

las capas de arena acuífera que se encuentran sobre la capa de arcilla en la que se perfora totalmente la galería subterránea (fig. 12)<sup>1</sup>.

\* \* \*

Como conclusión de este desaliñado, aunque prolijo artículo, debo hacer constar la admiración que me ha producido la perfecta y racional organización

<sup>1</sup> En los números de diciembre de 1932 y enero de 1933 de la revista *La Technique des Travaux* se enumeran con detalle todos estos trabajos.

llevada a cabo, el método científico con que se han calculado los más insignificantes elementos, los procedimientos originales a que se ha recurrido para vencer los obstáculos inherentes a tan rápida terminación de las obras exigida a la contrata. La ejecución de los dos túneles bajo el Escalda es una de las obras más atrevidas y difíciles de su clase, y me ha dado mayor impresión de dificultad que la que pude observar en la construcción de algunos de los túneles del Metropolitano en París, bajo el río Sena.

Son, pues, obras que honran a la importante Compañía Internacional de los Pilotes Franki.

J. EUGENIO RIBERA

## Determinación de la altura de la presa al redactar el proyecto de un pantano

Mi deseo en el presente artículo es no más que describir el método que el que suscribe sigue al estudiar el proyecto del pantano de "La torre de Abraham", que será alimentado por el río Bullaque, afluente del Guadiana. He sido movido a escribirle por considerar de gran interés, para las obras actualmente en estudio, el tenerlo en cuenta para la redacción de proyectos de pantanos.

Ya mi ilustre profesor, el Sr. Gómez Navarro, en su reciente obra *Salto de agua y Presas de embalse*, al hablar de la fijación de la capacidad de un pantano, dice que está relacionada con las circunstancias orográficas de la cuenca inmediatamente aguas arriba de la presa (vaso del pantano), régimen hidráulico de la cuenca alimentadora, objeto del embalse, coste de la obra para distintas alturas de presa, etc.

Lo que se pretende, con el procedimiento que en seguida paso a desarrollar, es dar las normas prácticas para, teniendo en cuenta todas estas circunstancias, fijar la capacidad del embalse del pantano que se está proyectando, ya que, siendo sólo una la capacidad que constituya la solución óptima, cualquier pantano construido con otra podría causar un perjuicio a la economía nacional.

Al hacer esta exposición voy a hacer la aplicación a un pantano del tipo que tengo en estudio, y ya citado anteriormente.

El fundamento radica en representar, por medio de curvas, todas las características de la presa a construir en la cerrada de que se trata, para deducir, de todas ellas, una curva final que nos representará las condiciones económicas del pantano.

Hay una curva, que se construye en todos los proyectos, que es la que caracteriza las condiciones orográficas del vaso: es una curva que, teniendo por abscisas las alturas de embalse, tiene por ordenadas las capacidades correspondientes y adquiere una forma general del tipo I (gráf. 2).

Tomados los datos taquimétricos del vaso y hecho el plano correspondiente, cubriendo hasta las distintas curvas de nivel se obtienen las ordenadas de la curva citada.

A su vez, podemos construir otra curva que nos ligue las alturas de embalse con los costes totales de

construcción del pantano, que caracterizará las condiciones económicas de la cerrada y que se determinará por puntos, hallando los costes totales para distintas hipótesis de altura de presa; así podemos obtener un punto por cada variación de una determinada magnitud del nivel de embalse.

La construcción de esta curva, que podría parecer un punto vulnerable del procedimiento, no lo es, ya que sus puntos no hay que determinarlos más que con cierta aproximación; y ¿qué es lo que se hace sino fijar con gran precisión uno de los puntos de esta curva III (gráf. 2), al redactar el presupuesto del proyecto de un pantano de dimensiones determinadas, y que deben ser las de la solución óptima?

Este coste total está formado por varios sumandos, que son: coste de presa, aliviaderos, desagües profundos, expropiaciones, desviación de caminos ya existentes, etc.; de todos ellos el más importante es la presa que, siendo del tipo de gravedad, como en el pantano del Bullaque, motiva que la curva adquiera la forma III (gráf. 2).

Por último, hay una tercera curva característica, representativa del régimen hidráulico de la cuenca alimentadora, que tiene por abscisas los volúmenes de agua disponibles al año, una vez construido el pantano, y por ordenadas, las capacidades de embalse que para ello se requiere.

Esta curva IV, es consecuencia de la conocida curva de caudales acumulados y de la de gastos acumulados.

Sea la curva *oo'* del gráfico 1 la de caudales acumulados obtenida de los aforos efectuados durante once años y con una aportación media anual de 68 000 000 de m<sup>3</sup>. Suponemos que este período se repetirá indefinidamente.

La curva IV (gráf. 2), que deseamos obtener, está limitada por dos puntos que son sus extremos; el origen supone la utilización del caudal mínimo que pasa por el río, y será nulo si el río deja de correr algún instante, y el terminal, determinado por una regulación completa del mismo, y constituye, por tanto, un aprovechamiento máximo. El extremo superior puede venir determinado también por el límite de la extensión de la zona regable susceptible de ser utilizada. Esto no tiene lugar en nuestro caso,

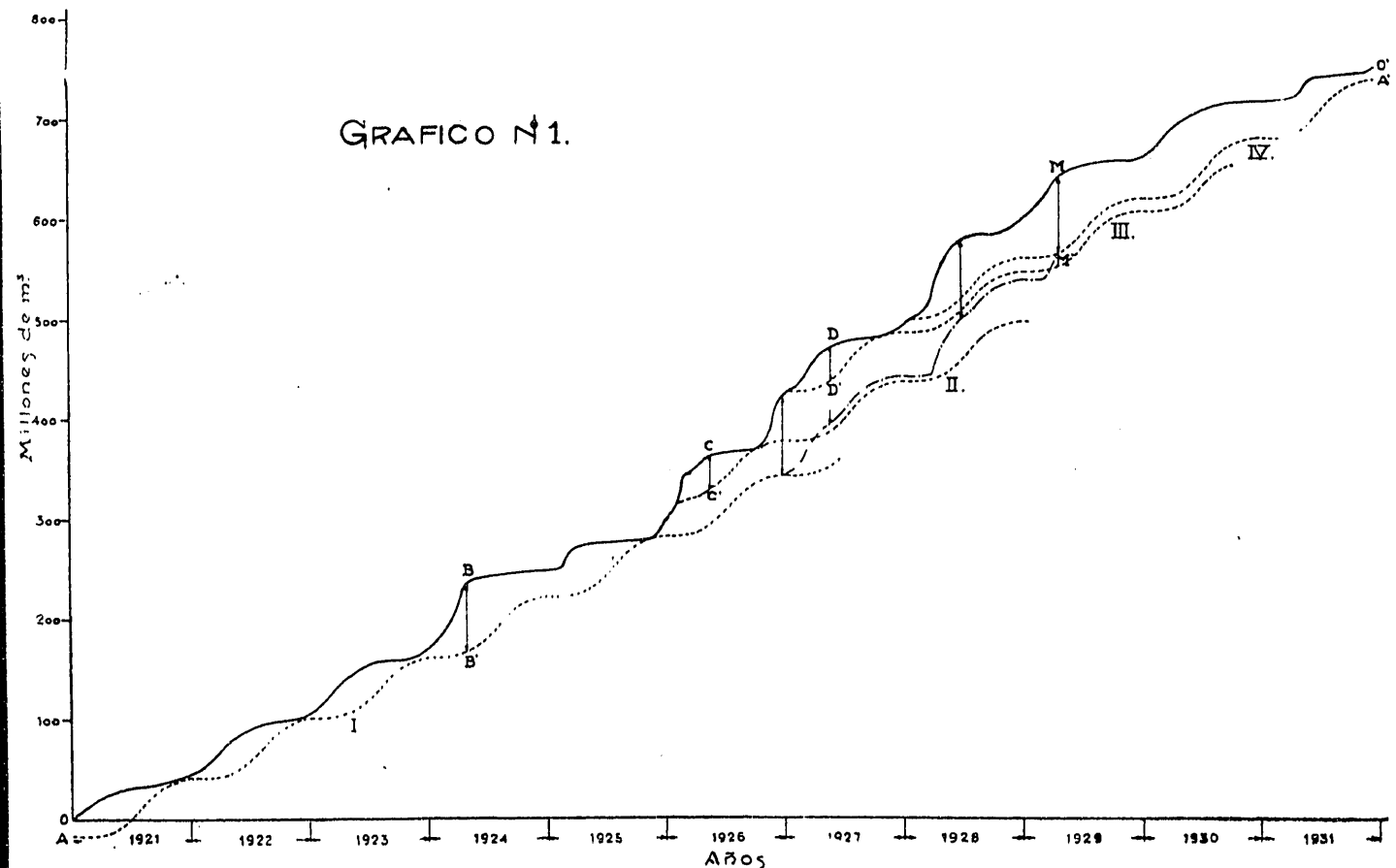
ya que para estos efectos la zona regable puede considerarse ilimitada.

Veamos la manera de obtener un punto cualquiera de esta curva correspondiente a un aprovechamiento anual de  $N \text{ m}^3$ , y que, como sabemos, se cumple en nuestro caso concreto  $N \approx 68\,000\,000$  de  $\text{m}^3$ .

Determinemos primeramente la curva de gastos acumulados correspondientes a un año, suponiendo que se empiezan a contar los gastos desde principio del año inmediato anterior. Las ordenadas de la curva de gastos acumulados de una zona regable, teniendo en cuenta la distribución de riegos de una hectárea media, según comunicación dirigida a la

Si esta curva así obtenida la trasladamos paralelamente al eje de las  $Y$ , hay una posición I (gráf. 1) tangente a la curva de caudales, y otras II y III también tangentes, inmediatas y sucesivas. La posición de I nos indica que hay que tener embalsado un minimum de capacidad  $AO$  cuando empieza el período de tiempo, que suponemos se repite indefinidamente, y que se requiere un máximo de capacidad de embalse en  $BB'$ ; la curva II nos indica que hay otro máximo de capacidad de embalse requerido en  $CC'$ ; la posición III, que hay otro máximo en  $DD'$ ; la IV, que es la última posición de la traslación paralela de la curva de gastos acumulados, se sitúa haciendo que  $o'A' = oA$ , y de esta forma, al finalizar el pe-

GRAFICO N° 1.



Conferencia Mundial de la Energía, en Barcelona (1929), y leída por D. Cornelio Arellano en la misma, son:

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| 1 de febrero...    | 0         |
| 1 de marzo ...     | 0         |
| 1 de abril...      | 0,007 $N$ |
| 1 de mayo...       | 0,078 $N$ |
| 1 de junio...      | 0,192 $N$ |
| 1 de julio...      | 0,348 $N$ |
| 1 de agosto...     | 0,539 $N$ |
| 1 de septiembre... | 0,668 $N$ |
| 1 de octubre...    | 0,835 $N$ |
| 1 de noviembre...  | 0,931 $N$ |
| 1 de diciembre...  | 1 000 $N$ |
|                    | 1 000 $N$ |

Si a  $N$  le damos el valor de  $60\,000\,000$  de  $\text{m}^3$  obtenemos las ordenadas de la curva anual de gastos acumulados para el aprovechamiento de ese volumen de agua anual, y, repetido once años, la curva de gastos acumulados del período que nos interesa.

riodo de tiempo considerado se tiene embalsada una capacidad de agua equivalente a la requerida para comenzar el ciclo. Esta última posición de la curva de gastos acumulados nos indica que se requiere otro máximo de capacidad de embalse  $MM'$ , que es el máximo maximorum.

Por tanto, la capacidad de embalse requerida para el aprovechamiento de  $60\,000\,000$  está representado por  $MM'$ , que equivale a  $80\,000\,000$  de  $\text{m}^3$ .

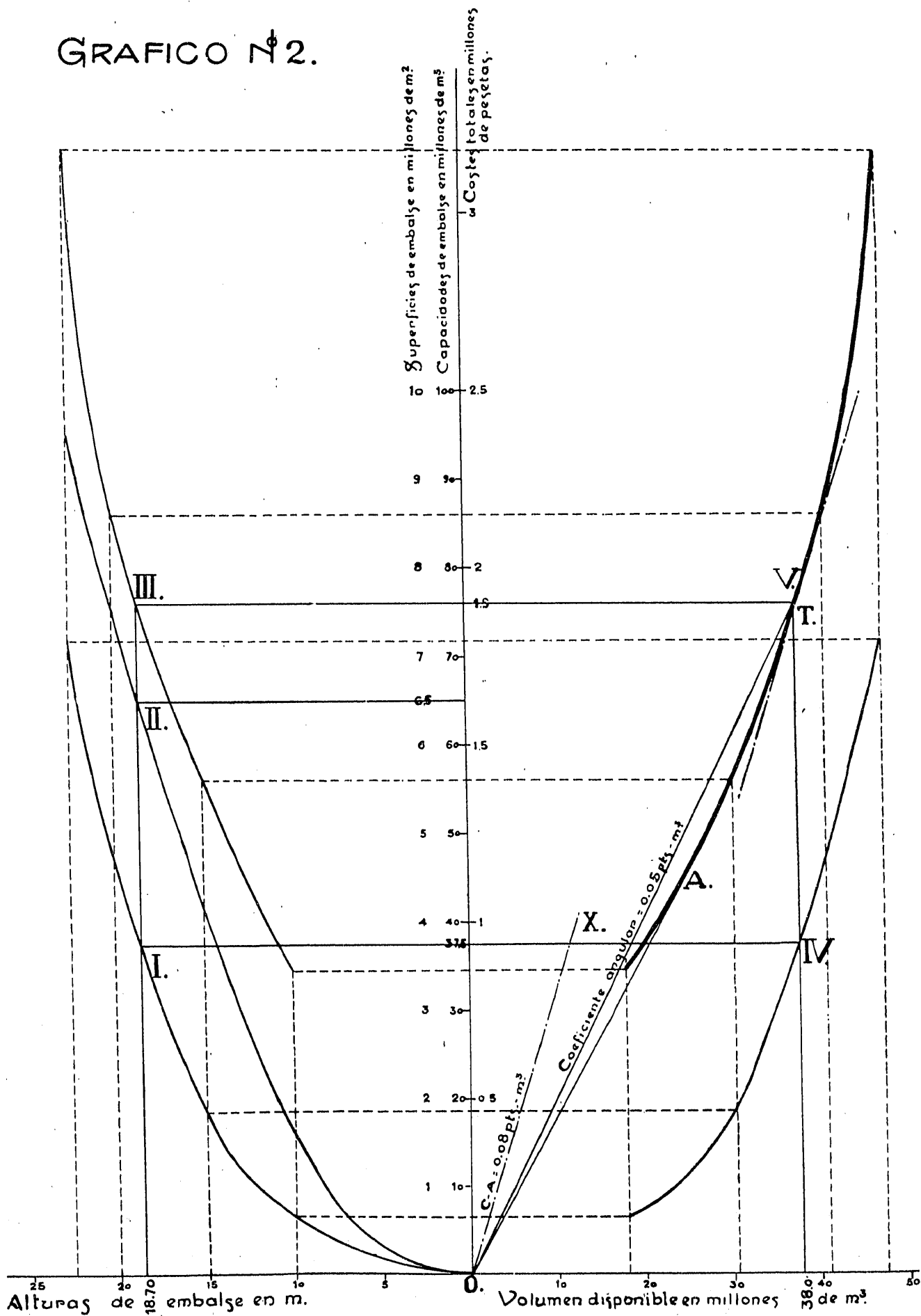
De trazo y punto se indica en el gráfico 2 el régimen del pantano para este aprovechamiento.

La pérdida por evaporación, según datos de sitios próximos al emplazamiento de la presa, puede fijarse en un metro cúbico por metro cuadrado de superficie de embalse.

De un modo análogo a como hemos dibujado la curva I del gráfico 2 podemos dibujar una que relacione las superficies de embalse con las alturas del mismo, y que se representa por la curva II (gráf. 2).

Tenemos, pues, según hemos visto anteriormente,

GRAFICO Nº 2.



para un aprovechamiento  $N$ , una capacidad de embalse requerida  $Q$ , una altura de embalse correspondiente  $h$ , una superficie de embalse a su vez  $S$ , una pérdida por evaporación de agua anual  $P$  y un volumen útil anual de  $N - P = U$ .

Para el punto de la curva IV, que estamos buscando,  $N = 60\,000\,000\text{ m}^3$ ;  $Q = 80\,000\,000\text{ m}^3$ ;  $h = 23,20\text{ m}$ ;  $S = 10\,250\,000\text{ m}^2$ ;  $P = 10\,250\,000\text{ m}^3$ , y  $U = 49\,750\,000\text{ m}^3$ .

De este modo podríamos determinar las capacidades de embalse que corresponden a volúmenes útiles de 68, 60, 50, etc., millones, disminuidos en las pérdidas por evaporación correspondientes, y con ello los puntos de la curva de aspecto IV (gráf. 2).

Construidas las curvas I, III y IV, y representadas como se indican en el gráfico 2, por una sencilla construcción gráfica se obtiene la V clase de la solución definitiva, y que relaciona los volúmenes de agua disponibles al año con los costes totales del pantano.

Los coeficientes angulares de las tangentes en los puntos de la curva V nos representan los costes marginales del agua, así como los de las rectas que los unen con el origen, los costes medios.

Al observar la curva V vemos que el punto que produce un coste medio mínimo es el de tangencia de OA, punto donde coinciden el coste marginal y el medio. El trozo superior de la curva V a partir de A es lo único que nos interesa, pues si la solución que representa este punto no tiene buenas condiciones de rentabilidad, menos la tendrán los inferiores a él.

Para determinar el punto de la curva V, que constituye la solución óptima, nos es suficiente saber el valor que se puede suponer tiene el agua disponible en la presa; este valor es consecuencia de la clase de zona regable, clima, densidad de población, conocimiento del regadío, medios de comunicación, distan-

cia de transporte del agua, puesta en riego, etc., y una buena orientación nos puede ser para fijarle el precio del agua en una zona regable próxima.

Este valor del agua constituye una renta del capital empleado en producirla, y suponiendo un tipo de interés no elevado, por percibir el Estado ingresos por otros muchos conceptos, se obtiene el capital susceptible de producir la unidad de agua, y, por tanto, el coeficiente angular de una recta OX; trazando una tangente paralela a OX fijamos el punto de tangencia T, que es la solución óptima del pantano, con las siguientes características en nuestro caso concreto:

|                                                                                                                      |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Altura del embalse ... ..                                                                                            | 18,70 m.                          |
| Capacidad del embalse ... ..                                                                                         | 37,5 millones de m <sup>3</sup> . |
| Volumen disponible al año ... ..                                                                                     | 38 millones de m <sup>3</sup> .   |
| Capital empleado por m <sup>3</sup> de agua disponible ... ..                                                        | 0,05 ptas.                        |
| Precio medio $p_m$ de la misma, suponiendo un interés del 5 por 100 ... ..                                           | 0,0025 ptas.                      |
| Capital empleado en producir el m <sup>3</sup> de agua marginal ... ..                                               | 0,08 ptas.                        |
| Precio marginal $p_m$ del mismo, suponiendo un interés del 5 por 100 ... ..                                          | 0,004 ptas.                       |
| Beneficio neto anual que, por ser el pantano de productividad decreciente, percibe el Estado: $U(p_m - p_m)$ ... ..  | 57 000 ptas.                      |
| Capitalización de este beneficio al 5 por 100 ... ..                                                                 | 1 140 000 ptas.                   |
| Coste total del pantano: 1 900 000 pesetas ... ..                                                                    | 1 900 000 ptas.                   |
| Canon imponible por Ha y año, con una dotación de 7 000 m <sup>3</sup> por los gastos hasta aquí considerados ... .. | 28 ptas.                          |
| Zona regable utilizada en esta solución óptima ... ..                                                                | 5 482,5 Ha.                       |

Réstame, para terminar, decir que del estudio simultáneo de todas las curvas V de las obras hoy en proyecto hay unos datos valiosos para saber la rentabilidad comparada de las obras actualmente en estudio, y, por tanto, cuáles deben ser preferentes en su ejecución.

Juan Francisco COLOMA  
Ingeniero de Caminos

## El Consejo de la Energía

El Consejo de la Energía, dependiente del Ministerio de Obras públicas, disuelto a fines de 1932, ha publicado, casi coincidiendo con su desaparición, unos interesantísimos trabajos que comprenden los tres aspectos siguientes:

- I.—Estadística de las centrales eléctricas superiores a 400 kva.
- II.—Avance para una evaluación de la energía hidráulica en España, por D. Pedro M. González Quijano, ingeniero jefe de los Servicios técnicos.
- III.—Economía y legislación extranjera acerca de la energía hidroeléctrica, líneas y redes, por don Vicente Alvarez Buyla, secretario del Consejo.

### I

Esta primera estadística oficial de las centrales eléctricas de más de 400 kva, acompañada de un plano de situación de las mismas, revela un esfuerzo y una orientación que venía a rectificar el abandono y la falta de interés que nuestra Administración pública ha tenido, hasta ahora, por esta clase de publicaciones.

Justo es reconocer que, con anterioridad, la Cámara

Oficial de Productores y Distribuidores de Electricidad, organismo dirigido por persona de tan alta competencia como es D. Luis Sánchez Cuervo, se adelantaba a suplir esta deficiencia oficial, publicando anualmente, a partir del año 1929, estadísticas muy completas de centrales de toda potencia, asociadas en dicha Cámara, con datos de la producción y aplicación de la energía, gracias a los cuales no andábamos a ciegas en estas cuestiones.

No sabemos si el Consejo de Obras Hidráulicas, al que se ha adscrito una titulada Asamblea que, al parecer, va a sustituir al desaparecido organismo, tomará o no a su cargo la empresa iniciada por el Consejo de la Energía y si seguirá o no haciendo publicaciones como esta que nos ocupa, cuestión de no gran interés siempre que la Cámara de Productores continúe, como es de esperar, atendiendo a esta conveniencia, y más si procura completar sus datos con los correspondientes a instalaciones de no asociados, aunque, por su número y por su importancia, quizá no influyan sensiblemente en los resultados establecidos y siga con su norma de no prescindir de las centrales de escasa potencia, bastante numerosas, contrariamente a lo que ha hecho el Consejo de la Energía—tal vez para abreviar la pu-