

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS.

MADRID, 30 DE NOVIEMBRE DE 1888.

4.ª Serie.

Tomo 6.º

Número 22.

AÑO XXXVI DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Abastecimiento de aguas de Cádiz (conclusión), por D. Luis Vasconi.—Resultados de las conferencias celebradas en Munich y Dresde con objeto de establecer métodos uniformes para las pruebas de materiales.—Ferrocarriles de Salamanca á la frontera portuguesa (conclusión), por A. Guimaraes.

ABASTECIMIENTO DE AGUAS DE CADIZ

(Conclusión.)

Las pendientes de las galerías han variado de 5 á 10 por 10.000, habiéndose establecido en el tramo final un escalón de 0^m,53. El zampeado, en el extremo superior de aquéllas, se halla á la altura de las pleamares equinocciales, y por tanto, dos metros más elevado que el punto inicial en el pozo nuevo de concentración, por lo cual la pendiente general en todo el desarrollo de 2.213 metros que tiene el trazado, resulta de 9 por 10.000. La única del proyecto aprobado era de 2 por 10.000; pero ha convenido aumentarla, según queda explicado, á fin de que las aguas tengan velocidad suficiente para arrastrar las arenas que con ellas penetran en las galerías, hasta el fondo de los pozos de registro.

La galería filtrante se ha construido con las mismas forma y dimensiones del proyecto. Consta el claro de un rectángulo de un metro de latitud y 1^m,30 de altura, al cual va superpuesto un semicírculo de un metro de diámetro. Los estribos son de mampostería con 0^m,60 de espesor, y la bóveda de fábrica de ladrillo con 0^m,30 de grueso. El cimientó y solera consisten en una losa de hormigón de 2^m,20 de latitud y 0^m,50 de altura. Esta es la sección adoptada en el primer kilómetro de galería, donde se necesitaba que tuviera la capacidad suficiente para almacenar un determinado volumen de agua; pero en el resto del trazado se ha elegido una sección más reducida, y que consiste en un rectángulo de 0^m,70 de luz y 0^m,95 de altura, sobre el que insiste un semicírculo de 0^m,70 de diámetro.

No se han empleado otras argamasas que las confeccionadas con ce-

mento de Zumaya de muy buena calidad, por lo cual todas las fábricas reúnen cuantas condiciones de solidez, resistencia é impermeabilidad son necesarias.

Los muros ó estribos del Sur, así como las soleras, son completamente impermeables, para dificultar la entrada de las aguas salobres que pudieran acudir de aquel rumbo; y para extremar las precauciones, los paramentos de las partes indicadas se han enlucido con una gruesa capa de cemento bien bruñido.

Los estribos del lado Norte, de donde viene el agua dulce, van provistos de tres hiladas de mechinales, que no son otra cosa que tubos de barro cocido de la misma longitud que el grueso del muro.

Se han construido nueve pozos de registro en toda la mina del Este, próximamente á la distancia de 250 metros entre ellos, con el doble objeto de ventilar las galerías y de poder llevar á cabo la limpia de las mismas.

El fondo de estos pozos se halla un metro inferior al de la solera de la galería, constituyéndose así una capacidad suficiente para almacenar las arenas acarreadas por las aguas durante cierto tiempo, y cuya evacuación, en las épocas necesarias, tendrá lugar por medio de dragas manejadas desde el brocal y con todas las precauciones necesarias para enturbiar el líquido lo menos posible.

Toda la galería se ha construido á cielo abierto, practicándose zanjas, — generalmente en arcillas y gravas, aunque también se ha encontrado alguna roca, — cuya profundidad ha variado de 12 á 4 metros, siendo la cota media general de 7,50 metros. Lo deleznable del terreno ha exigido fuertes entivaciones de madera. Los indispensables agotamientos se han hecho con el auxilio de dos locomóviles y de numerosas bombas de mano.

Al lado de la zanja y en toda su longitud, se ha establecido una vía Decauville para el fácil y económico aprovisionamiento de todos los materiales.

Por carecer de interés especial, dejamos de detallar aquí las reparaciones que se han hecho en los depósitos de agua de la sierra de San Cristóbal, cuya capacidad es de 14.000 metros cúbicos, y los perfeccionamientos introducidos en el sifón á Cádiz, de 38 kilómetros de longitud.

Según se deduce de la anterior descripción, han dejado de construirse los 1.127 metros lineales de galería, al Oeste de la casa de máquinas, que estaban comprendidos en el proyecto aprobado. Esta determinación se ha tomado de acuerdo con la inspección facultativa y después de numerosas y detenidas exploraciones practicadas en los terrenos de este lado, por virtud de las cuales se ha llegado á la evidencia de que existen en los mismos aguas de mala calidad á una altura mucho mayor que aquella á que se encuentran en la parte del Este, y las cuales hubieran infaliblemente invadi-

do los minados que en dicho sitio se construyeran. En el temor de que estas aguas impuras pudieran ejercer alguna influencia dañosa en la galería del Este, los 200 primeros metros lineales de ésta, á partir del pozo de concentración, se han construido completamente impermeables.

III.

NUEVAS MÁQUINAS ELEVATORIAS.

Admitióse en el proyecto que sirvió de base á la concesión, que se utilizaría para la elevación del agua la máquina de vapor de 160 caballos instalada por la Sociedad inglesa; mas razones que no son de este lugar, han decidido á la Empresa actual á abandonarla, estableciendo dos nuevas, que están ya funcionando.

Lo primero que hubo que calcular fué la potencia de esta máquina, en la cual entra como primer elemento la cantidad de agua que podría recogerse en las galerías filtrantes, que es la que tendría que elevarse á los depósitos, cifra que se dedujo del siguiente modo, con la probabilidad de acierto que es de esperar de tan oscuras investigaciones.

Se van á construir 2.213 metros lineales de mina, de los cuales solo unos 2.000 deben ser filtrantes, pues los 200 primeros tienen que ser impermeables por las causas antes apuntadas. Como entre la galería y la divisoria de la sierra de San Cristóbal, que corren sensiblemente paralelas, hay una distancia de 2.000 metros, dedúcese que la superficie de la masa filtrante es de $2.000 \times 2.000 = 4.000.000$ de metros cuadrados.

La media de la altura de lluvia en el país en los últimos 40 años es de $0^m,72$, según los datos del inmediato Observatorio de San Fernando; y admitiendo que solo la mitad de ésta penetre en el suelo, coeficiente adoptado en Inglaterra para terrenos eminentemente permeables, como el de que se trata, y comprobado en diversos manantiales importantes de Francia, tendremos que anualmente se filtrarán á través de la roca arenisco-caliza:

$$4.000.000 \times \frac{0,72}{2} = 1.440.000 \text{ metros cúbicos de agua,}$$

ó sea término medio al día

$$\frac{1.440.000}{365} = 3.945 \text{ metros cúbicos.}$$

Esta cifra hay que multiplicarla por 0,90, relación deducida en los manantiales de la localidad entre el agua mínima de estiaje y el agua media, con lo que resulta para volumen total que por cada 24 horas puede suministrar la zona explotada, en la época de mayor sequía, $3.945 \times 0,90 = 3.550$ metros cúbicos, en números redondos.

Ahora bien; como los manantiales del Puerto de Santa María, que brotan en dicha zona de terreno, tienen 592 metros cúbicos, según aforo practicado en 1876 por el ilustrado Ingeniero de Caminos D. Manuel Pardo, y los de las huertas propias del Ayuntamiento de Cádiz, 1.356m³, quedan 1.602m³ para las aguas subterráneas, que probablemente alumbrarán las galerías. Aquella ciudad dispone, pues, de 592m³, quedando para la dotación de Cádiz 2.958m³, en cada 24 horas.

El Puerto de Santa María recibe sus aguas por medio de un acueducto de unos cinco kilómetros de longitud, construido en el último siglo durante el reinado de Felipe V, cuyo estado de deterioro es tal en la actualidad, que por esta causa, y por la escasísima pendiente de su solera, se pierde en el camino una buena parte de aquéllas. Añádase á esto que dicha agua llega á la población á una altura inferior al nivel de su suelo, y se comprenderá que para poder utilizarla en totalidad y de una manera cómoda, no existe otro recurso que elevarla por medio de máquinas y llevarla y distribuirla con cañería forzada, según el bien meditado proyecto formulado por el referido Ingeniero Sr. Pardo, que abraza obras independientes de las de Cádiz, ó bien, lo que resulta más económico, fundirla con la destinada á esta capital en las nuevas galerías, tomándola después de la canalización de la compañía concesionaria; y como esta solución parezca dibujarse en lo porvenir, se ha creído conveniente partir de ella, disponiendo las cosas de modo que cada máquina pueda elevar unos 3.500 metros cúbicos en 24 horas, ó sean próximamente 40 litros por segundo, á los depósitos de San Cristóbal, cuya altitud es de 72 metros.

La empresa ha levantado un hermoso y amplio edificio para las dos máquinas, de 11 metros de longitud, 10 de latitud y 9 de altura, é inmediato al mismo un cuarto de calderas, que contiene tres de estos generadores de vapor, de los mismos 11 metros de longitud, ocho de latitud y seis de altura.

El nuevo pozo de concentración de las aguas donde termina la galería filtrante está situado fuera de los edificios, y es de sillería, con sección horizontal cuadrada de dos metros de lado. Se halla unido con los pozos de bombas y de la máquina por medio de una galería subterránea de cuatro metros de longitud, y también con el antiguo pozo central por medio de una mina de 12 metros de desarrollo, cuyo objeto luego se explicará.

Las máquinas, cuya descripción detallada no cabe en estos artículos, son verticales, de balancín, de dos cilindros de alta y baja presión, y de condensación al octavo. Las varillas de los dos cilindros de vapor, prolongadas, son las mismas de las dos bombas elevatorias del agua potable. El número normal de revoluciones del volante por minuto es de 25.

Los tubos de aspiración de las bombas descienden verticalmente hasta

la altura de la galería de conexión con el pozo de concentración, la cual sigue hasta penetrar sus extremos en la cubeta de dicho pozo. Los de impulsión se hallan provistos de la indispensable cámara de aire antes de empalmar con la antigua tubería ascensional.

Las calderas son del sistema Cornisch, provistas de los tubos Galloway, con unos 46 metros cuadrados de superficie de calentamiento. Cada una de ellas es suficiente para el funcionamiento de la máquina.

El trabajo del vapor en los dos cilindros, según los diversos diagramas tomados, es, término medio, de unos 60 caballos, y como el efecto útil producido, elevación del agua dulce, elevación del agua salobre para condensación y riegos, é inyección del agua en la caldera, asciende en números redondos á 47 caballos, la utilización obtenida es sensiblemente el 80 por 100 del trabajo indicado, lo cual es un resultado notable que honra á la acreditada fábrica de los Sres. Portilla, White y Compañía, de Sevilla, donde se han construido las máquinas de que se trata. El gasto de buen carbón Cárdiff viene siendo de 1,150 kilogramos por hora y caballo indicado.

De propósito hemos dejado para lo último la mención de un órgano suplementario de la máquina que merece destacarse del resto, y cuyo objeto no es otro que el que en el anterior artículo se indicó; esto es, conseguir por su medio que el manto de agua dulce, en los diversos niveles que alcance por virtud de los agotamientos, domine constantemente al salobre.

Para ello se hicieron numerosísimos experimentos al objeto de investigar la potencia de dicho manto salobre á diferentes alturas del mismo, viniéndose á averiguar que, extrayendo de él 14 litros por 1", su nivel no se elevaría sobre el de las soleras de las galerías en ninguna ocasión, excepto en las inundaciones de la vega y en las grandes lluvias, caso excepcional en quo no son de temer las filtraciones, si pudieran ocurrir, porque las aguas son todas aceptables.

Todo está, pues, reducido á elevar por medio de un artefacto cualquiera los 14 litros por segundo citados de agua salobre, y nada más racional que este accesorio sea accionado por la misma máquina principal, como así se ha hecho, estableciendo una tercera bomba cuya varilla es prolongación de la de la bomba de agua dulce situada inferiormente y en la vertical del cilindro de vapor de alta presión. El tubo de aspiración de esta tercera bomba recorre horizontalmente las galerías de conexión entre los tres pozos, viniendo su extremo á sumergirse en el agua salobre que contiene el de concentración antiguo, donde se opera el agotamiento de la misma y se realiza la depresión del manto correspondiente. Sobre escalas situadas á la vista de los maquinistas se marcan, con el auxilio de flotadores, las alturas que en todos los momentos alcanzan los niveles de las aguas de las dos procedencias.

Como quiera que las antiguas galerías del Este unidas al pozo central antiguo se interponen entre las nuevas galerías y la vega, el propósito de deprimir el manto salobre se realiza con toda seguridad, de la manera indicada, en los primeros 500 metros desde la casa de máquinas en dirección á dicho rumbo á que los minados alcanzan; debiendo existir la convicción de que en este trayecto las aguas dulces no pueden menos de conservar su pureza.

Siendo esta la parte más expuesta á filtraciones de aguas impotables, porque en ella la solera de las galerías nuevas alcanza su máxima profundidad, no se ha tomado precaución alguna hasta ahora en el resto de la galería filtrante construída, tanto porque la profundidad de su zampeado va disminuyendo más y más, cuanto porque, según las exploraciones lo han demostrado, á medida que se camina hacia el Este, las aguas salobres se van aminorando hasta desaparecer por completo. Sin embargo, si, contra todas las probabilidades, vinieran á señalarse indicios de ellas, nada más fácil que eliminarlas, poniéndolas bajo la influencia de las máquinas elevatorias, por medio de una zanja de saneamiento de reducido coste, abierta en prolongación de los antiguos minados y paralela á los nuevos, del lado de la llanura.

Afortunadamente no habrá que llevar á cabo estas obras de extrema precaución, pues en el verano último las aguas de la galería han conservado toda su pureza, á pesar de haberse, de propósito, mantenido en varias ocasiones el manto salobre á más elevado nivel que el dulce.

Réstanos dar á conocer un detalle que conviene conocer. En la antigua explotación del servicio, la condensación del vapor se hacía por medio de parte de las mismas aguas ya elevadas, y como en los meses de estiaje eran escasas las que proporcionaban las galerías filtrantes, no podía desperdiciarse el volumen de las mismas empleado en la citada condensación, cuya temperatura media era de unos 40 grados centígrados. De aquí que fueran á Cádiz aguas con temperatura de 4 á 5 grados superior á la que debía tener de no emplearse el citado procedimiento.

No era lícito conservar el mismo vicioso método en la nueva explotación, so pena de hacer desaparecer la fresca temperatura de 20 grados que tiene el agua alumbrada en los manantiales y galerías, y que tan necesaria es para contrarestar, al menos en parte, los efectos del paso de las tuberías de conducción entre las candentes arenas que existen en una buena parte del sifón de Sidonia á Cádiz; mas como, para otros objetos, tenían que elevarse 14 litros por segundo de agua salobre, nada más natural que utilizar la misma en la condensación del vapor, como así se ha hecho, lográndose ventajas de interés.

Tanto los 5 litros por segundo que requiere la condensación, como

los 9 sobrantes, se utilizan después en el riego de 28 hectáreas de terreno, con cuya mira se ha construido inmediato á la casa de máquinas un gran estanque de 600 metros cúbicos de capacidad, y otros más pequeños, que permiten no desperdiciar ni una gota del líquido elevado.

Resulta de todo esto un hecho digno de tomarse en consideración, á saber: que el agua salobre, el enemigo más temible, se convierte así en provechoso amigo, toda vez que á poca costa proporciona la condensación, ó sea el aumento de la fuerza motriz, la fertilización de buena extensión de terreno con los riegos, y el medio de conservar al agua potable su fresca y agradable temperatura.

IV.

RESULTADOS DE LAS OBRAS.

Según las cláusulas de la concesión, la Empresa no tenía obligación de terminar sus obras hasta 1.º de Enero de 1891; y sin embargo, en Agosto de 1881 comenzaron á ir á Cádiz, sin previo aviso y sin solemnidades de ninguna clase, las aguas dulces tan deseadas que aquélla se comprometió á alumbrar, y que desde entonces no han dejado de correr constantemente para el surtido de dicha capital y de los importantes pueblos situados en el contorno de su bahía.

Según noticias que tenemos por exactas, la ejecución de dichas obras ha producido un gasto que se acerca á un millón de pesetas, comprendiendo en esta cifra los hechos en las exploraciones previamente practicadas, que fueron cuantiosos; en la construcción de las galerías de alumbramiento y expropiaciones de toda clase; en el establecimiento de las nuevas máquinas y sus accesorios, no previstos en el contrato; en la reparación de los depósitos de San Cristóbal, etc., etc., si bien los desembolsos de la Sociedad concesionaria han rebasado en mucho la mencionada suma, tomando en consideración la canalización de San Fernando, ampliación de las de Cádiz, Puerto Real y Puerto de Santa María, establecimiento de tuberías en los nuevos puentes del ferrocarril, mejoras introducidas en el sifón de Sidonia á Cádiz, etc., etc., todo ello no incluido en el presupuesto del proyecto aprobado.

Calidad de las aguas alumbradas.—En los quince meses que han transcurrido desde que se terminaron las obras y comenzó á abastecerse Cádiz con las aguas alumbradas, en cuyo período va comprendido el último estiaje, éstas han conservado la misma excelente calidad de que gozan las de los antiguos manantiales de la Piedad, y que puede definirse diciendo que tienen 21 grados hidrotimétricos.

Cantidad de las aguas alumbradas.—Con arreglo á las bases de la

concesión deben llevarse á cabo aforos de las aguas de la Piedad disponibles para el surtido de Cádiz el día 15 de Septiembre de cada uno de los tres años 1888, 1889 y 1890. El practicado en 15 de Septiembre último por el Ingeniero Inspector ha demostrado que existen 3.143 metros cúbicos cada 24 horas.

Desde 1.º de Julio de 1887 á igual día de 1888, la altura de lluvia caída en el país ha sido de 786 milímetros, superior en 61 á la media de los 34 años comprendidos entre los de 1850 y 1883, que sólo es de 725 milímetros; y como los volúmenes de las aguas subterráneas y de manantial son sensiblemente proporcionales á las de lluvia, de que proceden, dedúcese que en años normales se dispondrá de un caudal de

$$\frac{725}{786} \times 3.143 = 2.897 \text{ metros cúbicos cada veinticuatro horas.}$$

De lo cual resulta: 1.º Que en la Piedad existen más de los 2.500 metros cúbicos de agua potable que se exigen como mínimum en las cláusulas de la concesión, y que, por tanto, no parece necesario acudir á las aguas de Jerez ni realizar las obras proyectadas á este fin; y 2.º Que habiéndose calculado para el estudio de las máquinas elevatorias que dicho volumen sería de 2.958 metros cúbicos, bajo la hipótesis de una imbibición de los terrenos de la zona explotada de 0,50 de agua llovida, viene á comprobarse la exactitud casi matemática de este coeficiente.

Influencias en los manantiales del Puerto de Santa María.—De los aforos que vienen periódicamente practicándose, resulta que estos antiguos manantiales no han mermado con relación al volumen medido en 1876, y de que se ha hecho mención en estos artículos, por consecuencia de las galerías de alumbramiento que agua abajo de aquéllos se han construido para el abastecimiento de Cádiz.

Parece, pues, que el problema emprendido ha sido satisfactoriamente resuelto, habiéndose podido vencer las tres grandes dificultades que se ofrecían, y que eran: 1.º, impedir la confusión de las aguas dulces con las salobres; 2.º, encontrar aguas potables en cantidad suficiente; y 3.º, respetar los derechos del Puerto de Santa María, cuyos manantiales no han sufrido ningún menoscabo.

Málaga 4 de Noviembre de 1888.

L. VASCONI.