

Las obras hidráulicas de la Cuenca del Ebro¹

Labor de la Confederación

Pantano de San Lorenzo

En el trayecto del río Segre comprendido entre su confluencia con el Noguera Pallaresa y el pueblo de Balaguer, disponía la Sociedad Canal de Urgel de dos concesiones, una de fuerza y otra de riegos, adquirida la primera por compra de derechos y la otra por concesión de la Administración.

La concesión industrial consistía en el aprovechamiento del salto que en aquel trayecto del río podía producirse mediante la construcción de una presa de toma y un canal proyectado por la ladera izquierda, dividiéndose el aprovechamiento en dos saltos, uno que terminaba frente al pueblo de San Lorenzo y el otro en el actual molino del Compte, aguas abajo de Balaguer.

El aprovechamiento de riegos otorgado por la Administración lo fué para mejorar la zona regable de Urgel, que tiene concedidos 33 metros cúbicos por segundo para el riego de unas 60 000 hectáreas, caudal que no lo conduce corrientemente el río Segre en la toma (Llenguadera) y que el Canal actual tampoco puede llevar. La nueva concesión obvia estas deficiencias tomando el agua del Segre cuando a él han llegado las del Noguera-Pallaresa y proyectando un canal de seis metros cúbicos de capacidad (caudal de la primitiva concesión) que distribuya las aguas por el Urgel.

La Sociedad Riegos y Fuerza del Ebro, concesionaria de varios saltos en el río Noguera-Pallaresa y Segre, solicitó la transferencia del aprovechamiento industrial antes reseñado por convenirle para ejecutar obra de regulación en el río Segre, complemento de la que tiene en explotación en Camarasa, y se empezaron las negociaciones al propio tiempo que el país regante de Urgel interesaba el estudio de las condiciones económicas para la construcción de la obra de mejora de riegos.

Mientras se realizaban estos estudios y gestiones fué creada la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, y desde las primeras asambleas se ocupó dicho organismo de enfocar asuntos tan interesantes, llegando, después de un detenido estudio y discusión, a acuerdos que dieron lugar al Real decreto por el cual se otorga a la Sociedad Riegos y Fuerza del Ebro la concesión del aprovechamiento citado, estableciendo con carácter obligatorio la construcción del embalse regulador llamado de San Lorenzo (que sustituye al trozo correspondiente del canal del primitivo proyecto) en el río Segre, términos municipales de Camarasa y San Lorenzo de Mongay (Lérida), como complemento indispensable de las grandes obras para la acumulación de reservas hidráulicas construídas en el río Noguera-Pallaresa por aquella Sociedad.

Los fines que el mencionado embalse ha de atender son:

1.º Suministrar al canal auxiliar del Urgel

8 000 litros por segundo, de manera continua, con destino a mejora de riegos.

2.º Alimentar las acequias directamente afectadas por dicho embalse, con sus naturales dotaciones de 1 500 litros por segundo, constante para cada una de las acequias de San Lorenzo y del Compte y 800 litros por segundo para la de Esquerrá, o sean 3 800 litros por segundo en total para las mismas.

3.º Verter permanentemente al cauce la diferencia entre el volumen constante regularizado por el embalse (calculado como mínimo en 26 metros cúbicos por segundo para el estiaje propiamente dicho y en 40 metros cúbicos, también por segundo, para la época de aguas bajas invernales) y la totalidad de los caudales derivados que se citan en los apartados anteriores.

4.º El aprovechamiento industrial de los caudales que han de verterse al cauce según el apartado anterior en el salto de pie de presa resultante.

5.º Análoga utilización por lo que se refiere al caudal destinado a la acequia del Compte, aprovechando el desnivel entre la derivación del embalse y la citada acequia en el punto en que se le suministra su dotación.

La obra fué subvencionada por la Confederación con 1 613 171,15 pesetas, con la cual ha de atender la Sociedad concesionaria al pago de expropiaciones del embalse y obras, construcción de la presa, de un trozo de canal de enlace de la presa con el Canal auxiliar de los riegos de Urgel, de 2 438 metros, en donde existe un túnel en zona de yeso de 680 metros de longitud, tomas de las acequias de Gerp y Compte y demás obras complementarias.

Es éste uno de los casos que demuestran la eficacia de las Confederaciones resolviendo un problema complejo a satisfacción de las partes interesadas, país regante y Sociedad industrial, aplicando el principio de la compatibilidad de intereses, de aprovechamientos industriales y de riego con las fórmulas de cooperación que resultan de la distribución equitativa de los beneficios que las obras han de reportar a cada aprovechamiento.

Se proyectó y se ha construído la presa a un kilómetro, aproximadamente, aguas abajo de San Lorenzo de Mongay, punto del río Segre que presentaba condiciones las más favorables para el emplazamiento de la obra, teniendo en cuenta los diversos objetos que debía cumplir: regulación del río, entrega de agua a las diversas acequias de riego, aprovechamiento industrial, etc.

El fondo del río en el sitio donde va la presa está formado por un bloque oligoceno, constituido principalmente por margas y areniscas, que continúan por la margen izquierda hasta muy por encima de la coronación de la presa y por la margen derecha se elevan poco sobre el nivel del río, estando superpuestos terrenos cuaternarios que forman la huerta de San Lorenzo, que en una gran extensión quedan a nivel inferior al de coronación de la presa.

Esta circunstancia obligó a proyectar la obra de

¹ Véase el número anterior, página 237.

cierre formando dos partes esencialmente distintas, una de fábrica en todo lo que es cauce normal del río y otra de tierra sobre los terrenos de huerta de la ladera derecha.

La altura de la presa es de 19 m, con cuyo nivel el

La parte móvil de la presa está formada por dos alzas automáticas situadas entre los estribos y pilas extremas. Estas alzas son de hormigón armado de sector flotante, construídas por «Barrages Automatiques, S. A.»; tienen una longitud de 36 m cada una

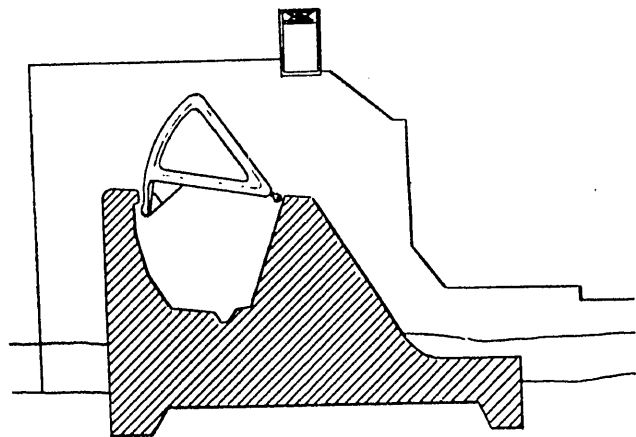
y altura de 6,50 m, de tipo parecido a las que la Compañía de Riegos y Fuerza del Ebro tiene en explotación en Camarasa, si bien difieren en algunos detalles, especialmente en lo referente a la regulación del movimiento automático, que en este caso se verifica por un sistema de palancas, que al elevarse el nivel del agua—abriéndose la compuerta—accionan sobre el eje de la misma, tendiendo a cerrarla, siguiendo el movimiento oscilante hasta alcanzar el equilibrio para la nueva altura del embalse. Este sistema ha dado resultados satisfactorios, hasta el punto que van a ser modificadas las alzas de Camarasa para aplicarles esta regulación.

Las pilas, estribos y cámara de compuertas de la presa, de la que se acompañan algunas secciones, son de hormigón en masa de 200 kg de cemento, 400 de arena y 800 de grava por metro cúbico.

Antes de proceder al relleno de cimientos se hicieron sondeos y trabajos de exploración para determinar la naturaleza del subsuelo, cumpliendo con ello lo dispuesto en la concesión, y se redactó, por el competente ingeniero de Minas D. Agustín Marín, un

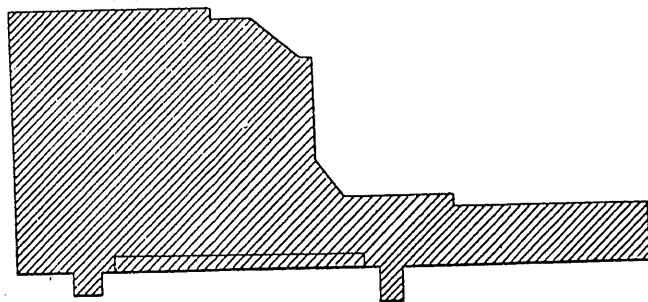
embalse deja libre las huertas principales del pueblo de Camarasa; de todos modos, poco podría forzarse ya esta altura por la proximidad del embalse de Camarasa.

Presa de fábrica.—La obra de fábrica es una presa móvil de 106 metros de longitud, formada por dos estribos y tres pilas centrales; entre las pilas quedan dos vanos de 8 m, que los llenan compuertas Stoney, de dimensiones 8×12 m, constituyendo el desagüe de fondo de la presa, capaz para desalojar $1\,400\text{ m}^3$ por segundo con el embalse lleno. Son compuertas



Corte de una compuerta automática. Escala 1:500

de tipo corriente, montadas sobre rodillos, movidas a mano o eléctricamente, a voluntad del encargado de la maniobra; la impermeabilización de la unión de la compuerta con las guías se consigue por cilindros que la presión misma del agua mantiene perfectamente aplicados sobre aquellos elementos.



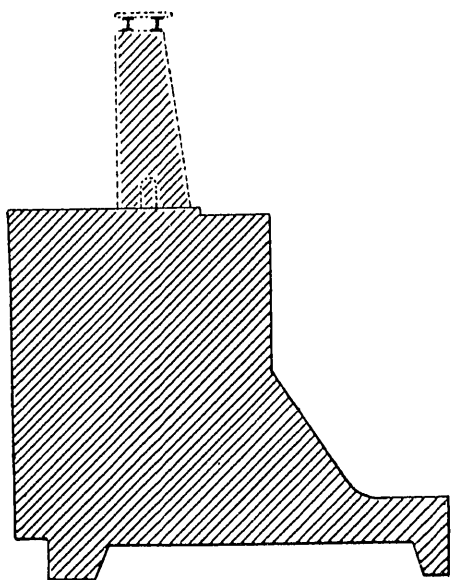
Presa de San Lorenzo. Sección por el estribo derecho. Escala 1:625

informe geológico sobre el sitio de emplazamiento de la presa, en el cual dice que las rocas que se van a encontrar en las obras de la presa, que son margas rosáceas y grises, areniscas, molasas y yesos, tienen espesor suficiente para apoyar sobre ellas la presa y todas son buenas para cimentación menos los yesos, que presentándose en vetas de poca potencia, no constituían tampoco peligro, adoptando algunas precauciones, como el profundizar allí la zanja de cimientos y emplear cemento especial no atacable por el sulfato de cal.

El estudio de la constitución geológica de la zona de embalse demostró también que el vaso del pantano de San Lorenzo presenta buenas condiciones de impermeabilidad.

La construcción de la obra de fábrica se hizo divi-

diendo el río en dos secciones, desviándolo primeramente por la mitad izquierda mediante ataguías formadas por estacadas rellenas de piedra y tierra y muro de hormigón; con ello y el empleo de potentes bombas se pudo trabajar en buenas condiciones,



Presa de San Lorenzo. Corte por una pila. Escala 1:500

aprovechando los momentos de máximo estiaje, limpiando de acarreo el fondo del río y echando el hormigón colado sobre la roca sana y perfectamente limpia.

Para que luego sirviera esta mitad del río como desagüe y poder cimentar la parte izquierda, se dejaron vanos en los que se instalaron compuertas provisionales de madera, que se llenaron más tarde.

La ataguía de la parte izquierda de la presa se formó con tablestacado metálico, pues la mayor altura del agua dificultaba el empleo de ataguías de madera. Estas tablestacas fueron clavadas en el terreno de acarreo, con no pocas dificultades, por medio de un martinete que sirvió también para arrancarlos luego y poder ser aprovechadas en otros trabajos.

La arena y grava que se empleó en la formación del hormigón fué seleccionada *in situ*, transportándola del río a las orillas por medio de transbordadoras. Se empleó cemento portland de la casa Asland y cemento eléctrico en los sitios de yeso.

Presa de tierra o dique.—Como ya se ha indicado, para completar el cierre del valle por la margen derecha fué preciso proyectar un dique de tierra que uniera la obra de fábrica con la ladera.

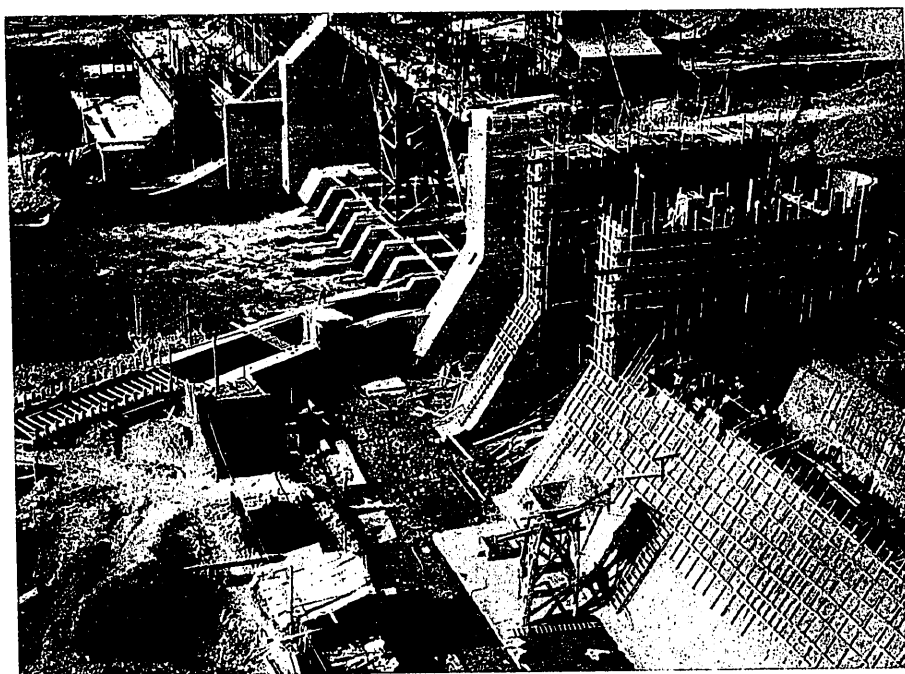
Se efectuaron también sondeos y estudios geológicos para conocer el subsuelo y determinar el mejor trazado, estudio que dió por resultado la convenien-

cia de variar la traza del dique que figuraba en el proyecto, a fin de evitar las peligrosas zonas de yeso.

Estos sondeos demostraron además la necesidad de abrir en el centro del dique y en toda su longitud una zanja que, atravesando el terreno de labor y las gravas de las terrazas en que se ha de apoyar el dique, arraigase en las margas que se encuentran a profundidades variables de 5 a 20 m. Esta zanja se ha rellenado con tierra arcillosa mezclada con grava y convenientemente apisonada y mojada. En la figura correspondiente puede verse la situación respectiva que ocupan la parte permeable e impermeable del dique y la zanja de arraigamiento.

El dique de contención de las aguas corresponde a los llamados de impermeabilización superficial; la sección transversal, como puede observarse en el dibujo, está formada por una parte impermeable con tierra arcillosa y otra permeable, la cual se ha rellenado principalmente con los productos de los escombros de las excavaciones del desagüe de la central. El espesor del dique en la coronación es de 4,50 m a 3 m, según la altura del dique; los taludes exteriores son $\frac{5}{2}$ y $\frac{3}{2}$ los de la parte impermeable y permeable, respectivamente, y $\frac{1}{1}$ el de la cara de contacto de las dos zonas, siendo la altura máxima del dique 8 m, en cuyo punto el espesor de la base resulta de 34 m, o sea cuatro veces mayor que la altura del dique, que supone cinco veces la carga de agua.

La parte del dique en contacto con el agua se ha revestido con un encachado formado por piedra arenisca de diversos tamaños colocada en seco y ripiada convenientemente. En las proximidades del enlace del dique con la obra de fábrica las piedras se toman



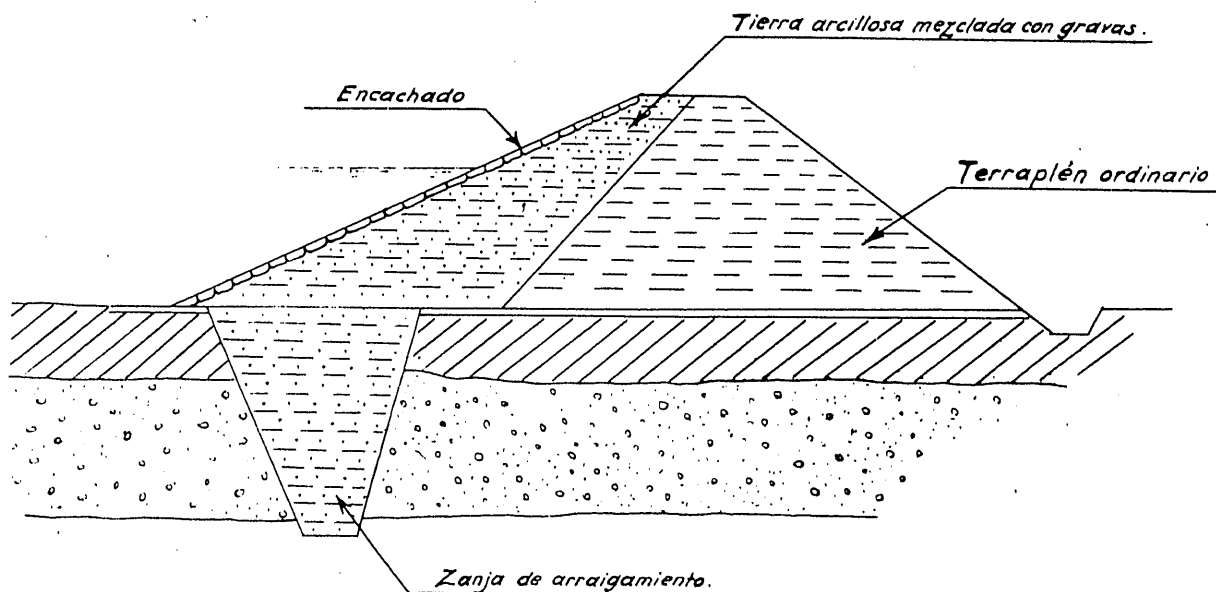
Presa de fábrica en construcción. Octubre 1929

con mortero, protegiéndose la zona de unión de la obra de fábrica y tierra con dos muros de hormigón y profundos rastrillos que arrancan de la obra de fábrica y abarcan la presa de tierra.

A pesar de todas estas precauciones han ocurrido

filtraciones al embalsar las aguas, consecuencia, principalmente, del paso del agua por los terrenos de grava, que continúan más allá de la terminación del dique, habiendo precisado, para evitar dichos escapes, inyectar arcilla desleída a presión en todo el trayecto

Fuerza del Ebro mandó construir en el Laboratorio técnico de Karlsruhe un modelo reducido de la obra y en él se efectuaron pruebas el 7 de noviembre de 1929¹, que presenció el que suscribe con los ingenieros de Riegos y Fuerza del Ebro Sres. Santasusana



Corte transversal del dique de tierras de la presa de San Lorenzo. Escala 1 : 300

de ladera afectada por las filtraciones, trabajo que se está ejecutando ahora.

El embalse que se produce con este pantano alcanza una longitud de 5 000 m, con una capacidad total de 9 500 000 m³ y útil, que corresponde a los cuatro metros superiores, de 3 295 000 m³, con lo cual

y Walter Diem y el de la Confederación del Ebro, Sr. Cruz López.

El resultado de aquellas pruebas puede resumirse así:

1.º Que las velocidades máximas en todos los casos tienen lugar alrededor del punto situado a 30 m del enlace del dique con la obra de fábrica.

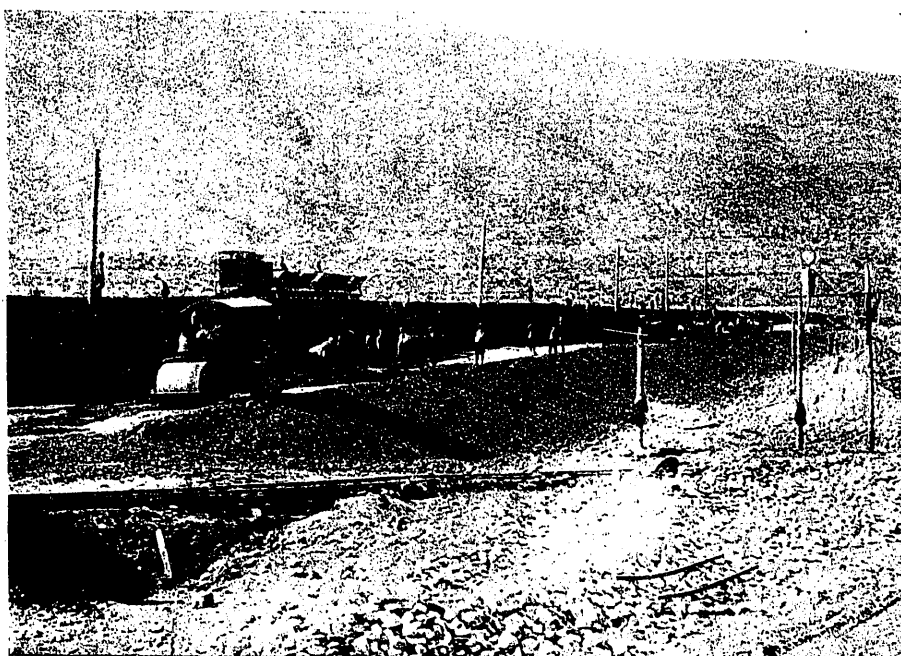
2.º Que la mayor de las máximas, como es lógico, se produce en la superficie cuando funciona la central con la avenida máxima, que se admite de 3 500 m³ por segundo, y para la cual están calculados los desagües de la presa.

3.º Que dicha velocidad es de 1,25 m.

Este resultado permitió proponer la supresión de los espigones de defensa del dique que se proyectaban para evitar la erosión que durante las avenidas pudiera producir la velocidad de la corriente, pues defendida la superficie del dique con un encachado era desde luego innecesaria otra defensa para aquella velocidad máxima.

También se realizaron en el Laboratorio de Karlsruhe, aprovechando nuestra estancia, pruebas de defensa de pie de presa con umbral dentado, quedando

plenamente demostrada la ventaja de emplear este sistema, que evita totalmente las socavaciones y que, aun no siendo de temer con carácter de gravedad en



Construcción del dique de tierra. Marzo 1930

se ha de conseguir la regulación del río fijada en la condición tercera antes expuesta, con la explotación más conveniente del importante salto de Camarasa.

Para estudiar las velocidades que el agua tomará junto al paramento del dique, la Sociedad Riegos y

¹ Véase *Revista de la Confederación del Ebro*, febrero 1930.

el presente caso, por la forma como ha podido cimentarse la presa, fué adoptado por Riegos y Fuerza del Ebro.

La Central se ha construído en la ladera derecha a pie de presa; es de hormigón en masa y está equipada con dos turbinas verticales tipo Francis, construídas por la casa J. M. Voith, de Heindenheim (Alemania), con servomotor y regulador a presión de aceite, acopladas directamente a generadores de corriente alterna trifásica. La potencia de cada una es de 5 600 CV, con un consumo de 31,2 m³ por segundo y un salto útil de 16 m. Para los efectos del rendimiento global hidroeléctrico a distintos niveles del embalse, una de las turbinas tiene el rodete de distintas características que la otra.

Los generadores, construídos por la G. E. Co., son de 5 000 KVA, 6 600 V, 50 períodos, con excitatrices acopladas directamente a la extremidad superior del eje, cuya velocidad es de 167 r. p. m.

La conducción de agua a las turbinas se efectúa, de la presa hasta los espirales, con tuberías de cemento, cuya entrada puede obturarse con una compuerta de cierre rápido de 15 000 kg de peso.

La central ha sido construída para funcionar automática y manualmente. Está dotada, además, de un equipo supervisor para el manejo a distancia con sistema de señalización que por medio de lámparas de distintos colores permite controlar en Camarasa las maniobras que automáticamente o a voluntad del operador se efectúan en la de San Lorenzo.

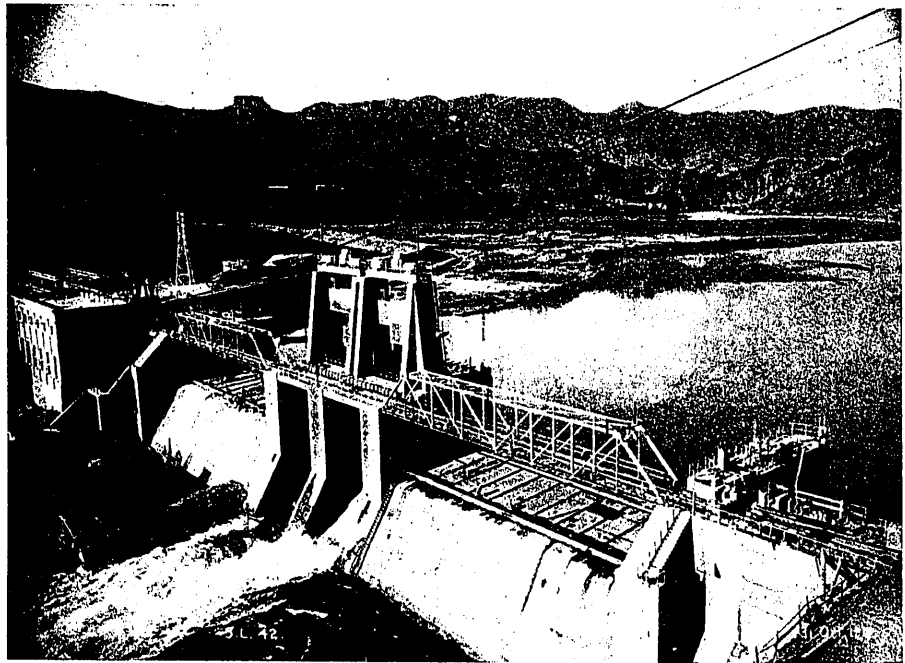
Un sistema de teleindicación Selsyn permite ver desde Camarasa la producción instantánea de cada grupo y el valor del factor de potencia. Por medio de rectificadores Tungar está combinada la teleindicación del voltaje y amperaje de las unidades, utilizando para ello un simple sistema voltimétrico. Otro sistema voltimétrico, pero sin rectificadores, se utiliza para la teleindicación del nivel del embalse y desagüe.

Como obras complementarias para cumplir con los fines señalados en la concesión figuran dos tomas de agua, una situada en la misma presa junto al estribo izquierdo, para dar agua al Canal auxiliar de los riegos de Urgel y acequia de Compte y Esquerrá, y otra en el dique de tierra, para alimentar la acequia de Gerp; en ambas se han colocado compuertas automáticas que aseguran el caudal constante que hay que entregar para los diversos niveles del embalse.

El Campamento e instalaciones auxiliares para llevar a cabo la obra se han levantado en la huerta de San Lorenzo, margen derecha del río. Allí se constru-

yeran viviendas para los ayudantes y encargados de la obra; se instalaron talleres de carpintería, herrería, etc.; se montó una instalación de aire comprimido y un cable transbordador sobre el río.

Para el hormigón colado se colocaron hormigone-



Presa, central y embalse de San Lorenzo. Octubre 1930

ras, unas a nivel inferior al terreno donde estaban las instalaciones generales, a fin de recibir por su propio peso los materiales, y otras situadas más altas, en las cuales entraban los materiales después de elevarlos con cangilones. Las vagonetas que servían las primeras hormigoneras eran elevadas y transportadas con el transbordador a las partes de obra situadas lejos de la instalación; en cambio, las vagonetas que se cargaban con las otras hormigoneras se elevaban por un montacargas a la altura necesaria para volcarlas sobre las canales que distribuían el hormigón a la obra más cercana al sitio de fabricación.

La apertura de la zanja de arraigamiento se hizo con potentes dragas de cuchara; el apisonado, con rodillos compresores y tractores dispuestos al efecto, y el transporte de escombros y otros materiales al dique, con vagonetas arrastradas por una locomotora a gasolina.

Todas estas instalaciones, con las necesarias grúas, han sido los elementos auxiliares principales que se han utilizado para la construcción de esta importante obra, cuyo coste real será de unos 8 000 000 de pesetas (sin contar la central), y que ha sido ejecutada por la S. A. Riegos y Fuerza del Ebro, concesionaria de la misma, en un plazo de poco más de dos años; la inspección técnica y administrativa le ha correspondido llevarla a la Confederación del Ebro, por ser obra incorporada a sus planes, estando en explotación desde el día 25 de noviembre último.

Carlos VALMAÑA
Ingeniero de Caminos