

5 PERSPECTIVAS DE LOS ROVECHAMIENTOS DE BOMBEO. OSOFIA DE LA ACUMULACION DE ENERGIA

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

Por MANUEL CASTILLO RUBIO

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

JUAN RUIZ PEREZ

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

¿QUE ENTENDEMOS POR BOMBEO?

En lo que sigue entendemos por aprovechamientos de bombeo aquellos que obedecen al concepto restringido, mecánicamente hablando, de creación de una energía potencial, mediante acumulación de agua dulce o salada a un nivel superior, posteriormente utilizable por turbinación en una instalación hidroeléctrica. El balance energético (tal vez mejor exergético, ya que no hay pérdidas de energía, sino degradación en sus formas) es indefectiblemente negativo, ya que en las tres etapas del proceso —transformación de energía eléctrica en potencial, almacenamiento y nueva conversión de la energía potencial almacenada en energía eléctrica— aparecen transformaciones caloríficas no recuperables, y también, aunque con menor importancia, inevitables pérdidas del efluente elevado. El valor de estas pérdidas energéticas, o lo que es lo mismo, el rendimiento del ciclo, depende obviamente de las características de los circuitos, depósitos y maquinaria eléctrica y mecánica. Sin embargo, en el estado actual de la técnica, la relación de energía disponible a energía recibida en central encuentra su valor óptimo a nivel del 75 por 100, y deben descartarse, en general, instalaciones con rendimiento inferior al 60 por 100. A título de ejemplo incluimos el siguiente diagrama explicativo de las pérdidas en los distintos elementos de un sistema de bombeo y su previsión numérica para una central moderna de elevado rendimiento.

Nos encontramos, en definitiva, con que los sistemas de acumulación por bombeo representan una modalidad energética caracterizada, en primera instancia, por un consumo previo superior a su producción ulterior. Esto nos permite calificarla como actividad secundaria, no en el sentido de juicio de valor sobre su interés, sino en el de que su realización está condicionada no sólo por el volumen de demanda, sino también por sus características y por las de las restantes modalidades de generación. Es decir, que la decisión de realizar un aprovechamiento de bombeo —con las salvedades impuestas por la escala— nunca puede basarse en un análisis marginal, sino que debe fundamentarse en un estudio global de la operatividad del sistema en que se integrará, admitiendo únicamente las hipótesis necesarias para definir el marco del sistema mínimo independiente a nivel de la gestión ensayada.

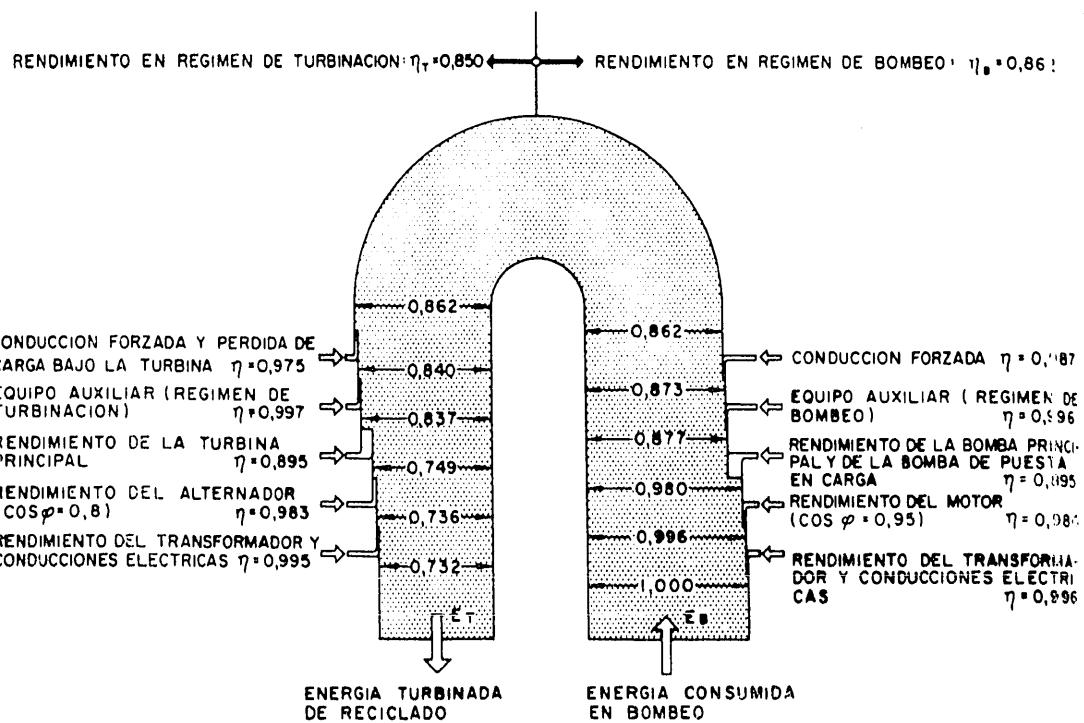


Figura 1.

Las instalaciones de bombeo están viviendo un rápido desarrollo en todo el mundo. Recientes estadísticas cifran la potencia en operación o realización en 72.000 MW, distribuidos entre 20.000 MW en centrales con grupos ternarios y 52.000 MW en instalaciones con maquinaria reversible. La distribución por países de esta potencia está lógicamente afectada por la disponibilidad de emplazamiento.

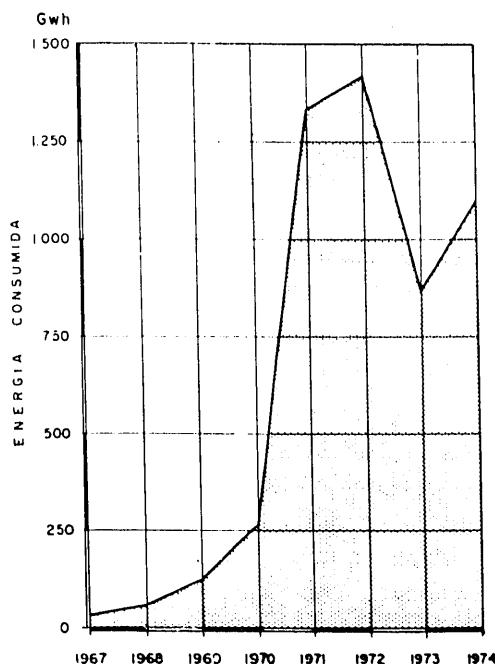


Fig. 2.— Energia consumida en bombeo en el sistema peninsular.

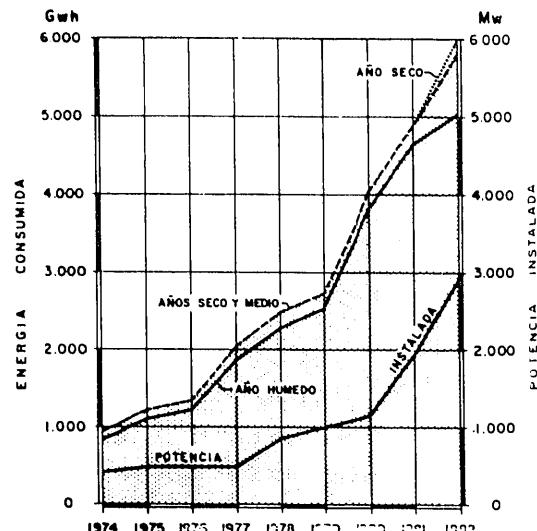


Fig. 3.— Previsión de instalaciones puras de bombeo según Plan Eléctrico Nacional.

tos idóneos y por la composición de los parques generadores. Estados Unidos, con 24.800 MW, figura a la cabeza en grupos reversibles seguido de Japón con 9.300. En cambio, Alemania e Italia presentan en este momento los máximos equipamientos ternarios.

En España, la condición muy hidráulica de su sistema productor de energía eléctrica, mantenida hasta fecha reciente (*), ha retrasado la incorporación masiva del bombeo, ya que éste ha sido desplazado por la reconversión o cambio de función de las centrales hidráulicas con regulación. Las gráficas adjuntas recogen los consumos habidos de energía para bombeo y las previsiones de este equipo formuladas en las sucesivas revisiones del Plan Eléctrico Nacional.

LA ELECTRICIDAD, VECTOR ENERGETICO DEL BOMBEO

Repitamos algunos datos o ideas bien sabidas. La electricidad como vector energético ofrece una trayectoria de progresión muy favorable. Su tasa de crecimiento supera a la del conjunto energético en casi todos los países, y desde luego en España, donde el nivel actual de participación en el abastecimiento energético se sitúa por encima del 30 por 100. Las perspectivas son de que esta tendencia se acentuará en los próximos años, alcanzando en nuestro país en el año 2000 una participación del 50 por 100 en el uso de energías primarias. O sea, las energías primarias se transformarán en esta proporción en eléctrica antes de su utilización práctica.

La electricidad, aparte de sus campos de aplicación exclusiva, penetra con facilidad en los distintos sectores de consumo, incluso en aquellos, como la calefacción, donde sus posibilidades son en principio menos claras. Su carácter de energía limpia en la fase de consumo la presta singular ventaja en momentos en que la protección ambiental es un objetivo de primer orden, sobre todo en los centros urbanos. Recientes estadísticas realizadas en Estados Unidos confirman que la participación de la electricidad en el abastecimiento energético crece con el nivel de vida. Su presencia en términos de *comfort* es indiscutible.

Pero la electricidad, como vehículo energético, tiene en su propia raíz la siguiente y grave limitación: la generación ha de ser simultánea con el consumo. Lo que ahora se dice, en castellano, claro, un *handicap*. Su almacenamiento, que está técnicamente resuelto, es, sin embargo, antieconómico hasta límites rayanos con la ciencia-ficción.

Las repercusiones de este hecho son obvias. Un sector industrial, de tan amplia difusión en su actividad y que moviliza tan enormes recursos económicos, se ve privado de la fase de almacenamiento del producto, por lo que la producción no encuentra holguras ni capacidades de maniobra en su gestión, que ha de estar en todo subordinada al imperativo de la demanda; demanda que, por otra parte, está sujeta a todas las variables de ciclos naturales, económicos y sociales que se hacen sentir como consecuencia de la generalidad de su aplicación.

CARACTERISTICAS DE LA DEMANDA

En un sistema eléctrico, y esto es extensible a cualquiera de los existentes en países de grande o mediano desarrollo industrial, la demanda presenta dife-

(*) Es en 1972 cuando por primera vez la generación eléctrica hidráulica es inferior al 50 por 100 del total.

rentes tipos de variaciones a las que ha de hacer frente de forma instantánea el sistema generador. Estas variaciones son: básicas de crecimiento, como consecuencia de la ampliación de los mercados y del incremento de los consumos específicos; estacionales como consecuencia de las diferentes características meteorológicas y sociológicas propias de cada estación del año —calefacción, horas de iluminación artificial, vacaciones, etc.—; semanales como consecuencia de la distribución laboral de la semana, y, finalmente, diarias, ordenándose los consumos en las denominadas horas "punta", "llano" y "valle". Todo esto inmerso dentro de una distribución previsible de tendencia y una composición de efectos claramente aleatorios. Aquí surge una característica del sector, que es la doble cualidad del servicio, y se concreta en:

- a) Disponibilidad.
- b) Energía realmente servida.

Como consecuencia de ello, si ordenamos en valores decrecientes las cargas horarias de un mercado durante un período de tiempo, por ejemplo, un año, veremos que forman una monótona que alcanza su duración plena, según los sistemas, entre el 30 y el 60 por 100 de la demanda máxima, mientras que la demanda correspondiente al 20 ó 30 por 100 superior presenta una duración muy reducida. Nos encontramos con dos tipos de centrales generadoras consecuentes a las utilizaciones demandadas por el mercado. Centrales de gran producción y utilización a lo largo del año y centrales de disponibilidad, cuya utilización real va a ser muy pequeña. Mientras aquéllas deben presentar un coste proporcional de generación lo más bajo posible, estas últimas admiten costes proporcionales superiores, pero se deberá minimizar la parte fija, derivada del coste de instalación.

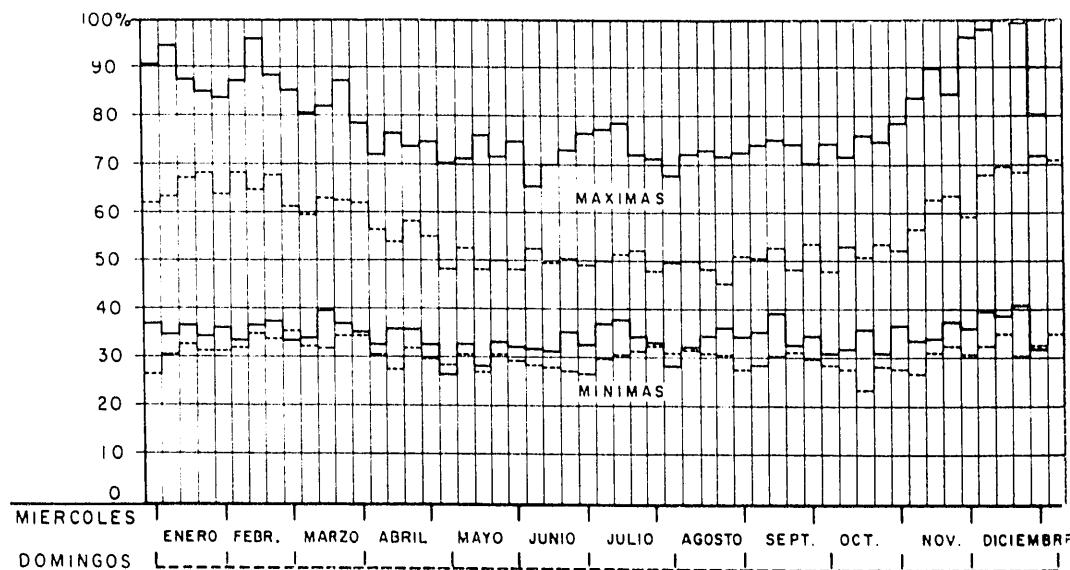


Fig. 4. — Variación de la demanda.

En realidad, estos son los extremos de una escala más matizada, en que la técnica ha ido arbitrando soluciones idóneas para cada zona de la gradación de utilizaciones, o su equivalente económica de participaciones de los costes fijos y proporcionales en el coste final del kilovatio-hora.

ENERO

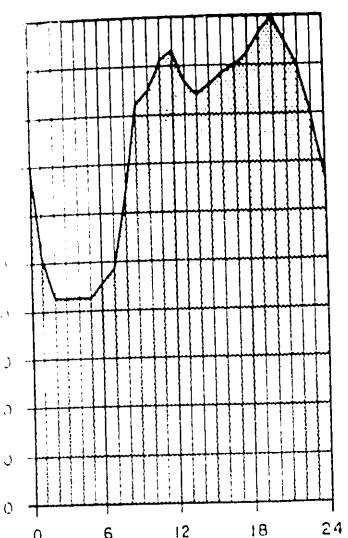


Fig. 5. — Curvas de demanda típica diaria de días laborables.

AGOSTO

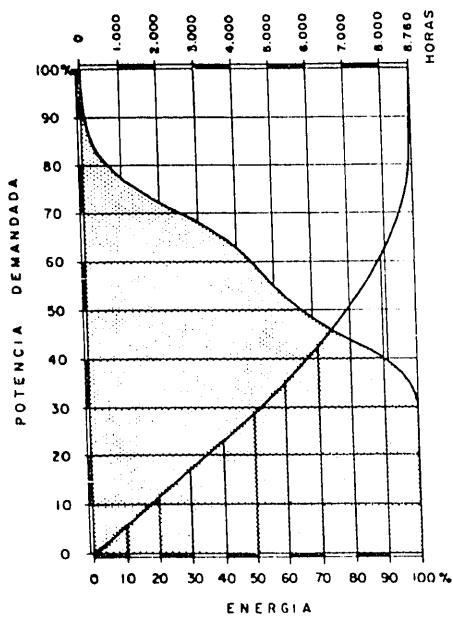
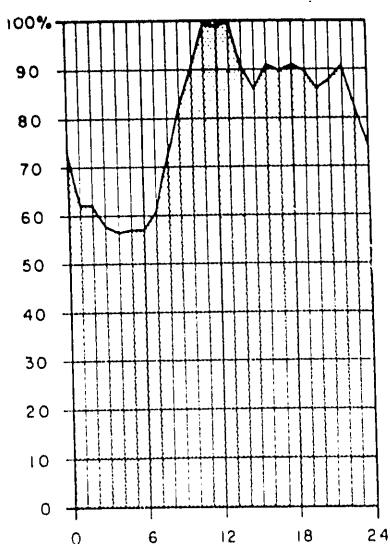


Fig. 6. — Curva de carga. Potencias horarias clasificadas.

Los efectos de esta forma de demanda resultan siempre en un encarecimiento del servicio: la necesidad de mantener un elevado porcentaje del equipo generador ocioso durante largos períodos. El factor de equipamiento o relación de potencia instalada a máxima demandada ha sido tradicionalmente alto en España, como consecuencia de la irregularidad hidrológica y el carácter de apoyo coyuntural del equipo térmico. Su reducción progresiva es uno de los objetivos principales del sector.

Los intentos de mejorar la curva de carga, llevados a cabo en algunos países con la adopción de tarifas diferenciadas o marginales, se han mostrado poco eficaces porque la elasticidad del consumo eléctrico a los precios es muy baja. Al mismo tiempo la exigencia en calidad del servicio crece. Hace algunos años era normal basar los estudios de ampliación de los sistemas en la asunción de un coste de fallo del servicio muy superior al precio de la energía no suministrada. Pero la práctica hoy generalizada, es como hipótesis de base, la satisfacción de la demanda previsible con un nivel altísimo de calidad, manteniendo dentro de niveles muy estrictos la frecuencia y la tensión, y sólo admitir muy excepcionales y breves interrupciones del servicio.

Todo ello lleva a la necesidad de disponer dentro del sistema de centrales ágiles, en suficiente medida, que manteniendo las condiciones del servicio puedan responder instantáneamente a las variaciones de la demanda, en tanto reaccionan los grandes grupos de base, cuya inercia térmica impide la necesaria celeridad de maniobra. **Es esta una función particularmente idónea para las centrales de bombeo.**

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

LA ACUMULACION DE LA ENERGIA ELECTRICA

Los mayores esfuerzos de investigación se centran actualmente en las baterías secundarias, que, además de permitir el almacenamiento de energía, son la base del

desarrollo de los vehículos eléctricos. Las expectativas son buenas, pero su plazo debe ser anterior a la década próxima. Los resultados más prometedores se esperan de las baterías cinc-aire para bajas temperaturas, y las de litio-azufre, sodio-azufre y litio-cloro, para baterías funcionando entre 300 y 700º C.

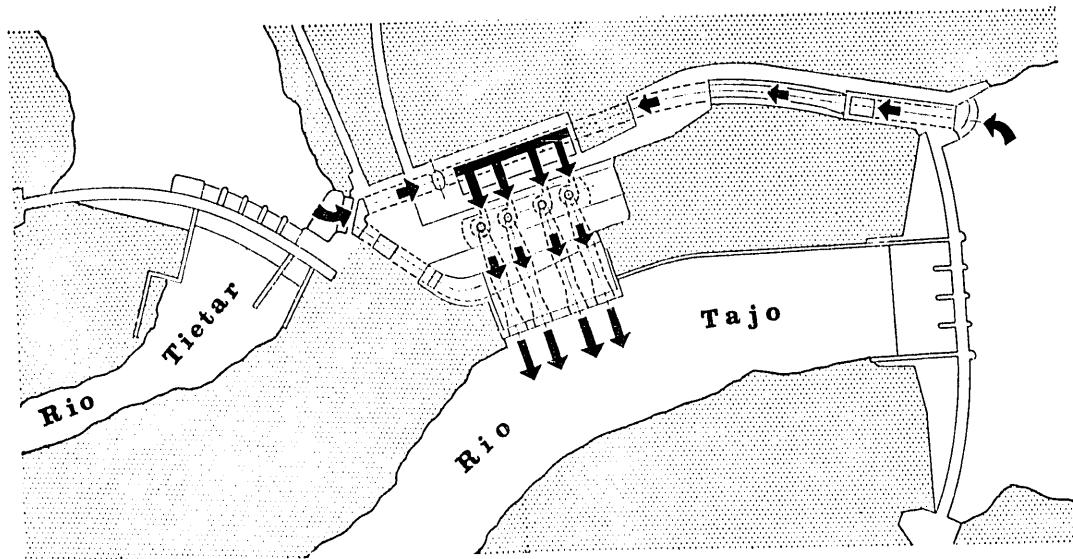
Otro método considerado con posibilidades, pero también a largo plazo, es el almacenamiento de energía eléctrica en imanes superconductores de corriente continua de grandes dimensiones. Actualmente se construyen, con otros fines, imanes capaces de almacenar hasta 10^9 julios; pero que sean aplicables a la industria eléctrica sería necesario lograr capacidades de almacenamiento de 10^{11} a 10^{14} julios. Las ventajas de estos dispositivos son su elevado rendimiento, próximo al 95 por 100, y la posibilidad de situarlos junto a los centros de consumo, ya que su emplazamiento subterráneo no despertaría oposición entre los ambientalistas.

Estos son sólo ejemplos, entre otros que con más o menos imaginación pueden citarse cara al futuro. Porque en el presente la solución de acumulación por bombeo, no contaminante, ágil y flexible, **es la única viable para grandes energías**, sobre todo si tenemos en cuenta que su rendimiento, no demasiado bajo, se ve compensado por la utilización de las centrales generadoras más eficientes como fuente de primera energía.

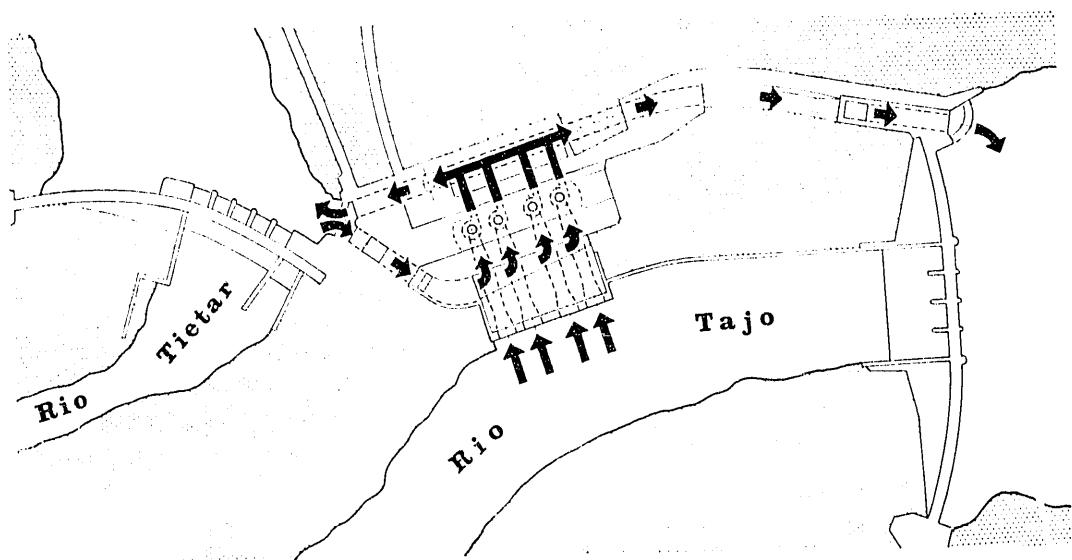
La conclusión es el gran futuro de los aprovechamientos de bombeo, futuro que en cierta medida es presente si se mira la nutrida relación de instalaciones en funcionamiento o realización en todo el mundo, tanto como solución óptima para el cumplimiento específico de funciones de cobertura de las puntas de carga, como para perfeccionamiento y ampliación de los sistemas hidroeléctricos convencionales y, sobre todo, como complemento indispensable de los grandes grupos nucleares.

Frente a esta expectativa, ¿cuál es la situación actual de la técnica en realizaciones de bombeo? ¿Está suficientemente desarrollada para afrontar tal compromiso? La respuesta ha de ser necesariamente afirmativa en principio. En realidad, salvo algunos aspectos específicos y actualmente dominados, el hacer de los aprovechamientos de bombeo es un compendio de técnicas antiguas afrontadas con una visión nueva. Quizá constituyan la primera aproximación sistemática al problema energético que hoy, agudizadas sus exigencias, se entiende indispensable. Es preciso, sin embargo, salvar la indefinición inicial. Bajo la denominación genérica de aprovechamientos de acumulación de bombeo o, simplemente, aprovechamientos de bombeo, se engloban esquemas muy diferentes, que han de cumplir funciones esencialmente distintas y que, en consecuencia, presentan expectativas de costes muy variables. Las instalaciones de bombeo participan, en principio, de la subordinación de todos los aprovechamientos hidroeléctricos al condicionado natural, si bien en función de sus menores exigencias de agua, esta restricción es menos determinante; pero a cambio de ello lo es más la disponibilidad de un fuerte desnivel. Por tanto, siguen con la misma característica de ser "trajes a medida". El bombeo tiene posibilidades para integrarse en esquemas hidroeléctricos —o más generalmente hidráulicos— complejos, dando lugar a diversas formas de funcionamiento (Torrjón). Pero aun en el caso más simple de aprovechamiento de bombeo puro, con circuito hidráulico único y conectando los dos depósitos —superior e inferior— las diferencias pueden ser notables. O sea, que en ningún caso se dispone del beneficio económico de las producciones "en serie".

El funcionamiento de un aprovechamiento de bombeo supone inicialmente cu-



Torrejón. Esquema funcional de las dos posibilidades de turbinación.



Torrejón. Esquema funcional de las tres posibilidades de bombeo.

tro elementos: motor, bomba, turbina y generador. En realidad los cuatro pueden ser independientes y acoplados dos a dos. En la práctica esta solución, que no presenta grandes ventajas, es inusual, ya que las dos máquinas eléctricas se han sustituido por un generador-motor único, con evidente economía. No ocurre lo mismo con las máquinas hidráulicas, ya que los casos de utilización separada —grupos ternarios, compuestos de turbina, bomba y generador-motor— o en elemento único —grupos reversibles— son abundantes, dependiendo la solución empleada, tanto de las características del aprovechamiento —salto y central— como de las prestaciones exigibles —tiempos de maniobra— aunque en general puede hablarse de un predominio europeo en grupos ternarios frente a la mayor difusión de los reversibles en U.S.A. y Japón, en la distribución geográfica de lo actualmente en servicio, y a una progresiva superación de los grupos reversibles como tendencia cronológica, que en nuestra opinión se va a acentuar en el futuro por varias razones:



Torrejón. Vista general.

En primer lugar, el encarecimiento de la maquinaria, notabilísimo en los últimos años, reforzará la solución más económica; la repercusión de costes es fundamental en los casos de central subterránea, que serán los más frecuentes en grandes instalaciones, y, finalmente, los grupos reversibles han logrado entrar en la gama 500/600 m de desnivel, con lo que son aplicables a la casi totalidad de los emplazamientos disponibles para grandes potencias. Por otra parte, parece haberse superado la problemática que el funcionamiento en bajos niveles de bombeo existía con los efectos dinámicos —vibraciones sobre los álabes— que han sido causa de contratiempos —Cruachán, Ravin, Valdecañas, Vianden X, etc.— al haber ajustado el diseño de los álabes más a las solicitudes de bombeo —álabe más corto y robusto— que al guiado de los filetes en turbinación —álabe esbelto—. Con todo ello esperamos un claro predominio de las instalaciones reversibles, cuyo récord está por los 50 m y 250 MW, en los próximos años. Cabe recordar a este respecto que el orden de prioridad en la disyuntiva clásica garantía-rendimiento, en una instalación de bombeo está indudablemente resuelto a favor de la garantía que es o debe ser la primera característica de estas centrales.

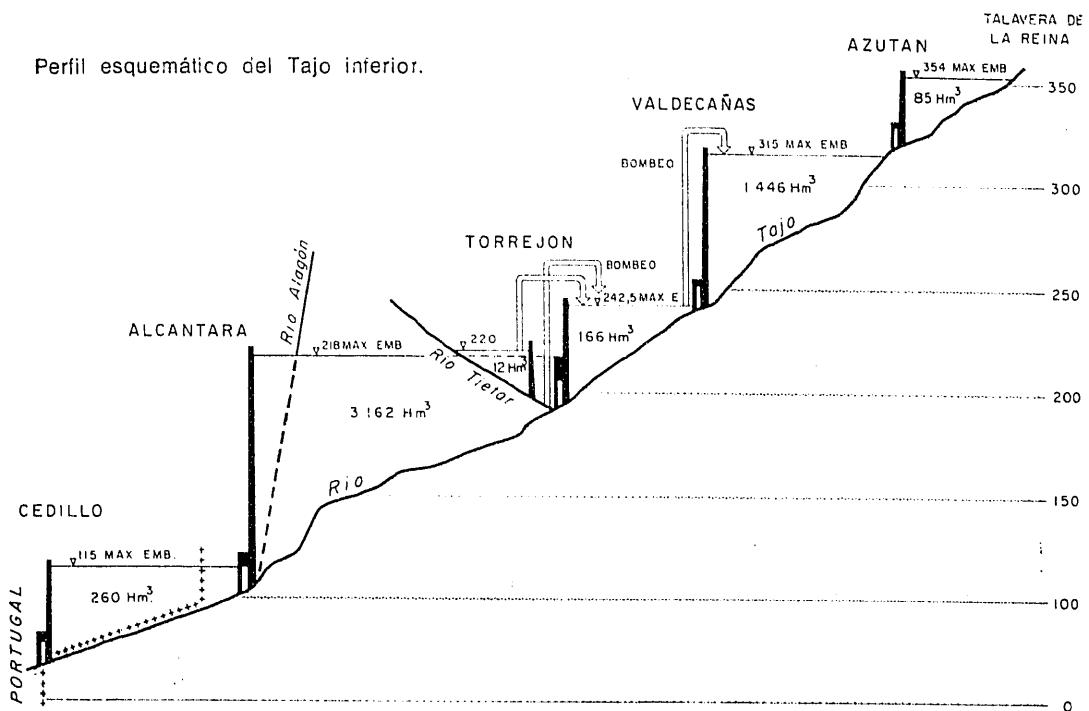
Veamos ahora sólo algunos aspectos técnicos interesantes de estas instalaciones.

La circulación hidráulica de doble sentido ha planteado algunos problemas específicos, tales como puntos y elementos singulares, pérdidas de carga concentradas, formas de transición, elementos de protección, etc., así como ha añadido nueva complejidad al estudio de los regímenes variados y al cálculo dinámico. En

todos ellos se han logrado soluciones satisfactorias y en realidad se está más en fase de optimizaciones que de logro de funcionamiento aceptable.

A parte el equipo electromecánico, los depósitos constituyen la parte más costosa de un aprovechamiento de bombeo y la más determinante tal vez de su viabilidad. En efecto, las soluciones realizadas, proyectadas o al menos previstas como posibles son numerosas. La fijación de los depósitos define las principales características del aprovechamiento como tal: desnivel, energía almacenable, longitud horizontal del circuito. Al mismo tiempo da lugar a las diferentes tipologías según sean artificiales o naturales, de superficie o subterráneas; incluso que alguno de

Perfil esquemático del Tajo inferior.

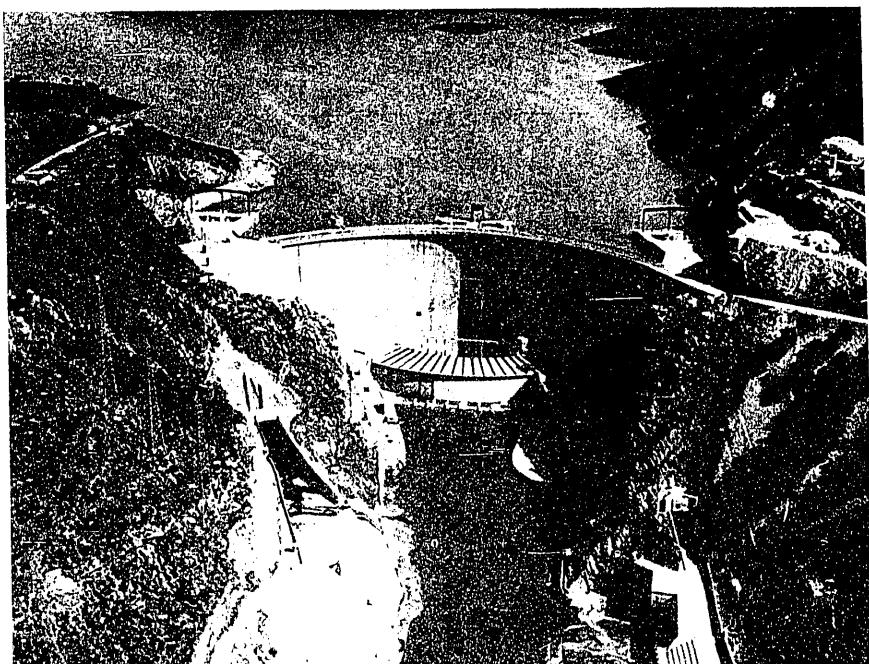


ellos sea el mar, etc. Todas estas características se reflejan en la funcionalidad y coste del aprovechamiento resultante.

Las centrales de bombeo entendemos, como resumen, se impondrán en el futuro como realizaciones muy favorables, donde el emplazamiento sea idóneo. Su solución alternativa de los últimos años —que eran las turbinas de gas— han perdido posibilidades con el drástico encarecimiento de los combustibles fósiles, de los que hace un uso de muy bajo rendimiento. Por otra parte, el papel como acumulador de las energías excedentes de las centrales nucleares, justifica por sí solo su realización. Sus características favorables de contribución a la regulación de frecuencia, empleo como reserva giratoria, como compensador síncrono, etc., representan importantes aportaciones en el estudio de selección.

Factor en contra de su desarrollo a plazo medio, está el propio encarecimiento de los combustibles fósiles que relegará en alguna medida a funciones de utilización —puntas— discontinua a las centrales de fuel-oil actuales.

Soluciones de complejos energéticos integrales pueden ser, a corto plazo, una instalación formada por un aprovechamiento hidroeléctrico convencional de regulación, cuyo embalse se utiliza conjuntamente como depósito inferior de un es-



Salto de
Valdecañas.

quema de reciclado puro y como medio de refrigeración de una central nuclear, con emplazamiento forzado por las condiciones hidráulicas; o más hacia el futuro, con ubicación próxima a los grandes centros de demanda, central nuclear de base, subterránea, sistema bombeo-refrigeración con depósitos subterráneos y sistema conexo de abastecimiento de calor. La conjugación de usos y la administración de recursos dentro de una política de economía energética y protección ambiental orientarán en el futuro la planificación y el control coordinado de las distintas fases y soluciones, en un análisis sistemático de la función energética.