

UN PLAN HIDROELECTRICO NACIONAL

Por ENRIQUE SANCHEZ CONDE,
Ingeniero de Caminos.

Continúa el trabajo iniciado por el autor en nuestro número anterior, y, según anunciamos en aquel preámbulo, se ocupa ahora de la solución del problema en Francia mediante un organismo estatal denominado "Electricité de France".

II

El Plan hidroeléctrico francés.

Francia se encontró, al terminar la última guerra, con una producción de electricidad deficitaria, debida, en parte, a las destrucciones ocasionadas por el conflicto, y en parte, a no haber seguido construyendo centros productores de energía durante el tiempo que duró éste.

La producción, que había alcanzado su máximo en 1938, con un total de $22\,100 \times 10^6$ Kw.hora, experimentó un descenso hasta quedar, reducida a 16 100 en 1944, viéndose la urgente necesidad de estudiar un plan de equipo de nuevas centrales.

Fué en el año 1946 cuando se hicieron los estudios que habían de permitir fijar la posible demanda de energía cinco años más tarde, teniendo en cuenta no sólo las necesidades de la electroquímica, electrometalurgia y ferrocarriles, que se consideraron como los mayores consumidores, sino estudiando, además, la posible influencia que ejercería sobre la demanda la utilización de la electricidad para usos domésticos y agrícolas.

Se llegó por este medio a formular una posible demanda para 1951-52, trazándose un plan de producción (Plan Monnet) con dos objetivos: el primero, a corto plazo, concerniente principalmente al invierno 1946-47, y el segundo, al quinquenio que terminaba en 1951-52. El primer objetivo se ha llegado a cumplir casi en su totalidad. Se reconstruyeron centrales hidráulicas con una potencia total de 20 000 kilowatios, se instalaron 137 500 Kw. en nuevas plantas y se forzó la producción térmica y el intercambio en el extranjero, llegándose a producir $27\,300 \times 10^6$ Kw.hora en 1947.

El segundo objetivo era alcanzar en 1951 una producción de $39\,500 \times 10^6$ Kw.hora, de los cuales decidió el Consejo del Plan que el 60 por 100, es decir, unos $24\,000 \times 10^6$ debían ser hidráulicos, para economizar carbón. Teniendo en cuenta que la producción media hidráulica ascendía, en 1947, a $15\,500 \times 10^6$ Kw.hora, debería obtenerse un aumento de $8\,500 \times 10^6$ Kw.hora en cinco años, cantidad que hubo de ser aumentada a $9\,600 \times 10^6$ Kw.hora,

por afectar las instalaciones previstas a algunas ya existentes.

Para alcanzar esta producción ha sido necesaria una oficina que estudiara en conjunto las posibilidades de producción y una entidad que realizara los proyectos, finalidades ambas encomendadas a Electricité de France, organismo estatal que ha absorbido todas las empresas hidroeléctricas, salvo la Compañía Nacional del Ródano, a quien se encargó, además, del transporte y de la distribución de la electricidad, cuyas actividades vamos a tratar de conocer.

Según hemos indicado en el artículo anterior, Francia posee tres regiones principales hidráulicas: los Alpes, los Pirineos y el Macizo Central, y, aparte de ellas, dos grandes ríos: el Ródano y el Rin, con características propias, caudalosos y de aportaciones muy regulares por participar de los regímenes glaciar y pluvial. Ambos han dado ocasión a la redacción de proyectos de aprovechamientos integrales muy interesantes, cuyas producciones anuales se cifran en 13 000 y 6 000 millones de kilowatios . hora, respectivamente, y cuyo objetivo no se ha limitado a la producción eléctrica, sino que abarca además los riegos y la navegación.

Las regiones citadas tienen regímenes hidráulicos completamente diferentes, y también lo son las características de sus saltos.

Los saltos alpinos se caracterizan por su altura y la abundancia de sus caudales. Tienen regulación interanual, debido a los glaciares de los que nacen, y también por esto presentan sus estiajes en invierno. En tanto que los Alpes son del estrato cristalino, los Pre-Alpes y el Jura son calcáreos y esta desigualdad geológica ocasiona también gran desigualdad entre los posibles embalses.

Los Pirineos tienen características semejantes a los Alpes. Se diferencian de ellos por su desarrollo lineal y sobre todo porque su caída brusca proporciona los saltos de mayor altura de Francia y en general los más económicos. Su régimen no es totalmente glaciar. Los caudales máximos, debidos al deshielo, son en junio y decrecen rápidamente por falta de nieves suficientes, pero en septiembre se ven incrementados por las lluvias de otoño.

El Macizo Central permite, en general, la construcción de embalses económicos, y como sus ríos no suelen tener pendientes fuertes, es frecuente la construcción de centrales de pie de presa. Su régimen hidrológico presenta un máximo en invierno y a principios de primavera, es decir, que está en las mejores condiciones para atender al consumo nacional francés. En cambio, sus grandes irregularidades y los estiajes, fuertes y prolongados, hacen que sea impres-

de trabajo, para el cual fue preciso vencer grandes dificultades. Gran parte de los proyectos para futuras instalaciones habían sido hechos por Empresas que no tuvieron en cuenta un plan general, sino que los redactaron con arreglo a sus necesidades. Los programas de ejecución fueron respetados cuando las obras necesitaban pocos preparativos o eran de difícil modificación; pero en los casos en que no existían estos inconvenientes fueron modificados para obtener un



Presa de Bort-les-Orgues. Aliviadero de superficie. (Fot. Entreprises Métropolitaines.)

cindible el apoyo de otra región para poder atender a la demanda.

Teniendo en cuenta estas características y las ideas sobre la forma en que deben compensarse las regiones productoras de energía, Electricité de France redactó un amplio plan de mejora de instalaciones y de construcción de nuevas centrales y líneas de interconexión.

Había en el país 780 centrales hidráulicas, de las cuales 530 tenían una potencia inferior a 2 500 kilovatios. De las 250 restantes, 50, aunque conectadas con las redes generales, debían reservarse a la electrometalurgia, electroquímica y ferrocarriles. Gran número de centrales estaba insuficientemente equipado y no se había estudiado el aprovechamiento íntegro de los cursos de agua.

Sobre esta base de producción se redactó un plan

rendimiento máximo al hacer un plan conjunto. Se marcó las centrales que debían ser ejecutadas a lo largo del quinquenio y la preferencia que debía darse a unas sobre otras por tener embalses que regulaban la producción de aguas abajo o por la demanda regional.

Entre el gran número de centrales proyectadas existen algunas que no debemos dejar de citar por su importancia:

Alpes. — El embalse de Roselend, en Saboya, con la central en La Bathie, sobre un afluente del Isère. Su embalse, de 230×10^6 m.³, regula este río y la central puede producir 826×10^6 Kw.hora.

El embalse de Tignes en Saboya, con la central de Les Brevières sobre el Isère. Su embalse de 230×10^6 m.³ regula el Isère y la central puede producir 138×10^6 Kw.hora. Regula las centrales

de Malgovert, Aiguebelle y La Vanelle, cuya producción alcanza los $1\,200 \times 10^6$ Kw.hora anuales.

Macizo Central. — Central y embalse de Bort-les-Orgues. Puede producir 325×10^6 Kw.hora anuales. El embalse, de 450×16^6 m.³, regula, sobre el Dordogna, las centrales de Mareges, L'Aigle y Chastang, cuya producción anual puede alcanzar los $1\,300 \times 10^6$ Kw.hora.

La Central de Pouguet, sobre el Tarn, afluente del Garona, con una producción de 243×10^6 kilowatios.hora, regulada por diferentes embalses, el más importante de los cuales es Pareloup, en el Vioulou, con 200×10^6 m.³ de capacidad.

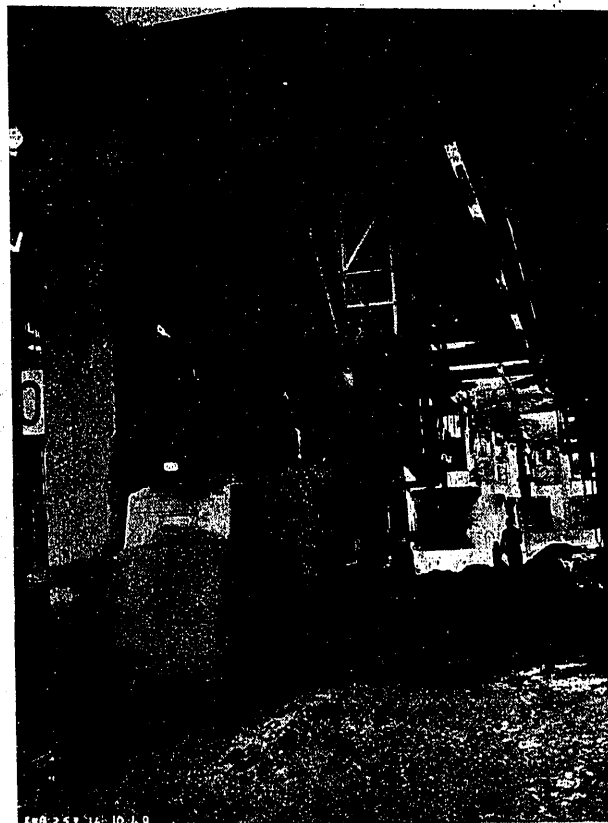
La Central de Montpezat, que deriva agua del Loir al Ardeche, en un salto de 600 m., y cuya producción es de 300×10^6 Kw.hora.

Pirineos. — Embalse de Cap de Long, de 70×10^6 metros cúbicos de capacidad, con la central en Pragnères, sobre el Gave de Pau, que produce 300×10^6 kilowatios.hora anuales.

Regula la producción de la central de Luz, donde se ha hecho una segunda central, Luz II, con una producción anual de 90×10^6 Kw.hora.

El salto de Le Portillon, que con sus 1 400 m. de altura es el salto de mayor desnivel de Francia y produce 70×10^6 Kw.hora al año, con un sólo grupo Pelton de 40 000 Kw.hora.

Ródano. — Central de Donzère-Mondragón, con dos millones de m.³ de embalse y una producción anual de $1\,900 \times 10^6$ Kw.hora. Central de Seyssel. Contraembalse de Genissiat, que producirá 190×10^6 kilowatios.hora.



Presa de Bort-les-Orgues. Estación de hormigonado.
(Fot. Entreprises Métropolitaines.)

Rin. — Central de Ottmarsheim, con una producción de 900×10^6 Kw.hora.

Paralelamente a esta labor, se ha llevado la de construcción de líneas de transporte, llegando a unos 1 800 Km., en líneas de 225 KV., y a unos 700, en las líneas de 150 KV., y en las subestaciones, en las que se han instalado transformadores que ascienden a más de 1 700 MVA. de potencia.

Si difícil era en este plan llevar a cabo la ejecución de las obras en los plazos previstos, pronto se vió que aún más difícil sería tener a punto el propio material de equipo de las centrales. Para ello se creó una Inspección, encargada primero de fijar un orden de urgencia para la maquinaria de los distintos saltos, y en segundo lugar, de revisar periódicamente su marcha de fabricación. Aunque la labor de esta oficina es poco brillante, los resultados prácticos han sido excelentes. Los constructores de la central conocen constantemente, por medio de cuadros murales, el estado de fabricación de la maquinaria y los adelantos o retrasos que observan en ella repercuten beneficiosamente en la marcha de las obras.

Con relación a la ejecución de éstas, se planteaba, por un lado, el problema de la rapidez, y por otro, el de la economía, no solamente en lo referente al presupuesto en sí, sino también con relación a ciertos



Presa de Bort-les-Orgues. Extracción de áridos.
(Fot. Entreprises Métropolitaines.)

materiales que, como el cemento, escaseaban al acabar la guerra.

La rapidez de ejecución se ha conseguido, en primer lugar, por el perfeccionamiento de los medios auxiliares empleados en las diferentes partes de la obra, y en segundo lugar, por la racionalización del trabajo.

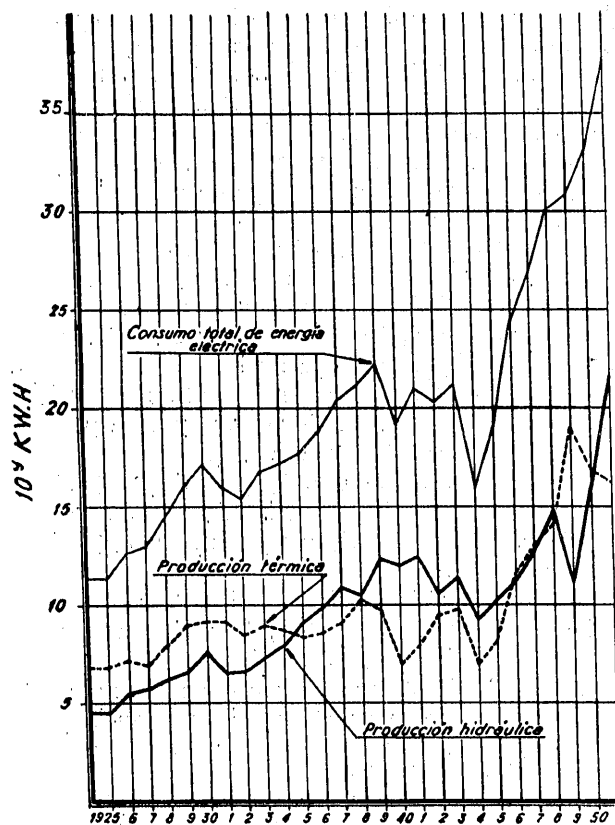
Cada vez ha adquirido más importancia el empleo de máquinas, especialmente en los trabajos de excavación, perforación de túneles y fabricación del hormigón. La excavación se hace por *scrapers* de hasta 10 m.³, por palas móviles de 4 m.³ y últimamente se ha iniciado en las obras del canal de Donzère-Mondragon el empleo de dragas que depositan directamente los materiales excavados en las laderas del canal.

En el transporte de tierras han quedado abandonadas las vagonetas. Actualmente se efectúa por medio de camiones-volquetes y la explanación se obtiene muy a menudo por *bulldozer* y *scraper*.

Para la perforación de túneles se emplea, corrientemente, el procedimiento americano de barrenos paralelos con martillos pesados fijos sobre "jumbos", haciéndose el desescombro por medios mecánicos, generalmente por palas excavadoras. El revestimiento se lleva a cabo por medio de encofrados metálicos plegables, que permiten alcanzar corrientemente velocidades de hormigonado de 10 a 15 m. lineales de galería por jornada.

Quizá donde ha influido más claramente la mecanización ha sido en la fabricación del hormigón.

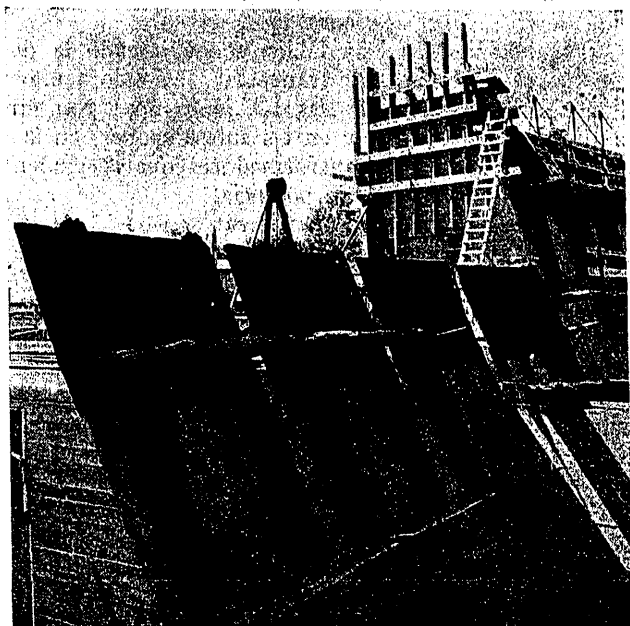
Los áridos son recogidos normalmente del lecho



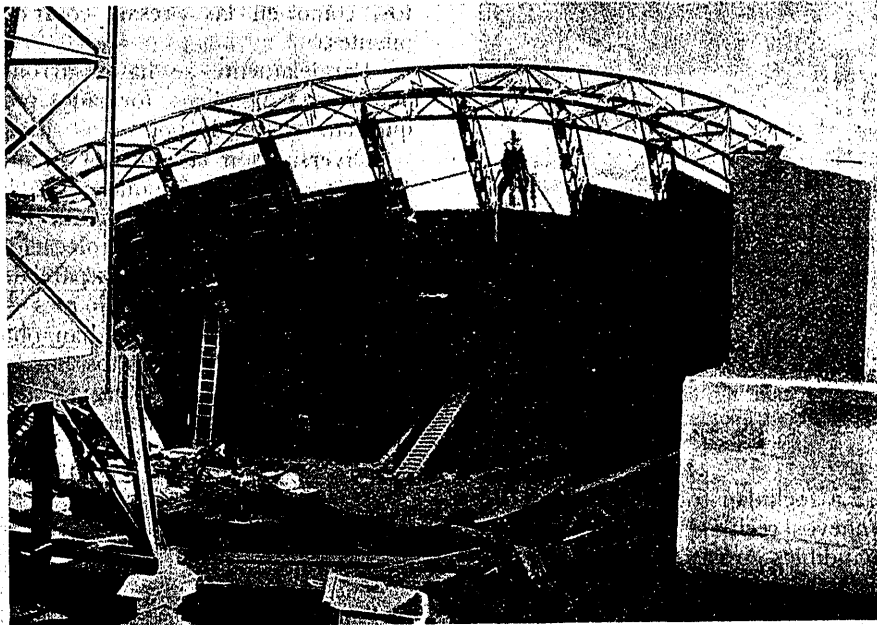
Producción de energía eléctrica francesa.

del río, en puntos apropiados, lavados y clasificados en estaciones, donde predominan las cribas oscilatorias, que tienden a desplazar a los tromeles, y transportados por medio de grandes teleféricos a los silos de las estaciones de hormigonado. El transporte del cemento se hace, generalmente, por ferrocarril o por camión hasta la obra, en vehículos metálicos especiales, dispuestos para poder bombear desde ellos el cemento a los silos. En obra, el transporte del cemento se suele hacer por aire comprimido o por bombeo. La carga de las hormigoneras suele ser automática, por peso, y los baldes sobre los que descargan tienen la capacidad útil de la hormigonera. Son transportados, generalmente, por blondines o arrastrados en trenes por motores Diesel hasta las grúas de hormigonado, y su cierre y apertura es automático por aire comprimido. Esta mecanización creciente ha permitido mejorar el record de hormigonado mensual establecido en la construcción de la presa de Genissiat, pasando de los 30 000 m.³ allí colocados a 60 000 en la presa de Tignes.

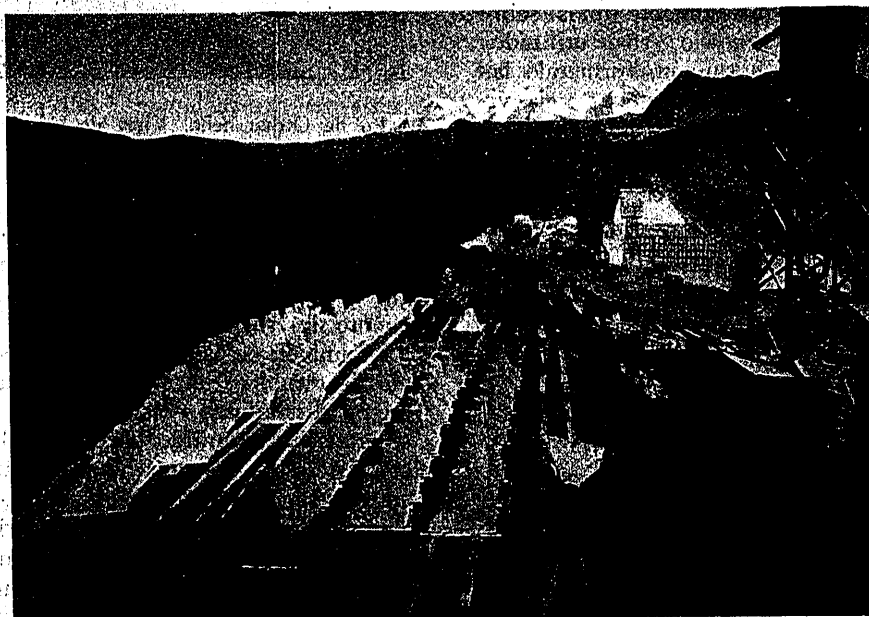
Particularmente interesante en la ejecución de las presas es la sustitución de los encofrados corrientes por encofrados metálicos y prefabricados. Los primeros proporcionan una gran economía de madera en las grandes superficies lisas y otra bastante mayor



Presa de Bage, en el Tarn. Encofrados metálicos deslizantes. Los espacios libres se cerrarán por paneles ajustables. (Fot. A. Juain.)



Presa de la Girotte. Encofrados metálicos para una de las bóvedas.



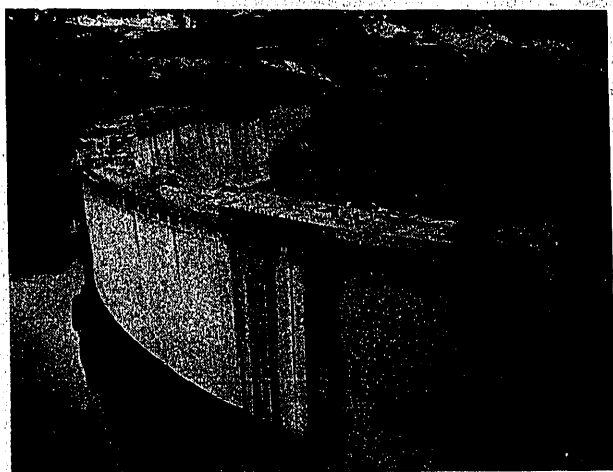
Presa de la Girotte. Bloques prefabricados para encofrados de paramentos.



Presa de la Girotte. Colocación de bloques prefabricados para encofrados.

en la mano de obra. La facilidad con que se desencofra y preparan los nuevos recintos de hormigonado, los ha hecho imprescindibles en casi todas las presas.

Menos conocidos son los paramentos prefabricados. Se empezaron a emplear en la presa de La Girotte, en los Alpes, por les Entreprises Metropolitaines et Coloniales, para los contrafuertes de las bóvedas, proporcionando paramentos de alta calidad, y más tarde en la construcción de la presa de Bort-les-Orgues, por la misma Compañía constructora. Según se puede apreciar en las fotografías adjuntas, son grandes bloques vibrados terminados en uno o dos troncos de cono que quedan embutidos en la masa de hormigón. Se colocan directamente unos sobre otros, con los mismos blondines o grúas utilizados para la puesta en obra del hormigón, formando las superficies de los volúmenes a hormigonar y la vibración a que se somete el hormigón que se vierte en el recinto hace refluir la lechada por las juntas,



Presa de Tignes. (Fot. Baranger.)

produciendo su completa unión. Estos bloques proporcionan paramentos muy buenos y son especialmente indicados en aquellos que han de quedar vistos, como en las presas, contrafuertes y pilas de puentes.

Paralelamente se ha desarrollado el empleo de andamiajes metálicos, formados por tubería de acero, que han sustituido por todos sitios a los de madera.

Diversas son las formas en que se ha intentado ahorrar cemento. Aunque utilizada ya hace tiempo y siempre con el inconveniente de necesitar una instalación especial para la colocación en obra, parece que ha tenido ciertos éxitos parciales la incorporación al hormigón de grandes bloques de piedra.

Mejores resultados se han obtenido con los cementos de escorias de altos hornos, experimentados en la presa de Bort-les-Orgues. ("El cemento de escorias en el hormigonado de presas", *Revista de*



Salto de Ottharsheim. Vista de conjunto. (Fot. Baranger.)

Obras Públicas, marzo de 1952), que han permitido llegar a ahorros del 70 por 100 de cemento, teniendo, además, la ventaja de que son cementos fríos en los que no es necesaria una gran vigilancia del recalentamiento de fraguado.

También en la presa de Bort, siguiendo el ejemplo de otras, se ha empleado la fabricación de hormigón discontinuo. La separación del árido en seis tamaños ha permitido hacer dos clases de hormigón con áridos en los que faltaba el tamaño intermedio entre cada dos de los utilizados. Esto permite un ahorro de agua en la formación de la película que envuelve a los granos y, por tanto, una disminución del cemento empleado al conservar constante la relación agua-cemento.

No debemos dejar de citar, a pesar de la rapidez con que hemos dado esta visión de las obras francesas, la sección de estudios. Se ha notado un cambio en cuanto a la toma de datos para la ejecución de

los proyectos. A la estérefotogrametría terrestre ha sucedido la aérea, que se encuentra actualmente en pleno desarrollo, consiguiéndose por medio de ella una gran eficacia en las zonas montañosas.

Son notables los adelantos obtenidos en la confección de modelos reducidos, y digna de mención la gran cantidad de ensayos que se efectúan.

Cualquiera de las centrales importantes han sido estudiadas cuidadosamente, y en las que ha sido posible, como en Donzère-Mondragón o en Seyssel, la puesta en marcha de un grupo se ha efectuado con el suficiente adelanto para poder estudiar, a tamaño natural, el rendimiento de los otros.

Se nota en los proyectos una tendencia a las presas arco-gravedad y a los aliviaderos en salto de

esquí, con la central en la presa en los grandes embalses, como podemos observar en los aprovechamientos del Dordoña, pero quizá una de las principales características sean los grandes túneles. La derivación de otros ríos a los embalses principales ha dado lugar a túneles de longitud cercana, en muchos casos, a los 15 Km., como en la derivación de la Rhue al embalse de Bort, con sección circular de 4,50 m. de diámetro, o en el salto de Isère-Arc, con una longitud de 11,7 kilómetros y sección también circular de 6,25 m. de diámetro, y ha originado la idea de los grupos a contrapresión, para el mejor aprovechamiento de los desniveles.

Como resumen de lo expuesto, damos el cuadro con las previsiones hechas y los resultados obtenidos:

A Ñ O	1946	1947	1948	1949	1950	1951
Consumo previsto (en 10 ⁹ kilowatios . hora)	24,9	27,3	30,9	33,5	37,2	39,5
Nuevas centrales hidráulicas (en Kw.)	137 500	218 700	301 800	380 000	363 000	374 500
Idem térmicas	—	109 500	105 000	340 000	290 000	228 000
Producción hidráulica (en 10 ⁹ kilowatios . hora)	11,3	12,9	14,8	11,2	16,1	21,2
Idem térmica	11,6	12,9	14,1	18,8	17,0	16,7
TOTAL (en 10 ⁹ Kw.h.)...	22,9	25,8	28,9	30,0	33,1	37,9

Vemos en él que el Plan Monnet no se ha desarrollado enteramente tal y como estaba previsto. Es evidente un retraso de cerca de dos años en las ejecuciones llevadas a cabo, atribuido, en parte, a las dificultades tanto nacionales como extranjeras para el suministro de materiales y maquinaria, y en parte, al factor económico. A pesar de las llamadas al capital privado en diferentes formas, no ha acudido como

se esperaba y el Estado ha rebajado los presupuestos acordados en principio.

Sin embargo, las realizaciones hechas hasta la fecha justifican plenamente la elaboración del plan y muestran que la iniciativa privada hubiera podido difícilmente llegar a estos resultados, de no existir entre ella una estrecha colaboración.