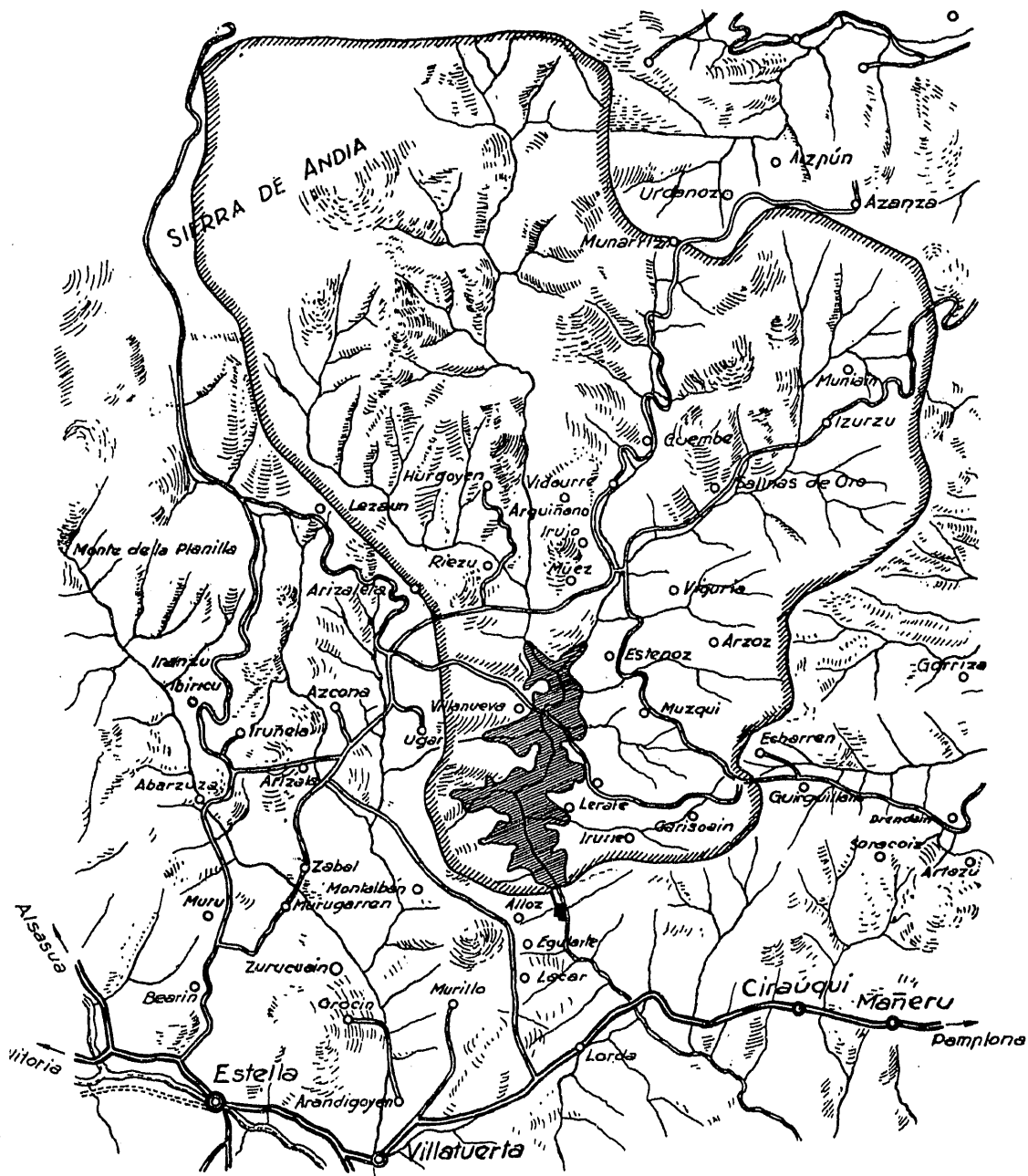


Aprovechamiento hidroeléctrico del río Salado, en Alloz

El aprovechamiento hidroeléctrico del río Salado, objeto de este trabajo, data de hace varios años, pues ya en 1910 se empezaron sus estudios, constituyéndose la Hidroeléctrica de Alloz, que inició los de un año de estudios técnicos, geológicos especialmente, decidió llevar adelante el negocio, constituyendo la Sociedad Fuerzas Eléctricas de Navarra, que ha realizado todas las obras.



Situación del embalse y plano de la cuenca vertiente

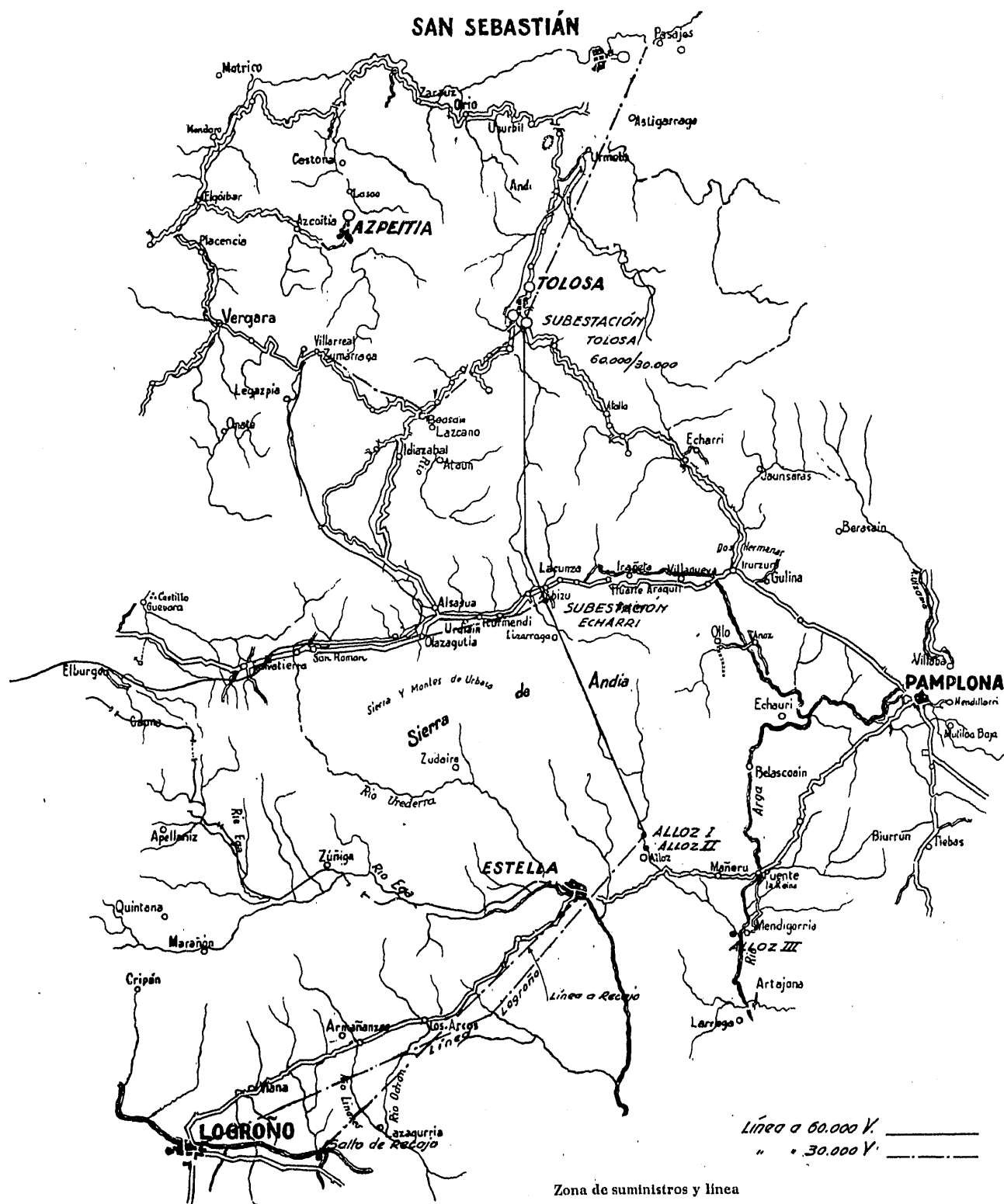
trabajos y obtuvo la concesión para derivar 4 000 litros y construir un embalse de cincuenta millones de capacidad. Después de llevar una vida lánguida y atravesar muchas vicisitudes ocasionadas por dudas, errores técnicos y mala gestión financiera, esta Sociedad cedió todos sus derechos a un grupo que, después

En los estudios se vió la conveniencia de ampliar la capacidad del embalse hasta 83,5 millones de metros cúbicos y construir un aprovechamiento de puntas para el periodo de estiaje, ya que en la zona en la que se ha de vender la energía no existe ningún salto que pueda verificar estos suministros.

Descripción general

El río Salado nace en las estribaciones de la Sierra Andía y tiene su curso una dirección general de Norte a Sur. Vierte sus aguas en el río Arga, que a su vez

leza calcárea y las muchas fisuras que hay en el terreno se pierden gran parte de las aguas, que vuelven a aparecer en diversas fuentes situadas al pie de la citada sierra. Una de las principales fuentes es la de Riezu, que da origen al afluente más importante del

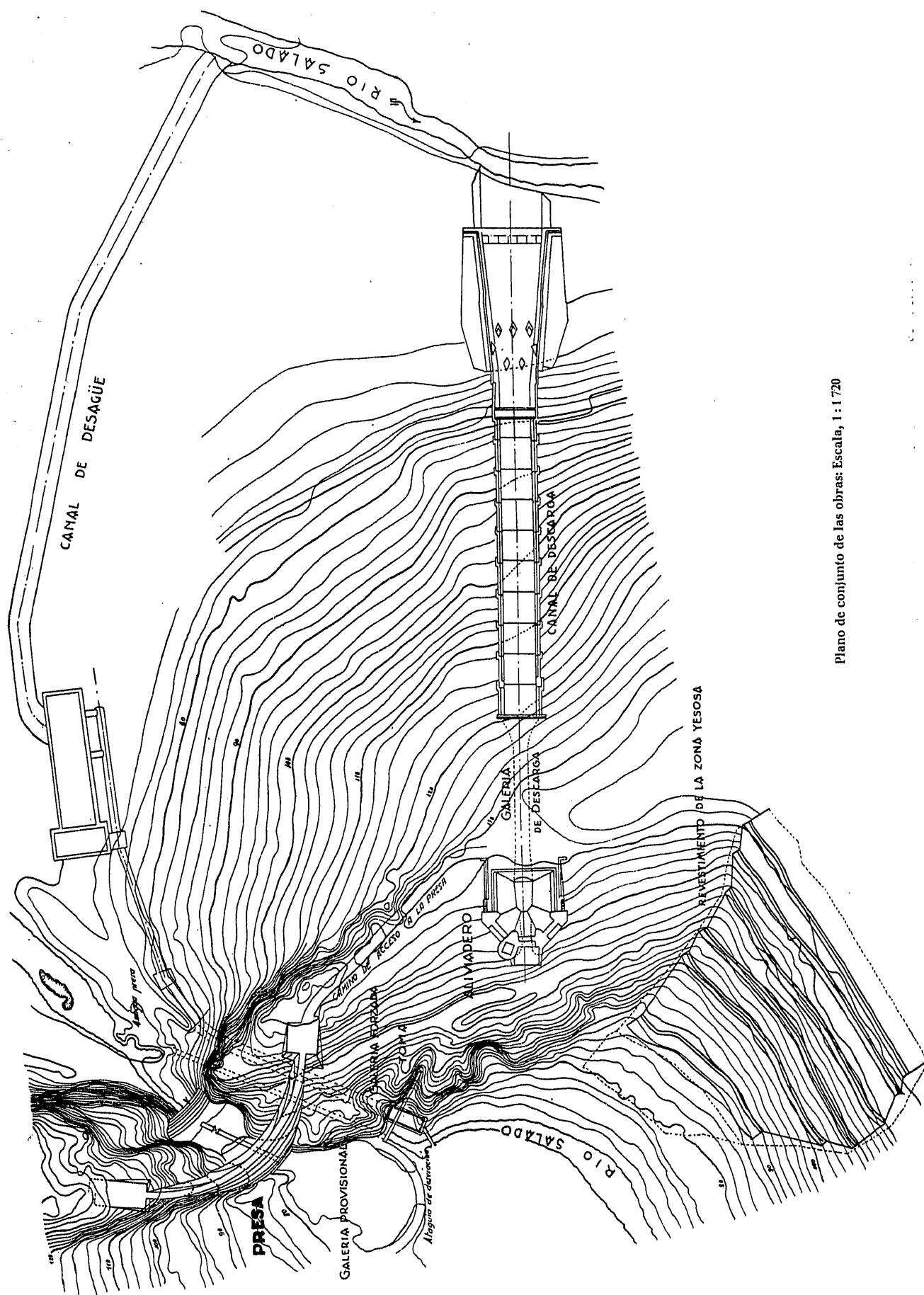


confluye con los ríos Aragón y Ebro. Es, por lo tanto, el río Salado un río perteneciente a la vertiente del Ebro.

La cuenca alimentadora del río Salado es principalmente la Sierra de Andía, que está situada a más de 1 100 metros sobre el nivel del mar. Por su natura-

Salado y que lleva el nombre de río Riezu. Al unirse estas aguas con el río que viene de Salinas de Oro, recibe la denominación de río Salado, nombre que ya conserva este río hasta su confluencia con el Arga, cerca de Mendigorria.

El régimen de aguas del río Salado es, como todos



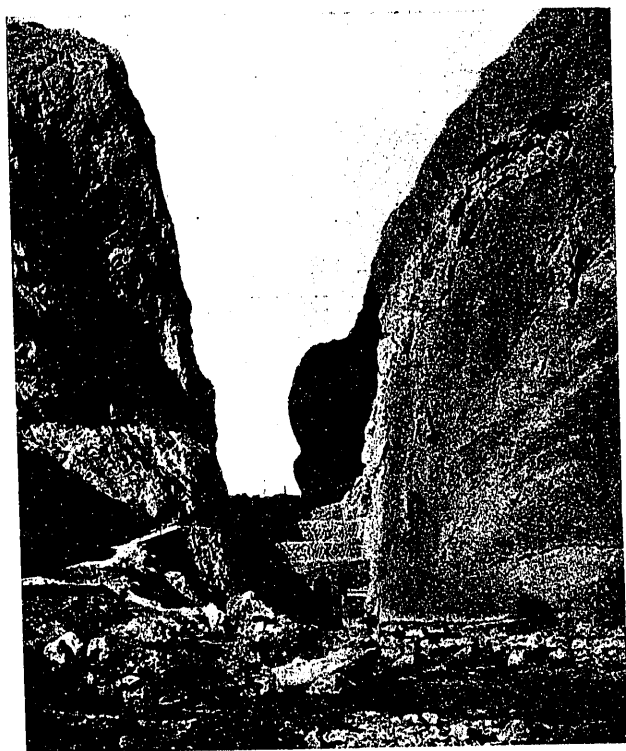
Plano de conjunto de las obras: Escala, 1:1720

los ríos vertientes al Ebro, de carácter torrencial, llevando escasos caudales en verano y fuertes caudales en invierno. Las avenidas no son muy grandes

con relación a la cuenca del río, pues debido a las infiltraciones no se producen grandes caudales instantáneos. En cambio, el caudal invernal es relativa-

mente constante. Para una utilización hidroeléctrica del río Salado en condiciones de buen rendimiento económico ha de hacerse una regularización del mismo mediante un embalse.

Al atravesar el río Salado un crestón de caliza si-



Las peñas de Tarrabia antes de comenzar la construcción. En la parte baja, la fábrica de la antigua presa

tuado cerca del pueblo de Alloz en las peñas de Tarrabia, hay un estrechamiento que por su escasa anchura permite un cierre muy económico con una *presa bóveda* de cerca de 68 m de altura. El ensanchamiento del valle aguas arriba del cierre proyectado es grande, y por este motivo el embalse tiene mucha capacidad con relación a la altura y economía del cierre.

En las inmediaciones de la presa se ha instalado una central de 12 000 CV, cuyas características se detallan después. A 1 200 m más abajo de la central primera se proyecta un contraembalse de cerca de un millón de metros cúbicos, que servirá para regular las variaciones de caudal que se produzcan en la primera central, y a la vez se utilizará el desnivel de 10 m en una central de 1 400 CV. A continuación, mediante una presa y canal de 12 m³ de capacidad, se conducirán las aguas hasta las inmediaciones de la confluencia del río Salado con el Arga, aprovechándose un desnivel útil de 63 m, con una potencia en eje de turbinas de 8 000 CV. Supondrá, por lo tanto, el aprovechamiento del Salado una potencia de 21 400 CV, que se utilizarán en la

época de estiaje, o sea durante los meses de junio a octubre inclusive.

Como la regularización del río Salado produce una mejora grande en los caudales de estiaje y son utilizados en los riegos, particularmente en el Canal Imperial, las obras se han ejecutado con la colaboración de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, que ha impuesto un régimen de utilización armonizando las necesidades agrícolas con las industriales.

Estudio geológico

Ha colaborado en los estudios geológicos el conocido ingeniero de Minas D. Primitivo Hernández Sampelayo, que ha hecho un informe detallado y completo que la práctica ha venido a comprobar. A continuación copiamos las conclusiones del mismo.

1.^a El vaso del río Salado, cerrado en las Peñas de Tarrabia, es prácticamente impermeable y de paredes de resistencia indefinida.

2.^a Las calizas eocenas, casi verticales, que forman el cierre, reunidas a las margas cretáceas aguas abajo y a los yesos oligocenos aguas arriba reúnen condiciones de resistencia e impermeabilidad para encajar en ellas una presa de cierre.

3.^a Como los yesos oligocenos desbordan en el estribo derecho fuera del vaso en discordancia con los pliegues secundarios a una profundidad inferior a la curva del embalse, podría ocurrir que se inflasen y agrietasen, y en evitación de esta remota contingencia convendría un paramento enarcillando los escasos asomos yesosos en el interior del vaso.

4.^a El revestido aconsejado sólo se refiere al interior del estribo derecho, pues el izquierdo, además de estar recubierto por cuaternario en el interior del vaso, no podría iniciar el sifón por el fondo, pues estos yesos ya han sufrido su hidratación y están atravesados a la marcha de la supuesta filtración.

Con la obra bien hecha y entretenida del estribo derecho, no habría riesgo alguno.



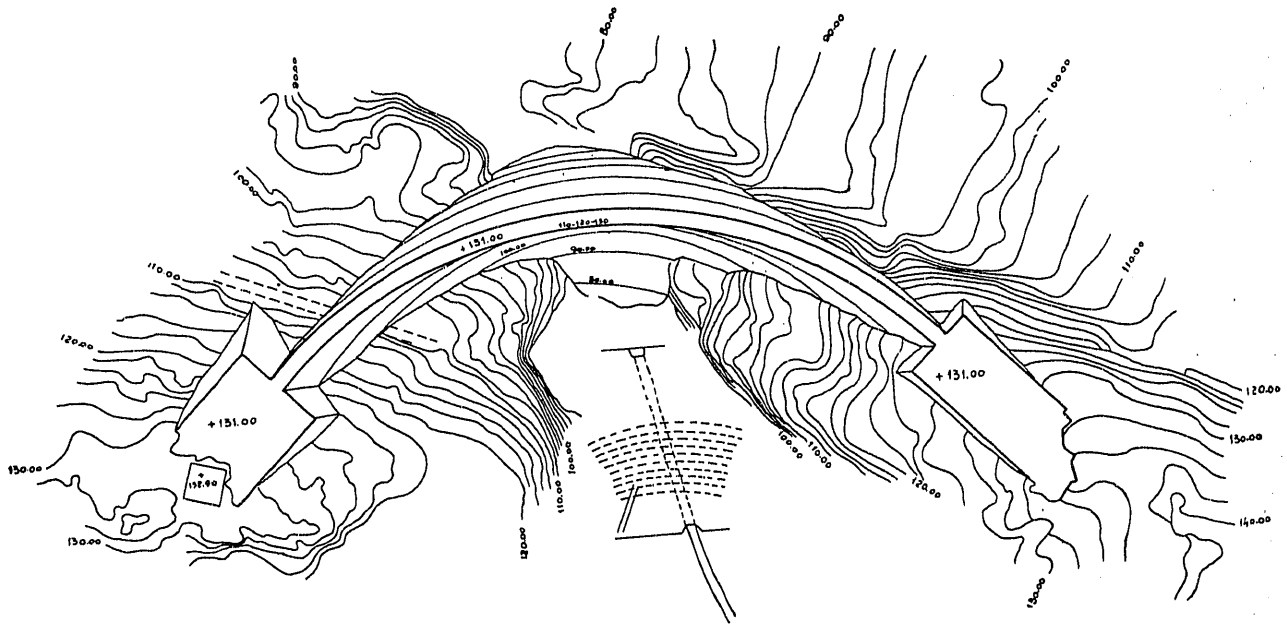
Vista general del aprovechamiento

Recursos hidráulicos

Para poder conocer con aproximada certeza los recursos de un río y poder racionalmente aprovecharlos mediante un embalse regulador, sería preciso dis-

poner de aforos que durasen por lo menos veinte años. Nosotros no disponemos de esos datos, y para conocer los caudales del Salado nos hemos de basar en aforos efectuados durante los años 1917 y 1918, por los da-

(decimos aparentemente, porque a causa de la constitución geológica del terreno la cuenca real es mayor que la topográfica) es de 155 km². El 75 por 100 de esta cuenca está situada en la Sierra Andía, la



Planta de la presa. Escala, 1 : 741

tos pluviométricos de las estaciones de San Sebastián, Alsasua y Pamplona y los aforos efectuados en el río Arga, en Peralta.

Los datos principales son:

cual es de formación caliza y con muy escasa vegetación. Por este motivo, el agua de lluvia se infiltra por las grietas y da lugar a manantiales.

La Sierra de Andía tiene un régimen de lluvias muy análogo al de Alsasua y cuenca del Araquil. Probablemente las lluvias y nieves serán más abundantes, pues se halla la sierra a más de 1 100 m sobre el nivel del mar. Además, los vientos Sur dan origen a precipitaciones mayores que en los citados lugares.

Según los aforos del río Salado en Alloz, resulta el caudal anual por metro cuadrado:

Año 1917	1,021 m ³ por m ²
Año 1918	0,803 m ³ por m ²

Relacionando estos caudales con la lluvia de Alsasua durante esos años (1 587 mm y 1 303 mm), dan unos coeficientes de utilización del agua caída de 0,781 y 0,728, respectivamente. La casi coincidencia de estos coeficientes da gran probabilidad a la relación de los caudales aforados con las lluvias de Alsasua. Al recopilar los aforos de Alloz no se conocían los datos de lluvia antes citados. Haber coincidido los coeficientes de aprovechamiento en años de lluvia tan diferentes da aún mayor verosimilitud a los aforos.

Como justificante de tan elevados coeficientes de escorrentía (0,787-0,728) hemos de señalar la gran permeabilidad de la cuenca, constituida en su mayor parte por calizas fisuradas y desprovistas de vegetación que permiten una infil-

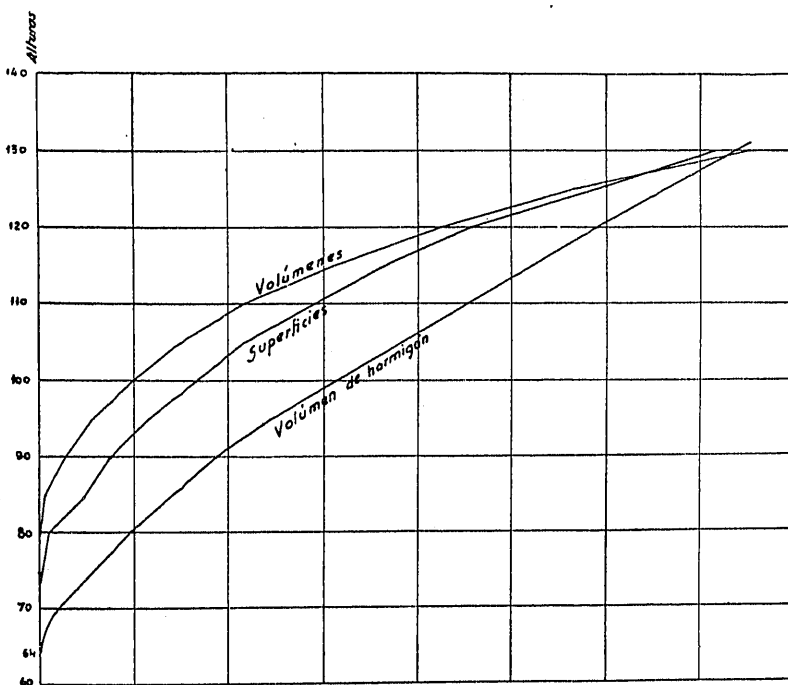


Gráfico de volúmenes y superficie de embalse.

Superficie: 5 mm $\times$ 25 Ha; volumen: 5 mm $\times$ 4 000 000 m³; hormigón: 5 mm $\times$ 1 000 m³

1917. — Caudal total del año 1917.....	193 776 000
1918. — Caudal total del año 1918.....	158 719 000

La cuenca aparentemente vertiente del río Salado

tración rápida con pequeña pérdida por evaporación.

Otra razón que tal vez también pueda justificar los caudales elevados del río Salado durante la época invernal, es que la cuenca real puede ser mayor que la cuenca aparente, y la parte alta de la vecina Sierra Urbasa puede alimentar los manantiales que dan al Urederra, o tal vez al río de Riezu.

Existen aforos del río Arga en la estación de Peñalta desde el año 1913. Comparando estos datos con los del río Salado antes mencionados, resulta lo siguiente:

AÑOS	Caudales medios		Caudales totales		Relación caudales
	Arga	Salado	Arga	Salado	Salado-Arga
1917	58,34 m³	6,125	1 840 000 000	193 776 000	0,105
1918	49,72 m³	5,01	1 570 000 000	158 719 000	0,101

De la comparación de los datos anteriores sacamos la consecuencia de que los caudales del río Salado son, en números redondos, la décima parte de los caudales del Arga, y con los datos de aforos de éste formamos el cuadro siguiente:

Caudales del Salado

AÑOS	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927
Caudales totales: mill. m³..	127	166	326	152	184	158	269	119	105	172	2010	100	131	182	194
» medios: m³.....	4,04	5,28	10,34	8,81	6,125	5,01	8,16	4,69	3,34	5,45	6,36	3,16	4,16	5,75	6,16

Como consecuencia de los datos anteriores, se ve que el embalse se llena aun en los años más secos. Suponiendo que a fin de octubre queda un remanente de 16 millones de metros cúbicos, el embalse se llena entre fechas comprendidas entre 21 de diciembre y 16 de marzo, y como promedio, para el 30 de enero. Si

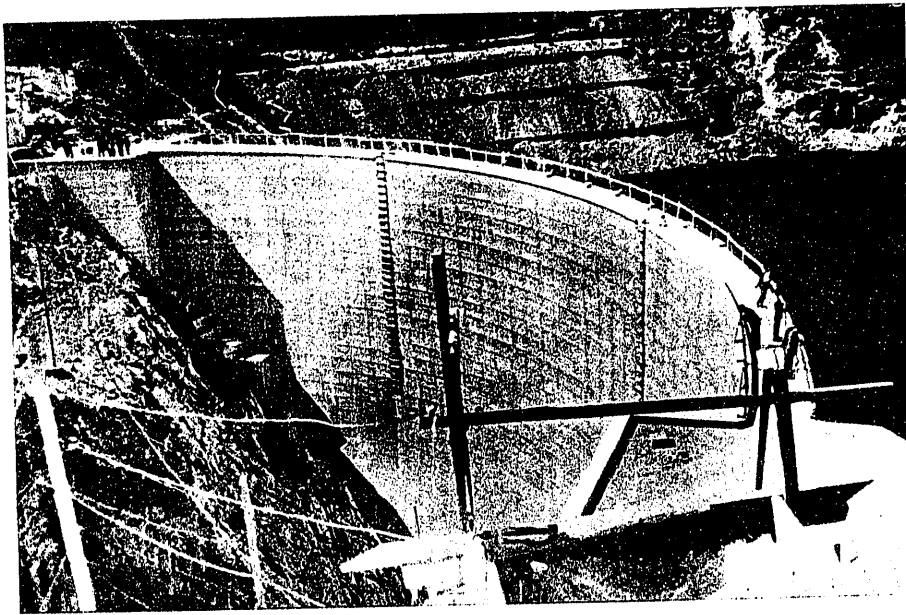
su cauce y formando por retroceso la hoz en que se ha construido la presa. El estrechamiento formado permite la construcción de una presa-bóveda, con gran economía de fábrica. Pero no solamente se ha adoptado este tipo de presa por la economía que supone, sino que ha sido forzoso el adoptarlo: la barrera

caliza tiene apenas unos 40 m de espesor en la base. Una presa del tipo gravedad hubiera necesitado por lo menos una base de 50 m, y para conseguir esta anchura hubiera sido preciso cimentarla parte en margas y parte en caliza, apoyándose el paramento de aguas abajo en la primera de estas rocas; es decir, que precisamente donde las cargas del perfil de gravedad son mayores, la resistencia del terreno hubiera sido menor. Por estas razones, aun prescindiendo de la economía, no hubiera sido posible la construcción de una presa del tipo gravedad.

El perfil adoptado (cuyas características se incluyen en los dibujos) es semejante al de Broc (Suiza) y Montejaque, pero con espesores mucho menores. Será, probablemente, de las presas más delgadas dentro de la al-

tura. Esta altura es de 67 m; el espesor de la base es de 17,50 m, y en la coronación, 1,50 m. Los radios son variables desde el fondo a la coronación, entre 22 y 32 m, y están todos ellos situados en el mismo eje. Los centros y radio de aguas arriba y aguas abajo son diferentes, con lo cual los espesores en los arranques son mayores que en la clave, favoreciéndose con esto las condiciones de resistencia de la presa. Con objeto de dar mejor orientación a los empujes del arco hacia los estribos, en los 15 últimos metros de la presa se ha sustituido el arco por su tangente y se han construido estribos de 8 m de anchura.

El cálculo de la presa se ha hecho por el método de Stuky, basado en la igualdad de las deformaciones



Vista de la presa. Nótese el encofrado de las juntas de contracción

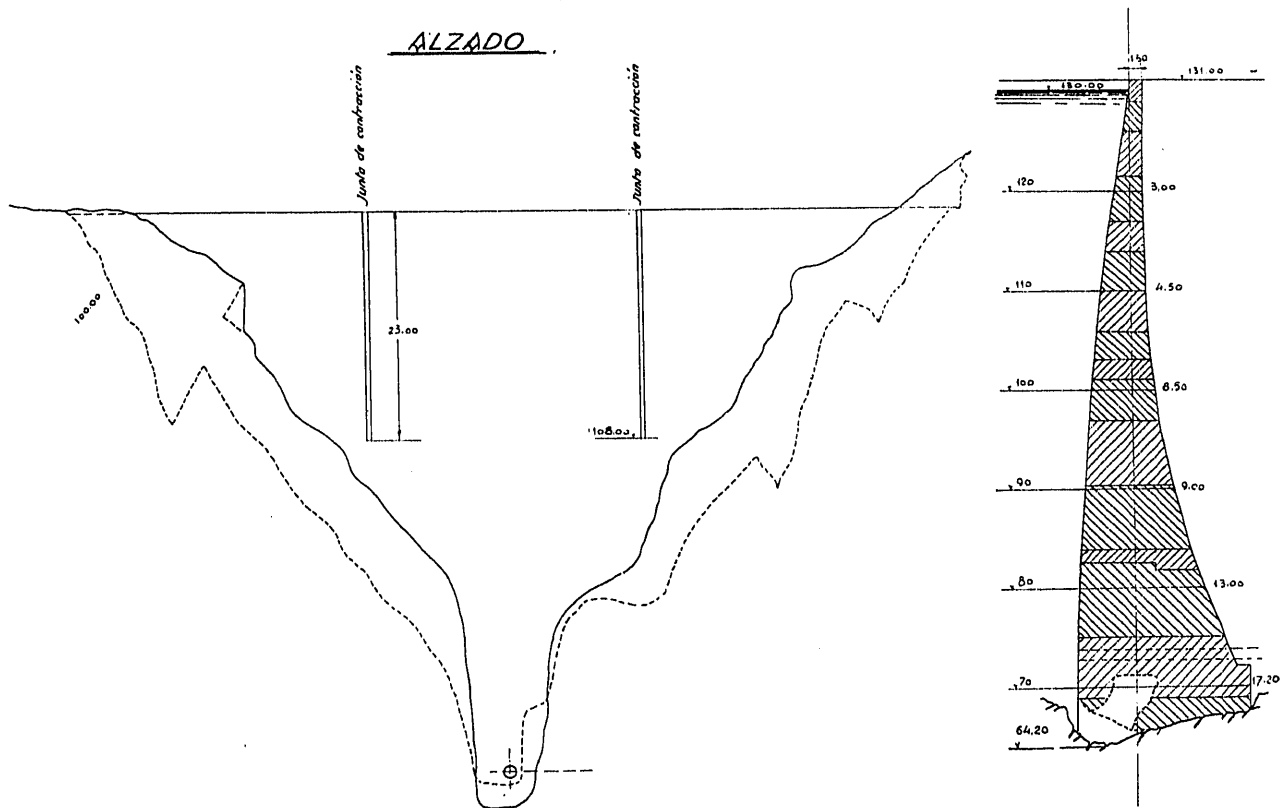
el embalse está vacío completamente para fin de octubre, hipótesis poco probable, quedará lleno entre 4 de enero y 27 de abril en los años más húmedos y secos, respectivamente.

Presa de embalse

Es la obra principal del aprovechamiento. Todo el vaso está constituido por terrenos pertenecientes al oligoceno, con formaciones de areniscas y margas arcillosas. Este terreno está interrumpido por un afloramiento de calizas eocenas que, con forma característica de crestones, sobresalen sobre el resto del terreno. A través de las calizas, en el punto denominado Peñas de Tarrabia, el río Salado ha ido labrando

del arco y del muro, repartiéndose las cargas entre estos dos elementos, según el resultado del cálculo. No vamos a detallar este método de cálculo, por ser

sas-bóvedas, porque son delgadas, y, sin embargo, en las presas de gravedad, porque son gruesas, se admiten muchas hipótesis de cálculo que son muy discu-



Alzado y perfil de la presa. Escala, 1:745

muy conocido de todos. Tampoco hemos de hacer un juicio crítico del mismo. A nuestro modo de ver, es uno de los más completos, y tiene el valor de los procedimientos de cálculo: que si lo aplicamos a calcular una obra que se ha de construir y se obtienen cargas de trabajo parecidas a las que se obtienen al aplicarlo a otras ya construídas, la obra que se proyecta es estable. Se discute mucho los métodos de cálculo e hipótesis de las pre-

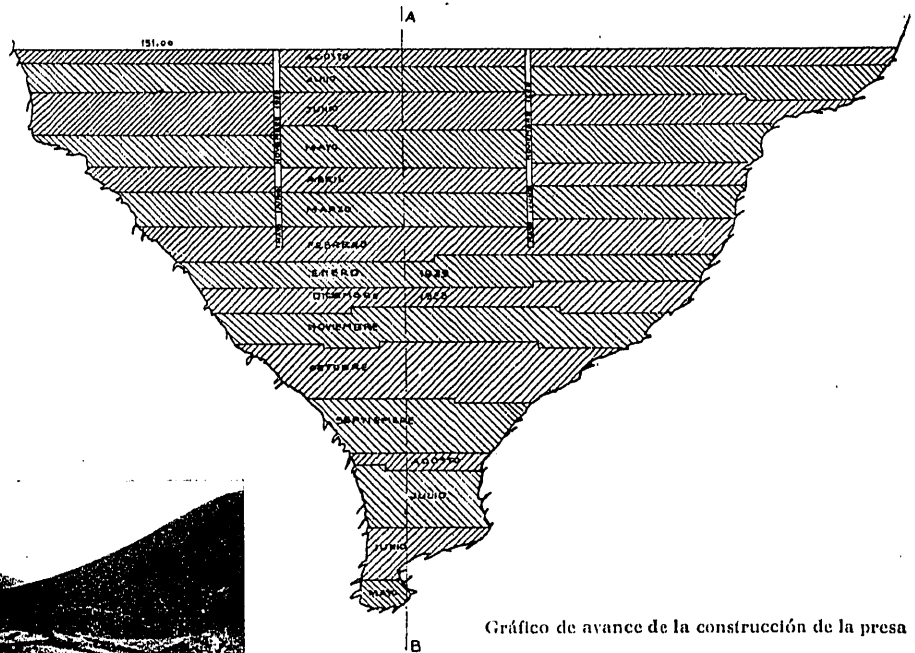
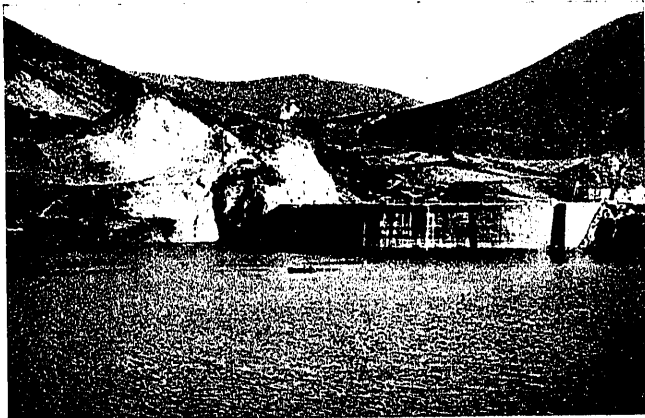


Gráfico de avance de la construcción de la presa



La presa desde el embalse

tibles. Es probable que a medida que se vayan experimentando las presas en arco, se puedan ajustar las teorías con los resultados de las deformaciones comprobadas en las presas construídas y se disminuyan bastante sus espesores.

Al hacer el cálculo de la presa se ha hecho intervenir las variaciones de temperatura, que influyen grandemente en las cargas de trabajo, especialmente

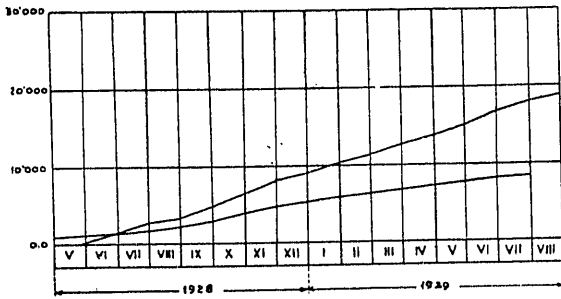
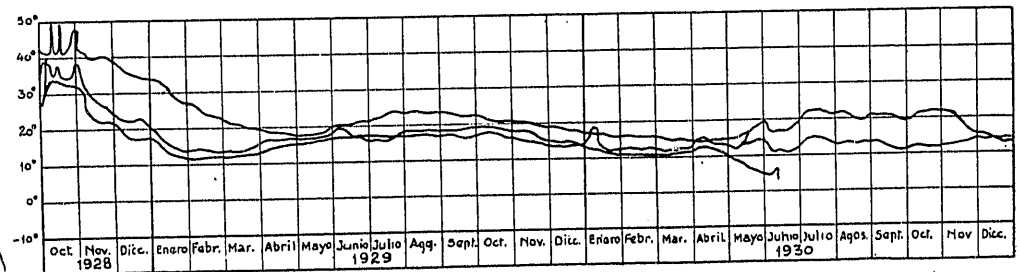
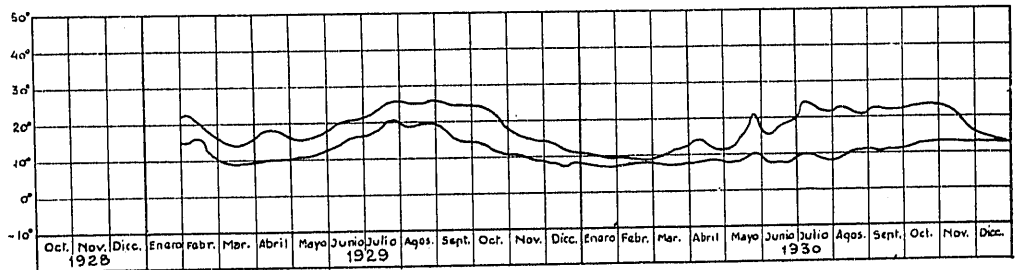
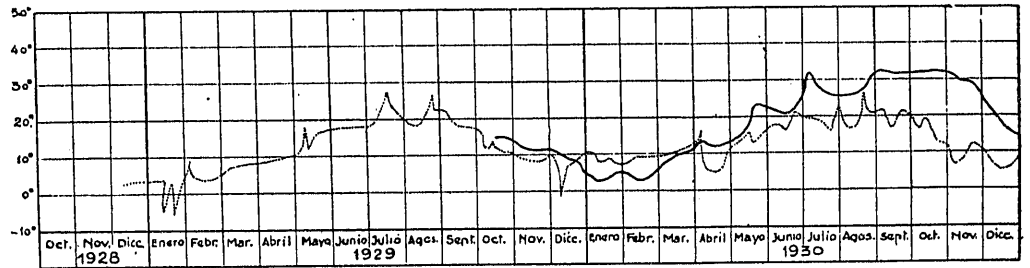
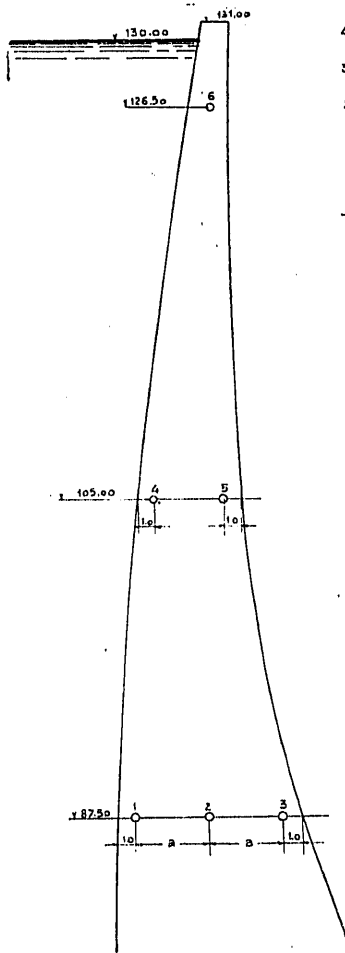


Gráfico de la excavación y del hormigonado

temperatura interior del macizo para poder llenar en tiempo adecuado dichas juntas. Durante tres meses se ha mantenido la temperatura del hormigón dentro de la presa a cerca de 50°.

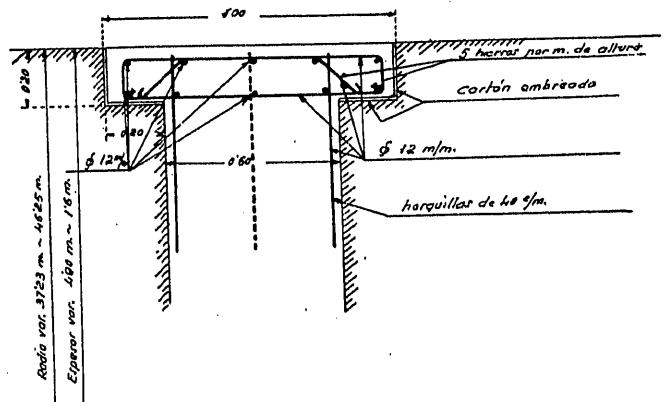
Se han construido dos juntas de contracción de la forma detallada en el dibujo, situadas próximamente en el punto del arco en que la curva de presiones está centrada, no habiendo, por lo tanto, más que esfuerzos de compresión. La junta de contracción viene a resultar como una dovela del arco, por lo cual, al ponerse en carga la presa, tiende a cerrarse y conseguirse la impermeabilidad. Para conseguir ésta en la



Situación de los termómetros y gráficos de temperatura

en las fracciones. Para hacer este cálculo fué preciso hacer diversas hipótesis con relación a las temperaturas. Los únicos datos prácticos fueron los referentes a Broc, facilitados por el Sr. Grunner. Para poder comprobar las hipótesis de cálculo y orientar a los que tengan que proyectar presas en arco, se han instalado termómetros situados de acuerdo con los planos adjuntos. Diariamente se han hecho las lecturas que se resumen en los gráficos.

Han servido, además, los termómetros para fijar la fecha del hormigonado de las juntas de contracción, una vez que el hormigón ha llegado a la temperatura normal y una vez verificada ya la retracción del fraguado, y siendo la temperatura del ambiente la más favorable. Es conveniente en las obras que se construyan con juntas de contracción conocer la



Detalle de la junta de dilatación

parte de aguas arriba, a ambos lados de la junta se ha colocado cartón embreado; en estas condiciones se ha podido lograr una impermeabilidad absoluta.

Los ensayos de dosificación se han hecho en un modesto laboratorio al pie de la obra, siguiéndose el método de Abrahams-Bolomey. Del hormigón empleado en obra se han construido cubos de 20 cm, que han sido ensayados en la Escuela de Caminos y en la Fábrica de Cementos «Cangrejo», que es la empresa que ha suministrado el cemento. Se ha obtenido una resistencia media de 280 kg por centímetro cuadrado.

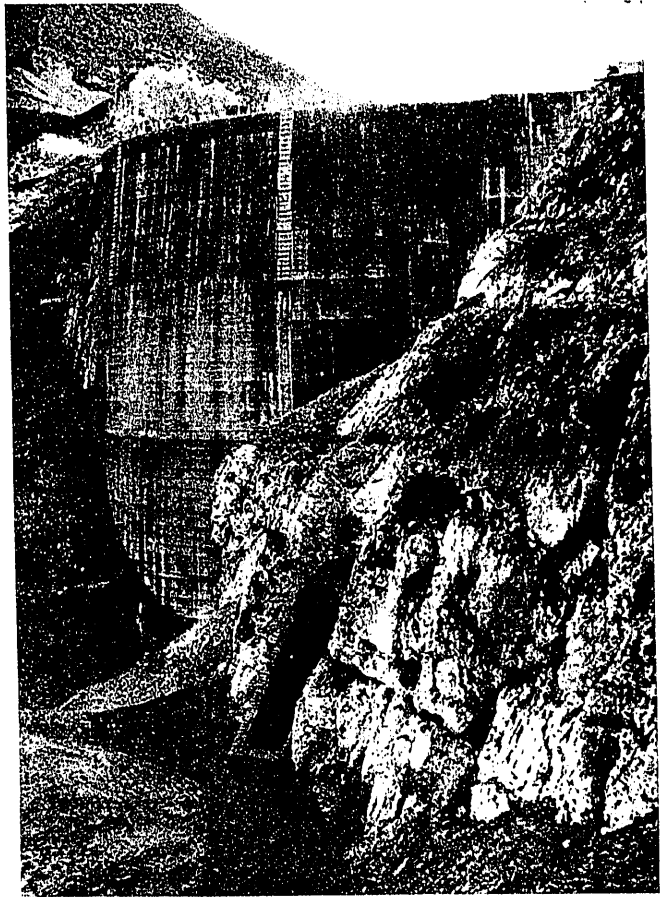
La dosificación del hormigón por metro cúbico ha sido la siguiente:

Grava de 10 a 80 mm	850 litros
Arena de 0 a 10 mm	450 »
Agua	130/140 »
Cemento	300 kg

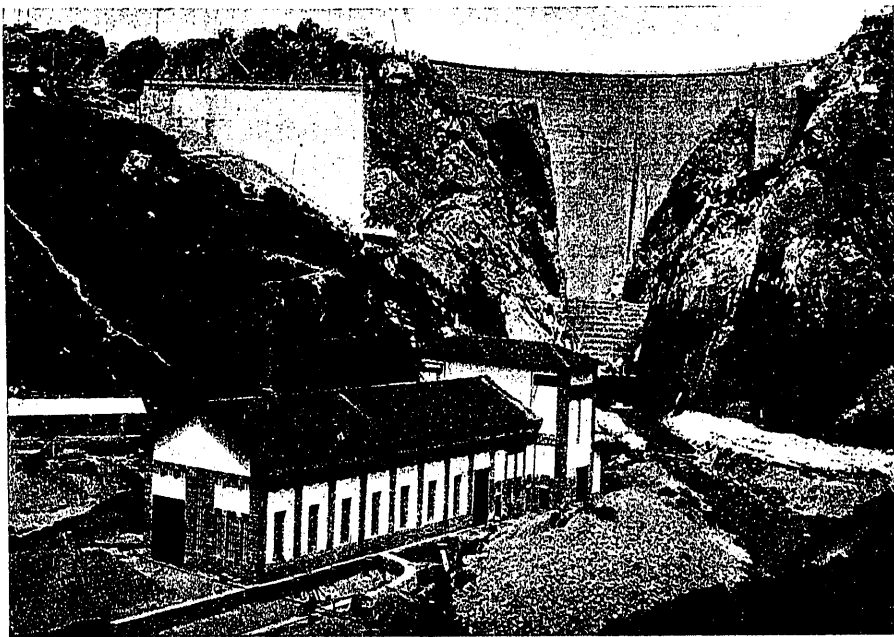
En los estribos se ha dosificado a razón de 250 kg el metro cúbico, y se han colocado además bloques de piedra caliza en proporción de 15 por 100 próximamente. Como dato que comprueba la precisión con que se ha llevado la dosificación del cemento, el promedio por metro cúbico empleado es de 277 kg, que excede en muy poco al promedio resultante de los volúmenes de las dos dosificaciones empleadas. Este exceso es debido al mortero empleado en la unión de obra vieja con nueva.

La construcción de la presa se ha llevado por toncadas horizontales de un metro de altura, usándose el encofrado que se detalla, que es de pequeño coste y práctico.

La impermeabilidad conseguida es perfecta, ha-



Presa aguas arriba y entrada de la conducción forzada



Presa y central

biendo contribuido a ello la gran compacidad del hormigón y el haberse colocado en obra con gran cuidado, especialmente junto al paramento de aguas arriba. La fluidez conseguida en el hormigón ha ayudado también a conseguir la impermeabilidad. El paramento de aguas arriba ha sido revestido de una capa de Inertol.

El volumen total del hormigón empleado en la presa, estribos y refuerzos de las rocas no llega a 20 000 m³, produciéndose, por lo tanto, un embalse de 4 200 m³ de agua por cada metro cúbico de hormigón empleado. Es probable que esta cifra sea una de las más elevadas que se han conseguido.

Terminaremos en el próximo número la descripción de este aprovechamiento.

Esteban ERRANDONEA Y LARRACHE
Ingeniero de Caminos