

Los embalses de acumulación hidráulica y las instalaciones auxiliares de elevación

La falta de regularidad en las aportaciones hidráulicas de una cuenca dentro del ciclo anual (u otro más extenso para regulaciones de mayor intensidad) que se deja sentir incluso en los cursos de agua donde aquélla existe naturalmente en cierto grado, o ha sido obtenida por procedimientos artificiales, exige la creación de centrales en reserva para suministrar la energía que no alcanzan a producir durante las bajas aguas las fábricas que aseguran el consumo regular de una red. La desigualdad de éste a lo largo del día es otra causa que determina aquella necesidad.

Este hecho, que pertenece a la serie de los conocimientos corrientes de cultura general, ha determinado, en los países que poseen grandes posibilidades hidroeléctricas y escasas fuentes propias de energía térmica, el estudio y construcción de costosas instalaciones hidráulicas con el único fin de proveer aquellas necesidades.

Las circunstancias anormales que creó la pasada guerra mundial, incluso en aquellas naciones que permanecieron al margen de la contienda, hizo sentir por doquier la necesidad de una emancipación nacional de las fuentes de energía, pulmones que dan vida a la libertad de los pueblos (1).

Suiza, cuyas privilegiadas características hidro-lógicas hacen de ella un prototipo, vivió también horas de crisis ante su impotencia por mantener el ritmo de la actividad industrial, y particularmente de la organización ferroviaria. Fruto de aquellas escaseces fué el proyecto de electrificación integral a base de aprovechamientos hidráulicos que, con tanta perfección como actividad, se lleva a cabo en los Ferrocarriles Federales y en la industria privada.

Base de esta Empresa ha sido la creación de grandes embalses, casi desconocidos hasta la fecha en el país, en algunos de los cuales se ha obtenido un suplemento de acumulación mediante la elevación mecánica de aguas situadas a un nivel inferior. El exceso de agua que asegura el deshielo durante primavera y verano, suministrando un *superávit* de energía durante dichas estaciones, permite invertir dicho sobrante en el almacenaje de aguas que no llegan por gravedad a los embalses reguladores.

Esta acumulación puede conseguirse empleando energía procedente de:

a) Una central distante que aprovecha aguas no reguladas, cuya abundancia en la época indicada permite una producción de energía superior a la contratada y consumida en la red.

b) De la misma central para cuyo servicio se establece la acumulación. Para que sea posible este

caso, es preciso que las aguas captadas lo sean a una altura menor que el desnivel aprovechado en la central generadora, para que, habida cuenta del rendimiento global de la instalación, se asegure al embalse una aportación mayor que el consumo hecho de sus aguas para conseguir aquélla (figura 1.^a).

c) Cuando el embalse regula la producción de dos o más centrales escalonadas en tal forma que aprovechan íntegramente (fig. 2.^a) el desnivel existente entre la superficie libre de aquél y la cota de agua en el canal de fuga de la última central de la serie, pueden elevarse, con energía producida en las centrales B o C, las aguas que lleguen a los pequeños embalses compensadores 1 y 2 procedentes de regiones de la cuenca con vertiente en el cauce principal, aguas abajo de la ubicación del embalse de cabeza. Parte de esas aguas es la utilizada en producir la energía necesaria para elevar el resto, y la relación entre el caudal elevado y el afluente (suponiendo que no viertan aguas por la presa compensadora) señala el rendimiento hidráulico de la instalación elevadora. Claro es que para obtener un rendimiento elevado convendrá captar las aguas lo más altas posible, y así, las que aporta el afluente a (figura 2.^a), deberán elevarse desde 1 a expensas de una parte de sí mismas que se utilice en las centrales B y C. Las aguas que no pueden ser recogidas hasta 2 proporcionan rendimientos muy inferiores, por tenerse que elevar de 2 a 1 y de 1 a E, utilizando solamente el desnivel que se aprovecha en la central C. La elevación se realiza por las mismas conducciones a presión de las centrales A y B, donde es preciso instalar grupos motor-bomba.

En las consideraciones que preceden hice referencia a un rendimiento que he llamado hidráulico o de acumulación, medido por la relación entre la cantidad de agua embalsada y la afluente. Este es, sin duda, el más interesante; pero existe otro, quizá tan importante como aquél, que pudiéramos llamar rendimiento eléctrico: relación entre la energía que producirá el agua embalsada, disminuída en la absor-

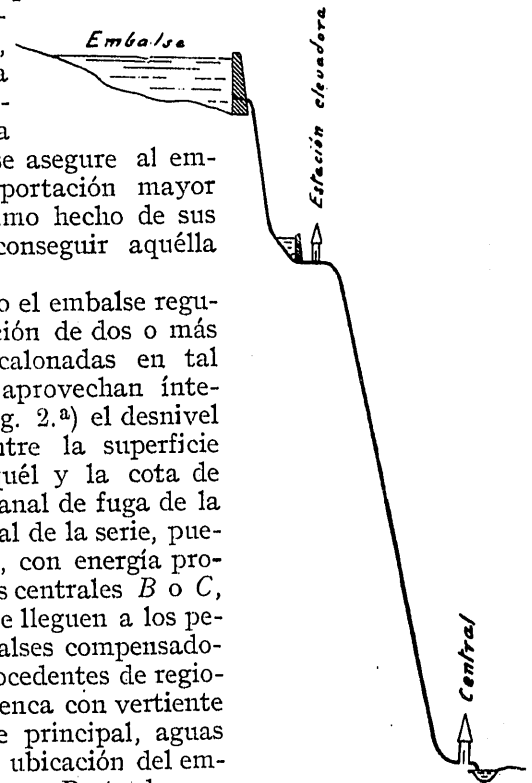


Fig. 1.^a Esquema de una instalación con acumulación artificial por medio de bombas que absorben energía suministrada por el agua del mismo embalse.

(1) Esta ha sido la causa determinante del rabioso proteccionismo que constituye la facies característica del mundo económico actual. La conflagración provocada por un imperialismo ha tenido la consecuencia de muchos imperialismos, resultando contagio lo que quiso ser represión.

bida durante la elevación, y la que hubiera producido sin necesidad de esta última.

En las instalaciones de acumulación del tipo a) es

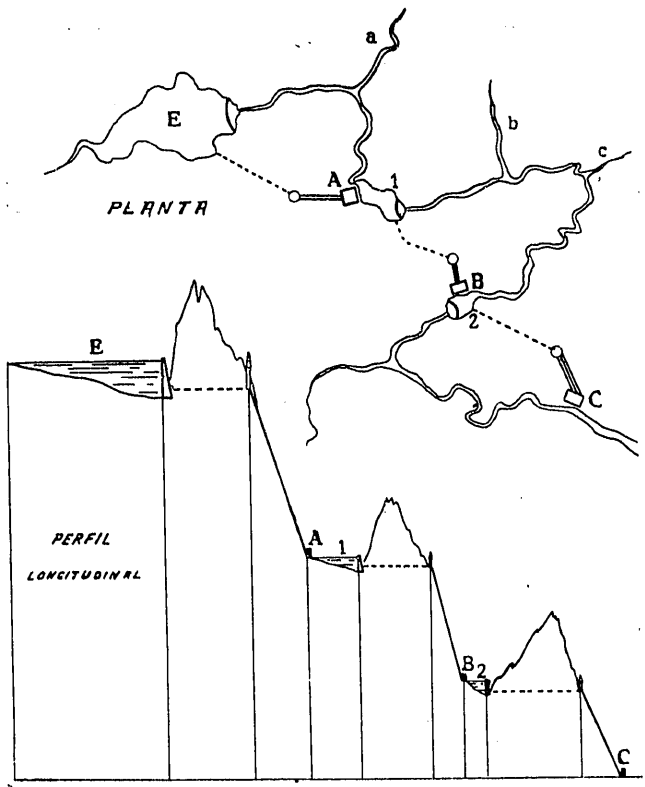


Fig. 2.ª

éste el único que debe estudiarse. Una central distante, mediante contrato, proporciona C kw-h para la acumulación de Q m³. Este volumen de agua produce más tarde C_1 kw-h. La relación $\frac{C_1}{C}$ nos dice el valor de aquel rendimiento. Para hacer el estudio del rendimiento hidráulico sería preciso comparar la cantidad de agua consumida en la producción de aquellos C kw-h con los Q m³ acumulados en el embalse; lo que sería en este caso un retorcimiento, por tratarse de cuencas diferentes.

En el ejemplo tratado precedentemente (fig. 2.ª), si llamamos:

- H = desnivel total en m = $h_1 + h_2 + h_3$.
- h_1 = desnivel en m aprovechado en la central A.
- h_2 = desnivel en m aprovechado en la central B.
- h_3 = desnivel en m aprovechado en la central C.
- r_1 = rendimiento de la conducción, turbinas y alternadores de la central A.
- r_2 = rendimiento de la conducción, turbinas y alternadores de la central B.
- r_3 = rendimiento de la conducción, turbinas y alternadores de la central C.
- ρ_1 = rendimiento del grupo motor bomba y conducción de la central A.
- ρ_2 = rendimiento del grupo motor bomba y conducción de la central B.
- Q = caudal en metros cúbicos que afluye directamente a 1) = $q + q_1$.
- q_1 = caudal elevado en metros cúbicos.
- q = caudal, en metros cúbicos, empleado en la elevación.

Para obtener el rendimiento hidráulico igualaremos la expresión de la energía producida por q m³

en las centrales B y C, con la que indica la consumida para realizar la elevación de 1) a E:

$$\frac{q \cdot 1000}{75} (h_2 r_2 + h_3 r_3) = \frac{1000 q_1 h_1}{75}$$

de donde:

$$\frac{q_1}{q} = \frac{\rho_1}{h_1} (h_2 r_2 + h_3 r_3) \quad [1]$$

expresión del rendimiento hidráulico.

El rendimiento eléctrico le obtendríamos comparando la energía que produce la utilización de q_1 m³ en las tres centrales A, B y C:

$$\frac{1000 q_1}{75} (h_1 r_1 + h_2 r_2 + h_3 r_3) \quad [3]$$

con la que producirían Q m³ utilizados en las B y C

$$\frac{1000 Q}{75} (h_2 r_2 + h_3 r_3) \quad [4]$$

Dividiendo la [3] por la [4] y teniendo en cuenta las [1] y

$$Q = q + q_1 \quad [2]$$

deduciremos:

$$\frac{\rho_1 (h_1 r_1 + h_2 r_2 + h_3 r_3)}{\rho_1 (h_2 r_2 + h_3 r_3) + h_1} \quad [5]$$

como expresión del rendimiento eléctrico.

De análoga manera deduciríamos estos rendimientos cuando las combinaciones de aguas fuesen diferentes: elevación desde 2) con energía suministrada por la central C con aportaciones que llegan directamente a 2); elevación desde 2) a expensas de estas mismas aguas (1).

Hemos dejado de intento para el final la considera-

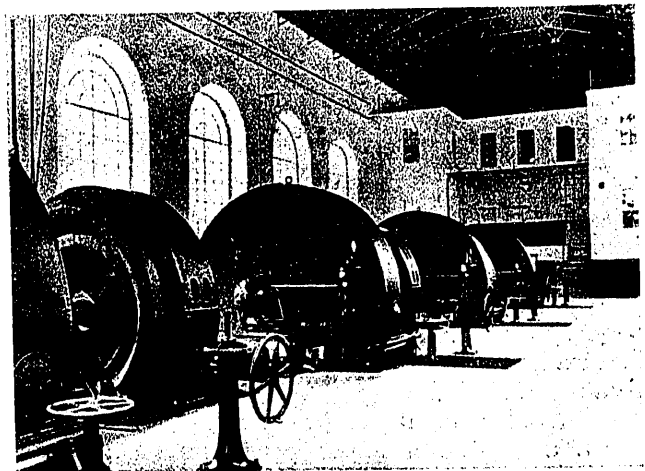


Fig. 3.ª Sala de máquinas de la Central de Fully. Cuatro grupos de 3000 CV.

ción de otro rendimiento, por ser éste, en definitiva, el más importante: el económico. La base de este pro-

(1) Este ejemplo nos permite señalar bien claramente las diferencias entre los rendimientos que llamamos hidráulico y eléctrico. Se percibe claramente, en efecto, la gran diferencia que existe entre los rendimientos hidráulicos de las elevaciones realizadas desde 1) y desde 2) a expensas de las mismas aguas afluentes, mientras son comparables los rendimientos eléctricos de ambas elevaciones.

cedimiento de acumulación estriba en emplear, para conseguirlo, energía sobrante durante la época de altas aguas. Esta energía, bien sea propia o se consiga mediante contrato con segunda persona, tiene un precio muy bajo, apenas superior al que representa la amortización durante el mismo tiempo de las instalaciones que funcionan para producirla. Pero la fuerza engendrada en virtud de aquella acumula-



Fig. 4.ª Turbina Pelton con tres ruedas de doble inyector de la Central de Schwarzenbach.

ción es energía de estiaje o sequiaje, con un precio sumamente más elevado. Y la comparación de aquel gasto con este beneficio, el rendimiento económico, nos permitirá deducir si el capital invertido en las instalaciones necesarias para producir la elevación lo ha sido en condiciones convenientes de rentabilidad.

Para terminar la presente nota, citaré algunos ejemplos característicos de instalaciones realizadas.

FULLY (Valais-Suiza).—Esta central (fig. 3.ª), que aprovecha las aguas embalsadas en el lago del mismo nombre, con un desnivel hasta la misma de 1 650 m (la más alta del mundo), utiliza igualmente las del lago de Sorniot, situado 140 m más abajo que aquél sobre la misma traza de la tubería y enlazado con el de Fully mediante una estación de 200 litros por segundo de capacidad elevadora.

El lago de Sorniot está enlazado con la cámara de aspiración de esta última por medio de una tubería de 0,60 m de diámetro. La aspiración se hace por dos tubos verticales de 0,36 m de diámetro interior, provisto cada uno de ellos, en su extremidad inferior, de una alcachofa o de una válvula automática de cierre.

La impulsión se hace directamente en la tubería de carga. Entre ésta y la bomba existen otra válvula automática de cierre y una llave-compuerta de 0,35 m de diámetro interior.

Si la bomba funciona mientras la central no marcha (la energía viene entonces suministrada por la central de Martigny, establecida sobre aguas corrientes) los 200 litros por segundo de caudal aspirado se impulsan íntegramente en el lago superior. Si, por el contrario, la central está en marcha y consume un caudal superior a 200 litros por segundo, toda el agua de la bomba se dirige hacia abajo, y el lago superior suministra tan sólo el caudal complementario. Si la central emplea un caudal comprendido entre 0 y 200 litros por segundo, el de la bomba se divide: desciende la parte necesaria en la fábrica y el resto sube al lago de Fully. Se ve, pues, que en el trozo de conducción en carga situado entre la toma de agua y la estación elevadora, supuestas en marcha bomba y central, puede suceder que la columna de agua esté

en movimiento ascendente o descendente, y aun inmóvil, sin que esto origine nada de anormal en la marcha de las turbinas.

La diferencia media de altura entre los niveles de agua en Fully y en Sorniot representa, próximamente, 1 : 12 de la altura de caída total, y teniendo en cuenta que el rendimiento de las máquinas es de 50 por 100, se llega a la conclusión de que por cada litro de agua que se extraiga del lago superior para producir en la central de Fully la corriente necesaria para accionar la bomba instalada en el lago de Sorniot, se elevarán seis litros al lago superior.

SCHWARZENBACH (Alemania).—Esta central funciona bajo una carga de 357 m y tiene instalado un grupo con turbina Pelton triple (fig. 4.ª). El árbol horizontal del grupo arrastra, por medio de engranajes, dos bombas, que absorben una potencia de 9 900 CV, para elevar 3 m³ por segundo a una altura de 181 m.

A causa de las condiciones extraordinarias de la explotación, que se traducen, no solamente en variaciones de la altura de elevación, sino también en fluctuaciones de la potencia disponible para las bombas, éstas han sido provistas de una regulación con álabes directores que previene la laminación durante aquélla. El mando incumbe a un regulador normal de aceite a presión, en el que un motor síncrono muy sensible ha sustituido al tacómetro. Este motor, influido por las más pequeñas variaciones de la frecuencia en la red, regula el caudal de la bomba de acuerdo con la energía disponible.

WÄGGITHAL (Suiza).—Esta maravillosa instalación, capaz para producir 160 000 CV instantáneos, ha sido proyectada y construída únicamente como estación de reserva invernal (1.º de noviembre a 31 de marzo).

El lago artificial embalsa 140 000 000 de metros cúbicos. La caída de 457 m existente entre su más alto nivel y el desagüe inferior de Siebnen, se utiliza en dos etapas. Una central (Rempen), con 90 000 CV instalados, funcionando bajo una carga máxima de 260 m, y otra (Siebnen), con un pequeño embalse compensador donde des-
aguan las turbinas de Rempen, que aprovecha un desnivel máximo de 197 m.

En la central de Rempen, y tomando aguas del embalse compensador de Sieb-
nen, cuya principal fuente alim-
mentadora es un torrente que ha visto su garganta acotada por el embalse, se ha montado una estación elevadora de 22 000 CV que permite almacenar,



Fig. 5.ª Presa del Wägglthal y embalse del Innerthal.

durante la época de altas aguas en el lago superior, Innerthal, las aguas recogidas en aquél. Durante los meses de invierno los motores síncronos de la estación se utilizan como compensadores de fase (con las bombas desacopladas) mejorando el $\cos \varphi$ de la red, con la consiguiente elevación en el rendimiento de las instalaciones.

Tales son, a grandes rasgos, algunas de las aplicaciones más perfectas que hemos podido visitar del principio de acumulación hidráulica por procedimientos mecánicos.

Este sistema, por bonito que quiera parecernos, es muy caro y debe recurrirse a él cuando la utilización integral de los recursos hidráulicos del país,

unida a una demanda constantemente creciente del mercado consumidor, obliga a considerar como una riqueza que se pierde cada gota de agua que llega a los valles inferiores sin haber rendido entre los álabes de las turbinas toda la energía que en ella acumuló el sol cuando formó las nubes. Entonces, y no porque la necesidad no reconozca leyes, sino precisamente porque las crea y modifica los precios de la energía, es llegado el momento de poner en explotación los recursos generadores que en una etapa anterior de la producción no reunían condiciones económicas para ello.

Que tal circunstancia se presente pronto en España es mi más egoísta deseo.

C. BOTÍN
Ingeniero de Caminos

El procedimiento de los lodos activos en la depuración de aguas negras

La depuración de las aguas procedentes del alcantarillado, antes de su afluencia a los ríos, es cuestión actualmente muy importante para la salud pública, por el gran caudal de estas aguas que en las poblaciones importantes se produce, obligando en muchos casos los más elementales deberes de higiene pública a una previa depuración.

Ya los pueblos que incorporan a sus ideales el culto a la higiene se han preocupado mucho, últimamente, de perfeccionar los procedimientos de drenaje y depuración de aguas negras. Desde 1914, ingleses y norteamericanos, muy principalmente, no han cesado en sus investigaciones, a que les llevara la obligación de sanear los campamentos militares; adquiriendo más que nunca importancia la cuestión. Por este camino fué como, a mediados del citado año, M. Jones y Attwood, dos ingenieros especialistas, preconizaron el sistema de *Activated sludge*, para depuración de las aguas de alcantarillado.

Antes de continuar y para justificar mi nombre al final de estas líneas, juzgo oportuno expresar mi intención al escribirlas. Creo que, actualmente, entre nosotros, la Ingeniería Sanitaria tiene ante sí un campo de realizaciones prácticas tan extenso que, aun animados de los mejores deseos, hemos de tardar mucho tiempo en alcanzar una situación satisfactoria. La conciencia de este retraso y el concepto de su importancia nos determina a esforzarnos en su impulso, no deteniéndonos el convencimiento de nuestras modestas fuerzas, porque siendo en el mismo sentido, aumentan siempre el valor de la resultante.

El tema que vamos a desarrollar se nos ocurrió, hace ya algún tiempo, visitando las instalaciones de ensayo que funcionaban en Clichy y Mont Mely, para proyectar por este procedimiento la depuración de las aguas del alcantarillado de París. La importancia que en Inglaterra y Norteamérica ha adquirido el procedimiento y la novedad con que aun puede presentarse en castellano, pues salvo el reciente artículo en esta REVISTA de mis compañeros Herrán y Escario y otro en *Ingeniería y Construcción*, muy poco se

habrá escrito sobre ello, nos hace creer pueda ser de algún interés para los lectores de esta REVISTA.

Todos los procedimientos de depuración de aguas negras tienden a la desintegración de la materia orgánica, y deben terminar siempre por acciones de oxidación. Pero como la oxidación de la materia orgánica compleja, casi siempre en el estado coloidal, es difícil, resulta indispensable, o desintegrarla en productos fácilmente oxidables, o separarla al estado insoluble. La desintegración se efectúa, en parte, en la fosa séptica, la separación se consigue por precipitación química, o por depósito en los lechos bacterianos, y por medio de los cienos o lodos, activos o activados.

Los cienos activos son cienos de aguas negras que por una aireación prolongada son transformados, mediante la acción de organismos oxidantes, análogos a los que pueblan los lechos bacterianos aerobios. El proceso exacto de su formación es complejo y no muy bien definido aún, por lo que no hemos de tratar de tenidamente de él (1). Puestos en contacto íntimo por una agitación constante con las aguas negras dan, en presencia de un exceso de oxígeno, producido por una aireación forzada, una depuración, por lo menos, comparable a los mejores resultados dados por los lechos bacterianos.

Gilbert Forwlez y sus colaboradores Ardern y Lockett, que constituyeron en Manchester la mejor escuela para la depuración de aguas residuarias, han demostrado que se trata principalmente de una oxidación bacteriológica intensa, y que era necesario que el lodo tuviera este carácter bacteriológico.

MM. Courmont y Rochaix han estudiado la flora microbiana que se desarrolla en presencia de los lodos activos, y han demostrado que más del 99 por 100 de los gérmenes existentes en las aguas ne-

(1) Según Dienert y sus colaboradores, la activación de los lodos exige próximamente dos meses con las aguas negras de París, aparece bruscamente y puede obtenerse más rápidamente por la adición de carbonato de cal.