

Desarrollo y producción de la electricidad en España¹

Situación actual.—Posibilidades futuras.—Industrias electroquímicas

III

Situación actual de la producción eléctrica. Posibles consumos futuros. Industria electroquímica

Actualmente, la situación del mercado eléctrico es la de una gran capacidad de producción y falta de consumo. Sobran, como se indica en el gráfico 5, unos mil millones de kilowatios-hora. Firmado el convenio de las Grandes Sociedades Eléctricas, no por ello ha de variar la capacidad del mercado. Pero cabe buscar, con la cooperación de todas las Empresas, un aumento de consumo de energía.

Con la interconexión de las centrales de estos grupos eléctricos se pueden regular las variaciones de los regímenes de los diversos ríos que les abastecen de fluido, pudiendo tener con ello sobrante de energías eventuales que se pueden utilizar en industrias de marcha variable. No nos extendemos sobre este extremo, que saldría fuera de los límites de este artículo.

Las Sociedades que han firmado el convenio hidroeléctrico con "Saltos del Duero" constituyen un grupo cuyo consumo se aproxima a los 1 000 millones de kilowatios-hora (el tercio del consumo de España), y que tienen una capacidad de producción de unos 1 600 millones. Además de esta energía, disponen de fuerzas eventuales, y aún se podría disponer de más con la interconexión de las centrales. Hay, pues, un sobrante de energía perdida que se puede valorizar con la fabricación de abonos. Esta industria necesita un precio barato de energía, a lo sumo tres céntimos por kilowatio-hora. En el momento presente, cualquiera que sea el precio del kilowatio-hora ha de producir un beneficio, pues de no emplearse esta energía se pierde sin producir beneficio alguno.

Aunque el consumo aumente en lo sucesivo, el grupo formado por las hidroeléctricas ha de tener siempre un sobrante, en previsión de aumentos futuros, alrededor de un 15 por 100 de su producción, o sea unos 250 millones de kilowatios-hora. Además, tendrá energías eventuales o de "vertedero". Son parte de estas energías las que se deben emplear en los nitrógenos.

Consumos futuros. Industria electroquímica

Nada pueden hacer las Sociedades eléctricas por aumentar el consumo industrial, pues la crisis de producción de las industrias no depende del precio de la energía.

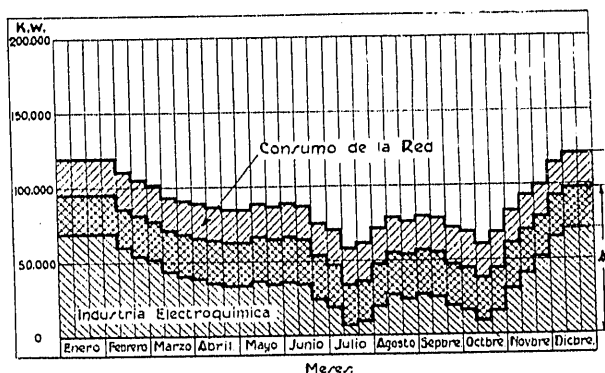
Algo se puede conseguir en el consumo de electricidad doméstica; pero en la actualidad no supondrá probablemente este consumo más de un 20 por 100 de

la total producción, gastándose unos 450 millones de kilowatios-hora. Por mucho que se haga en este sentido no se llegará a duplicarlo. Y para ello hay que gastar bastante en redes, contadores, etc., además de acostumbrar al público a esta clase de consumos.

También cabe hallar un consumo en electrometallurgia con los hornos eléctricos, que absorben grandes cantidades. Pero con la actual situación de la siderurgia poco se puede esperar de esta clase de consumo.

Queda, pues, como posible gran consumidor la industria electroquímica. La más conocida de éstas es la del carburo; pero esta industria tiene en España una capacidad de producción de unas 36 000 toneladas para un consumo de 20 000 toneladas. Únicamente se podría producir "carburos" para transformarlos en "Cianamida", lo cual entra dentro de los abonos nitrogenados, de los que tratamos a continuación.

No parece que el uso de la "Cianamida" tiende a



Consumo de una Red General e Industria Electroquímica:

Fig. 13

aumentar, sobre todo en el mercado español. El agricultor español no entra con el uso de este abono.

Los abonos nítricos son un gran consumidor de energía barata eventual y de la llamada energía de "vertedero", o sea de los sobrantes que no tienen utilización. Se adapta, además, a las variaciones de carga, tanto diurna como anual.

En el gráfico de la figura 13 se puede observar la marcha de una central (o grupo de centrales) que abastece una red de consumo y una industria de nitrógeno. La parte superior es la dedicada a la red; la inferior, al nitrógeno, y la parte central la dedicada durante el día, con carga variable, a ambos consumos. Puede comprobarse la gran elasticidad de carga, que permite el consumo electroquímico, que hace de volante regulador de los consumos.

Como ejemplo de aprovechamiento electroquímico, citamos el de "Energía e Industrias Aragonesas" (Saltos de Panticosa), que en Sabiñánigo produce aluminio, sulfato amónico, cloratos y carburo.

La utilización de las energías hidráulicas de sus sal-

¹ Véase el número anterior, página 1.

tos es muy buena, ya que con 19 000 KVA instalados produce más de 100 millones de kilowatios-hora, con una utilización de cerca de siete mil horas de su máxima capacidad, lo que supone un coeficiente de utilización de 0,75, aproximadamente.

La situación de los productores de electricidad en los Pirineos franceses en 1921 era muy mala, pues peligraban los capitales invertidos en ella, cosa que aquí no sucede, pues, en general, la situación de las Compañías eléctricas es brillante. Sin embargo, con la formación de la "Upepo" se fomentaron consumos nuevos, utilizándose energías perdidas en industrias de marcha eventual.

IV

La electrificación de los Pirineos franceses. Unión de Productores de Electricidad de los Pirineos Occidentales (U. P. E. P. O.)

Los Pirineos franceses constituyen un conjunto de centrales agrupadas, probablemente de las más interesantes de Europa, y que puede servir de ejemplo. Por este motivo tratamos de ellas a continuación, pues tal vez su funcionamiento pueda tener aplicación en el momento actual.

En el plano general se señalan las principales centrales productoras y líneas de distribución que sirven el Sur de Francia. Unas pertenecen a los ríos pirenaicos y otras a los del macizo central (Rouergue, Cère, Truyère, etc.). Todos forman un conjunto agrupado de productores que sirven un sector que abarca aproximadamente la tercera parte de Francia.

Características hidroeléctricas

Los ríos de los Pirineos nacen en alturas entre 2 500 y 3 000 metros, y desembocan, con rápida pendiente, en una llanura de unos 300 metros. Son sus colectores principales los ríos Garona y Adour. Tienen los ríos pirenaicos, por su fuerte pendiente, características hidroeléctricas muy buenas. Se dispone, además, de lagos situados en general a más de 2 000 metros, que pueden regularizar los caudales en las épocas de escasez. También las nieves, casi perpetuas en algunos sitios, efectúan una regularización durante el período de verano.

La dirección Este a Oeste de los Pirineos permite grandes precipitaciones con los vientos del Noroeste, que son los que más lluvias producen en aquella zona.

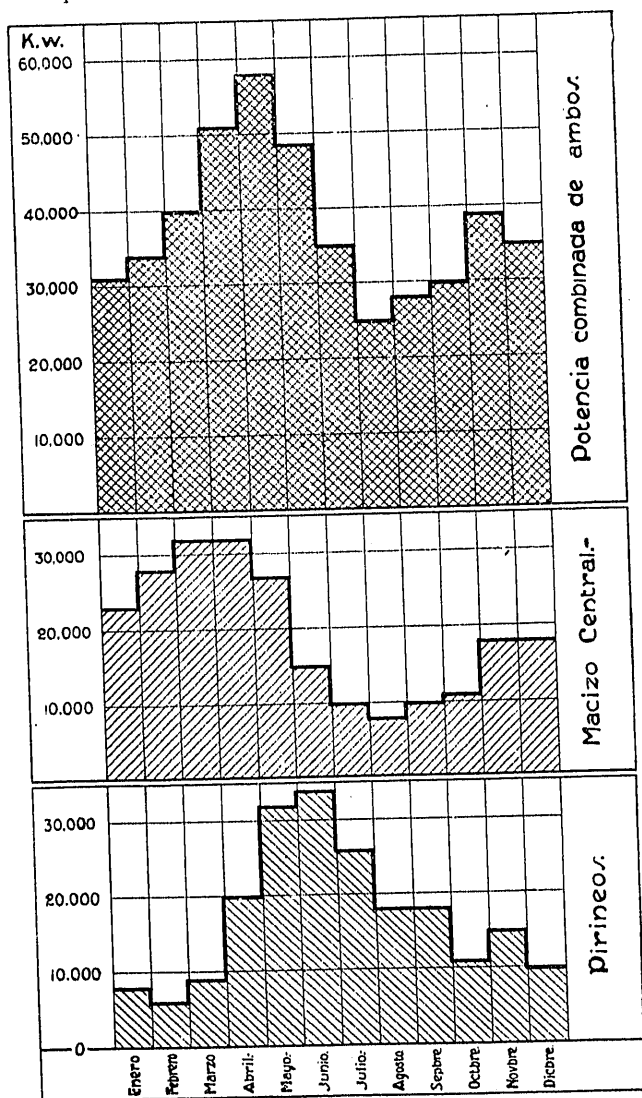
Los ríos de la parte oriental tienen aguas abundantes en invierno, con un máximo en primavera y estiaje en verano. Las de la parte central son de abundancia de marzo a julio por la fusión de las nieves, y de fin de septiembre a noviembre por las primeras nevadas. Las sequías se producen fuertemente en invierno por las heladas y una menor sequía de fin de julio a mediados de septiembre. Este régimen es parecido al del Cinca de la Hidroeléctrica Ibérica. Los ríos de la parte occidental son semejantes a los de la central, solamente que el estiaje de verano es mayor que el invernal.

Los ríos del macizo central tienen abundancia de aguas en la época invernal, con mínimos en otoño y primavera y un estiaje marcado durante el verano. En el conjunto de estos saltos se produce una compensa-

ción de períodos de sequía, que se completa con los embalses de los lagos de los Pirineos y del macizo central. Interconectados los ríos del macizo central con todos los regímenes del Pirineo, se puede obtener una regulación previa de la energía que se complementa con los embalses. A continuación exponemos un ejemplo teórico que responde a la realidad.

Compensación de regímenes

Como compensación de los regímenes del Pirineo y macizo central pueden verse los gráficos de la figura 14. Suponemos en esta compensación dos saltos que tienen las mismas características de potencia, es decir, que el producto de caudal medio por altura es igual



Compensación de energía entre saltos de los "Pirineos" y "Macizo Central."

Fig. 14

en ambos. El gráfico inferior es de los Pirineos (sequías en invierno y verano); el intermedio es del macizo central (sequiaje en verano). Aisladamente, solamente se podrá obtener una potencia constante de 6 000 y 8 000 kilowatios, respectivamente.

Interconectando las dos centrales se consigue una regularización automática (como puede verse en el gráfico superior) y se obtiene una potencia mínima (en

Actualmente se ha iniciado una compensación en las fuerzas de los Pirineos, macizo central y Alpes, y con la gran importancia que tienen estas últimas se consigue una más perfecta compensación, desapareciendo completamente el sequiaje de verano y ganándose más de 200 000 kilowatios de energía constante.

Antes de la guerra se inició el aprovechamiento hidroeléctrico de los Pirineos. Fué la Compañía del ferrocarril del Midi, que con vistas a su electrificación construyó saltos de importancia. Aparte de esta Sociedad, existían algunos saltos para la industria papelera y electrometalurgia; pero en general la industrialización del país (excepto los centros industriales de Burdeos, Toulouse y Bayona) no era grande.

Fué la guerra, para la que había que producir sin mirar a precio, la que intensificó la construcción de saltos con vista a la producción de explosivos. También los saltos del Midi se emplearon para este fin. Grandes fábricas de pólvoras se construyeron en Toulouse, Marignac, Lannemezan, Burdeos, etc., por diversas entidades, entre las que citaremos a Peñarroya.

Fué en ese momento cuando unos financieros, verdaderos capitanes de industria, decidieron agruparse para la mejor defensa de los intereses generales y particulares. A continuación veremos cómo los productores de energía se han asociado y organizado, con una disciplina fiel y libremente acordada, creando un organismo que realiza la unión en paralelo de todas las centrales por medio de la "Union des Producteurs d'Energie des Pyrénées Occidentales" (U. P. E. P. O.)

Los resultados obtenidos han sido magníficos, como veremos, y únicamente han tenido un punto de inflexión ocasionado por la actual crisis.

El 14 de diciembre de 1922 se constituyó la "Upépo" por las entidades que se detallan en el cuadro siguiente. Primitivamente, sólo entraron los productores de los Pirineos, pero más adelante se han adherido los del macizo central "Rourgue", "Cère" y probablemente "Troyère".

No es la "Upepo" una Sociedad estrictamente co-

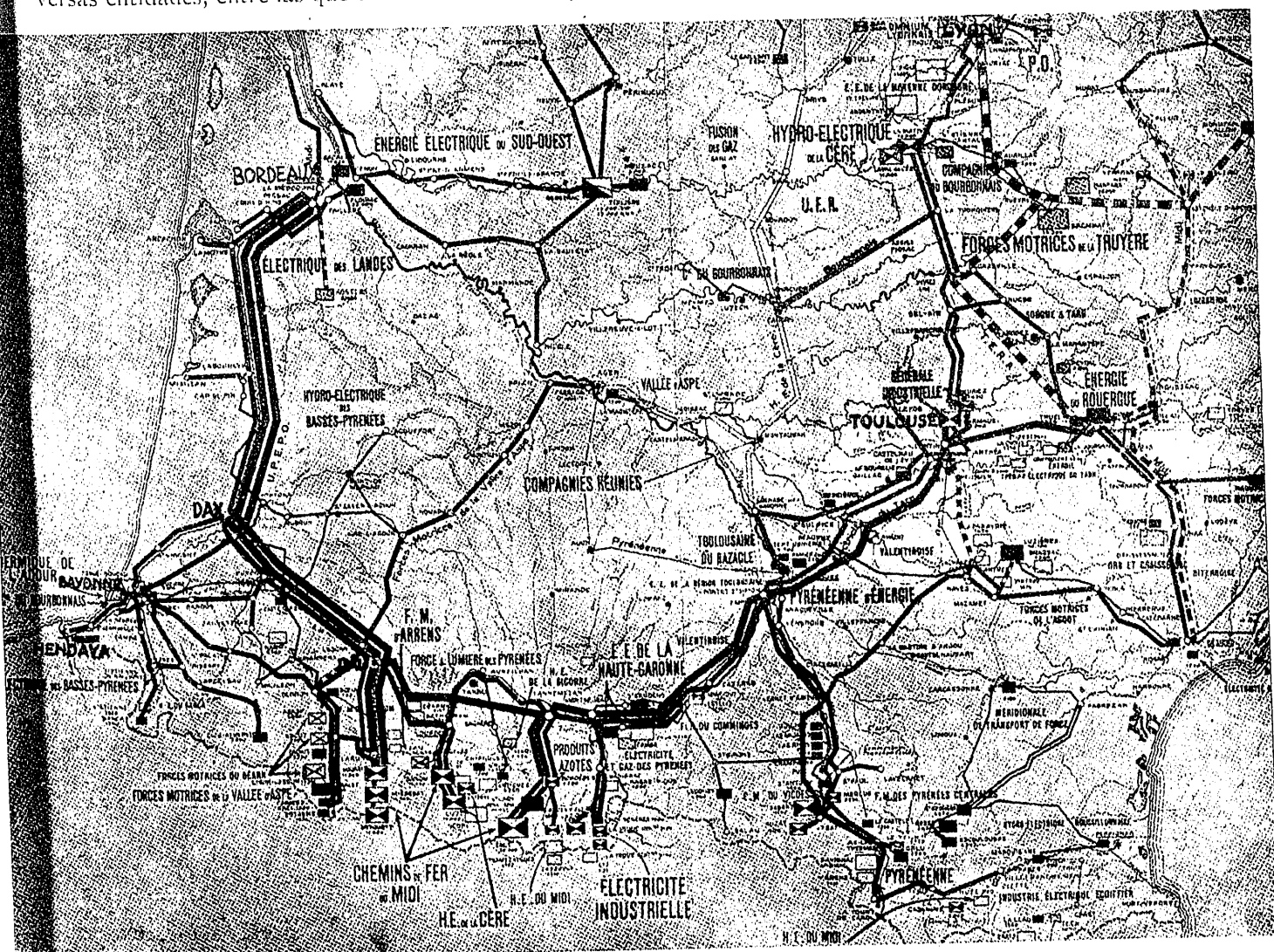


Fig . 15

mercantil, pues su fin no es el de obtener beneficios y su activo es pequeño con relación al negocio que realiza. Su misión es solamente realizar un acuerdo de los productores y vender por cuenta de ellos los sobrantes de energía que vierten a la red común; es decir, que es un almacén en el cual se recibe la energía para revenderla sin pérdida ni ganancia. La arteria central de la "Upepo" es la línea doble a 150 000 voltios, propiedad de los ferrocarriles del Midi, que va de Toulouse a Dax y Burdeos (figura 15). A ésta se unen todas las líneas transversales de los altos de los Pirineos y macizo central en los centros de Lannemazan y Lariens. En general, las líneas transversales están a 60 000 v. Aparte de la línea general, tiene el Midi

otras líneas siguiendo el trazado del ferrocarril a 60 000 v, que sirven para unir subestaciones propias y a la vez a la "Upepo":

El Midi cobra a la "Upepo", y ésta a su vez a los productores, un peaje por kilowatios-hora, que es función de la cantidad de energía y de la distancia transportada.

La potencia disponible por la asociación es de 580 000 kilowatios y la energía total de 1 750 millones de kilowatios-hora. Como puede verse, las cifras son de consideración.

Las principales Compañías asociadas están señaladas en el cuadro adjunto y en el plano general (figura 15).

Centrales productoras de los Pirineos

Centrales productoras de los Pirineos					
SOCIEDADES	RIOS	CENTRALES	Potencia KV \	Producción anual Millones de kw-h	
Compagnie du Midi...		Gare Pau... ..	15 000	85	
		Neste.....	25 000	115	
		Vallée d'Ossau ... }	Artouste	20 000	60
			Miegelat	40 000	110
			Hourat.	40 000	90
			Total	140 000	460
F. M. de la Vallée d'Aspe	Vallée d'Aspe. ... }	Estaens	3 000	7	
		Forges d'Abel. ...	3 000	14	
		Baralet... ..	12 000	56	
		Esquit... ..	5 000	23	
		Total	23 000	100	
S. M. M. Peñarroya	Neste	Saint Lary.	20 000	70	
Société des Produits Azotés	Neste	Loudenvielle... ..	12 000	30	
		Borderes... ..	12 000	40	
		Total	24 000	70	
Compagnie d'Electricité Industrielle	Pique	Pique sup... ..	13 000	35	
		Pique inf... ..	8 000	30	
		Lac d'Oo	45 000	65	
		Total	66 000	130	
Energie Electrique du Rouergue	Tarn.	Pinet	40 000	130	
		Truel	6 000	20	
		Thuries.	6 000	20	
		Total	52 000	130	
Hydro-Electrique de la Cère	La Cère	Sur... ..	25 000	130	
		Esterre... ..	12 000	60	
		La Mative.	35 000	110	
		Laval de Cère... ..	35 000	110	
		Total	107 000	410	
Compagnie Alais F. Camargue	Arriege	Sabart... ..	15 000	40	
Hydraulique	Garona... ..	Pointes... ..	8 000	35	
		Camon... ..	15 000	60	
		Total	23 000	95	
H. E. du Midi	Neste de Luron. ... }	Tramezaygues.....	25 000	60	
		Lassoula.....	15 000	20	
		Total.....	40 000	80	
Mincla. Centrale Thermique de Bayonne	Térmicas.. ... }	Hortens	50 000	80	
		Bayona... ..	40 000	100	
		Total	90 000	180	
TOTAL POTENCIA... ..			580 000		
TOTAL PRODUCCIÓN				1 740	

Algunas centrales trabajan sin regular el caudal, tales como Pointis, Camon, Pique, etc.; otras son de regulación diaria: Pinet, Mieglat, Hourat, etc., y otras son de embalse o lago: Eget, Estaens, Lac d'Oc. Hay, además, las térmicas de Hostens y Bayona.

Característica esencial de grupo "Upepo" es la de apoyarse en una fuerte industria electroquímica, que es gran consumidora de energía sobrante durante ciertos períodos y aun los sobrantes del día. La industria electroquímica es la primera beneficiada de este acuerdo, ya que utilizando la elasticidad de su marcha obtiene un precio barato de energía.

El pacto social

Cada adherente a la "Upepo" suscribe una cantidad de energía (reservándose para un consumo la parte que fija previamente) que ha de entregar. Esta cantidad es invariable durante la duración del pacto.

De acuerdo con el gráfico de la figura 16 se clasifican las energías en los tipos:

- 1.º Energía de veinticuatro horas procedente de centrales en regulación.
- 2.º Energía de catorce horas procedentes de centrales con pequeña regulación diaria.
- 3.º Energía de embalses.
- 4.º Energía de centrales de puntas.

El Midi no está comprometido por todo el plazo del pacto, pues puede tener necesidad de sus propias energías. Sin embargo, hasta la fecha ha tenido energía sobrante que ha vertido a la "Upepo". El gráfico

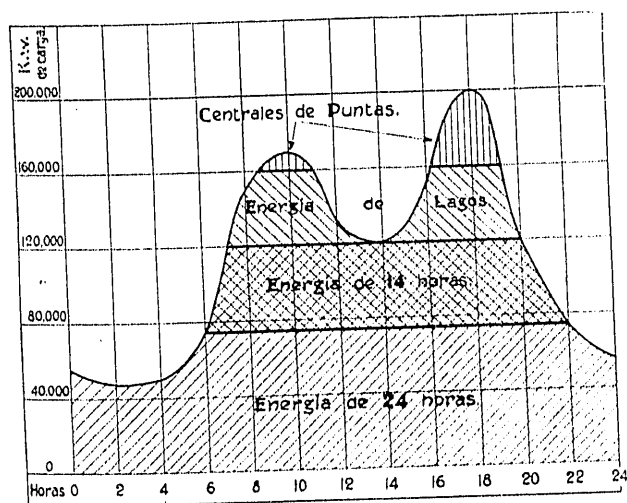


Diagrama de cargas en las horas del día.-

Fig. 16

de la figura 17 señala la energía utilizada por el Midi y vertida a la "Upepo".

Función técnica de la U. P. E. P. O.

El centro que dirige la carga de las centrales y el consumo de los usuarios de carga eventual está en Lannemezan, unido telefónicamente a todas las centrales para recibir cada hora las características de producción de cada una de ellas. Cada asociado manda diariamente la producción de su central, energía disponible en los ríos, embalses, consumos de clientes propios, y con la suma de todos los datos se forma

el programa del día siguiente. Tiene, además, la "Upepo" datos de los regímenes de los ríos, nieve

Energía producida y consumida por el "Midi".-

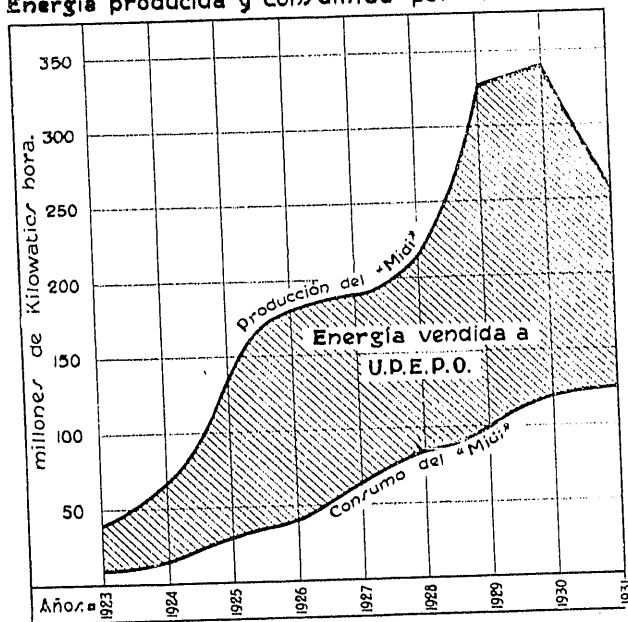


Fig. 17

acumulada. Estos datos le permiten formar el programa de un período.

Todo esto se realiza por el control del jefe de carga o "load dispatcher", que en contacto telefónico directo con todas las centrales y principales consumidores de marcha viable, regula la producción y parte del consumo.

La producción de las centrales está regulada por los principios siguientes:

- 1.º Utilizar al máximo las centrales sin regulación.
- 2.º Repartir las cargas equitativamente entre los productores para que todos se beneficien proporcionalmente a la energía que se comprometen a entregar.
- 3.º En período de aguas abundantes no tomar a cada productor nada más que la parte proporcional de los sobrantes realmente suscritos.

Función comercial

La "Upepo", como antes hemos dicho, no es más que un almacén que reparte la energía recibida. No compra energía, sino que vende por cuenta de sus asociados la energía que éstos le entregan. Ella cobra los recibos, y, después de deducir sus cargas, de interés fijo y amortización, y sus gastos generales (entre los que figura el peaje al Midi), distribuye entre sus asociados, de acuerdo con normas prefijadas, según la cantidad y calidad de energía recibida de los productores.

Las normas para el reparto de la recaudación de la "Upepo" entre sus asociados son las siguientes:

Cada productor recibe una cantidad *A* por kw-h servido a "Upepo" durante el mes; esta cantidad tiene un precio según sea la calidad de la energía, veinticuatro horas, catorce horas de embalse y puntas. El resto se reparte proporcionalmente entre las cantidades suscritas según las mismas calidades de energía servidas.

Si algún productor, por las causas que sean, no sirve la energía comprometida, paga una penalidad, que se reparte entre los otros productores, o el coste de la energía térmica, si es que ha sido necesaria.

Las multas por defectos técnicos o comerciales son fuertes, pero apenas se da el caso que se incurra en ellos.

La "Upepo" fija en cada período del año el precio de la energía destinada a su principal consumidor: la industria electroquímica. Así no se discute la cues-

tric Rouergue, Société Méridionale de Transport.

C) La industria electroquímica. Este es el principal consumidor de energías eventuales. Entre las principales están Phosphates Tunisiens, L'Onia, Vieux Montagne, Peñarroya, Société des Produits Azotés, Electricité Industrielle. Los suministros de la "Upepo" tienen gran diversidad y elasticidad, debido a su extensión geográfica, con lo cual se consigue una buena utilización de los recursos hidráulicos.

En el gráfico de la figura 18 se indica en forma aproximada (porque desconocemos las estadísticas exactas actuales), los diversos consumos de energía de la "Upepo". Se puede observar el gran predominio de la industria electroquímica y los abonos, que pasan del 50 por 100 del total consumo.

Resultados obtenidos

El cuadro siguiente da idea, mejor que ningún comentario, de los resultados obtenidos:

AÑO	Energía disponible Millones de kw-h	Energía consumida Millones de kw-h	Utilización	Punta máxima Kw	Horas de utilización
1925...	419	309	0,74	54 000	5 750
1926...	489	416	0,85	70 000	5 950
1927...	656	498	0,76	85 000	5 800
1928...	756	610	0,81	100 000	6 100
1929...	1 080	860	0,80	140 000	6 100
1930...	1 500	1 120	0,80	160 000	6 200
1931...	1 500	871	0,60	180 000	4 900
1932...	1 500	1 000	0,65	200 000	5 000

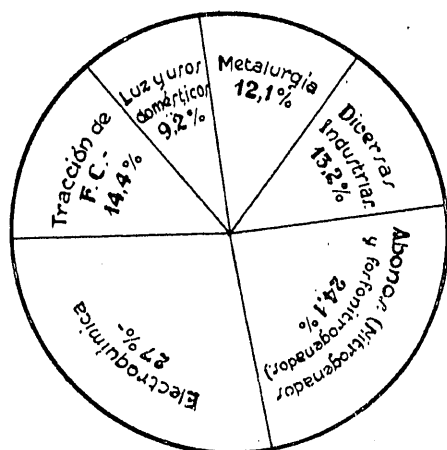


Fig. 18

tión cada vez que hay sobrantes de energía. El precio es función del kilogramo de nitrógeno fijado y oscila alrededor de 4 céntimos franceses el valor de la energía eventual.

La contabilidad de todos estos repartos es complicada, pero responde a normas fijas y es siempre igual. Los productores pueden seguir perfectamente la marcha de esta contabilidad. Nunca ha habido dificultades.

La piedra angular del negocio hidroeléctrico está en poder conseguir el consumo de la energía que pueden producir. La razón es sencilla. El coste de kilowatio-hora responde a una carga fija del gran capital de establecimiento, que es menor cuanto mayor sea el número de unidades que se produzcan. En cambio, los gastos de producción son pequeños con relación al valor de la energía que se puede producir.

Aunque tal vez sea un poco exagerado, se dice que no hay salto malo si vende toda su producción, ni bueno si no vende una cifra por lo menos del 50 por 100 de su producción posible. Es natural que la misión más importante de la "Upepo" haya sido la de fomentar el consumo, y principalmente lo ha encontrado en la industria electroquímica. Ha intensificado también la "Upepo" los consumos domésticos, la electrificación rural, las pequeñas industrias domésticas; pero el gran consumo lo ha encontrado en la industria electroquímica.

Los más importantes consumidores de la "Upepo" son:

- Los ferrocarriles del Midi.
- Las Sociedades distribuidoras de energía, entre las que citaremos E. E. du Sud-Ouest, Sud Elec-

Producción y explotación de las Centrales de la U.P.E.P.O.

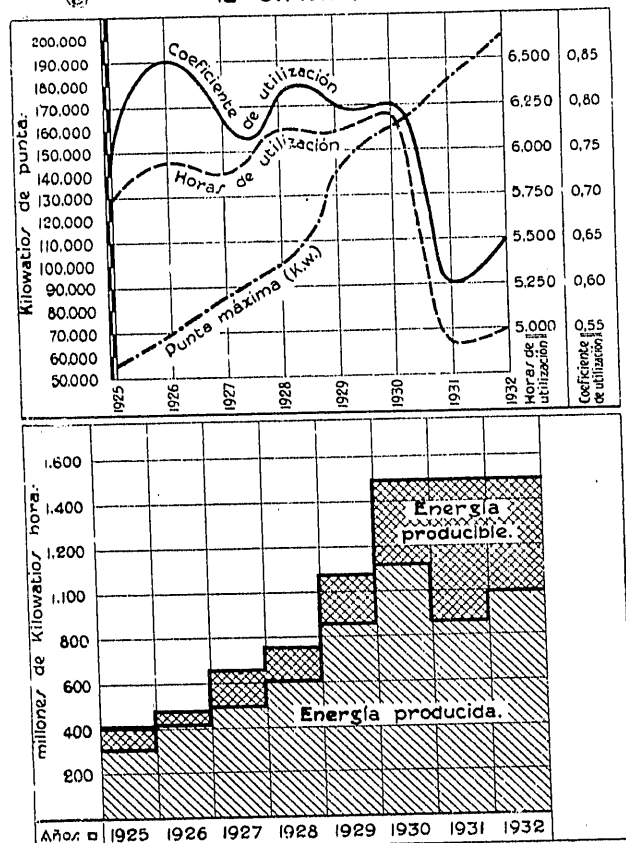


Fig. 19

El gráfico de la figura 19 resume las anteriores cifras. Hemos de hacer observar el enorme coeficiente de utilización, que varía de 0,74 a 0,85, según los años, si se prescinde de los años 1931 y 1932, afectados por la crisis general. Téngase en cuenta que este coeficiente se refiere a la totalidad de la energía

disponible, incluso la eventual. Prescindiendo de esta última energía, se llega al 0,95 de la total.

Como resumen podemos decir que desde 1925 a 1930 (seis años), casi se ha cuadruplicado el consumo, y aun incluyendo los años de crisis hasta 1932, en ocho años se ha triplicado la venta.

En un próximo artículo terminaremos.

Esteban EFRANDONEA y LARRACHE
Ingeniero de Caminos

Introducción a la Mecánica de tierras¹

III

9.º El factor de concentración.

En la ecuación [11] se introdujo un parámetro ν , llamado factor de concentración, sobre cuyo valor vamos a tratar con alguna extensión.

La marcha para determinar este parámetro tiene como punto de origen la ley experimental de Terzaghi

$$\epsilon = -\frac{1}{A} \log \text{nep } (p + p_0) + C \quad [30]$$

aplicable tanto a las arenas como a las arcillas que sufren deformaciones axiales reversibles (elásticas), estando coartada toda deformación transversal.

En dicha fórmula representan:

ϵ , el coeficiente de porosidad del terreno.

p , la máxima tensión principal en un estado de deformación axial.

A , p_0 y C son parámetros característicos del terreno cuyos valores se determinan mediante tres determinaciones experimentales de ϵ y de p .

Si representamos por n el volumen específico de poros del terreno, tendremos

$$\epsilon = \frac{n}{1-n} \quad \text{o sea} \quad n = \frac{\epsilon}{1+\epsilon} \quad [31]$$

Esta ley de Terzaghi nos facilita un modo de relacionar las tensiones y las deformaciones de un terreno, cuando estas deformaciones son simplemente axiales y reversibles al cesar la causa que las produce. Una vez conocida esta relación podremos calcular el trabajo elástico de la deformación en el cual entrará el parámetro ν y, finalmente, expresando la condición de mínimo (teorema de Menabrea-Castigliano) obtendremos el valor de ν .

Tal es, expuesto en síntesis, el camino que vamos a seguir.

Representando por e la deformación longitudinal específica correspondiente a la tensión p , tendremos que el módulo de elasticidad E estará definido por la ecuación

$$E = -\frac{dp}{de} \quad [32]$$

De las igualdades [31], recordando que no existen deformaciones transversales, se deduce

$$de = \frac{dk}{k} = \frac{d\epsilon}{1+\epsilon}$$

y como, por otra parte, diferenciando [30] resulta

$$d\epsilon = -\frac{1}{A} \frac{1}{p+p_0} dp$$

tendremos en definitiva

$$E = A(1+\epsilon)(p+p_0)$$

que constituye la ley de elasticidad de arenas y arcillas, válida en las condiciones antedichas y que ha sido comprobada experimentalmente. Su forma es algo complicada, pero teniendo en cuenta que la variación de ϵ , dentro de los límites de la deformación reversible, es muy pequeña, puede ponerse en vez de la variable ϵ un valor constante intermedio ϵ_m . Entonces, el módulo de elasticidad del terreno valdrá

$$E = \frac{p+p_0}{\nu}$$

siendo

$$\nu = \frac{1}{A(1+\epsilon_m)}$$

una constante peculiar del terreno que se determina, lo mismo que p_0 , mediante ensayos de laboratorio. En cuanto a la tensión molecular p , en general, vale

$$p = \sigma_z + \gamma z$$

y se obtiene componiendo los campos de la carga exterior y del peso propio.

Hay casos en que el valor de σ_z es despreciable comparado con $\gamma z + p_0$. Entonces, el módulo de elasticidad

$$E = \frac{\gamma z + p_0}{\nu} \quad [33]$$

aumenta proporcionalmente con la profundidad.

Si el terreno es poco coherente, p será casi nulo y tendremos

$$E = \frac{\gamma z}{\nu} \quad [34]$$

Por el contrario, si el terreno fuese muy coherente, p_0 coincidirá con el coeficiente p_k de cohesión [19] y entonces recaemos en la ley de Hooke

$$E = \frac{p_k}{\nu} = \text{constante} \quad [35]$$

La expresión del trabajo elástico, aplicada al volumen comprendido entre las superficies esféricas r_1 y r_2 .

¹ Véase la REVISTA de 1.º de noviembre de 1934, página 393.