

CAPTACIONES DE AGUA EN MONTAÑA

Por JOSE PAZ MAROTO,

Ingeniero de Caminos.

Expone el autor su autorizada opinión sobre el interesante tema del epígrafe adaptado al caso especial de nuestro país; y después de su documentado trabajo se muestra partidario de que se estudien con preferencia abastecimientos colectivos de grupos de pueblos mediante embalses reguladores en las cabezas de las cuencas.

Influencia de las características hidrotográficas del país.

En un país de tan atormentada topografía como es España, y en que son numerosos los pueblos y ciudades que tienen su emplazamiento en zonas montañosas o en sus estribaciones, es muy interesante llegar a perfeccionar las captaciones en forma a obtener los máximos resultados en cuanto a capacidad de captación y en cuanto a condiciones técnicas sanitarias de las aguas captadas.

Por si esto fuera poco, la irregularidad típica de nuestro régimen pluviométrico, que se refleja en la escasez y falta de constancia de nuestras venas subterráneas montañosas, unida a la calidad geológica de muchos de nuestros macizos montañosos, compuestos de terrenos primarios, que no permiten la existencia de mantos o filones acuíferos de gran potencia, imprime un carácter peculiar a nuestras captaciones de montaña.

Este ha de ser forzosamente diferente del que la técnica aconseja para países como Francia, Suiza e Italia del Norte, en que una mayor uniformidad y una composición geológica apropiada dan lugar a la aparición de potentes y constantes manantiales; de ricos mantos subálveos de caudales regularmente recogidos e infiltrados; de lagos y lagunas perfectamente aprovechables para los abastecimientos de agua en cantidades y calidad importantes y adecuada; y, finalmente, de arroyos o regatos de caudales sobrados para establecer captaciones superficiales con el mínimo de obras de toma y sin necesidad de instalaciones de corrección: física o bacteriológica, o con una mínima previsión de este tipo de obras sanitarias.

Esta enorme irregularidad de lluvias y esta difícil infiltración en muchos de nuestros terrenos, determina en muchas regiones la imposibilidad de pensar en hacer captaciones en la zona inferior de las montañas, más o menos cerca de la localidad a abastecer, puesto que las obras así realizadas nos proporcionarían caudales suficientes durante una gran parte del año, pero que se reducirían por bajo de los límites permisibles en un abastecimiento que responda a los principios modernos de la higiene urbana en épocas muy prolongadas de cada ciclo anual.

Para hacer frente a esta contingencia no hay más remedio que pensar en conducciones larguísimas que aporten a los núcleos urbanos el agua desde donde podemos encontrarla con garantía de caudal: desde las montañas. Y como ello se traduce en un coste sumamente gravoso, especialmente para pequeñas y medias ciudades, puesto que el coste por metro lineal de una conducción: rodada, forzada o mixta, no guarda relación lineal con los caudales conducidos (ni mucho menos), cada día se piensa más en recurrir a los abastecimientos colectivos de la mayor parte de los núcleos de una cuenca de un río.

De ello tenemos ya ejemplos interesantísimos y que pueden parangonarse con los mejor concebidos de cualquier nación. Citaremos y analizaremos, entre otros, los siguientes: Madrid; Canales del Taibilla, Cádiz y su ribera; Moncayo, y el que recientemente he redactado, en anteproyecto, y está aprobado por el Ministerio de Obras Públicas de la zona residencial madrileña: la Sierra del Guadarrama.

El problema es muy diferente cuando se trata de abastecer pequeños poblados, hasta 3 000 habitantes por ejemplo, o a poblaciones de mayor importancia. Y su solución viene forzosamente impuesta en nuestro país para las grandes poblaciones o agrupaciones de varias con cifra de habitantes superior a las 50 000 almas.

En estos casos, y salvo excepciones, muy raras, en que las circunstancias pluviométricas, topográficas y geológicas antes aludidas fallan, se impone la solución de embalse regulador.

Normas principales de captaciones españolas.

Las normas principales que en España se siguen sobre obras de captación de agua en montaña pueden condensarse en los siguientes grupos:

- a) Fuentes o manantiales.
- b) Aguas freáticas.
- c) Aguas subálveas.
- d) Aguas de lagos.
- e) Aguas de arroyos o ríos.

a) FUENTES.

Las captaciones de fuentes o manantiales se realizan a base de pequeñas obras de fábrica dotadas de un pequeño depósito al que afluye el agua y donde pueden depositarse las arenillas que pueda aquélla acarrear, y de una pequeña cámara contigua en la que se disponen las válvulas y llaves para el servicio. Un aliviadero y un desagüe del depósito, y una toma protegida por un colador para evitar obstrucciones, y emplazada lo más cerca posible del fondo para evitar, al máximo, la entrada de aire en las tuberías (que

importante, es práctica usual encauzar los filetes líquidos mediante muretes de contención; o, en muchos casos, mediante zanjás de captación que pueden llegar a tener importancia similar a las preconizadas para las captaciones subálveas.

No faltan entre nosotros los casos de manantiales profundos en laderas, y relativamente alejados en sus afloramientos visibles, que exigen galerías de captación de bastante longitud. Esto ocurre, especialmente, en macizos calizos como los que rodean a Guadalajara, cuya captación dispone de varios centenares de metros de galerías en la meseta superior, reunidas en

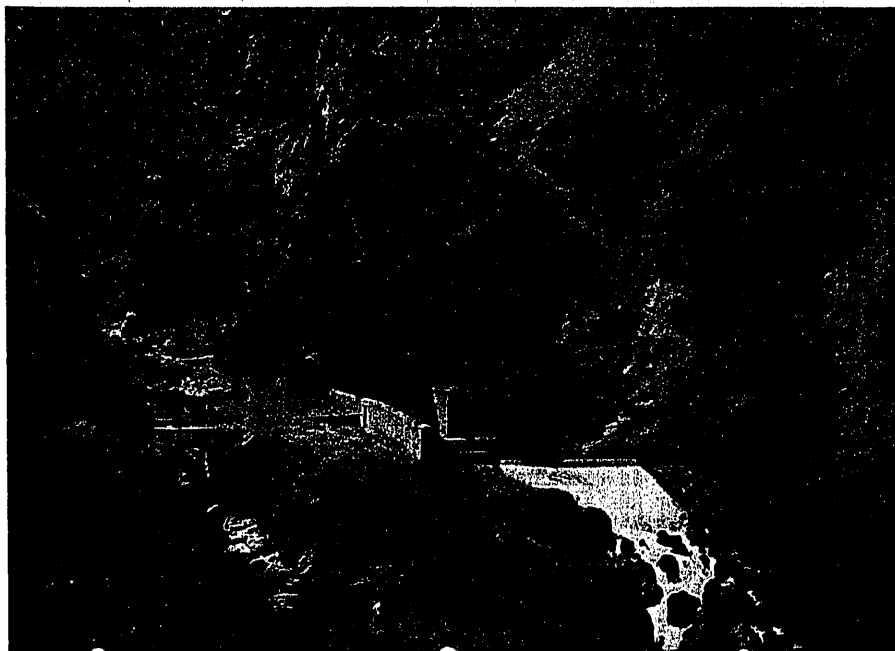


Fig. 1.ª — Presa de agua de Arteta, para el abastecimiento de Pamplona.

tantos sustos y disgustos suele dar en caso contrario) completan la instalación.

Una impermeabilización de las paredes y cubierta de la toma con recubrimiento de arcilla de 25 ó 30 centímetros; y, si se precisa, un avenamiento o drenaje alrededor de los muros de recinto, suele tener lugar en casi todas nuestras captaciones.

Con el fin de evitar sorpresas y derivaciones del agua por otros puntos de menor resistencia hidráulica, se suele situar la entrada del agua, por debajo de la superficie de la capa impermeable, o sea del contacto de ésta con la permeable superior.

Y si el manantial aflora por el suelo, por proceder de venas líquidas en terrenos de calizas permeables, suele profundizarse ligeramente para provocar la fácil llamada del agua.

Tenemos ejemplos de manantiales en laderas rocosas y empinadas, en los que la toma ha de situarse en la misma roca. Y si el afloramiento tiene anchura

una arqueta colectora de arranque de la conducción general.

Estas galerías suelen hormigonarse en su base y hasta una altura de muretes suficiente para dar paso al máximo caudal que se prevé obtener, y el resto se deja sin revestir. La sección de estas galerías ha de ser la mínima suficiente para la circulación del personal que ha de vigilar su conservación.

Un ejemplo interesante de captación superficial de un potente manantial es el de la toma de Arteta, emplazado en plena serranía del valle de Ollo (Navarra), a 24 Km. de Pamplona y que abastece a dicha importante ciudad, cuya población actual es de 73 000 habitantes.

Las obras de toma consisten en una pequeña pre-presa-vertedero, que puede apreciarse en la figura 1.ª que sirve de punto de arranque a un canal cubierto con capacidad de conducción de 700 l./seg. y de 7 800 metros de longitud con pendiente de 0,001, al final

del cual el exceso sobre el caudal de abastecimiento pasa a una central eléctrica.

El caudal inicial entregado por la Sociedad concesionaria era de 70 l./seg.; pero en 1940, al municipalizarse el servicio con rescate de la concesión, y como consecuencia del incremento de población, el caudal a conducir se elevó a 165 l./seg.

Actualmente, ante el rápido crecimiento urbano (y el de la dotación), se gestiona la ampliación del caudal a 225 l./seg.

Como el agua, normalmente, clara y cristalina suele enturbiarse con las primeras lluvias otoñales y fuertes tormentas, con arcilla coloidal, dada la naturaleza caliza fisurada de la cuenca receptora, la captación se completa con una cloración a la salida del módulo partidor en la central eléctrica; y una filtración con coagulación previa con sulfato de alúmina y adición de hipoclorito sódico antes de entrar en el depósito de agua filtrada.

Como dato curioso, citaremos que esta población se abastecía antiguamente con otro manantial (llamado de Subiza), a 12 Km., desde 1790. La obra, proyectada por el célebre Arquitecto Ventura Rodríguez, tenía curiosísimas obras de fábrica en su conducción rodada, y abastecía unas cuantas fuentes monumentales. Su caudal era de 8 a 10 l./seg., y, naturalmente, fué abandonada al inaugurarse la nueva captación, quedando así como reliquia histórica.

En los terrenos que por su constitución margosa o arcillosa, o de cualquier otra roca alterable por los agentes atmosféricos, sean de temer degradaciones, desprendimientos o hundimientos, suelen revestirse, dejando el espacio comprendido entre este revestimiento y el terreno relleno de grava y gravilla.

b) AGUAS FREÁTICAS.

En el caso de aguas freáticas, los tipos de captaciones más comúnmente empleadas en nuestro país son los de pozos aislados, pozos con galerías y galerías aisladas reunidas en una colectora.

Ya hemos indicado que no suele ser frecuente este tipo de captación en nuestras zonas montañosas; pero en caso de pequeñas poblaciones, y en zonas graníticas descompuestas, se utilizan, a veces, filones líquidos que se captan generalmente con pozos aislados.

Éstos suelen ser de tipo ordinario, con paredes impermeables y fondo permeable; y, generalmente, dada la naturaleza geológica de los terrenos no suelen ser precisos dispositivos que impidan la penetración y arrastre de arenas.

Las paredes suelen hacerse de ladrillos recóchos o santos recibidos con mortero, si bien en algunas zonas se recurre a la mampostería.

La permeabilidad de las paredes, en los casos en que se atraviesa la capa freática hasta la impermeable inferior, es corriente conseguirla con mechinales o juntas abiertas.

Cuando el caudal a captar es algo importante, se construyen galerías que, en el caso de aguas freáticas, acostumbran a ser practicables con dimensiones mínimas de 0,60 m. de anchura por 0,80 m. de altura y dotadas de pozo de visita cada 100 m. aproximadamente.

Puesto que en las montañas suelen ser sinuosos los mantos acuíferos, las galerías es norma general emplazarlas en sentido normal a la corriente; y con preferencia, en los estrechamientos de los terrenos impermeables.

En ocasiones, las aguas freáticas, merced a la configuración topográfica y geológica llegan casi a aflorar, y en este caso la construcción de galerías de captación por bajo del nivel freático es la solución más práctica. Tal es el caso curioso de la toma de Cuenca, que en el encuentro de un valle secundario constituido por calizas fisuradas y cavernosas con otro principal más profundo, en el que afloran calizas más compactas e impermeables, da lugar a un potente manto acuífero captado por una galería que, por gravedad, permite obtener más de 60 l./seg. en aguas medias, si bien los estiajes reducen esta cifra a 35 l./seg.

Dada la no gran profundidad a que suelen encontrarse las capas freáticas en las montañas, no es frecuente recurrir a pozos tubulares, más propios, como es sabido, para mantos acuíferos de gran potencia y a profundidad importante.

En cambio, hay casos en que por encontrarse la capa freática bajo otra más impermeable, la que, a su vez, sirve de sostén a un manto arenoso de escasa potencia hidráulica, se recurre a pozos mixtos. Es decir, a un pozo ordinario atravesando todo el terreno superior y dotado de paredes filtrantes para recoger el escaso caudal superior (que es realmente ya subálveo) y un pozo tubular hincado en su fondo que, atravesando la capa impermeable, capte el manto inferior.

Los dispositivos de coladores y protecciones de brocales son los normales; y si la extracción ha de hacerse por bomba y no por gravedad en galería, es norma corriente en España la construcción de arquetas amplias de alojamiento de los grupos motobombas: bien cerradas con cúpulas dotadas de los registros de acceso y ventilación, bien remontadas por casetas con puertas de acceso y las adecuadas protecciones externas contra la tendencia de los campesinos a curiosear y a producir averías en lo que excita su curiosidad.

c) AGUAS SUBÁLVEAS.

En el caso de aguas subálveas, las características de las obras de toma son similares a las de las freáticas, si bien la escasa profundidad de los mantos subálveos y las fuertes pendientes normales en zonas de montaña aconsejan algunas variantes.

Así, los pozos tienden a constituirse de hormigón para ser hincados, generalmente por el sistema indio,

con corona inferior metálica o de hormigón armado, y estar dotados de piezas perforadas en las paredes para impedir el paso de las arenillas finas que tanto suelen abundar en los pequeños mantos que se forman en los vallecitos de montañas.

En este caso ya se recurre al hormigón armado cuando el pozo ha de ser de gran diámetro, como tuvo ocasión de proyectar para la ampliación del abastecimiento de Guadalajara con aguas subálveas del río Henares (aun no construida). El pozo dé las figuras 2.^a y 3.^a da idea del tipo propuesto.

También en estos casos hay que prever la producción de riadas por lluvias o deshielos y disponer la entrada a los pozos con la debida protección contra las mismas. Especialmente cuando en los pozos existen las instalaciones elevadoras y depuradoras.

No conozco ningún caso de tomas de montaña españolas en las que se haya tenido que recurrir al pozo de doble pared relleno con filtro de gravilla, que en poblaciones de llanura precisa, a veces, ser empleado.

Así, las galerías de captación pueden, en caso de pequeños mantos subálveos, reducirse a tuberías perforadas, no practicables (de hasta 200 cm.), envuel-

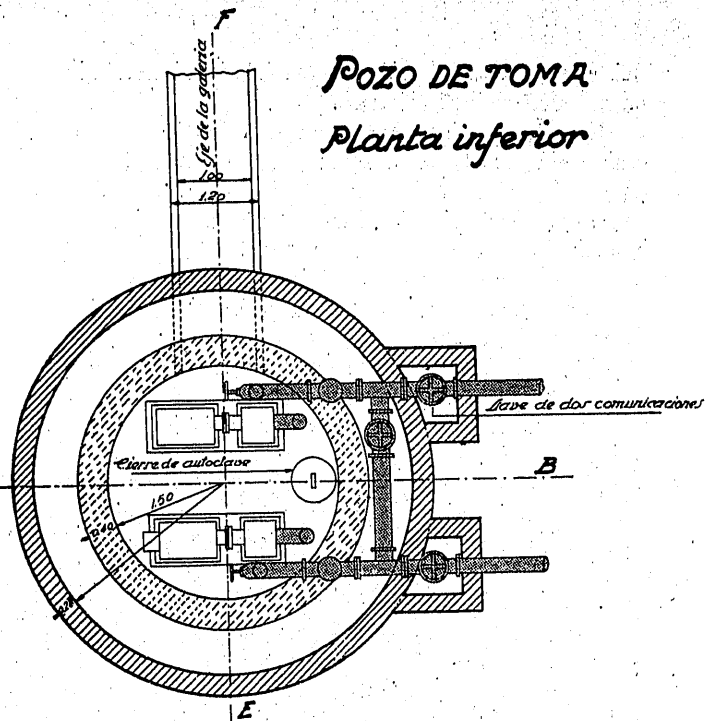


Figura 2.^a

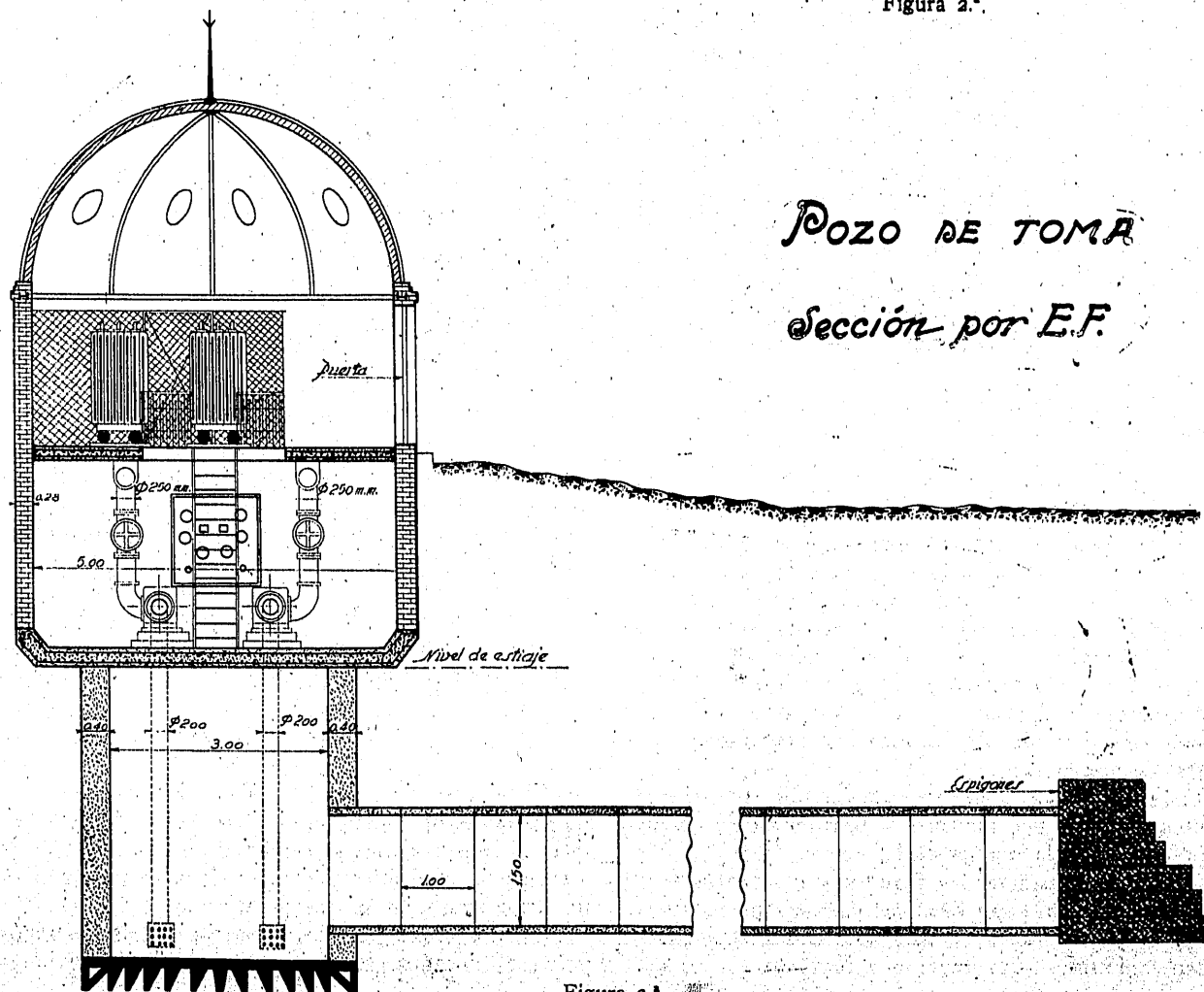


Figura 3.^a

tas en grava y gravilla, dotadas de registros cada 50 metros en forma y con dispositivos análogos a las de los alcantarillados.

También es frecuente recurrir a construir una galería visitable (generalmente ovalada invertida y de hormigón), que con su cara aguas arriba permeable y la de aguas abajo impermeable y descansando en la capa impermeable, actúe de verdadera presa subterránea, colocada transversalmente al vallecito, y permite la infiltración integral de la capa acuífera.

En estos casos se protege la galería con capas de grava y gravilla en tamaño decreciente de dentro a fuera para evitar la entrada de las arenillas en suspensión.

Para el abastecimiento de aguas de León construí, en el año 1923, una captación subálvea mediante galería longitudinal al cauce del río Torío, y, aprovechando la fuerte pendiente del cauce de montaña, haciendo impermeable el trozo inferior para que el agua aflorara espectacularmente por una seta de hormigón en un depósito (fuera del alcance de las avenidas), y del que arrancaba la conducción general (rodada con varios sifones) a la ciudad.

Los 100 l./seg. captados entonces han sido suficientes hasta el momento actual, pero el extremado crecimiento urbano, que ha pasado de 20 000 habitantes a 53 000 en la actualidad, determina ya el que se vaya pensando en ampliación de la toma, quizá en sentido de embalse regulador, pese a la existencia de los ríos con abundante caudal subálveo.

En las zonas de montaña no es probable que deba recurrirse a la producción artificial de aguas subterráneas o subálveas, a menos que se desee prescindir de instalaciones clarificadoras, produciendo una filtración natural suficiente.

En estos casos, de los que no tengo conocimiento que existan en España, debe recomendarse el producir la infiltración por medio de zanjas, pozos o tubos de avenamiento, previo el paso de las aguas superficiales por estanques de decantación en forma parecida a lo realizado en la ciudad de Los Angeles (Estados Unidos) para el aprovechamiento de las aguas de Río Hondo y sus afluentes, en que, como es sabido, el agua es retenida en embalses que, además de evitar los daños que producían las avenidas, permiten conducir las aguas a los cauces y terrenos de infiltración para su almacenamiento en las cuencas subterráneas, cuya función es muy importante, pues en los años de lluvia abundante la capacidad de los embalses es insuficiente.

Las zanjas deberán tener una capa de arena en el fondo de 50 cm. como protección contra el entarquinamiento, y una altura de agua sobre ellas de 1,50 a 2 m. para evitar el hielo tan posible con las bajas temperaturas en las montañas. Su dimensionamiento ha de guardar relación con la impermeabilidad de los terrenos, y no hay más remedio que fijarlas mediante ensayos sobre los mismos.

Como garantía de continuidad de servicio para caso de limpieza de las soleras deben hacerse dobles.

Los pozos y tuberías de avenamiento deben organizarse en forma análoga a las captaciones.

d) LAGOS Y LAGUNAS.

En España no son frecuentes los lagos o lagunas, por lo que poca experiencia podemos aportar en este extremo.

Es posible, sin embargo, que pronto puedan utilizarse algunas (como las de Ruidera, en La Mancha) para abastecimientos colectivos.

Para el abastecimiento, también colectivo, de Cádiz y todas las poblaciones de su ribera, se pensó en utilizar una regular laguna: la de Medina, para que, recrecido su desagüe convenientemente, se convirtiera en embalse regulador de la conducción mediante la aportación a la misma de las aguas del río Guadalcaín desde el embalse construido en el mismo.

Los estudios posteriores aconsejaron construir un nuevo embalse que asegurara el abastecimiento con independencia, y se prescindió de dicha laguna.

Las tomas en lagos deben hacerse en forma que pueda realizarse a diferentes profundidades, y siempre por debajo de la capa crítica; es decir, de aquella por debajo de la cual la temperatura desciende lentamente en contraste con el súbito y marcado descenso de temperatura que suele tener lugar entre los 5 y 25 m., según la estratificación térmica comprobada por sondeos como es sabido.

De no hacerse así, la temperatura puede subir hasta cerca de 28° en verano y el agua no es agradable.

La tubería hasta el punto de toma es aconsejable hacerla con articulaciones, y la toma se debe hacer encorvada hacia arriba para evitar la entrada de agua de fondo, muy cargada de sedimentos y protegida con un colador.

e) AGUAS SUPERFICIALES.

Queremos hacer resaltar, no obstante, que la tendencia actual de la técnica española es la de aprovechar las aguas superficiales mediante embalses reguladores, que es la única que puede asegurar las dotaciones precisas para nuestras poblaciones a razón de la cifra de 200 l./habitante y día, que es la legal (para los pequeños pueblos se reduce a 150 l./habitante y día), y teniendo en cuenta la tendencia a acercarse a la de 300 l./habitante y día para las poblaciones de alguna importancia que se acentúa de día en día a causa de la elevación del nivel urbano y sanitario de las mismas.

Aparte de las poblaciones que ya exceden, con mucho, la cifra legal, a la cabeza de las cuales sigue Madrid, secundada por Pamplona, San Sebastián, y otras varias; hoy día ya, los proyectos de ampliación de los abastecimientos se inspiran en lograr la dotación de

300 l./habitante y día para la población futura previsible en los próximos cincuenta años.

Ello exige caudales instantáneos, *asegurados* en los estiajes, de muchos cientos de litros por segundo, que son casi imposibles de obtener en las aguas de manantial, freáticas, subálveas y aun superficiales de nuestras montañas durante cuatro meses del año como mínimo. Y así se dan los casos frecuentísimos de que casi todos nuestros pueblos y ciudades emplazados en o al pie de las montañas, y abastecidos por tomas de aquellos tipos, puedan derrochar el agua en determinadas épocas y carecen de la precisa en otras.

Revista general de abastecimientos españoles.

Como ejemplos aleccionadores por sus características y por haber intervenido profesionalmente en ellos, citaré los de los núcleos residenciales de la Sierra de Guadarrama, que constituyen hoy prácticamente Madrid. En ellos se han desarrollado verdaderas ciudades veraniegas y estacionales que ven con pena cómo se ha de tirar el agua durante seis meses y que carecen de ella en los otros seis, que son precisamente en los que la precisarían.

Y así Los Molinos, con cinco tomas en otros tantos manantiales y arroyos, con caudales de 20 y 25 litros por segundo se vería reducido a 2 ó 3 l./seg. en verano, impidiendo la residencia estival en los carros y bellos hoteles profusamente contruídos. Y hemos tenido que construir un embalse con presa de mampostería de 13 m. de altura con vertedero central y 190 m. de longitud de coronación, que aunque de pequeña capacidad de vaso (45 000 m.³) permite asegurar los 10,5 l./seg. que en verano necesitaba la población de 6 000 almas que se calcula ha de tener en cuatro o cinco años más.

El tipo es de gravedad, con vertedero central y colchón de agua.

Para protección de turbinas hemos construído una

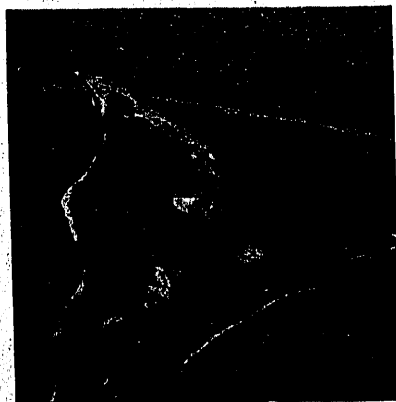


Fig. 4.^a — Vista aérea (aguas arriba) del embalse de Los Molinos y canales de protección de turbinas.



Fig. 5.^a — Embalse de El Escorial (en construcción).

pequeña presa de derivación aguas arriba de la cola del embalse con un vertedero con compuerta que permite el paso de caudales corrientes, pero que hace desviar los excesivos (en caso de avenida) hacia unos canales laterales que los vierten aguas abajo de la presa de embalse. La figura 4.^a, tomada desde aguas arriba, da idea del conjunto.

Así Cercedilla, encaramada en lo alto de la Sierra, se ve surcada por múltiples regatos y alimentada con exceso en invierno con las tomas de varios manantiales, pero en cambio sus 12 000 habitantes veraniegos, acostumbrados a todos los hábitos higiénicos en sus viviendas de Madrid, se ven reducidos a dos horas de agua en verano y sin poder apenas regar sus jardines.

La solución ha sido el embalse que estamos construyendo en el valle de Siete Picos, que con una altura de presa de 30 m. con vertedero central y colchón de agua también y con longitud de 212,50 m. en coronación, permitirá embalsar 340 000 m.³, suficientes para asegurar los 34 l./seg. que la futura población de 15 000 almas precisará, a razón de los 200 litros por habitante y día. La presa será de contrafuertes con vertedero por canales cerrados colocados en tres de los contrafuertes centrales.

Así, El Escorial, población veraniega y aristocrática, si ha querido resolver el problema de abastecer adecuadamente a los 30 000 habitantes que casi alcanza ya en verano, ha tenido que recurrir a comenzar a construir un embalse de 850 000 m.³ en un valle de otra vertiente, con presa de 30 m. de altura y 180 m. de longitud de coronación, cuya perspectiva es la de la figura 5.^a, y a transvasar las aguas bajo el macizo montañoso, mediante un túnel de 1 660 m. para poder aportar los 40 l./seg. que necesita.

Pero mientras los pueblos como los que he citado, sitios en las cabeceras de las cuencas, pueden, aunque con soluciones francamente caras de gastos de primer establecimiento, resolver su problema median-

el Guadarrama, con presa de 31,5 m. de altura y 512 metros de longitud de coronación, ambas de tipo vertedero. Enlazando ambos embalses por un túnel de 4 860 m. bajo el macizo montañoso y unos canales con aprovechamientos hidroeléctricos, para de este segundo embalse arrancar un canal general que conduzca 1 m.³/seg. hasta los pueblos de los arrabales madrileños, como son: Aravaca, Pozuelo y los Carabanchales inclusive.

El sistema de reserva se completa con un embal-

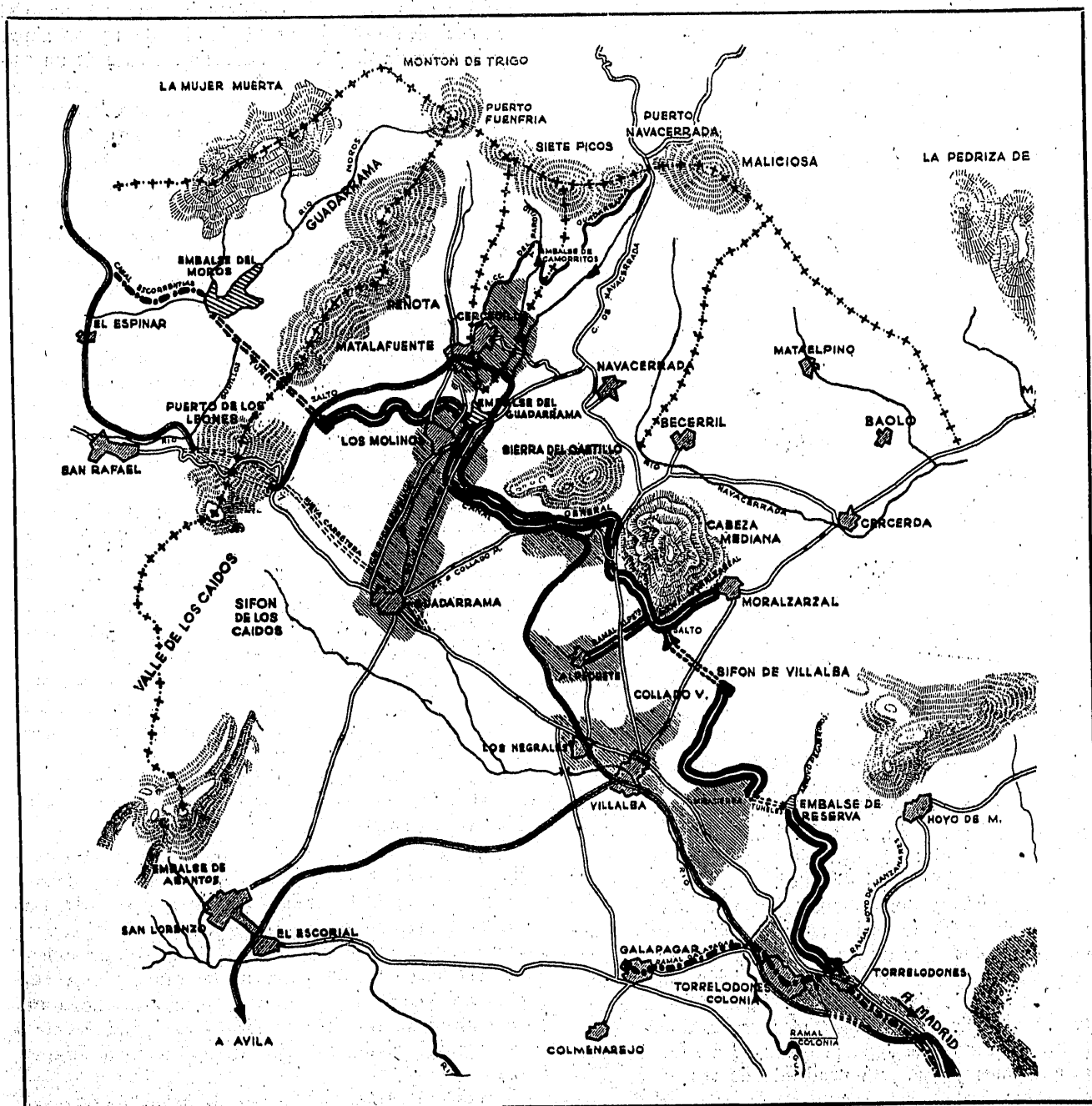


Fig. 6.^a — Plano de conjunto del abastecimiento colectivo de la Sierra de Guadarrama.

se regulador en una pequeña cuenca secundaria próxima a Torrelodones.

La población que podrá abastecerse será la de 300 000 habitantes, a razón de 300 l./habitante y día, aproximadamente, en verano.

El coste unitario de estos abastecimientos colectivos con grandes embalses en montaña es francamente inferior al de cualquier solución aislada que asegure (con mucha menos garantía) el caudal de estiaje que es el que preocupa.

La misma consideración económica cabe hacer cuando se trata de abastecer grandes poblaciones.

Pero esto, que técnicamente es indiscutible, y que sanitariamente es siempre mejor que cualquier otra solución, y que financieramente puede siempre defenderse, sobre todo cuando la conducción es por gravedad, sin necesidad de elevaciones (como suele ser la norma general en los embalses en montaña), ha sido hasta ahora difícil de hacer comprender a las ciudades. Así, por ejemplo, cuando acudí al Concurso de Proyectos de Abastecimiento de Aguas de Córdoba, y afirmé que ninguno de los 21 abastecimientos parciales que existían en servicio (salvo uno, que podía quedar como complementario), podía ser solución, y que había que recurrir a un gran embalse de 2 300 000 metros cúbicos en la Sierra Morena, a 20 Km. de la capital, la extrañeza fué general. Y fué preciso demostrar hasta la saciedad las excelencias de esta solución para que fuera aceptada; y es de suponer que comenzará, no tardando, su ejecución.

En este caso, el proyecto constaba de un embalse regulador con presa-vertedero de hormigón, con colchón de agua de 9 m. de altura y 232,50 m. de longitud en coronación, que aunque deberá recoger las aguas, ya decantadas, en el embalse del Guadalmellato, destinado hoy día a riegos de la vega cordobesa, es de temer no produzca la clarificación suficiente. Por ello se completaba con otro pequeño embalse de aguas claras de 1 000 000 de m.³ de capacidad, con presa de 19 m. de altura y 168 de longitud de coronación, emplazado en una cuenca lateral y al que llegaba el agua por un canal en túnel de 4 Km., que terminaba en una instalación de decantación por precipitación.

Si, a pesar de este dispositivo, fuera preciso completar la clarificación, se recurriría a filtros rápidos.

El caudal obtenido será de 700 l./seg. para una población de 300 000 habitantes.

Dada nuestra atormentada topografía, tenemos casos en que poblaciones importantes están emplazadas en las mesetas altas de las cuencas, y entonces ha de completarse el embalse con una impulsión importante.

Un ejemplo típico lo ofrece Pozoblanco (Córdoba), ciudad de 20.000 habitantes, en la divisoria de todos los cursos de agua próximos. La solución que proyectamos y que está pendiente de resolución por el aspecto económico especial de la localidad, fué a base de un embalse en el río Cuzna, con presa-verte-

dero de hormigón de 1 800 000 m.³ de capacidad y 14 m. de altura por 107 m. de longitud de coronación, y los impulsiones posteriores de 136,50 m. de altura y 1 385 m. de longitud la primera; y 101,60 m. de altura y 540 m. de longitud la segunda, para situar los 70 l./seg. del abastecimiento en una conducción rodada y forzada de 12,3 Km. hasta la población.

A veces es preciso recurrir a transvases de cuencas diferentes, sin que ello deba ser un obstáculo, sobre todo si se trata de ríos del mismo sistema hidrográfico principal. Así, nosotros hemos proyectado el abastecimiento del Jódar, pueblecito de 15 000 almas en la serranía de Jaén (Andalucía), a base de un embalse en plena montaña, en una preciosa cerrada del río Bedmar, a 9,3 Km. del núcleo a abastecer y que corresponde a cuenca distinta.

El embalse propuesto es a base de presa de hormigón ciclópeo de 17,50 m. de altura y 58 m. de longitud en coronación, con vertedero central y colchón de agua que produce un vaso de 95 000 m.³, con el que se consiguen los 34 l./seg. que necesitará la población futura para alcanzar su dotación reglamentaria.

Y pasando ya una revista general a las poblaciones españolas abastecidas desde zonas montañosas, haremos una breve descripción de las características generales de las obras de embalse que pueda servir de orientación para sacar consecuencias en tan interesante tema.

El ejemplo más interesante de una captación de montaña, bien concebida y realizada para abastecimiento de una gran ciudad, es el de Madrid.

Cuando apenas si alboreaba la tendencia a la ejecución de embalses de importancia para abastecer a ciudades lejanas, los Ingenieros de Caminos españoles tuvieron la valentía de proponer y construir en 1857 la presa del Pontón de la Oliva, con una capacidad de 3 000 000 de m.³, suficiente para suplementar en estiajes el caudal del río Lozoya, cuya cuenca se tomó como alimentadora, a pesar de su distancia (77,1 Km.) a Madrid y a lo accidentado del canal de conducción, con numerosos túneles, canales y sifones.

Ha de advertirse que el Madrid de entonces tenía 200 000 habitantes.

Crece vertiginosamente la población, y ello, unido a la permeabilidad que existía en el vaso de este primer embalse, determinó a construir, en 1876, un nuevo y mayor embalse aguas arriba: el del Villar, que con una capacidad de 22 000 000 de m.³, logrados con una presa de 55,50 m. de altura con un tipo que se adelantó treinta años a los preconizados luego en Europa y América, permitía dotar ampliamente a los 500 000 habitantes que Madrid tenía a fines de siglo.

Sigue el rápido crecimiento de Madrid y se construye el tercer embalse, el de Puentes Viejas, que con

una altura total de presa de 63,5 m. produce un lago de 52 millones de m.³.

Y como ya en 1922 el problema de las infrecuentes, pero no raras, turbias del río, así como su protección bacteriológica pesaban en el ánimo de los técnicos, se termina de construir dicho embalse (que se había elevado sólo hasta 44 m. en una primera etapa para atender las necesidades crecientes del consumo), y se recurre a un artificio técnico que se representa en esquema en la figura 7.^a, y que aparte de su originalidad es casi único.

Mediante la construcción de una pequeña presa de desviación, llamada del Tenebroso, entre los dos embalses principales: Puentes Viejas y Villar, puede alimentarse con aguas claras este último mediante el canal de alimentación que pasa en sifón bajo la presa del Tenebroso.

Si el río aporta agua turbia a consecuencia de las tormentas (a pesar de ser totalmente granítica su cuenca), o se aclara por sedimentación en Puentes Viejas, o se evacua al río por las compuertas de limpia de esta presa; y al llegar a la presa del Tenebroso se

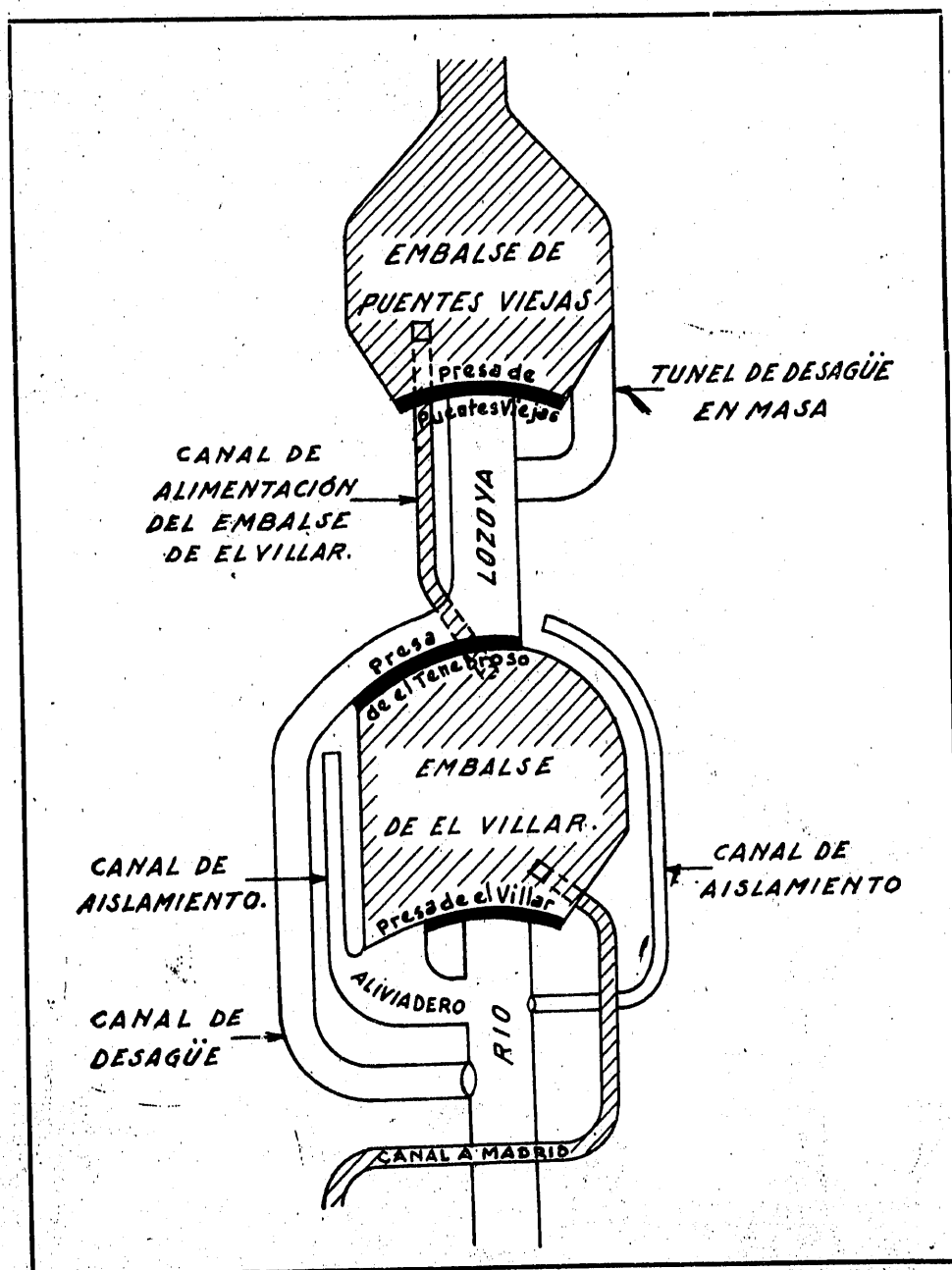


Figura 7.^a.

CANAL de ISABEL II

ESQUEMA de CONJUNTO de las INSTALACIONES
para el APROVECHAMIENTO de los RIOS LOZOYA,

JARAMA y SORBE

LOZOYA - Construidas
JARAMA - en proyecto
SORBE - en estudio

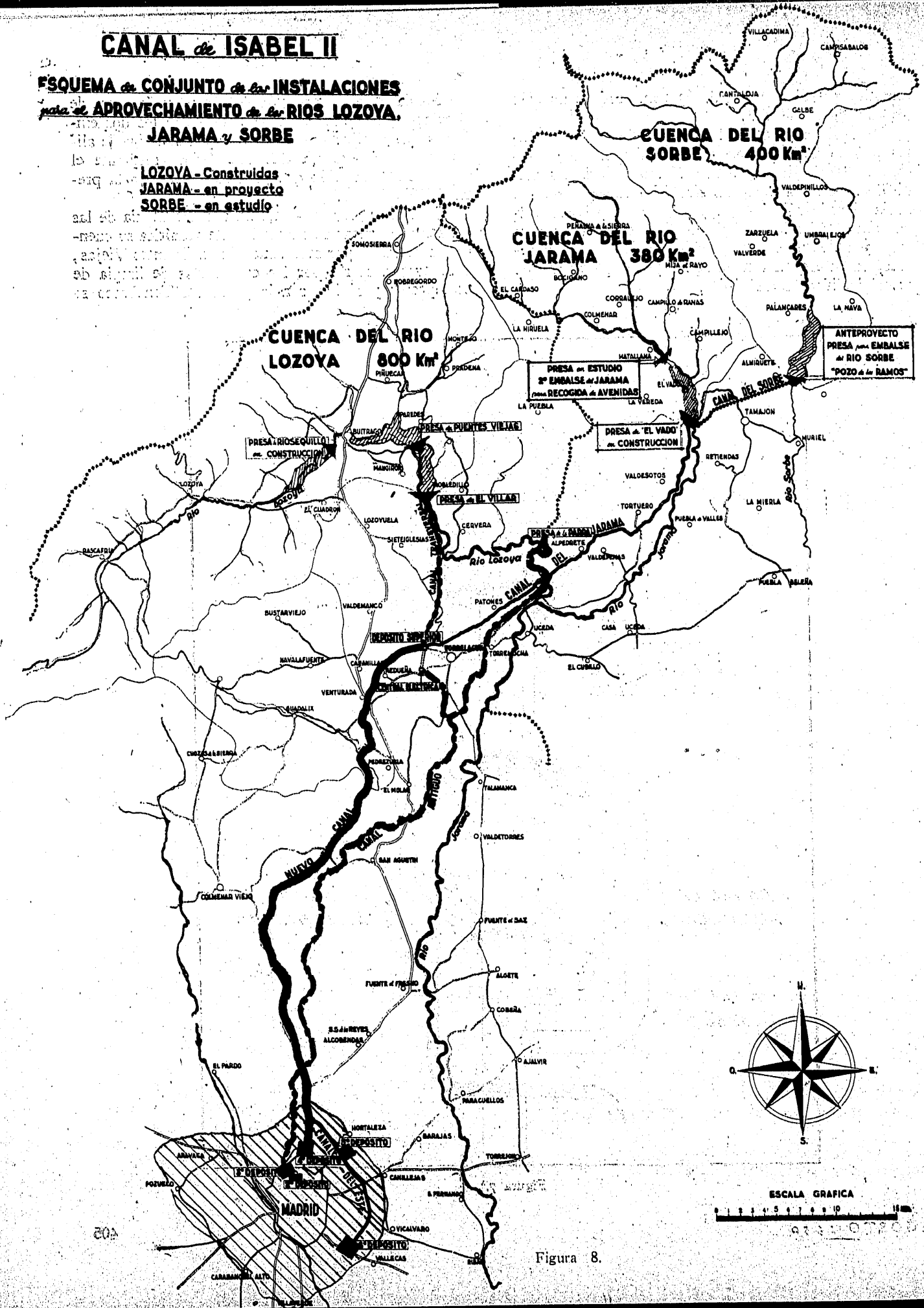


Figura 8.

desvía por el canal de desagüe hasta aguas abajo del embalse del Villar; no entra, por tanto, este agua en este embalse, que es realmente el de cabecera, pues de él arranca el segundo canal (canal alto), que lleva el agua a Madrid a mayor cota que el antiguo.

Para completar este aislamiento del vaso del Villar, se disponen dos canales perimetrales que permiten recoger las escorrentías directas de las laderas y llevarlas aguas abajo de dicho embalse.

Dos canales de enlace permiten alimentar el canal de conducción con agua de Puentes Viejas, si se desea.

Pero el "Moloch" del crecimiento urbano es implacable; y Madrid, con su 1 200 000 habitantes no tiene bastante con sus 75 millones de capacidad de embalse, pues el consumo se ha elevado a 400 000 m.³ diarios. Urge aprovechar al máximo los recursos hidráulicos de la cuenca, y por ello se construye actualmente el embalse de Ríosequillo, aguas arriba de Puentes Viejas, que con su presa de 49 m. de altura y 1 100 metros de longitud de coronación, embalsará 50 millones de metros cúbicos, con lo que queda agotada la capacidad de la cuenca en años normales, y casi actuará de hiperembalse para los años secos.

Pero el crecimiento de la ciudad no se detiene y los núcleos periféricos (la *banlieu* madrileña) están sedientos, y por otra parte van siendo anexionados; y ya están hechos los estudios y comenzándose las obras de aprovechamiento integral de las dos cuencas orientales de la Cordillera Central: la del Jarama, con sus 380 Km.², y la del Sorbe, con sus 400 Km.², que suplementarán la del Lozoya con sus 890 Km.², ya totalmente aprovechada.

El conjunto del aprovechamiento se muestra en el plano de la figura 8.^a.

Y unos nuevos embalses: el del Vado y el del Pozo de los Ramos, respectivamente, serán pronto: ampliado el primero y el segundo construido, y sus aguas reguladas empalmadas con las del Lozoya para saciar las necesidades, no ya del 1 500 000 habitantes que tiene ahora Madrid, sino de una población de 3 millones de almas, con un consumo de 900 000 m.³ diarios a que se aspira.

Síguenle en importancia otras grandes poblaciones españolas, como Bilbao, con sus 230 000 habitantes, que a despecho de la riqueza en aguas de sus montes próximos, tan regados por las lluvias que en la Cordillera Cantábrica se producen, no vaciló, años ha, en construir en lo alto de la montaña el embalse de Ordunte, que con presa de gravedad de 50 m. de altura y 260 m. de longitud en coronación, con taludes de 0,05 y 0,70, almacena 14 800 000 m.³, que han sido suficientes hasta el momento actual, por proporcionar 1 300 l./seg.

Pero el ritmo de crecimiento, no sólo de Bilbao, sino de todas las poblaciones de su ría hasta "El Abra" o mar libre, sigue *in crescendo*, y en estos momentos se comienza a estudiar el captar las aguas de

los embalses del Zadorra a su salida de las turbinas de los saltos (para los que han sido modernizados) en plena montaña, y abastecer colectivamente todas las aglomeraciones de la ría bilbaína con una población de 500 000 almas.

La ciudad de Vitoria, abastecida de antiguo por aguas del Zadorra, al enfrentarse hace ocho años con el problema de caudal que su población presentaba, hubo de acometer decididamente la construcción del embalse de montaña en el río Albina, a 10,5 Km. de la ciudad, con el que recoge y aprovecha las aguas de una cuenca de 14,6 Km.²; asegurando una dotación de 7 000 000 de m.³ al año, o sea un caudal instantáneo de 280 l./seg.

La población abastecida podrá, pues, llegar a unos 120 000 habitantes, con los 200 l./habitante y día de dotación *per capita*.

La presa de gravedad (ver fig. 9.^a), de 30 m. de altura, produce un embalse útil de 5 350 000.

Es de hormigón, con talud aguas abajo de 0,82 y aliviadero de compuertas dobles.

La toma es triple, con válvulas-compuertas de 500 milímetros, y el desagüe de fondo con dos válvulas de agujas de 600 mm.

Pero quizá resulte más aleccionador (en cuanto a la necesidad de recurrir a las soluciones de embalses en alta montaña) el caso de San Sebastián, que, a pesar de tener los riquísimos manantiales de Articutza en una de las regiones de más pluviosidad y de más regularidad en la misma, no ha vacilado en preparar la construcción de dos grandes embalses. Uno de ellos, el de Enobieta, en construcción avanzada, con presa de gravedad de hormigón, con 40 m. de altura y 230 metros de longitud en coronación, que almacenará 5 000 000 de m.³ y regulará el caudal a 800 l./seg.

El otro, de 22 000 000 de m.³, con presa de características poco diferentes (altura, 52 m., y longitud en coronación, 152 m., que dará un caudal de 1 200 litros por segundo), completará en su día el sistema hidráulico que permitirá abastecer una población de 287 000 almas con un caudal de 1 800 l./seg., o sea dotación de 480 litros por habitante y día.

También Orense, población de 52 000 habitantes y de clima fuertemente lluvioso, abastecido ya mediante un embalse de 210 000 m.³ de capacidad, con presa de 17 m. de altura en el río Lofía, próximo a la ciudad, ante la imposibilidad de asegurar con tan pequeño embalse los 70 l./seg. que precisaba, y acuciada por el rápido crecimiento urbano que permitirá alcanzar en pocos años la cifra de 44 000 habitantes, ha redactado un proyecto, que será pronto llevado a la práctica, de un nuevo embalse aguas arriba del anterior, que con presa de 16 m. de altura y 130 metros de longitud en coronación almacena 1 750 000 metros cúbicos.

Con ello se asegura un caudal de 100 l./seg., a razón de 200 litros por habitante y día, que será libe-

do a la población tras de pasar por una estación de decantación y filtración rápida ya construída.

Y Vigo, cuya población llega ya a las 160 000 almas, y cuya importancia industrial y comercial es ariete formidable de su rápida expansión.

Mientras sus habitantes no pasaron de los 80 000, le bastaban los 100 l./seg. que en distintos manantiales de la zona montañosa en que se asienta la ciudad (regada casi continuamente por la naturaleza, con alturas

de análogas características hidráulicas y abastecida hasta hace pocos años por manantiales, al crecer su población hasta los 45 000 habitantes en la actualidad, no vaciló en construir un embalse de abastecimiento de 1 500 000 m.³, con presa de 23 m. de altura y de 167 m./l. de coronación, con tipo de gravedad, asegurando así en perfectas condiciones un caudal de 140 litros/seg., suficiente para la futura población de cincuenta años.

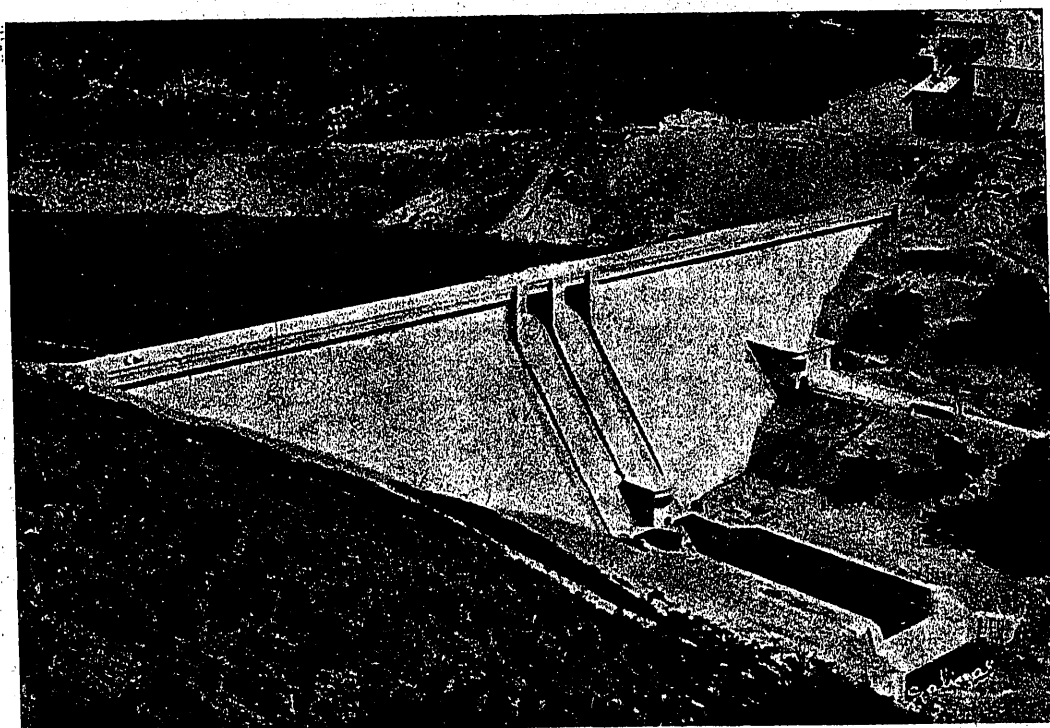


Fig. 9.ª — Embalse de Albina, para el abastecimiento de Vitoria.

pluviométricas de 1 500 mm., rarísimas en España), y depuradas en sendas instalaciones de filtración con coagulación.

Pero la previsión hecha de 400 000 almas para un porvenir no lejano, y la, ajustada a la realidad, de aumentar a 300 l./h./día la dotación individual, exige pensar en 1 500 l./seg., que deben ser dispuestos a la cota 200, pues la expansión de la ciudad es hacia las alturas.

Y por ello está en preparación la ejecución de sendos embalses: uno, en el río Verdugo, para obtener 800 l./seg., y otro, en el río Oitaben, cuyas aguas se enlazarán en las del anterior por un canal de transvase.

Y si las previsiones fallaran y se requiriese más caudal, aún está proyectada la ejecución, en su día, de un embalse en el río Tea, que sumaría sus aguas, mediante un canal de 45 Km., a las anteriores.

Pontevedra, capital próxima a Vigo, sita en región

Así también la gran capital asturiana, Oviedo, dotada de dos amplios abastecimientos de manantiales, está en estos momentos estudiando la definitiva solución, acudiendo, probablemente, a embalses en las montañas próximas, y ello a pesar de la regularidad e intensidad de las lluvias en la región, y, por tanto, de la abundancia de manantiales.

Las poblaciones de zonas altas o emplazadas al pie de macizos montañosos, se van orientando decididamente hacia la ejecución de embalses de captación.

De este modo Avila, con sus 23 000 habitantes, ha visto resuelto su problema mediante la construcción de un embalse en la cabecera de un arroyo, con presa de gravedad, cuyo aspecto puede verse en la figura 10.

En estos momentos está terminándose el embalse de Ríofrío, para asegurar a Segovia el caudal de su población futura.

La presa es de contrafuertes (con vertederos en

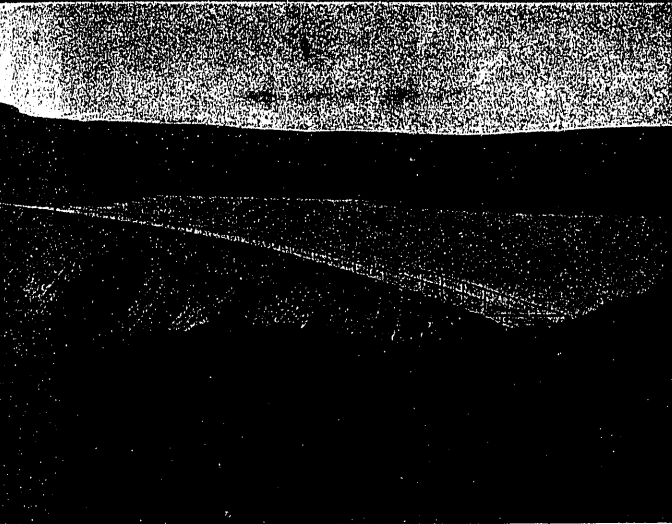


Fig. 10. — Embalse de Ávila.

canal cerrado sobre las tres centrales), de 40 m. de altura y 210 de longitud de coronación.

La capacidad del vaso es de 2 500 000 m.³, para regular su caudal de 180 l./seg.

Por cierto que se da la circunstancia, cada vez más frecuente en España, que el lugar de emplazamiento de este embalse de captación es el mismo de donde los romanos derivaban el agua que abastecía a aquella ciudad, tras de salvar el valle que la circundaba con el precioso acueducto que hoy día existe, para orgullo de los españoles.

Otro caso curioso de vuelta al pasado y toma de agua en montaña lo presenta la solución de abastecimiento de agua a Toledo, actualmente terminada, que viene a ser muy semejante a la que en el siglo III hicieron los romanos y que fué destruída en la guerra de la Reconquista.

Esta solución representa, además, uno de los casos típicos en que, a pesar de tener agua al pie de la población (en el Tajo), se ha prescindido de la solución de elevación, por el coste de explotación y por la necesidad de efectuar correcciones físicas y bacteriológicas del agua del citado río.

El caudal previsto ha sido de 14 000 m.³ diarios, con dotación de 200 litros por habitante y día, que corresponden a una población de 70 000 almas, y un caudal especial para las necesidades del Ejército, que se ha fijado en 32 litros por segundo; lo que hace un total de 200 litros por segundo como caudal medio.

El embalse se sitúa en el arroyo Torcón (afluente del Tajo), a 65 Km. de la ciudad, en plenos montes de Toledo, en cuenca granítica, con cuarcita siluriana, con una capacidad útil sobre la toma de 4 000 000 de metros cúbicos.

La presa es de gravedad, de 18 m. de altura, con su parte central de 30 m. como vertedero, tal como indica el grabado de la figura 11, y amortiguador de energía inferior, con dispositivos de limpia y toma.

La longitud total de la coronación es de 85 m. El

paramento de aguas arriba es vertical, y el de aguas abajo con talud de 0,70.

La coronación del vertedero es de forma mixta de Creager y Rehboch, sin compuertas.

El amortiguador de energía es un trampolín dentado, con 11 dientes de $2,77 \times 1,20$ m., e inclinación de 30°.

Esta circunstancia de coincidencia de las soluciones modernas con las romanas nos lleva a considerar lo previsores que fueron dichos romanos y cómo se adelantaron a su tiempo en una serie de aspectos, entre ellos éste de los abastecimientos a poblaciones mediante embalses.

En nuestro país tenemos como antecedente curioso el Pantano de Proserpina, que servía para el abastecimiento de la ciudad de Mérida, que tanta importancia tuvo en la época romana.

Construído en la época de Trajano, es digno compañero del acueducto de los Milagros, cuyas ruinas aún se conservan.

La fábrica, genuinamente romana, era de sillería, que al destruirse por efecto del tiempo ha sido reparada por sillarejo, por lo que actualmente no queda más que el tercio inferior de la altura de presa, constituyendo el cuerpo de la misma hormigón de cal romana.

Parejo de este pantano es el de Cornalvo, también de época romana, asegurando así entre los dos la dotación de la "Emérita Augusta" de los romanos.

Aleccionador es, asimismo, el caso de Soria, población de 16 000 almas que, a pesar de estar bañada en su mismo recinto por el río Duero, de donde hoy se abastece con una toma superficial y posterior impulsión de importancia, tiene redactado un proyecto de embalsé en una cuenca secundaria a 40 Km. de la ciudad, con capacidad suficiente para asegurar el caudal necesario a una población de 50 000 almas.

Ello demuestra que la garantía, la seguridad y aun la economía a largo plazo, está casi siempre del lado de las captaciones con embalse y conducciones rodadas, por largas que éstas sean.

Como exponente de lo arraigada que va estando en España esta tendencia, citaremos el caso de Sevilla, conocida población de 382 000 almas y en vertiginoso crecimiento.

A pesar de ser cruzada por el Guadalquivir, caudaloso y ya bastante regulado, y de tener un abastecimiento de cierta importancia de manantiales y otra toma directa del río, con decantación y filtración posterior de no escasa capacidad, no vaciló en acudir a captar en la montaña de Aracena las aguas del río "Ribera de Huelva", a base de un gran embalse en La Minilla, de 50 000 000 de m.³, completado con otro inferior de aguas claras.

Con ellos y con otros en cuencas secundarias que están en estudio, se llegará a dotar a la población de un caudal de 3 500 l./seg., capaz para abastecer los habitantes calculados en un futuro de cincuenta años,

a razón de 250 l./h./día, y los de los numerosos pueblos del largo recorrido de un canal de trazado accidentado y caro (múltiples túneles, sifones y un sifón terminal de 17 Km., a razón de 150 l./h./día).

Es, pues, un ejemplo típico de abastecimiento colectivo con agua de montaña.

Tan osado fué el intento, que la desnivelación de precios habida en estos últimos años ha hecho que el coste rebase las posibilidades inmediatas del Municipio, y en estos días ha acudido el Estado en su ayuda,

Esto ha pasado igualmente en el pequeño pantano de Riudecañas que, establecido para el abastecimiento de Reus (población importante de Tarragona), y el aseguramiento de los riegos del campo circundante a dicha capital, ha cumplido, en efecto, su misión de salvar las cosechas y obtener un beneficio muy superior a su coste. Pero en cambio sus 3 400.000 m.³ de capacidad resultan ya insuficientes para asegurar ambas cosas, especialmente el abastecimiento de la ciudad.

Afortunadamente, y ésta es una de las ventajas

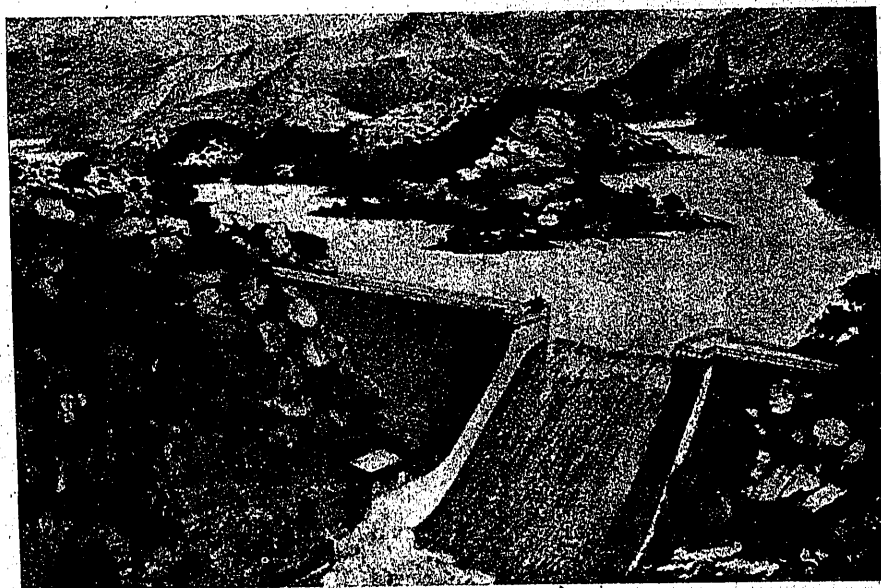


Fig. 11. — Embalse del Torcón, para abastecimiento de Toledo.

tomando a su cargo la ejecución de las obras de terminación, con subvención del 50 %, y para las obras de toma propiamente dichas y un anticipo suplementario con interés bajo del 25 %.

Terminadas éstas, se entregarán al Ayuntamiento para su explotación, mediante una adecuada fórmula de reintegro e intervención técnica.

Badajoz y Huelva son dos ejemplos de la necesidad de recurrir a embalses, pero concebidos con la amplitud suficiente para las necesidades de una futura población con gran amplitud de criterio.

Ambas están abastecidas desde hace unos veinte años por sendos embalses en cuencas no ricas en agua, y sobre todo de nial distribuidas lluvias. Las capacidades de los embalses fueron calculadas para poblaciones no mucho mayores de las existentes en la fecha de la ejecución, y ahora ambas se encuentran con el problema de la ampliación, que es forzoso hacer, con recrecimiento de las actuales presas o construcción de nuevos embalses.

De haberse aplicado el criterio del aprovechamiento integral de la cuenca, seguramente la solución hubiera sido definitiva y más económica.

del sistema, cabe la posibilidad, como en este caso se está estudiando, de aportar a dicho vaso los caudales de otros cursos de agua mediante transvases; pero es evidente que de haberse estudiado ampliamente desde el principio, se habrían evitado las pérdidas que para la economía nacional se han producido en los cuarenta años transcurridos en la explotación.

Que en las poblaciones de Levante y Sur de España, cuyos recursos hidráulicos inmediatos son escasos y enormemente irregulares, cuyos periodos sin lluvia son larguísimos y cuyos caudales subterráneos o superficiales llegan casi a anularse en ciertas épocas del año, existe la franca tendencia a ejecutar abastecimientos colectivos de gran envergadura a base de embalses en las cabeceras de las montañas: lo demuestra especialmente los casos ya citados de Cádiz y Sevilla, pero quizás más aún el del pequeño embalse del Taibilla, emplazado en la cabecera del Segura y que con su captación del caudal fluyente en aquellas montañas, tan alejadas de las poblaciones a abastecer, ha sido la definitiva solución que sacie la sed tradicional de poblaciones como la gran base naval de Cartagena; la de Murcia, con sus 215 000 habitantes; Alicante,

con sus 107'000 almas, y de todas las grandes ciudades de la cuenca del Segura y rica vega murciana.

Pero aun hay datos más elocuentes, tal como el de Valencia, que disponiendo de una gran toma del Turia, dotada con sus instalaciones modernas de sedimentación y filtración, se ve obligada a preparar un proyecto de toma directa en el Pantano, llamado del Generalísimo, emplazado muy aguas arriba de la toma actual y en construcción avanzada; pues aunque éste con su gran capacidad de 243 000'000 de m.³ está destinado a asegurar los riegos de la fértil huerta valenciana, se considera de mayor interés el distraer los caudales precisos para el abastecimiento colectivo de los pueblos que integran el Gran Valencia y de muchos de sus alrededores.

Consideraciones finales.

Es, pues, evidente que las características de los países influyen poderosamente en la solución a adoptar, y que en España, por imperativo de su clima, topografía y constitución geológica, la tendencia actual cada día más acentuada y que personalmente vengo preconizando hace muchos años y dando ejemplo con mis proyectos particulares, es la de ejercitar captaciones en montaña, pero mediante embalses reguladores.

Desde el punto de vista técnico-sanitario, el embalse no sólo no altera las condiciones de potabilidad de las aguas, sino que las mejora en todos los aspectos. La demostración más elocuente de esta afirmación nos la dan los resultados recientes obtenidos por la Tennessee Walley Authority, de Estados Unidos, mediante las experiencias realizadas en el completísimo sistema de aprovechamiento integral del valle de Tennessee, que es sobradamente conocido.

La influencia de los almacenamientos en los embalses, demostrada plenamente por el cotejo de los datos relativos a la calidad de las aguas antes y después de la construcción de aquéllos, se ha mostrado principalmente en su pureza bacteriológica; pero, además, en su temperatura, turbiedad y color.

Así, de una cifra media de bacterias del grupo coli por 100 cm.³, que venía a ser de 1 050 antes de la entrada en servicio del aprovechamiento integral, ha descendido a 210. Es decir, con un 80 % de reducción, debido casi exclusivamente al almacenamiento en los embalses.

La temperatura media de las aguas ha pasado de 18° a 15° (un 6,5 % de disminución), beneficiando así sus condiciones de bebida.

La turbiedad se ha visto profundamente influenciada, alcanzando una reducción del 60 % al pasar de

159 partes por millón (p. p. m.) a 62. Ello se explica por la menor erosión del suelo por crecidas y por el efecto sedimentador y clarificador de los embalses.

Sobre el color del agua, la influencia ha sido también acentuada, alcanzando un 36 % de disminución, por pasar de 22 a 14 p. p. m.

Y para juzgar de la influencia de estas mejoras en la economía nacional, bastará señalar que: El consumo de sulfato de alúmina en las decantaciones de las instalaciones de tratamiento de aguas potables ha descendido en un 11 %, pasando de 34 a 30,2 p. p. m.

La dosis de cloro en dichas instalaciones depuradoras ha descendido en un 44 %, por reducir a 3,28 las 5,90 p. p. m. necesarias.

Ello, combinado, ha producido una economía del 18 % en el coste del tratamiento por productos químicos, lo que, aplicado a los grandes volúmenes de agua consumidos, representa una apreciable economía.

De todo el resumen de obras actuales en España, y teniendo en cuenta que por amplios que sean los caudales a asegurar, no tratándose de abastecimientos colectivos de mucha importancia, los vasos no requieren ser de extraordinaria capacidad (cosa que, por otra parte, no es fácil encontrar en las cabeceras de las montañas), podemos sentar las siguientes conclusiones:

1.^a La tendencia de las presas de embalse está orientada hacia el tipo de gravedad, generalmente con vertedero central y dispositivos de amortiguamiento de caída del agua.

2.^a Los dispositivos de toma se reducen a una o varias tuberías, protegidas por dos llaves de paso, sin necesidad, comúnmente, de torre de aguas.

3.^a Los desagües de fondo son también de tipo elemental y pueden dotarse de llaves de compuerta o compuertas metálicas.

4.^a Siempre que la cuenca lo permita, sin gran suplemento de coste, conviene completarlas con dispositivos de protección de turbias.

5.^a Los tipos más usados suelen ser los de presa recta, a base de hormigón en masa o ciclópeo, con dosificación de un 10 a un 20 % de bloques.

6.^a Cuando la altura de la presa excede de 30 m., es aconsejable utilizar tipos de presa de contrafuertes, bien con vertedero lateral, o bien con vertederos de canales cerrados sobre los contrafuertes.

En cambio, las presas bóvedas no suelen ser utilizables económicamente en los embalses de abastecimiento.

7.^a Es fundamental para la economía nacional de un país de las características de España, estudiar con todo interés abastecimientos colectivos con la mayor amplitud posible.