                           |
| 33.40                                 | 489.000                                       | 485.250                     | 7.327.881                     |                           |

No se han aplicado las fórmulas de Mr. Graeff para obtener los volúmenes parciales, porque su mayor precisión sobre el método del área media es completamente ilusoria, pues supone una exactitud que nunca existe en la representación de las curvas de nivel del terreno. Las diferencias entre el cálculo por el área media y por el método de Graeff, son insignificantes y disminuyen rápidamente, á medida que aumentan los volúmenes. En el proyecto de los pantanos de Hajar, redactado por D. Hermenegildo Gorria (2), se han empleado ambos métodos de cálculo; resultando para los volúmenes correspondientes á las cotas de 35, de 40 y de 50 metros, diferencias de 11, de 9 y de 6 por 1.000 respectivamente.

A una altura de agua de 31 m., ó sea de 27,40 m. sobre la toma, corresponde un embalse algo superior á los 4 1/2 millones de m. cúbicos, que se conceptúan necesarios, y con 6 metros más de carga se obtendría un embalse de 7 1/3 millones de m. cúbicos, al que probablemente habrá de llegarse para asegurar el servicio. Si con este objeto se creyera preferible construir una segunda presa en lugar de aumentar la altura de la proyectada, el pantano formado por aquélla mediría los volúmenes que á continuación se expresan:

| (a)<br>Altura<br>del agua.<br>Metros. | Superficie<br>del embalse.<br>M. <sup>2</sup> | VOLUMEN                     |                               | OBSERVACIONES             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                                       |                                               | Parcial.<br>M. <sup>3</sup> | Al origen.<br>M. <sup>3</sup> |                           |
| 0.00                                  | 8.250                                         | "                           | "                             | (a) Las alturas del       |
| 4.00                                  | 20.150                                        | 56.800                      | "                             | agua están referidas á la |
| 8.00                                  | 39.670                                        | 119.640                     | 176.410                       | barbacana inferior del    |
| 12.00                                 | 60.210                                        | 199.760                     | 376.200                       | pozo de toma, situada     |
| 16.00                                 | 82.190                                        | 284.800                     | 661.000                       | 4 m. sobre el talweg.     |
| 20.00                                 | 103.270                                       | 370.920                     | 1.031.920                     |                           |
| 24.00                                 | 140.250                                       | 487.040                     | 1.518.960                     |                           |
| 28.00                                 | 164.030                                       | 608.660                     | 2.127.620                     |                           |
| 30.00                                 | 172.880                                       | 836.960                     | 2.464.580                     |                           |

En el emplazamiento señalado al segundo pantano ha de haber menor depósito de tarquines, por lo cual se ha situado la toma á 4 m. de altura sobre el talweg. El embalse correspondiente á la carga total de

(1) Véase el anejo núm. 1.

(2) Anales de Obras públicas.—T. VIII

34 m., ó sea la ruisma del primer pantano, mide  $2\frac{1}{2}$  millones de metros cúbicos.

*Perfil de la presa.*—Aunque la altura de 34 ó de 40 metros, que medirá la presa hasta la línea de agua, según la cabida del embalse, no sea extraordinaria, es ya de bastante importancia para que la obra merezca un detenido estudio en cuanto se refiera á su estabilidad.

La Memoria de Delocre sobre el perfil de las presas (1) marcó una orientación á todos los Ingenieros que con posterioridad se ocuparon teórica y prácticamente en esta clase de obras (2). El problema parecía definitivamente resuelto, y refiriéndose á las Memorias de Delocre y Graeff, decía Krantz (3): «Se puede, pues, considerar el estudio teórico de los muros de retenida como definitivamente establecido.»

Con arreglo al perfil llamado de igual resistencia, se construyó un crecido número de presas, especialmente en Francia y en Argelia, hasta que la rotura de las presas del Abra y del Sig, en Argelia, y la ruidosa catástrofe de la presa de Bouzey, ocurrida el año 1895, demostraron la insuficiencia práctica de dicho perfil.

Estudiada de nuevo la cuestión, se ha reconocido que ningún inconveniente ofrece duplicar y aun triplicar la carga máxima de 6 kilogramos por  $\text{cm}^2$  que se tomaba como base para el cálculo de las presas de igual resistencia (4), y que lo esencial es evitar que la supresión desagregue las fábricas, á cuyo efecto, la presión en el paramento de agua arriba, á embalse lleno, no debe ser inferior á la del agua en el mismo punto, lo cual se consigue sin gran aumento en el volumen de la fábrica, con el perfil triangular de paramento interior vertical (1).

La protección del macizo de las presas con un muro de máscara ó con pantallas metálicas ó de madera, ha sido preconizada como la garantía más eficaz de las mamposterías contra las filtraciones; pero no parece probable que llegue á ensayarse dicho procedimiento hasta que se encuentre un modo práctico, seguro y no muy costoso de emplearle; y por ahora, habrá que limitarse á fijar la impermeabilidad al enlucido del paramento interior con buen mortero de cemento de Portland. Los Ingenieros americanos, con su audacia habitual, han construido grandes presas de piedra suelta (*rock fill dams*), protegidas por una pantalla de madera forrada de fieltro alquitranado; sistema perfectamente lógico, y que se hubiera generalizado en Europa, á no haber ocurrido accidentes, como la presa de Walnutt Grove, que tuvo lugar en 1890.

La breve reseña que antecede del estado actual de la cuestión justifica el haber adoptado el perfil triangular, con el paramento interior vertical y sometido á una presión igual á la del agua en todos sus puntos; tipo que parece ha sido adoptado por la Inspección del servicio hidráulico, en los proyectos de presas que ha estudiado.

Estimando el peso del metro cúbico de la mampostería ( $K$ ) en 2,23 toneladas, resultan para los valores del ángulo en el vértice ( $L$ ), y de los que forman en la vertical las líneas de presiones á embalse vacío ( $L'$ ) y á embalse lleno ( $L''$ ):

$$\tan x = \frac{1}{\sqrt{k-1}} = 0,90$$

$$\tan x = \frac{1}{3}$$

$$\tan x = \frac{2k-1}{3k\sqrt{k-1}} = 0,46$$

La presión máxima, á embalse vacío, en el paramento vertical, y á embalse lleno, en el paramento inclinado, será 7,59 kilogramos por  $\text{cm}^2$  para la carga de 34 m., y 8,92 kilogramos para la carga de 40 metros.

(1) Memoire sur la forme du profil á adopter pour les grands barrages en maçonnerie des reservoirs. Annales des Ponts et Chaussées, 4.ª serie, XIII (1866.)

(2) En los artículos publicados, en el año 1899, en la Revista de Obras públicas, por el Ingeniero D. José Nicolau, bajo el título de *E: perfil de las presas de fábrica*, se hace una reseña bibliográfica muy completa.

(3) Etudes sur les murs de reservoirs, pág. 17.

(4) Krantz, Op. cit. pág. 21—Delocre, op. cit. pág. 219.

(5) Entre los numerosos trabajos publicados sobre el particular, merecen citarse los siguientes, conocidos de todos los Ingenieros.

*Le Rond.*—Note sur les barrages en maçonnerie.—Annales des Ponts et Chaussées, 1895 t. 2.º

*Pelletreau.*—Memoire sur les profils des barrages en maçonnerie.—An. des P. et. Ch., 1897, primer tomo.

*Leon Durand-Claye.*—Note sur les barrages en maçonnerie.—An. des p. et. ch. 1897, primer trim.

*Maurice Levi.*—Quelques considérations sur la construction des grands barrages.—Comptes rendus des Seances de l'Académie des Sciences.—1893.

Se ha dado á la coronación de la presa el ancho de 4 m. y la altura de 2, que sería insuficiente sino se hubiesen proyectado los pretilos con el grueso necesario para resistir el oleaje. Aligerada la coronación por medio de bóvedas, queda reducido su peso á  $22\frac{1}{2}$  toneladas por m. lineal, al que corresponde un esfuerzo máximo de tensión, á embalse vacío, en el paramento exterior, de sólo 0,16 kilogramos por  $\text{cm}^2$ .

*Accesorios de la presa.*—La toma de agua se hará por el sistema usual en España, llamado de barbacanas, que no hace falta describir por ser tan conocido. Del fondo del pozo parte un tubo de fundición, de 80 cm. de diámetro, que termina en un pequeño depósito de decantación, en el cual tiene su origen el canal. Sobre los muros del depósito, que miden 1,80 m. de espesor, podrá construirse la cubierta, si fuese necesaria, quedando una banqueta de ancho suficiente para el servicio de las limpias.

El desagüe de fondo consiste en un tubo de fundición de 1,20 metros de diámetro, cerrado en su origen por una compuerta.

Desde el mes de Abril, en que se empezaron los aforos, el mayor espesor de la lámina de agua sobre la presa del molino de Agüera, ha sido 0,39 m., el día 25 de Mayo, no excediendo de 0,15 m. en los demás días. Según noticias adquiridas en la localidad, alguna vez ha pasado sobre la presa una lámina de agua de 0,50 m. de espesor al que corresponde el gasto de

$$\left. \begin{array}{l} Q = 0,35 \times 1 \times H \sqrt{2gh} \\ L = 23 \\ H = 0,50 \times 1,50 = 0,75 \end{array} \right\} Q = 23 \text{ m}^3 \text{ por segundo.}$$

A embalse lleno, ó sea con la carga de 33 metros, daría este gasto un tubo de 1,28 metros de diámetro; pareciendo, en consecuencia, que no hace falta aliviadero de superficie, puesto que el de fondo bastaría, con un pequeño aumento de sección, para evacuar las mayores avenidas é impedir que se elevase el nivel del embalse; pero como los tarquines apelmazados obstruyen los desagües, y hace falta removerlos para darles salida, se ha creído indispensable añadir un aliviadero de superficie de 10 m. de ancho, en el cual no pasará de 0,73 m. la altura del agua en las circunstancias más desfavorables, es decir, cuando estando el embalse lleno, ocurra una avenida extraordinaria.

Ninguna particularidad ofrece la presa en su conjunto, ni en sus detalles, que merezca ser explicada, por lo cual sólo se expondrán algunas consideraciones sobre dos puntos muy importantes, que son la forma de la planta y el sistema de cimentación.

*Forma de la planta.*—Recomiendan todos los autores, como muy favorable á la estabilidad de las presas, el trazar su planta en arco de círculo, cuyo radio se obtiene aproximadamente por la fórmula

$$P = \frac{Pe}{d \cdot h}$$

en la que,  $p = 60.000$  kilogramos, es la presión á que puede someterse la mampostería,  $d = 1.000$  kilogramos el peso del metro cúbico de agua,  $h$  la altura de la hilada que se considere, y  $e = 0,90$  h. el espesor de la presa de perfil triangular; resultando para valor del radio 54 m.

Entre las presas circulares de mayor radio, figuran las siguientes:

|                       | Longitud. | Radio. |
|-----------------------|-----------|--------|
| Val del Infierno..... | 92        | 100,00 |
| Tibi (Alicante).....  | 84,00     | 107,12 |
| Villar.....           | 106,50    | 134,80 |
| Nijar.....            | 43,89     | 240,00 |
| Furens.....           | 101,50    | 252,50 |
| Ternay.....           | 161,00    | 400,00 |

Suponer que el arco escarzano de 160 m. de luz y rebajado al vigésimo, que forma la última presa citada, resista como una bóveda aparejada, y que las grietas verticales que se formen han de coincidir exactamente con los planos normales á los paramentos, es pagarse de ilusiones.

LUIS VASCONI.—JOSÉ BONES.

Ingenieros de Caminos.

(Continuad.)