

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

EL PANTANO DEL EBRO ⁽¹⁾

CAPÍTULO PRIMERO

Breve noticia del proyecto.

El Ebro vierte anualmente en el Mediterráneo, como mínimo, unos 14.000 millones de metros cúbicos de agua, en su casi totalidad perdidos para la economía nacional.

Esta elevadísima cifra, debida a una gran irregularidad en la caída de la lluvia y á la precipitada circulación del agua por los pendientes cauces de los ríos y arroyos tributarios, acusa la relativa escasez de su aprovechamiento actual y la posibilidad de crear otros nuevos de gran importancia y elevado rendimiento.

Sin suspender ó reducir una circulación constante y espléndida, indispensable para la satisfacción de ciertas necesidades fluviales, puede ser reducida esa pérdida, que representa un verdadero despilfarro de nuestra riqueza.

Bastará para ello retener en los períodos de abundancia excesiva y aun peligrosa las aguas necesarias para suplementar el caudal del río durante las épocas anuales de escasez.

Y como quiera que la potencialidad de un río se mide por su caudal constante y asegurado, ó sea por el que circula en esos períodos de aguas escasas, la del Ebro puede ser considerablemente aumentada, pues sobran recursos para conseguirlo.

Tal es el objeto del pantano del Ebro.

Su cabida será de 540 millones de metros cúbicos, muy suficiente para satisfacer las apremiantes necesidades actuales y todas las que pueden ser sentidas en un porvenir bastante remoto.

Con la enorme reserva acaparada anualmente en el pantano, podrán ser suplementados los estiajes en importante proporción, variable con el lugar.

En la zona central de la depresión ibérica—Rioja, Navarra y Aragón—, donde se han desarrollado los regadíos más extensos y productivos y donde, por tanto, la escasez actual se hace sentir con más intensidad, puede ser asegurada la circulación constante de un caudal de 70 metros cúbicos por segundo.

(1) Tenemos el gusto de publicar dos capítulos muy interesantes del meritísimo proyecto del distinguido Ingeniero de Caminos D. Manuel Lorenzo Pardo, haciéndoles preceder, por consejo suyo, de algunos otros entresacados del libro de vulgarización que publicó de dicho pantano para mejor inteligencia de lo que en aquéllos se exponen, aunque algunos párrafos se habrán insertado ya en estas columnas. Por esta copia se harán cargo nuestros lectores de los justificados elogios que le tributamos con motivo de la edición de dicho libro, reiterándole hoy con esta oportunidad nuestra más entusiasta felicitación.

Aun descontando el agua necesaria para alimentar los grandes canales de riego que en tal zona existen, podrá quedar un remanente superior á 40 metros cúbicos por segundo, que puede ser destinado á otros usos, fomentadores, como aquéllos, de nuestra producción.

**

Los beneficios de esta trascendental transformación del régimen circulatorio del Ebro serán inmediatos.

El país está preparado para disfrutarlos en el acto de su realización.

Efectivamente, las grandes obras de aprovechamiento de las aguas del Ebro ó se cuentan entre las más antiguas de España ó tienen una existencia suficiente á garantizar su eficacia.

Entre las de riego figura, en primer término, el canal Imperial de Aragón. Domina una zona de 28.000 hectáreas, suministra agua para el abastecimiento de varios pueblos y aun de poblaciones tan importantes como Zaragoza, y produce una fuerza de 2.000 caballos, consumida casi totalmente en las industrias locales.

Todo está dispuesto para poner á contribución las aguas que el canal es capaz de derivar del Ebro, pero cuando llega el estiaje falta hasta lo indispensable para las necesidades más perentorias.

Bajan por el río 8 metros cúbicos por segundo y harían falta 25 ó más, que el canal puede conducir con gran holgura.

Como las necesidades crecen, la insuficiencia se hace sentir más cada año y la pérdida va en aumento.

La construcción del canal de Lodosa (hoy Victoria-Alfonso), no pudo ser acometida por falta de alimentación. Fué autorizada cuando surgió, con la posibilidad de crear el embalse de Reinosa, la de asegurar su dotación legal. Sin embalse regularizador, su misión quedaría limitada á proporcionar riegos eventuales, inseguros y escasamente productivos. Con él, creará una riqueza comparable con la que debe su existencia al canal Imperial de Aragón.

En proporción mayor ó menor, todos los restantes regadíos del Ebro sufren hoy las consecuencias de la escasez y tocarán los beneficios de la transformación. Su extensión, incluida ya la zona del canal de Lodosa, será de unas 110.000 hectáreas, el décimo, aproximadamente, de la total regada en España, cuya superficie, aun siendo escasa, produce una cuarta parte del rendimiento inmediato de nuestra agricultura.

**

Muy importante, también, es el aumento de potencia en los saltos aprovechados é importantísimo el de caudal en muchos lugares donde su falta había impedido ó dificultado el aprovechamiento económico y remunerador.

El incremento inmediato de los principales, de los que tienen sus instalaciones dispuestas para aprovechar el paso de caudales superiores á los actuales de estiaje, será de unos 50.000 caballos, que vendrán á sumarse á los 40.000 que, como máximo, rinde el Ebro ahora de un modo constante.

En mayor proporción aumentará la energía total aprovechable, ó sea la energía potencial del río, que es hoy de 140.000 caballos, y será, cuando el pantano se construya, de 324.000 caballos.

Las comunicaciones serán más fáciles, las aguas mejores ó, si se quiere, menos peligrosas para ciertos usos. Por último, en una buena parte del valle, el temor á las devastadoras avenidas del río se habrá alejado mucho con la disminución de las probabilidades del hecho y la eficaz reducción de su importancia.

Los valles de Campóo ofrecen lugar adecuado para constituir esta enorme reserva.

El dique necesario para contenerla es de longitud escasa y altura sumamente reducida, porque, merced á la concurrencia de excepcionales circunstancias geográficas, pueden ser embalsados tres valles; el principal y los de dos afluentes de primer orden, el Proncio y el Virga.

La extensión total ocupada por el embalse será de 61 kilómetros cuadrados. Su longitud, ó sea el mayor desarrollo de un itinerario interior, continuo, sin inflexiones ni repeticiones de lugar, tendrá 22 kilómetros, y más de 100 kilómetros su orilla ó perímetro.

Inundará varios poblados y ocupará una buena parte de los términos de otros, pertenecientes en su casi totalidad á la provincia de Santander, en su parte SE., limítrofe con la de Burgos, que será también afectada, aun cuando en proporción mucho menor.

El número de casas comprendidas en la zona de imprescindible expropiación es de 250 y el de habitantes de forzoso traslado de 1.100 y 1.200.

De los 61 kilómetros cuadrados ocupados por el embalse no bajarán mucho de 50 los que están yermos y de 25 ó 30 los que por su constitución y por el natural y frecuente encharcamiento de su superficie no podrían ser económicamente roturados en provecho de la ganadería del país, su principal riqueza.

Pero á pesar de ello, y aun cuando el número de expropiados y de viviendas son inferiores á los correspondientes á un sólo pueblo poco importante de otras regiones españolas donde las condiciones de vida imponen la aglomeración en centros alejados, los problemas derivados de la ocupación serán los de solución más difícil y costosa, sobre todo si para estimar su dificultad y su coste se comparan con la dificultad y coste de las obras necesarias para la creación del embalse.

Estas obras pueden ser ejecutadas en un plazo de cinco años, que aun podría reducirse si existe el propósito decidido de acelerarlas, y por una cantidad de poco más de 7 millones de pesetas, cuya cantidad pudo ser reputada de holgada cuando los precios eran estables.

La obra más importante, ó sea el dique, solamente consumirá una tercera parte de la cantidad total.

Resultaría así el metro cúbico de embalse á 0,013 pesetas, precio ínfimo si se compara con el coste unitario de la mayor parte de los pantanos europeos, y muy reducido en relación con

los baratos de España, aun contando entre ellos los económicamente excepcionales de Guadalquivir, en Jerez de la Frontera—el mayor que existe en nuestro país—, y el primitivo de La Grajera, en Logroño.

El valor de las ocupaciones é indemnizaciones diversas aumentará ese coste; pero la diferencia es tan importante, que ofrece amplio margen para satisfacer ese valor sin pérdida de la ventaja económica.

El presupuesto de la obra resultará, en cualquier caso, inferior al beneficio anual obtenido, no ya por el país, sino por el Estado.

Si como término de comparación se toma el rendimiento de las aguas almacenadas, la ventaja sobre la generalidad de los pantanos construídos es mucho mayor, porque las del Ebro tienen un valor enorme á consecuencia de la gran repetición y aislada importancia de los aprovechamientos de que son objeto.

Para resolver el problema local planteado se proponen dos soluciones de simultánea aplicación: el fomento de la actividad industrial del país, bastante despierta ya, y la colonización de terrenos próximos, actualmente yermos.

Como base indispensable para ambas se ha estudiado una red de nuevas vías férreas y carreteras.

Los proyectos de estas vías han sido incorporados—con el carácter de complementarios—al general del pantano y le acompañarán en la información pública que debe preceder á su aprobación definitiva.

Condiciones técnicas del lugar de emplazamiento.

La impermeabilidad del vaso está garantizada por el origen, naturaleza y disposición del terreno, por algunos hechos de observación diaria y por otros varios acusados por los sondeos y trabajos de reconocimiento geológico del país. Así, por ejemplo, la aparición de agua artesisiana por bajo de las capas impermeables atravesadas por los sondeos, la escasa variación y escasísima importancia de los agotamientos que exige la explotación de las minas de lignito, cuyas galerías cruzan el fondo de la Virga, con frecuencia embalsado naturalmente, la permanencia del agua á niveles distintos, y algunos otros, no dejan lugar á dudas.

La alimentación está asegurada por la aportación de una cuenca poco extensa en relación con la enorme capacidad del raso, pero muy copiosa en recursos hidráulicos. Su superficie es de 500 kilómetros cuadrados; la lluvia anual media es de 1.347 milímetros; y el coeficiente de circulación ó aprovechamiento, en largo plazo, de 0,55.

Las observaciones realizadas durante los años 1915, 1916 y 1917, es decir, después de terminado el proyecto, confirman estas cifras, asignando á la alimentación invernal media un valor ligeramente superior al de 346.700.000 metros cúbicos, que sirvió de base á todos los cálculos.

La lluvia caída directamente sobre el embalse supera en mucho á la evaporación. La observada en aparatos Piche, que arrojan alturas muy superiores á las reales, alcanzan tan sólo una cifra de 530 milímetros. El evaporímetro de cubeta no acusa más que 350 milímetros. Según las experiencias de Arl's, la efectiva no pasará de 250 milímetros.

Dedúcese de aquí que, no solamente no habrá pérdida alguna

por este concepto, sino que puede contarse con un volumen alimentador suplementario, con el debido al mayor aprovechamiento de las aguas caídas directamente sobre el embalse.

Las aguas llegarán al pantano limpias, es decir, desprovistas de acarreos.

Para confirmar este importante extremo se han practicado muchas dosificaciones de materias sólidas contenidas en la unidad de volumen líquido. Las muestras fueron recogidas en lugares y épocas muy distintos. Numerosos ensayos químicos realizados sobre las mismas muestras, permiten atribuir á las escasas materias recogidas un origen orgánico. La natural oxidación, que es consecuencia de una dilución grandísima y de la eficaz acción del tiempo, las eliminará parcial ó totalmente.

Entre las varias corrientes de agua que en su día han de alimentar el pantano, solamente puede ser atribuido un carácter torrencial á la del río Híjar, pero entre el canal de evacuación del torrente y el embalse, media un dilatadísimo cono de deyección y una amplísima vega, la de Reinosa. Esta vega es cruzada por los ríos Ebro, Híjar é Izarilla reunidos, siguiendo un cauce sinuoso de reducidísima pendiente, en cuyas orillas ni se aprecian vestigios de erosión ni se observan depósitos apreciables.

* * *

Las especialísimas condiciones del embalse se deben á la existencia de un accidente geográfico determinado en la época de emergencia de la cordillera cantábrica.

El vaso propiamente dicho, ó por lo menos la parte más interesante de él, constituye el fondo colmatado en solares recientes, pero no contemporáneos, de un antiguo lago, á cuya desaparición ha contribuido, además, la erosión superficial y lenta de las capas rocosas que lo limitaban en el lugar donde se proyecta la presa.

Con el pantano se pretende restablecer su existencia dotando al Ebro de una alimentación lacustre regularizadora de su régimen.

CAPÍTULO II

Régimen de funcionamiento del pantano.

Según dijimos ya en otro trabajo destinado á la divulgación del proyecto (1), se acusan en el Ebro, con gran precisión, tres tramos esencialmente distintos.

La índole de los aprovechamientos guarda íntima relación con las correspondientes condiciones naturales.

Los del primer tramo tienen carácter industrial. Se aprovecha para la producción de energía transportable la gran pendiente del río, los saltos de gran altura que es posible crear económicamente.

En esta zona están, entre otros, los grandes saltos de El Porvenir de Burgos y de la Sociedad Hidroeléctrica Ibérica. En varias industrias, y particularmente en la harinera, se consume la energía aprovechada mediante multitud de instalaciones menos importantes.

No se practica en este tramo superior el riego artificial porque no lo consiente el acentuado relieve del suelo ni lo exige el cultivo, en general pratense, por la abundancia, constancia y regularidad de las lluvias, elevada humedad de la atmósfera y escasa temperatura media.

El tramo medio es principalmente agrícola. El valle se abre

bruscamente. Sobre las tendidas márgenes existe una espesa capa de materiales tenues que ofrece un suelo de fácil cultivo y gran fertilidad.

Como las lluvias son escasas y poco oportunas, es preciso recurrir al riego, que se efectúa, casi exclusivamente, merced á la sangría de las corrientes superficiales.

La configuración topográfica del valle general del Ebro y la distribución y circulación de las aguas meteóricas imponen en las partes extremas de este segundo tramo el aprovechamiento preponderante de las corrientes tributarias.

Por el contrario, en la parte central, desde Logroño á Sástago, los regadíos están alimentados principalmente con aguas derivadas del Ebro.

Es esta la región de los grandes canales de riego. Comprende la zonas de la Rioja Baja, de la Ribera de Navarra, de Zaragoza y del Bajo Aragón y entre otros muchos menos capaces, los canales de Lodosa y Tauste, y el Imperial de Aragón.

Los primeros regadíos de esta zona media central disponen de agua suficiente para la satisfacción de sus necesidades actuales. Las sucesivas derivaciones van reduciendo tanto el caudal del río que no tarda en faltar la indispensable para las más apremiantes en los que les siguen.

Los regadíos inferiores vuelven á estar bien abastecidos porque la aportación de los afluentes y las escorrentías de los riegos anteriores proporcionan el agua necesaria.

La máxima escasez, que llega á ser carencia absoluta por completa desecación del cauce, como sucede en el trozo que sigue á la presa del canal Imperial de Aragón, registrase precisamente en esa zona de los grandes canales donde los regadíos adquieren su mayor extensión é importancia.

En el tercero y último tramo, los intereses industriales vuelven á ser preponderantes. Los pequeños regadíos salpicados en las márgenes del río tienen escasa importancia total. En cambio existe la posibilidad, determinada por la configuración del terreno en el cruce de la cordillera litoral catalana, y por la constancia de caudales relativamente crecidos, de crear enormes aprovechamientos de energía.

Hoy día se han realizado ya, entre otros, dos muy importantes, los de las Sociedades Electrometalúrgica, de Sástago, y Electroquímica, de Flix.

Mención aparte merecen los especiales riegos del delta, asegurados por la reciente construcción de interesantísimas obras.

Dedúcese de este ligero examen de la fisiografía del Ebro, que el interés máximo de una mejora de su régimen de estiaje está en esa zona media de los grandes canales. Y es así, no solamente porque es donde se hallan más comprometidos los mayores intereses que la beneficiosa influencia del río ha permitido crear, sino porque es donde podían ser creados otros nuevos, con ellos comparables en importancia y rendimiento.

Un estudio detenido del régimen fluvial, en relación con los aprovechamientos actuales y posibles, demuestra que se llega á obtener el máximo efecto útil del agua retenida en el embalse cuando se consigue en esa zona media la mayor regularidad.

A esta máxima regularidad deberá obedecer el régimen de funcionamiento del pantano, cuyo objeto será, por consiguiente, *asegurar en la zona media del Ebro la circulación constante de un caudal de agua tan elevado como lo consientan los recursos hidráulicos de la cuenca alimentadora.*

El cumplimiento de este propósito exigirá dar salida á las aguas acopiadas durante el invierno, en cantidad mayor ó menor, según sea menor ó mayor el caudal que circula en un lugar de esa zona convenientemente elegido.

Para el estudio han servido de base las observaciones practica-

(1) Véase *El pantano del Ebro*.—Zaragoza, 1918.

das en Zaragoza. Era la única estación de aforos aprovechable. Se ha aprovechado, y no elegido, sin que ello quiera decir que esté mal situada para el caso.

El objeto del pantano dista mucho de ser el que ha llegado á suponerse, esto es, evitar á la región aragonesa el triste espectáculo de una depauperación extremada del soberbio río cuyo nombre tan íntimamente unido está á su vida, á su ideología popular y á su historia.

El caudal que circula por Zaragoza mide la potencialidad económica del Ebro, su virtualidad, en tanto no se construyan nuevas obras de aprovechamiento ó no se amplíen los actuales consumos.

El ideal para la región y para España será que ahora se aumente el caudal todo lo posible, mucho, y después, cuanto antes,

Por el contrario, la duración de los periodos de máximo estiaje y su multiplicidad varían enormemente de unos años á otros.

Dedúcese de lo anterior que aun cuando los estiajes varíen poco, el volumen necesario para asegurar la circulación de un caudal cualquiera que le supere variará muchísimo.

Así, por ejemplo, para suplementar el caudal del Ebro de tal modo que quede asegurado el paso de 70 metros cúbicos por segundo durante el periodo estival, serían necesarios volúmenes que pueden oscilar entre valores tan alejados como los siguientes:

	Metros cúbicos.
Año 1908.....	145.000 000
Idem 1916.....	470.000.000

ALIMENTACIÓN DEL PANTANO

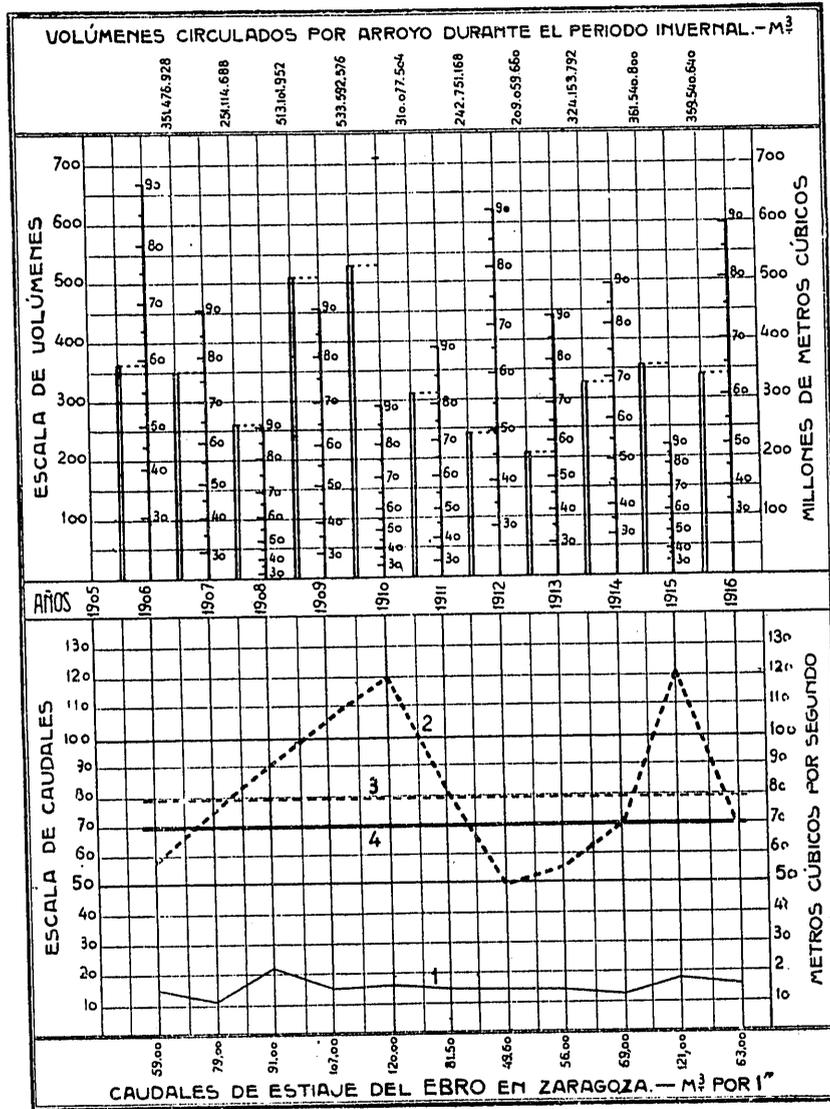


Fig. 1.ª

que vuelva á disminuir por haber encontrado provechoso y remunerador empleo de las aguas conquistadas.

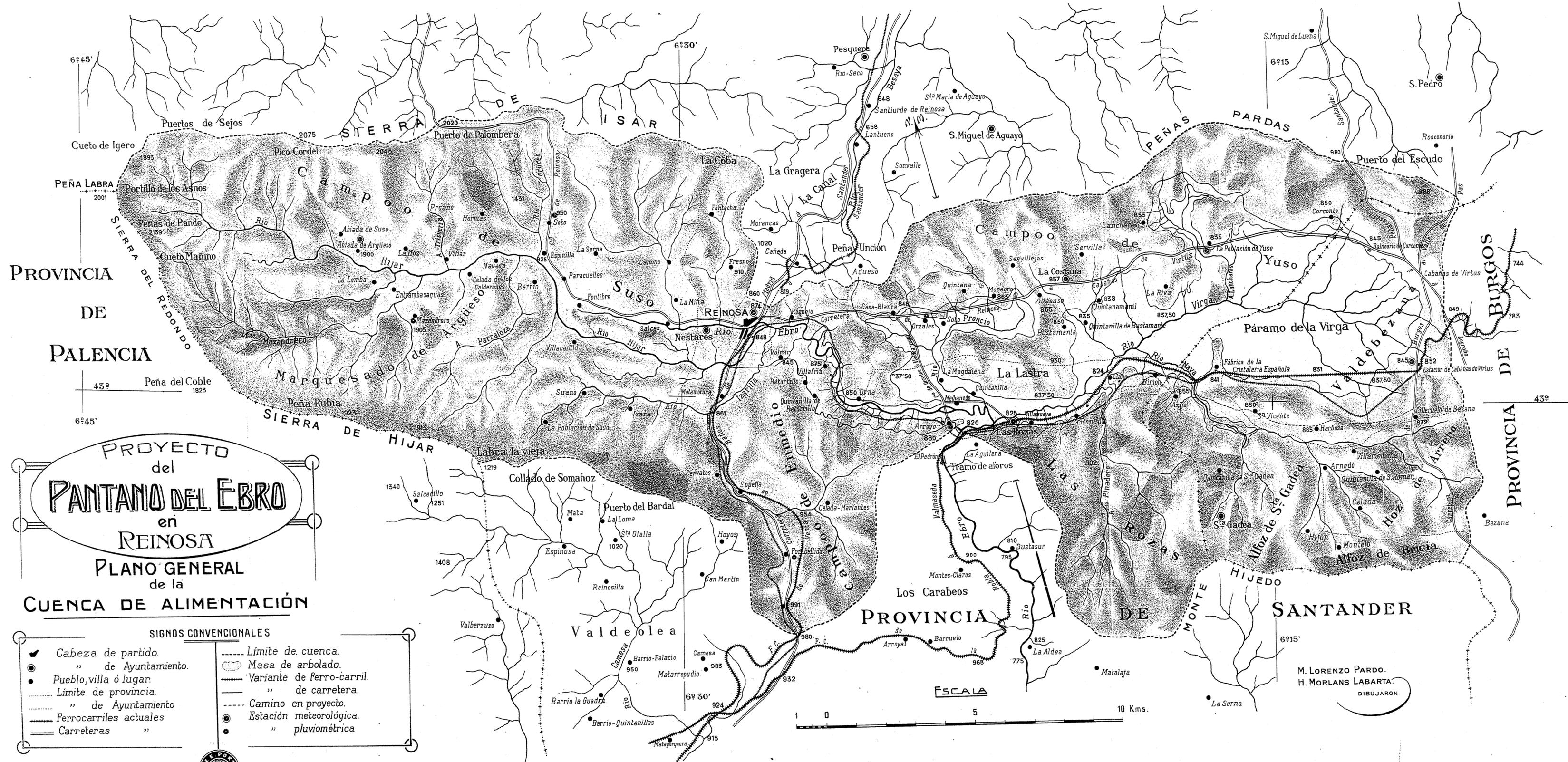
Los caudales mínimos del Ebro, los correspondientes á los días de estiaje extremado, suelen variar poco. Es natural que así suceda, pues esos caudales son debidos á las aguas filtradas por el terreno, y tienen lugar en días en que todos los años sucede lo mismo, esto es, que no llueve por ninguna parte. La causa única de la circulación de las aguas está sometida á una regularización natural y eficazísima.

La curva 1 de la figura 1.ª representa la ley de variación de esos caudales mínimos. Su examen confirma lo indicado.

Dedúcese de aquí que la disponibilidad de una reserva constante aseguraría caudales de verano mayores que los actuales, pero muy diferentes entre sí.

Análoga variación se observa en el volumen á que ascienden anualmente los recursos hidráulicos de la cuenca alimentadora del embalse.

En el periodo invernal formado por los últimos meses de 1909 y los primeros de 1910 hubieran podido recogerse 534 millones de metros cúbicos, en tanto que el de 1912-13 solamente hubiera ofrecido el volumen muy inferior de 209 millones.

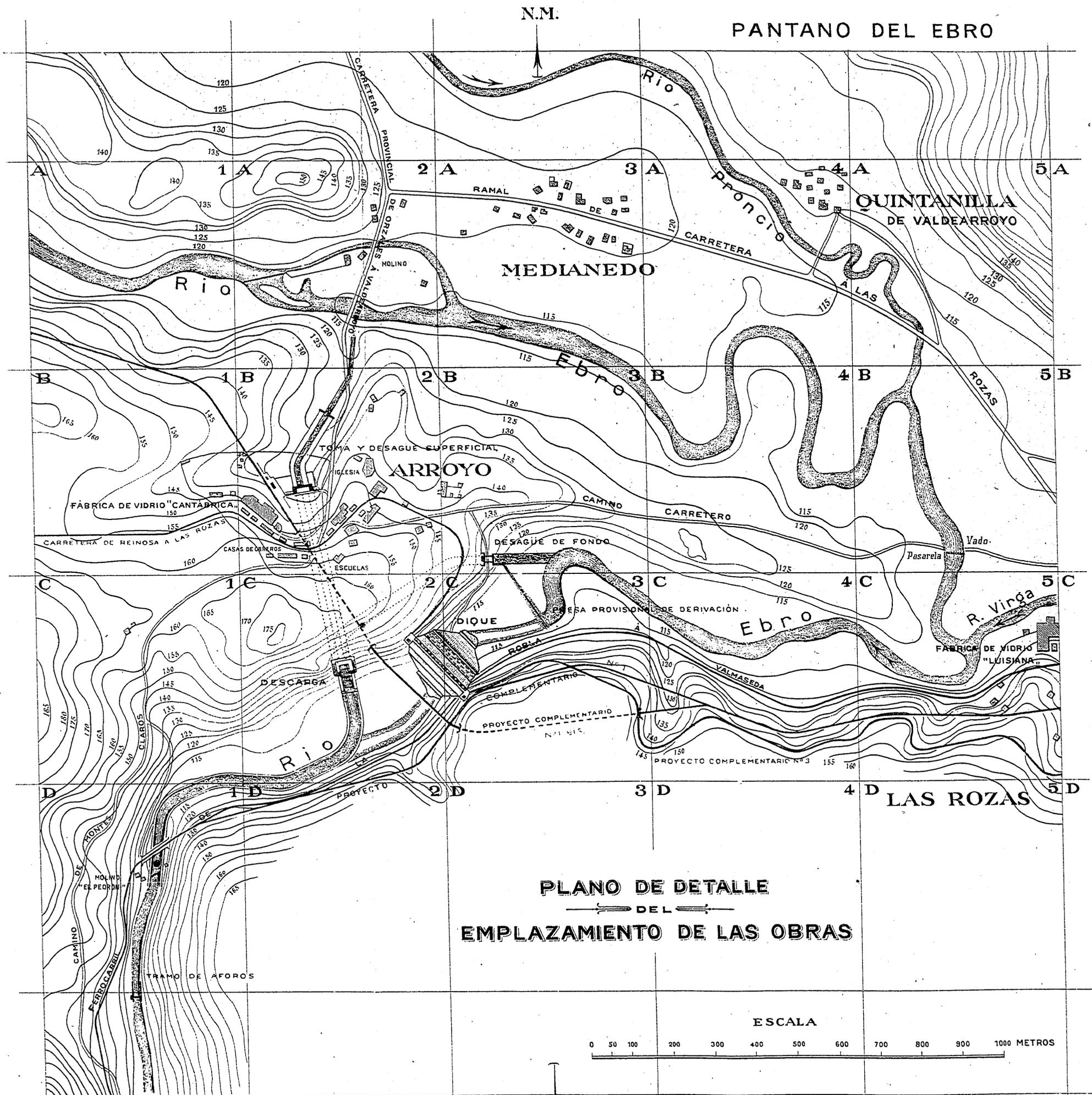


PROYECTO
 del
PANTANO DEL ÉBRO
 en
REINOSA
 PLANO GENERAL
 de la
CUENCA DE ALIMENTACIÓN

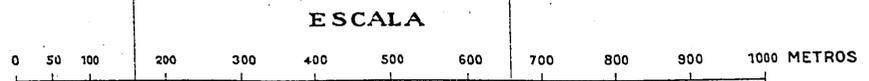
- SIGNOS CONVENCIONALES**
- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Cabeza de partido. ● " de Ayuntamiento. ● Pueblo, villa ó lugar. Límite de provincia. " de Ayuntamiento. —— Ferrocarriles actuales —— Carreteras | <ul style="list-style-type: none"> ----- Límite de cuenca. ○ Masa de arbolado. —— Variante de ferro-carril. —— " de carretera. ----- Camino en proyecto. ● Estación meteorológica. ● " pluviométrica |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



M. LORENZO PARDO.
 H. MORLANS LABARTA.
 DIBUJARON

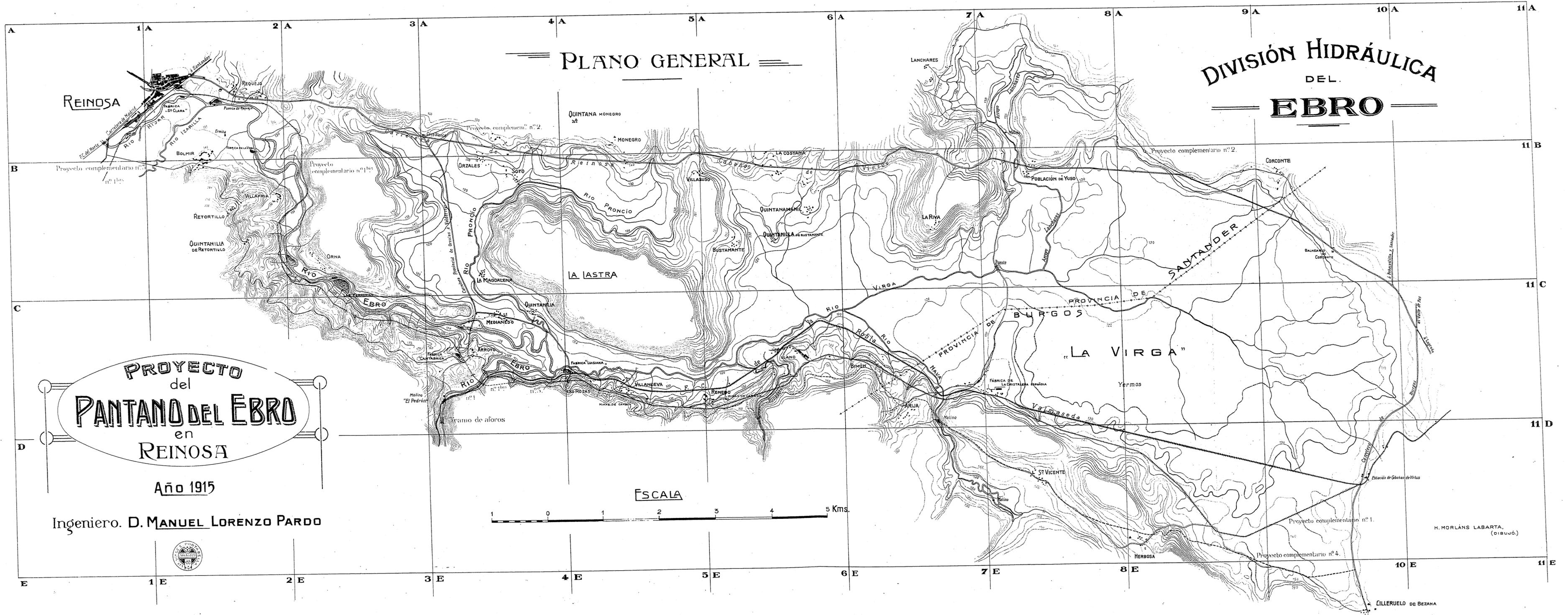


PLANO DE DETALLE
 DEL
EMPLAZAMIENTO DE LAS OBRAS



M. LORENZO PARDO.





PLANO GENERAL

DIVISION HIDRAULICA
DEL
EBRO

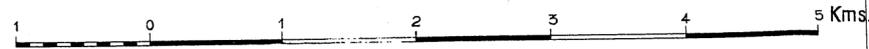
PROYECTO
del
PANTANO DEL EBRO
en
REINOSA

Año 1915

Ingeniero. D. MANUEL LORENZO PARDO



ESCALA



H. MORLANS LABARTA,
(DIBUJÓ.)

ILLERUELO DE BEZANA

Señálanse, por consiguiente, dos irregularidades: la irregularidad local, la ocasionada por la irregular caída de la lluvia en Campóo y la irregularidad general debida en parte al resto de la cuenca general del Ebro, y muy principalmente á la variación meteorológica en el Pirineo, transmitida al Ebro por el río Aragón.

Existe entre las dos irregularidades, la local y la general, un cierto paralelismo ó, mejor dicho, una correspondencia que modifica la importante y decisiva influencia de estas otras regiones vertientes, pero es una correspondencia inversa, es decir, que a un invierno seco suele suceder un estiaje acentuado ó, lo que es lo mismo, un año en el cual el volumen suplementario del Ebro debería ser muy grande, y reciprocamente.

Dedúcese de aquí que si se empleara cada verano totalmente el agua acumulada durante el invierno, los años abundantes, aquellos en que la necesidad es menor, tendrían un caudal de estiaje enorme, fantástico, en tanto que el de los años de gran sequía, de verano muy duro y prolongado, sería escasamente mayor que el actual.

Una representación gráfica fijará la idea que queremos expresar en estos párrafos. A ella recurrimos solicitando del lector un momento de atención.

Poca, será suficiente para que el dibujo le muestre lo que difícilmente lograríamos explicar de otro modo. No en balde en la expresión vulgar suele ser equivalente el calificativo de *gráfico* al de *expresivo* y *claro*.

Llevemos á partir de una línea horizontal, sobre varias líneas verticales equidistantes, longitudes proporcionales á los volúmenes aportados al embalse por la cuenca alimentadora durante los períodos invernales de acaparamiento. Dichas magnitudes son las representadas en la parte superior del cuadro por medio de una doble línea gruesa. La escala es arbitraria, puede ser cualquiera, por ejemplo, la señalada en las márgenes laterales.

Cada una de las magnitudes así acusadas es una representación gráfica del volumen de agua aportado en el correspondiente invierno.

Obsérvese desde luego que no se suceden bruscamente los años más abundantes y los más escasos, sino que entre ambos median otros de abundancia menguante y creciente.

Existe una cierta regularidad en la variación de los recursos disponibles.

Las necesidades varían más profunda é irregularmente, pero en general los veranos más secos suceden, según expusimos, á los inviernos menos abundantes.

Si sobre líneas verticales intercaladas entre las anteriores llevamos, á partir de la misma horizontal y en la misma escala empleada para la representación de los recursos, magnitudes que representen, sucesivamente, los volúmenes necesarios para asegurar la circulación por Zaragoza de 30, 40,, 90 metros cúbicos por segundo, la comparación de unos y de otros es sumamente fácil.

Cada una de las líneas intermedias se habrá convertido en una escala graduada en caudales, aun cuando en realidad se trate de una escala de volúmenes.

En términos matemáticos diríamos que son otras tantas escalas transformadas.

Un ejemplo facilitará su lectura y aclarará el concepto elemental expuesto. Durante el estiaje de 1910 hubiera sido preciso suplementar el Ebro con un volumen de 200 millones de metros cúbicos para que el caudal no hubiera bajado de 75 metros cúbicos por segundo. El mismo volumen no hubiese consentido asegurar sino un caudal de 41 metros cúbicos por segundo durante el estiaje de 1916.

Bastará medir con cada una de las escalas transformadas la representación gráfica correspondiente al invierno anterior para conocer inmediatamente el caudal que las aportaciones de cada período de acaparamiento permitiría asegurar en el de estiaje ó sequía que le sigue.

La operación ha sido efectuada gráficamente mediante el trazado de unas cortas líneas de puntos que van refiriendo cada una de las magnitudes representadas por un doble trozo grueso á la escala transformada que le sigue.

Estas mediciones sucesivas arrojan las cifras consignadas al pie del cuadro, que una simple lectura permite comprobar.

La cuantía de estos caudales de estiaje es muy variable. Así, por ejemplo, en el verano de 1910 hubiera podido ser de 120 metros cúbicos por segundo, cifra fabulosa si se compara con los actuales, en tanto que en el de 1912 no hubiera llegado á 50 metros cúbicos por segundo, caudal que apenas excede á las necesidades del momento, incluyendo ya entre ellas las que en un plazo breve ha de crear el canal de Lodosa.

La línea 2 es una representación gráfica de la variación acentuadísima de estos caudales.

Si se compara con la 1., obsérvese desde luego una importantísima mejora. En el caso desfavorable el estiaje mínimo queda triplicado.

Pero los recursos hidráulicos de la cuenca consienten alcanzar ventajas mucho mayores. Bastará para ello el sencillo artificio de conservar en el fondo de un embalse suficientemente capaz, como remanente para su empleo oportuno, las aguas sobrantes ó no aprovechadas en los veranos que siguen á los inviernos muy abundantes.

La línea representativa de este nuevo régimen de estiaje será la 3.

Hasta la considerable cifra de 80 metros cúbicos por segundo puede ser ampliado y regularizado el estiaje del Ebro en Zaragoza con los recursos proporcionados por la cuenca alimentadora.

Diversas circunstancias de carácter económico han aconsejado, sin embargo, reducir algo esta elevada cifra. El caudal asegurado guarda, en efecto, una íntima relación con la capacidad del embalse así amplificado en sus proporciones y en sus fines, y la capacidad con la superficie de los terrenos invadidos, número de viviendas afectadas y cuantía de la influencia material sobre las industrias del país....., en una palabra, con el coste total de la obra.

Un detenido análisis de la cuestión ha permitido deducir con suficiente rigor que la capacidad de coste relativo mínimo es la propuesta de 450 millones de metros cúbicos, ampliable á 540 millones mediante el manejo adecuado de ciertos órganos facultativos.

A esta capacidad corresponde un caudal de estiaje teórico de 70 metros cúbicos por segundo.

Diversas pérdidas ó faltas de aprovechamiento, muy ampliamente tomadas en consideración, no permitirían contar con un caudal superior a 65 metros cúbicos por segundo.

La curva 1 se transforma así, en definitiva, en la 4, que es expresión gráfica de la constancia de un estiaje mínimo próximamente cuádruple del medio actual.

No necesitamos esforzarnos para poner bien de manifiesto las enormes ventajas del régimen transformado. El Ebro se habrá engrosado, enriquecido, pero no al azar, sino de un modo constante, regulado.

Llegado el período de aguas bajas, alcanzará una cifra por bajo de la cual no bajará ya, cualquiera que haya sido la característica pluviométrica del año. No habrá años secos ni años abun-

dantes, malos ni buenos, todos serán sensiblemente iguales. Las cuantiosas riquezas alimentadas por el gran río quedarán completamente aseguradas.

Si de nuevo comparamos las diversas curvas de régimen de estiaje representadas en la figura, fácil es observar que la 2.—que representa el empleo anual completo de las aguas acaparadas cada invierno—ofrece cuantiosas ventajas materiales. La 4. y en mayor proporción la 3—si fuera económicamente posible—, la ofrecen de carácter moral.

Su regularidad, su constancia, constituyen, sin duda alguna, un poderoso estímulo para el intenso fomento de la riqueza pública. Y, sin embargo, la capacidad del embalse, y su coste, no superarán á los indispensables para alcanzar aquella incierta y

ma del embalse en el año 1909. Lo mismo ocurrirá en los siguientes, hasta el 1913, cuyo período de acaparamiento fué precedido de un estiaje rigurosísimo.

A partir de esa fecha, las reservas se irán agotando, pero siempre quedará, aun en los años más apurados, un remanente de esa importancia relativa, pero suficiente, sin embargo, para cubrir el fondo del embalse.

De nuevo, en el año 1915, vuelve á haber un volumen sobrante entrando en otro período de abundancia hacia cuyo probable fin nos encontramos.

Claro es, que cuando la capacidad máxima del embalse es alcanzada, la sustracción del volumen consumido debe ser hecha á partir del límite de esa capacidad. El resto tiene que ser forzosamente

RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO DEL PANTANO

AÑOS	CAUDAL ASEGURADO EN ZARAGOZA 70 M ³ POR 1 ^o												FALTAS	VOLUMENES TOTALES								
	SOBRANTES						CAPACIDAD DEL PANTANO 540.000.000 M ³							APORTADO M ³	NECESARIO M ³	REMANENTE M ³	DISPONIBLE M ³	SOBRANTE M ³				
	J	M	A	M	F	E D M	J	M	A	M	F	E D M										
1907																		351.476.928	302.339.283			
1908																		251.114.688	148.484.513	49.137.646	306.252.333	"
1909																		513.101.952	151.767.820	540.000.000	124.869.772	
1910																		533.592.576	300.034.713	239.965.287	540.000.000	233.557.863
1911																		310.077.504	168.528.642	371.471.358	540.000.000	141.548.862
1912																		242.751.168	231.715.155	308.284.444	540.000.000	11.035.612
1913																		209.059.660	429.280.992	110.719.008	319.778.668	"
1914																		324.153.792	296.828.864	32.939.804	357.093.596	"
1915																		361.540.800	336.236.607	20.856.989	382.397.789	"
1916																		359.540.640	149.187.744	233.210.045	540.000.000	52.750.685
1917																			394.955.741	145.044.259		

Fig. 2.^a

variable ventaja material, puesto que ha habido años como los comprendidos en el período 1908-10, en los cuales la aportación hubiera sido superior á 510 millones de metros cúbicos, y son frecuentes las aportaciones anuales de 350 á 400 millones de metros cúbicos.

¿Cómo puede ser conseguido este inestimable efecto sin sensible aumento en el coste de la obra? Pues sencillamente, mediante el artificio que indicamos ya. Una representación gráfica sumamente elemental y clara le mostrará mejor que cualquier explicación (fig. 2.^a).

Nos referimos siempre al mismo período 1906-17 y manejaremos las mismas escalas empleadas en el cuadro anterior.

Fácil nos será, operando con los trocitos de recta que representan, respectivamente, el volumen aportado por la cuenca, y el consumido para asegurar los 70 metros cúbicos por segundo, reproducir la supuesta realidad.

Al volumen acaparado durante el primer invierno 1906-7, quitémosle el consumido en el transcurso del verano siguiente. Quedará un remanente que será engrosado por la aportación del año próximo.

Se irán así acumulando los remanentes del primer período de abundancia. Sobrará agua, y llegará á ser rebasada la altura máxi-

mente perdido, y este volumen que hubiera llegado á alcanzar la considerable cifra de 233.500.000 metros cúbicos en el año 1910, es el que reduce en unos 10 metros cúbicos por segundo (fig. 1.^a), el efecto regulador máximo teórico del embalse.

Sobre la línea de doble trazo grueso que representa, en la figura 2.^a, la alimentación anual, se ha señalado, por la correspondiente inicial, la porción que aporta cada mes. Esta notación permite ver que en los años abundantes puede quedar lleno el embalse hacia el mes de Abril, pero en ningún caso mucho antes. Como las grandes avenidas de primavera, las que con gran diferencia superan á las otoñales, tienen lugar al principio de la estación, el pantano las recibe y retiene. De este modo llegarán á desaparecer las que en un largo trayecto de río ocasionan frecuentes daños y perjuicios, por inundación, arrastre é interrupción de comunicaciones.

De la misma representación pueden deducirse observaciones que se refieren á diversas circunstancias que, en gran proporción y elevada cuantía absoluta, afectan á la vida local y muy especialmente á la marcha actual y futuro desarrollo de sus industrias.

Desistimos de pasarles revista por no fatigar la atención del lector, acreditado ya de sufrido. Nos limitamos á señalar la muy

característica de oscilar el nivel del agua en el embalse entre límites relativamente próximos, que corresponden; á la capacidad de 100 á 150 millones de metros cúbicos, y á la total de 450 á 540 millones de metros cúbicos. Esa oscilación habitual ú ordinaria será de unos 10 metros, ó sea una mitad de la altura ó profundidad máxima del embalse.

Véase por qué hemos calificado al pantano del Ebro de lago artificial de nivel variable y regulable.

CAPÍTULO III

Las obras.

Por necesidad nacida de la índole especial del proyecto, de su misma importancia, nos vimos obligados á prescindir de antecedentes inadecuados y engañosos, ó por lo menos muy difícilmente aprovechables, supliendo su forzosa falta por un intenso esfuerzo de atención.

Y no fué porque mediara un propósito inicial deliberado, antes por el contrario, habíamos procurado documentarnos con el conocimiento de las disposiciones adoptadas en los grandes pantanos para seguirlas en la medida de lo posible, garantizando el éxito de la empresa. Fué porque ese mismo estudio llegó á convencernos de aquella necesidad.

Cada una de las grandes obras comparables con ésta es única. Es la resultante de condiciones geográficas, políticas, sociales y económicas, propias, especialísimas. Basta pasar revista á los nombres de las más importantes para quedar convencido de ello.

Utilizamos, claro está, las adquisiciones más reconocidamente firmes de la técnica universal, sin separarnos un ápice de sus más elementales y conocidos preceptos, pero dispusimos las obras de acuerdo con las conclusiones de un proceso analítico, lógico y riguroso.

Los elementos fundamentales y característicos del problema ofrecen á la trabazón ideológica de este proceso una base que la ininterrumpida adquisición de nuevos datos hace, por fortuna, cada día más sólida.

El régimen del funcionamiento del pantano no solamente define el programa completo de las obras, sino que fija su naturaleza y principales dimensiones.

Lo que no queda precisado por los fines esenciales y definitivos lo está por imposiciones del procedimiento de construcción.

Todas las obras—nos referimos á las propiamente hidráulicas—están íntimamente relacionadas, constituyendo un conjunto orgánico.

Pueden ser cambiados los materiales ó las fábricas, reducido ó aumentado el espesor ó fortaleza de los elementos resistentes y aun sustituido el sistema de su ejecución, pero no podrán ser fundamentalmente variadas la situación, la disposición ó las dimensiones esenciales de una de ellas, sin que se imponga un cambio profundo en las demás.

No obstante esta íntima y reconocida dependencia, con objeto de facilitar su descripción y justificación, dividiremos dichas obras en tres grupos, cuya finalidad expondremos sucintamente.

1.º La presa ó dique de un pantano es su obra esencial. Cierra el paso á las aguas completando el contorno natural del valle ó depresión que ha de contenerlas, en una palabra, crea el embalse. Pero la construcción de una presa sobre el lugar ocupado por las aguas del río, sobre su mismo cauce, en cuyo fondo es forzoso buscar, por medio de profundas excavaciones, un sólido apoyo, exige la desviación de la corriente. En el pantano del Ebro, esta desviación será efectuada mediante una presa provisional que deriva las aguas hacia una galería previamente abierta en la ladera

derecha. Por ella discurrirán las aguas del Ebro en tanto se efectúa la construcción del dique.

Este dique con su galería aneja, que por su situación será llamada de fondo, constituye el primer grupo, el de las *obras de cerramiento ó establecimiento*.

2.º Las aguas retenidas en el embalse lo serían sin finalidad y sin provecho si no se dispusiera de un medio de proporcionarles oportuna y discrecional salida. Las tomas ó desagües facultativos la ofrecen. Su conjunto forma, con otras de carácter secundario, el grupo de las *obras de explotación*.

3.º Por último, debe haber obras destinadas á garantizar la existencia del pantano. Esta exige la evacuación de las aguas por descargas ó aliviaderos tan amplios que en ningún caso, aun en el extremo de sobrevenir una gran avenida estando lleno el embalse, puedan llegar á rebasar la coronación de la presa. Los desagües que consienten y facilitan la salida de las materias arrastradas por las corrientes alimentadoras tienen también carácter de *obras de seguridad*.

Únicamente el dique y el aliviadero de superficie ó sobradero tienen un objeto bien definido y exclusivo. Los desagües y tomas restantes tienen un objeto múltiple y un carácter mixto.

CAPÍTULO IV

El dique.

El proyecto de la presa ó dique del pantano está informado por la imperiosa exigencia de una seguridad suprema.

Importantísima es la conservación de esta obra á cuya existencia irán unidos, con insustituibles lazos de dependencia, intereses enormes, pero aun siéndolo no obligaría á la adopción y acumulación de todas las garantías que demanda la seguridad de una zona cuya población, muy densa, se ha establecido en las

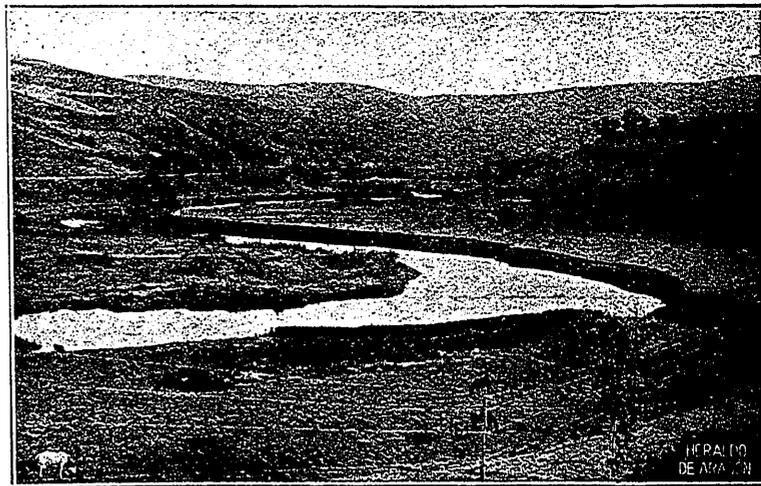


Fig. 3.^a

EMPLAZAMIENTO DEL PANTANO.—Lugar de emplazamiento del dique ó presa del pantano, visto desde aguas arriba.

proximidades del río, cuando no en su orilla misma, cumpliendo una ley natural ineludible (fig. 3.^a).

Las colosales proporciones del vaso y su emplazamiento imponen esa acumulación. No es lo mismo proyectar y construir una presa destinada á cerrar el paso de varios centenares de millones de metros cúbicos, que hacerlo para crear un embalse de capacidad reducida ó corriente, y no es tampoco igual construirlo en la cabecera de nuestro primer valle general—sobre el Ebro—, que en un país inculto ó despoblado.

Al idear la estructura de la presa obedecemos, sin hacer ningún esfuerzo por evitarlo, á la sugestión obsesionante de esta imperiosa exigencia. Y en tal ocasión sí que tuvimos bien presente

la experiencia que ofrecen los más importantes desastres ocurridos por la rotura ó desquiciamiento de una presa de embalse.

Afortunadamente esta provechosa enseñanza no puede ser adquirida en nuestra Patria, no obstante la remota antigüedad de sus presas, conocidas y estudiadas por los Ingenieros de todo el mundo; pero á pesar de ello un triste antecedente, muy anterior al desarrollo incesante y creciente de las obras de riego, ha dejado un recuerdo perdurable, que sale con frecuencia al paso de cualquier iniciativa ó proyecto de esta índole.

En el presente caso no bastaría el convencimiento personal de la seguridad. Es preciso que ese convencimiento se generalice, que se incorpore á la opinión pública, llegando hasta el extremo de impresionarla por la magnitud del obstáculo opuesto al paso amenazador de las aguas, aunque sin omitir por ello las precauciones y cuidados que exigiría una construcción de resistencia estricta ó escasa.

Tratándose de los intereses que el pantano del Ebro está llamado á mejorar, ampliar ó crear el coste de cualquier suplemento de obra, por grande que fuera, representaría una insignificante prima de seguro.

El tipo de presa ideado obedece fielmente, aunque sin exageraciones pueriles, á este amplio criterio. Conviene por igual á la naturaleza del terreno que ha de servirle de apoyo y á la proporción en que el país ofrece los materiales necesarios.

En la información que precede á estas notas están expuestas con toda claridad las razones por las cuales optamos por un dique mixto de piedra suelta—ó escollera—y tierra. Lo que ahora pu-

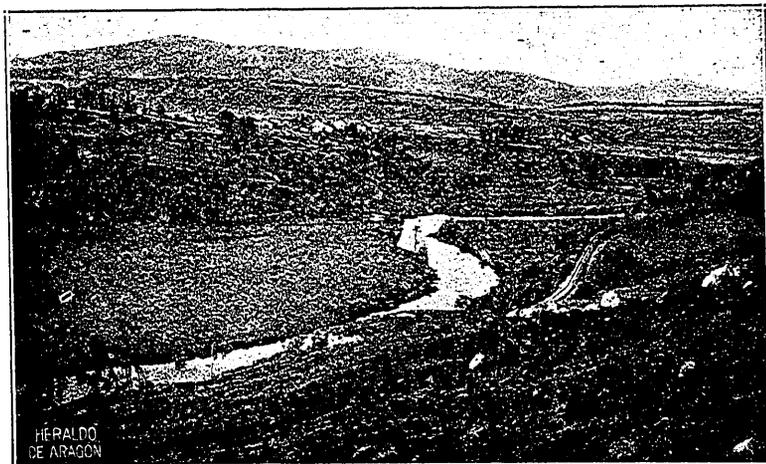


Fig. 4.^a

EMPLAZAMIENTO DEL PANTANO.—El mismo lugar observado desde la ladera izquierda del Ebro, aguas abajo.

diéramos decir en apoyo de esta solución, sin traspasar los límites que nos hemos señalado, sería una repetición innecesaria.

En cambio, consideramos interesante exponer la consideración en que se funda esencialmente el proyecto y diseño de esta importante obra.

Si se examina atentamente la constitución geológica del terreno que sirve de asiento al dique, obsérvase que está formado por una sucesión de capas que cambian de carácter en el propio lugar de su emplazamiento (fig. 4.^a). Las capas inferiores—las areniscas, calizas y conglomeradas—son duras, elásticas, resistentes.

Sobre ellas se apoyan otras de gran plasticidad y homogeneidad, como son las margas carbonosas, el carbón y las areniscas blandas que sirven de lecho á los terrenos de formación reciente ó actual.

Aquéllas constituyen el caparazón ó parte resistente del vaso, cuyo desgaste ó rotura dió lugar á la apertura del valle y á la desaparición del antiguo lago.

La impermeabilidad del vaso estaba encomendada á las segundas, las cuales por su origen—la sedimentación en el fondo de aguas tranquilas—y su naturaleza son de una continuidad y compacidad extraordinarias.

Parece lógico que al intentar una reconstitución geológica procuremos reproducir, con los medios que la técnica pone á nuestro alcance, el obstáculo natural que en una época remota, cuya duración escapa al alcance de nuestros conocimientos, cerraba la salida actual del valle.

La desaparición del obstáculo fué, sin duda, el resultado de una acción fabulosamente lenta, originada por causas extinguidas ó muy atenuadas que, en su día, serán contrariadas ó anuladas por la futura existencia de las obras.

El núcleo de escollera en prolongación de las capas resistentes y el macizo arcilloso, impermeabilizador perfectamente arraigado en las margas, vienen á cumplir este programa esencial.

Para asegurar la indeformabilidad del núcleo se proyecta rellenar los huecos de la escollera—todos los espacios vacíos entre piedra y piedra—con arena depositada por sedimentación. En tales condiciones la arena, contenida entre obstáculos resistentes y fuera del alcance del agua, es firme é incompresible.

La operación será muy fácil, rápida y económica, porque este material existe en cantidad inagotable en lugar próximo á la obra y con ella relacionado por la línea del ferrocarril hullero.

Completan el perfil del dique, en sus líneas generales, una pantalla de mampostería apoyada sobre el macizo estable ya descrito, y un revestimiento de resistencia variable y proporcionada á la importancia que en cada lugar podrá llegar á adquirir la acción erosiva del oleaje.

El revestimiento se apoya sobre la coronación de un antedique ó dique provisional que deberá ser construido totalmente en una sola campaña, ó sea durante un estiaje completo. El plazo es de unos ciento cuarenta días y el volumen á ejecutar de 75.000 metros cúbicos, de modo que debe avanzar á razón de unos 500 á 550 metros cúbicos por día.

Al amparo de este antedique podrá ser ejecutado, sin limitación de tiempo y con todo el cuidado necesario, el dique definitivo, cuyo volumen total se eleva á la considerable cifra de 300.000 metros cúbicos.

La construcción del antedique exige la ejecución previa del desagüe de fondo y de la presa provisional de derivación.

Todos los detalles de la estructura del dique tienen un objeto especificado en la Memoria del proyecto y son el resultado de una previsión. No es de este lugar su justificación, pero bueno será advertir que la disposición general, por sí sola, garantiza la estabilidad, sin que sea forzoso que todas estas previsiones queden cumplidas. Ni siquiera es preciso que el dique sea impermeable para que su estabilidad quede asegurada.

Un solo dato bastará para proporcionar una idea justa de la solidez de esta presa. El peso del núcleo es diez veces mayor que el empuje ejercido por el agua, y sería preciso para obligarle á correr ó deslizar que este empuje le superara ó que, por lo menos, fuera igual á él.

Aun siendo elevado este margen no es, sin embargo, sino uno de los varios factores que intervienen en el coeficiente de seguridad. Con el mayor alcance que en nuestros labios pueda tener la palabra *imposible*, es aplicable á la probabilidad de que ocurra un accidente desastroso en la presa del Ebro.

No dejará de estimarlo así quien quiera que presencie la construcción y, antes de llegar á ese caso, quien examine atentamente la sección que reproducimos (fig. 5.^a), y compare sus dimensiones con las que tienen las obras de ingeniería que recuerde ó tenga á su vista.

Se trata de una montaña cuya fortaleza real superará á la aparente; montaña artificial que por tener su parte esencial, su entraña, formada por voluminosos elementos independientes entre sí, resistirá toda clase de acciones, incluso las más distantes de nuestra previsión.

Nada más lejos de lo probable ó previsto que un movimiento acentuado del terreno, ó un rebasamiento de su coronación por las aguas del pantano y, sin embargo, el dique podría resistirlos sin agravar, en proporciones apocalípticas, las catástrofes que originarían esos fenómenos sin precedente.

Esa montaña puede ser erigida fácil, rápidamente, por medios mecánicos sencillos, cuyo manejo es del dominio de los constructores modernos, y de los que siempre podremos disponer.

Nada de legiones de hombres dedicados á la conducción y co-

mente gran importancia por ser reducidísima su pendiente longitudinal y muy amplia y suave su zona baja, á fin de no interrumpir inmediatamente el paso ó aprovechamiento de los caminos que la cruzan, alguno de ellos objeto de variante, cuya terminación habría de preceder, si tal inundación tuviera lugar, á la ejecución de las obras hidráulicas, retrasando considerablemente su terminación.

Las cotas más bajas de estos caminos son las siguientes (1):

	Metros.
<i>Carretera de Orzales á Valdearroyo.</i>	
Puente sobre el Ebro, frente á Arroyo.....	118,45
Idem id. el Proncio, contiguo á Quintanilla.....	114,84
Idem id. el Virga, frente á Las Rozas (ramal de Medianedo á Las Rozas).....	114,70
<i>Camino de Arroyo á Las Rozas.</i>	
Pasadera contigua á un vado.....	115

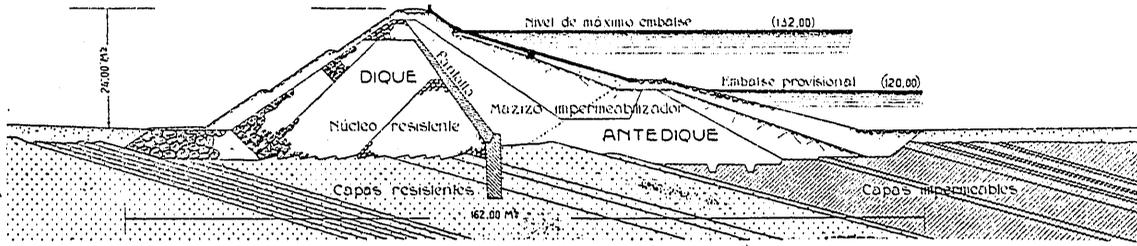


Fig. 5.ª

locación, con abrumador esfuerzo, de los voluminosos cantos. Un doble cable aéreo aportará los que el aire comprimido y la dinamita se encargarán de extraer de los espesos bancos de La Lastra y de las canteras más próximas. El cable transportador estará relacionado con un sistema de distribución, también aéreo, que permitirá colocar los cantos en el debido lugar, y una red de vías, de conducciones de agua y de electricidad, completará la instalación.

El trabajo inteligente, digno y noble, de unos cuantos obreros, realizará en plazo breve una obra que, aun siendo de menor cuantía que otras similares, es comparable con las que solamente la soberbia de una estirpe, asistida por el fanatismo de una raza y apoyada en un régimen tiránico, pudo imponer al esfuerzo de los hormigueros humanos que erigieron las más imponentes de la antigüedad.

CAPITULO V

Los desagües.

Desagües de fondo.—Altura más conveniente.—La situación y capacidad de los desagües vienen perfectamente definidas por el régimen de funcionamiento del embalse y por exigencias del sistema general de construcción de las obras.

En tanto dure la del dique provisional ó antedique, es forzoso derivar el río por una ó varias galerías laterales aprovechables para establecer los desagües de fondo del pantano.

Aquel régimen de funcionamiento, las especiales características del embalse y la naturaleza de las aguas que le alimentan consiente que el umbral de la boquera de estos desagües esté bastante por encima del fondo del valle.

No hay inconveniente alguno en que quede sin aprovechamiento una parte cuyo volumen sería en cualquier caso insignificante ó por lo menos sumamente reducido en relación con el total, pero razones de índole constructiva obligan á situarlo á esa altura sobre el nivel del lecho del río.

Conviene, en efecto, no provocar con la presa provisional de derivación una inundación del fondo del valle, que tendría fácil-

La cota más reducida—114,70 metros—disminuida en el espesor de lámina vertiente necesario para que sobre la presa provisional de derivación pase el mayor caudal que en la actualidad no llega á interceptar el puente de Las Rozas—esto es, en 0,50 metros—, señala la altura máxima que la coronación de aquella puede tener, y la mayor carga con que es posible contar para la evacuación de los caudales que habitualmente circulan por el río durante la época en que el antedique ha de ser construido.

Para asegurar dicha evacuación, facilitando así la más rápida y feliz ejecución de esta parte de las obras, convendrá que la profundidad de la boquera de las galerías bajo la coronación de la presa de derivación sea grande, á fin de que pueda serlo también el caudal derivado sin que la sección transversal resulte exagerada; pero el nivel del río viene á limitarla, pues es necesario que la solera quede sobre él, al objeto de conseguir que la apertura de las galerías pueda ser efectuada antes de interceptar el curso de las aguas y, por consiguiente, en seco.

El nivel de la superficie del río en aguas bajas, en la situación actual, es decir, contando con el extenso remanso provocado por la presa del molino de El Pedrón, es de 111,40 metros, y el correspondiente á aguas altas ordinarias, de 111,90 metros. El umbral de entrada á las galerías podrá, pues, estar, á lo sumo, á la cota 112 metros.

Es indispensable que el de los cierres propiamente dichos quede algo más alto, no solamente para consentir su instalación, sino también para facilitar la evacuación de los grandes volúmenes de agua á que los vanos de desagüe pueden dar salida á plena carga, acondicionando de un modo conveniente las obras.

El umbral de dichos vanos quedará enrasado á la cota 113 metros, y ésta es la cota con que habrá que contar para la determinación teórica de su sección.

Altura de las tomas para el suministro normal.—La toma de

(1) Todas las cotas del proyecto están referidas á un plano de horizontal comparación definido por una señal fija próxima al tramo de aforos. A dicho plano le fué asignada una cota arbitraria, la de 100 metros, al hacer los primeros trabajos, y se ha conservado en los definitivos para facilitar las compulsas y comprobaciones. La altura del plano de comparación sobre el nivel medio del mar en Alicante es de 807,80 metros.

aguas dispuesta para el servicio normal deberá estar situada á una altura intermedia ya definida, en términos generales, en un capítulo anterior (1); es la altura á que normalmente llegan las aguas retenidas en el embalse al final del período estival, de servicio ó de suministro.

Este nivel mínimo anual rebasa normalmente la altura correspondiente á un volumen conservado de 40 millones de metros cúbicos, y oscila bastante, á consecuencia de las grandes variaciones del régimen fluvial, alrededor de una cota media, la ya indicada, de 123 á 124 metros.

Esta gran variabilidad por un lado, y por otro la conveniencia de aprovechar las tomas como aliviadero de superficie para garantizar la evacuación normal de las avenidas durante el período de construcción del dique provisional, sin exagerar la altura de éste, aconsejan situar el umbral de dichas tomas al nivel más bajo que aquellas variaciones señalan.

De este modo el dique provisional no tiene demasiada importancia y puede ser ejecutado durante una campaña, según conviene al procedimiento y marcha generales de las obras.

La cota fijada para el umbral de estas tomas es la 120, por bajo de la cual queda un volumen de 44 millones de metros cúbicos, cuyo aprovechamiento representa, por su escasa importancia relativamente á la capacidad total del embalse, un desagüe ó vaciado casi completo al que muy excepcionalmente habrá que recurrir.

Determinación de la sección teórica de los desagües.—Parece deducirse de aquí que el manejo de las compuertas correspondientes á las tomas intermedias podría bastar, en condiciones normales, para el servicio de suministro de agua ó alimentación suplementaria del río si su sección ó abertura fuesen las necesarias en relación con el caudal á suministrar y con la carga de agua disponible en el embalse.

Es forzoso, sin embargo, recurrir á los desagües de fondo, en cuanto el nivel de las aguas alcanza una altura media en el embalse, para que la sección de las aberturas de toma no necesite tener proporciones fantásticas.

Dicha sección va creciendo rapidísimamente, de un modo proporcional á la inversa del cuadrado de la altura de agua ó carga sobre el umbral, tendiendo á hacerse infinita—por pequeño que sea el caudal á suministrar—conforme el nivel del agua tiende á llegar en su descenso al de la solera.

Un estudio gráfico (figuras 6.^a á 12) efectuado para decidir las proporciones que los diversos desagües del pantano deben tener aclarará completamente la cuestión.

Ha servido de base para tal estudio el régimen de funcionamiento del pantano durante los períodos estivales comprendidos en el plazo 1908-14, el mismo que ha sido utilizado para el de su régimen de alimentación.

Para cada uno de los siete períodos se ha trazado un gráfico distinto. La escala horizontal corresponde al tiempo; las verticales, en número de seis, á las diferentes cantidades cuya ley de variación en el transcurso de aquel ponen de manifiesto las diversas curvas.

La primera escala vertical (lado izquierdo del dibujo) es la de alturas. Está graduada en cotas absolutas contadas á partir del plano general de comparación. El origen de la escala corresponde á la del fondo del valle en el lugar de emplazamiento de la presa, aproximadamente 112 metros. El escalón—constante—es de un metro y está representado en el dibujo por 0,01 metros.

A partir de la horizontal inferior—la de cota 112—, se han levantado ordenadas proporcionales á los caudales á suplementar

cada día para conseguir la transformación prevista en el régimen del Ebro.

La unión de sus extremos da lugar á una curva muy irregular y movida, que con el eje horizontal limita una superficie cuya área es la expresión del volumen total suplementario durante todo el período de escasez.

Los descensos frecuentes y acentuados de dicha curva corresponden á otras tantas crecidas bruscas del río, en su parte media, debidas á las tormentas y aguaceros de verano. Estas depresiones ó deformaciones de la curva no alteran su forma general, expresión gráfica de la ley de variación de las deficiencias de caudal que está representada por la curva envolvente, ó sea por la que resulta de unir los puntos ó trozos más elevados de la anterior.

Esta curva envolvente ha sido la utilizada para la determinación teórica de la sección de los desagües.

De la curva *V*, que representa la marcha descendente del volumen almacenado en el embalse conforme avanza el período de suministro, se ha deducido por una sencilla transformación, facilitada por la curva de capacidad (1) la *h*, que nos muestra como va descendiendo el nivel de las aguas en el embalse. El origen variable de *V* (línea de trazo grueso y negro) está en cada año á la altura (según la escala de volúmenes) que corresponde al que se ha logrado acaparar en el período invernal anterior, ya sea debido á los recursos hidráulicos propios, ya sea la resultante de la acumulación de los sobrantes en años anteriores.

Conocida ya la carga de agua sobre los desagües, cuyos umbrales y altura (fijada por consideraciones de índole práctica ó constructiva) lo son también, fácil es la determinación de la sección teórica que cada uno de ellos deberá tener.

Las curvas *v* y *v'* representan las leyes de variación de la velocidad de salida debida á la carga decreciente sobre los sucesivos centros de presión de los vanos superiores é inferiores.

Las *S* y *S'* las secciones teóricas correspondientes. Las ordenadas de estas últimas curvas resultan de dividir en cada punto ó instante las de la curva inferior ó de caudales por las *v* y *v'*.

Tanto las ordenadas de estas últimas como las de *S* y *S'*, se han tomado á partir de la horizontal trazada á la altura á que ha de estar el umbral correspondiente. Para mayor claridad se han dibujado de un color—negro—, las *v* y *S* que pertenecen á las tomas intermedias, y de otro—rojo—, las *v'* y *S'* pertenecientes á los de desagües de fondo.

Examinando los gráficos así formados, obsérvase que durante los años 1908, 1909, 1910, 1911 y 1912 los desagües más altos hubieran sido suficientes para hacer el servicio previsto sin que su sección—inferior á 6 metros cuadrados—resultara exagerada. Ello es debido á que la curva *h* queda al final del período bastante por encima de la horizontal 120 metros, ó, lo que es lo mismo, que el pantano no hubiera sido vaciado, quedando siempre un remanente ó sobraute que, aun no siendo de gran importancia absoluta, ocupa el fondo ó parte menos capaz del vaso alcanzando una altura relativamente grande. Tan sólo al final del año 1912—el de verano más seco—el descenso de *h* fué tan acentuado, que en los últimos días de Octubre fué alcanzada la altura del dintel de las tomas intermedias; pero como quiera que el caudal á suministrar se había reducido también mucho, á consecuencia de la crecida de los afluentes inferiores provocada por las primeras lluvias de otoño, hubiera podido hacerse el servicio á través de la misma sección exigida por aquél en épocas anteriores, sin necesidad de recurrir á los desagües de fondo.

No así durante los años 1913 y 1914 que siguieron al invierno

(1) Capítulo II, «Régimen de funcionamiento del pantano.» Capacidad.

(1) Expresión gráfica de la ley que sigue el crecimiento de la capacidad del embalse, cuando crece la altura máxima de agua embalsada.

no 1912-13, tan excepcionalmente seco. Hacia mediados de Septiembre en el primer año, y hacia mediados de Octubre en el segundo, la curva h llega á alcanzar en su descenso la altura del umbral de las tomas.

Obsérvase en ambos años la marcha rapidísima ascendente de la curva S , que es asintota de la vertical trazada por el punto de encuentro de la curva h con la horizontal 120. Tal es la representación gráfica del concepto más arriba expuesto.

Bastante antes de llegar al valor $h = 120$, la reducción en la ordenada de v , es tan acentuada, que la de S se hace exageradísima. Lo es mucho más en cuanto la altura llega á ser la de los dinteles, á partir de la cual la salida por los vanos obedece, por funcionar sin carga, á leyes experimentales distintas.

Tal altura ha sido la fijada para limitar la sección de las tomas. En cuanto el nivel del agua la alcanza, es forzoso recurrir á los desagües de fondo. Conforme desciende por bajo de ella, la capacidad de descarga de dichas tomas va decreciendo hasta llegar á anularse cuando h alcance el valor 120 metros. De ahí el punto anguloso que tiene la curva S en los gráficos correspondientes á los años 1913 y 1914.

La intervención indispensable de los desagües de fondo va aumentando hasta alcanzar un valor máximo, y desciende después hasta anularse al terminar el período de suministro, que es cuando todos los desagües deberán quedar cerrados para retener el volumen de aguas sobrante.

En los gráficos aparece representada por una línea de puntos, la curva que separa la parte del caudal que puede seguir circulando por las tomas, después de ser rebasada la altura límite, de la que forzosamente ha de salir por los desagües de fondo. Esta última exige una sección cuyos sucesivos valores, deducidos en la misma forma, ya explicada, están representados por las ordenadas de una línea roja, de puntos, trazada por bajo de la S , curva que arranca de la horizontal $h = 113$ en el punto correspondiente al instante en que $h = 122,50$ metros (altura del dintel de las tomas) y es tangente á S' en el punto definido por la abscisa del que, en la curva h , tiene una ordenada igual á 120 (altura del umbral de las tomas).

La ordenada del punto anguloso de la curva S y la máxima de la que acabamos de indicar serán las secciones máximas de las tomas y desagües de fondo durante los años 1913 y 1914. En las mismas figuras puede verse que tales secciones—10, 30 y 3,90 metros cuadrados, respectivamente—son superiores á las indispensables en otros años, ó lo que es lo mismo, que si son esas

las adoptadas, no será preciso levantar por completo las compuertas hasta el final del período de suministro aun en años que tengan carácter excepcional, ya por la gran demanda de agua durante el estiaje, ya por la escasa altura que haya alcanzado en el pantano durante el invierno anterior.

Réstanos adelantar la respuesta á una objeción que inmediatamente pudiera hacerse; la que sigue: Parece ser que puesto que la sección calculada como indispensable para los desagües de fondo—3,90 metros cuadrados—en los años extremos—1913 y 1914—es superior á las que por sí solas bastarían para el servicio durante las normales—1908 á 1913—huelga el desagüe intermedio ó toma.

Aceptada como conveniente, y aun como necesaria, la existencia de éste por consideraciones anteriormente expuestas y por razones de índole práctica—que son de gran valor—parece también que bastaría con una sección comparable á la necesaria durante los años normales—unos 5 ó 6 metros cuadrados, por ejemplo—, recurriendo antes á los desagües de fondos cuya sección debería ser aumentada, aunque en menor proporción y, por consiguiente, con menor gasto.

Ello no es así, sin embargo. Aparte de la enorme conveniencia de disponer de amplísimos desagües á la altura en que normalmente cesa el suministro, capaces, como son los proyectados, de hacer inútil la construcción de un costoso aliviadero de superficie y de consentir su sustitución por otro medio de descarga mucho más económico y muchísimo más eficaz aprovechase de un modo realmente efectivo la gran ventaja que procede del escalonamiento de las compuertas, sobre las que no será preciso actuar sino cuando la carga que sobre ellas insista sea prácticamente muy reducida, lo que hará su manejo cómodo y su conservación sumamente fácil, no obstante las grandes dimensiones que por fuerza han de tener para consentir el paso de grandes caudales de agua.

Unas grandes descargas de fácil apertura serán siempre de gran utilidad. Un aliviadero de superficie equivalente, es decir, capaz de evacuar el mismo caudal á embalse lleno, no serviría más que como garantía para la seguridad de las obras.

Esta convenientísima sustitución puede ser efectuada en este caso merced á las excepcionales condiciones del pantano, y muy especialmente á la enorme extensión de la superficie total ocupada.

(Continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

Un nuevo lago en Suiza.

La Sociedad de las Fábricas hidroeléctricas de Montbovon van á crear, en el país de Enhaut, con objeto de utilizar mejor las aguas del Sarine, un lago de 4 millones de metros cúbicos, que se colocará, desde el punto de vista del volumen, después del lago de Brienz (5,2 millones) y antes de los lagos de Zug (3,2), Walenstadt (2,5), Bienne (1,2), Moral (0,6), así como de los 27 pequeños lagos llamados de erosión, desde el lago Sempach (662.000 metros cúbicos) á los de Blegi y de Scealp.

A continuación exponemos algunos datos del proyecto para lo cual resumimos una nota publicada en las *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*.

El 9 de Agosto de 1904 el Consejo de Estado del Cantón de Vaud concedió á la Sociedad de las Fábricas hidroeléctricas de Montbovon el derecho á establecer, en el Fine (Municipio de Rossinières) una presa con objeto de utilizar la fuerza hidráulica del Sarine.

La coronación de esta presa está en la cota 843,53; ó sea, según la cota actual de la nivelación federal de precisión (P. N. 373,60), 840,72. La cota admitida en 1902 para el índice de nivelación era 2,81 metros más elevada.

La construcción de esta presa permitió á la Sociedad de Montbovon utilizar las aguas del Sarine con un salto de 69 metros de altura produciendo una fuerza total de 50.000 caballos.

Esta energía se aplica á la tracción eléctrica de los ferrocarriles Montreux-Oberland bernés, Montreux-Glion-Clarens-Chai-