

y la variación de la retracción según el tiempo (este ensayo se prolongó hasta completar el período de un año); la carga de rotura por compresión. Esto en lo que se refiere a los materiales, para los medios o elementos de la construcción, durante la ejecución de los anillos, se instalaron tres flexímetros registradores, por anillo, uno en la clave, anotando las deformaciones al terminar cada trozo de dovela y junta. Para los gatos, como ya hemos dicho, se probaron independientemente a 700 atmósferas, en taller, y a 500 en la zanja de pruebas.

Descimbramiento. — Debía efectuarse, según se prevía en los cálculos, a los cuarenta y cinco días de cerrado el arco; sin embargo, se retrasó considerablemente a causa de dificultades de índole burocrática relacionadas con la adquisición de los aparatos de descimbramiento; por lo cual, si bien se alcanzaron las presiones previstas en los cálculos, la apertura de la junta de clave fué menor y no se pudo colocar la placa del grueso máximo.

Estaban contruídos al verificarse el descimbramiento, como se había supuesto, los tabiques, largueros y piso, excepto el pavimento, y cortado el tablero por sus juntas de dilatación en clave y estribos (fotografía número 18).

Se hicieron con gran cuidado, porque así lo requiere el sistema, las observaciones de las incidencias y movimientos de las distintas partes de la obra durante el descimbramiento y corrección. Para ello se instalaron los aparatos necesarios para acusar los movimientos de la cimbra y de los arcos. Fueron estos aparatos: un Manet en cada una de las pletinas embutidas en el trasdós de los arranques de los anillos; un aparato topográfico en el eje del puente, encima de uno de los estribos; los flexímetros antes indicados, un aparato Manet en cada una de las juntas de clave, para observar las cantidades que abrían los anillos bajo la

presión de los gatos, y un flexímetro relacionando cada anillo con la cimbra, para saber cuánto se levantan aquéllos sobre la cimbra. Por último, los manómetros de los gatos y un termómetro para observar la temperatura ambiente.

Para observar el asiento de los apoyos, se instalaron aparatos de medida para determinar, con menor error de 2 mm., el asiento y retroceso que pudieran experimentar los estribos; instalando un aparato bajo cada salmer y anotando sus indicaciones al comienzo, al fin del descimbramiento del arco y cada doce horas después de descimbrados los anillos, durante cuarenta y ocho horas.

Para efectuar el descimbramiento, preparada la instalación de todos los aparatos para éste (fotografías 19 y 20) y para las observaciones, y probado el funcionamiento normal de todos, se colocó sobre la junta una cabria para cada anillo, con objeto de poder presentar en la junta la placa precisa lo más rápidamente posible, y abiertos los arcos por actuación en los acumuladores hidráulicos de cada grupo, guardando siempre entre los del plano superior e inferior la relación de presiones calculadas, se dejó la placa de cierre de espesor mínimo, alcanzada la presión calculada, y se hizo salir lentamente el líquido de los cuerpos de bomba para el cierre sobre las placas.

El despegue de la cimbra se hizo sin dificultad y el resto de la obra fué terminado normalmente (fotografía 21). Ésta ha sido construída, con todo esmero, por el contratista Sr. Pérez Plá, y las provechosas enseñanzas adquiridas especialmente en los trabajos de descimbramiento y corrección, han de sufrir una interesante ampliación y nos serán de utilidad para efectuar aplicación análoga, pero en mayor cuantía para las obras del viaducto sobre el Esla.

César VILLALBA GRANDA,
Ingeniero de Caminos.

Sobre la cubicación de embalses

Recientemente, el Sr. González Quijano, en sus artículos sobre "Cubicación de embalses" (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 15 julio, 1.º y 15 agosto 1935), ha expuesto interesantes aspectos de esta cuestión invitando a los compañeros a comunicarle los datos que poseeran. También D. Clemente Sáenz, en comunicación al XIV Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Santiago, trató tema semejante, indicando algunas consecuencias prácticas como las que el Sr. González Lacasa ha utilizado en su proyecto de pantano de Ortigosa de Cameros.

Como dice el Sr. González Quijano, hay en la literatura técnica abundantes antecedentes de la asimilación de las curvas características de un embalse a expresiones analíticas de la forma ax^n , y por mi parte, hace tiempo que he venido comparando las curvas de volumen de los embalses que he estudiado con parábolas de tercer orden de la fórmula sencilla $v = kh^3$ y utilizando algunas de las propiedades de carácter elemental que de aquí se derivan. Aun prescindiendo del interés científico de la cuestión, se facilita en forma considerable, por esta asimilación,

el cálculo aproximado de la capacidad reguladora y de la altura de la toma de agua más convenientes.

En la figura 2.ª se presentan, en escala logarítmica, las leyes altura-volumen de varios embalses en cuyos proyectos he intervenido; puede comprobarse su forma casi rectilínea y en conjunto su paralelismo

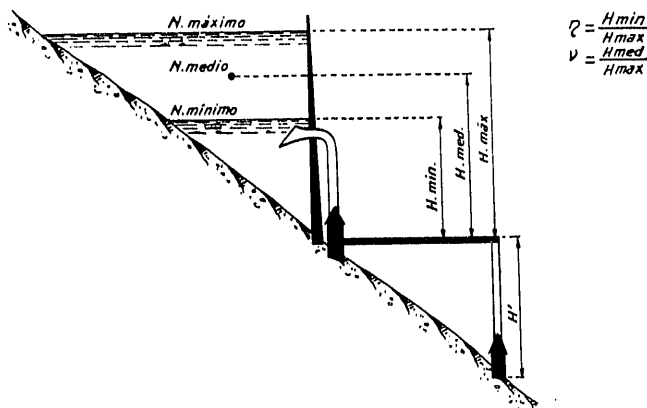


Figura 1.ª

mo. Analizadas, se encuentran los valores del exponente n que a continuación figuran:

Cinorrio.	2,58
Las Juntas.	2,82
Trillo.	2,63
Entrepeña.	2,52
San Juan.	2,64
Picadas.	3,00
Burguillo.	3,11
Venta del Obispo.	2,64
Alloz.	3,03

La energía almacenada en un embalse, respecto al pie de la presa, está medida por la integral:

$$E = \int_0^{H_{\max.}} h dV = \int_0^{H_{\max.}} 3 K h^3 dh = \frac{3}{4} K H_{\max.}^4 = \frac{3}{4} H_{\max.} V.$$

Es decir, que supuesto el aprovechamiento total y exclusivo del volumen embalsado, la altura media de salto es igual a $\frac{3}{4}$ de la máxima.

Si la toma de agua está situada de manera que sólo sea posible el aprovechamiento del agua com-

Volumenes en millones de m³

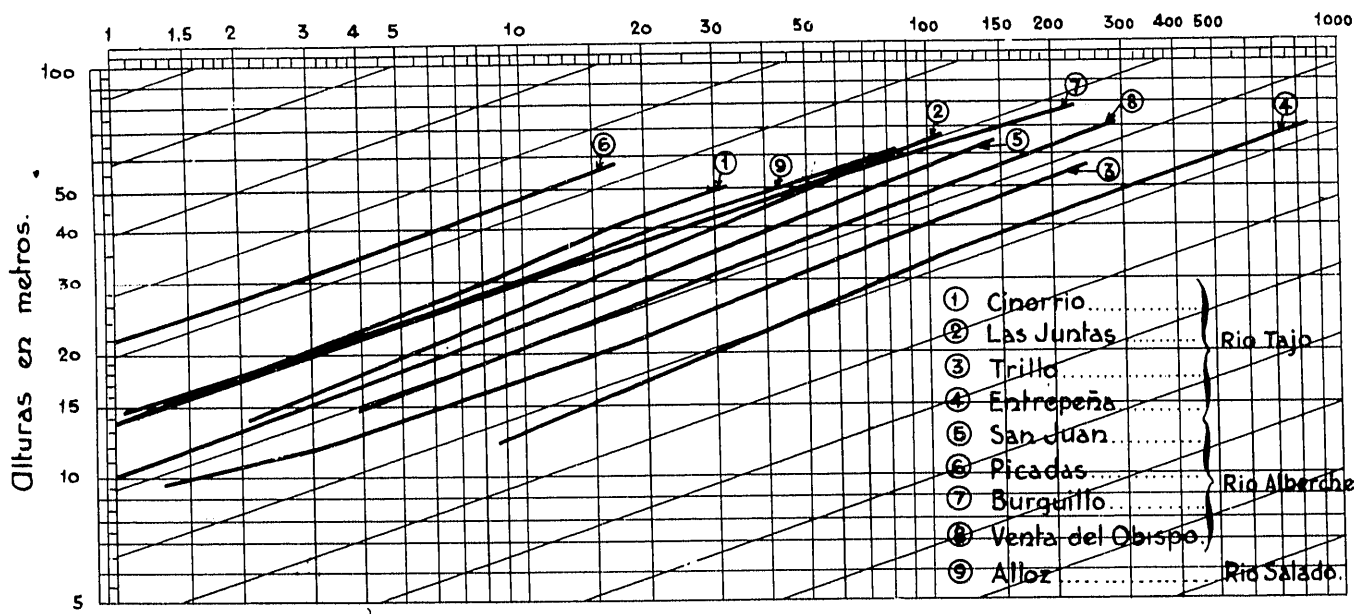


Figura 2.^a

Substituidas, aproximadamente, por la ley cúbica $V = K x^3$ se obtienen, para el coeficiente K , calculando para el embalse máximo, los siguientes valores:

Cinorrio.	255
Las Juntas.	375
Trillo.	1380
Entrepeña.	2820
San Juan.	527
Picadas.	95
Burguillo.	430
Venta del Obispo.	865
Alloz.	386

Este coeficiente K puede llamarse *coeficiente de calidad*, pues mide el volumen que se almacena en cada valle para una presa de altura unidad

Claro es que por lo demás no puede tomarse como índice económico, sino en relación con el coste de la presa y las condiciones del aprovechamiento; así, Alloz, a pesar de su coeficiente relativamente bajo, es, seguramente, el más económico de los aprovechamientos que se citan.

prendida entre las alturas $H_{\max.}$ y $H_{\min.}$, se tendrá como valor de la energía utilizable:

$$E_u = \int_{H_{\min.}}^{H_{\max.}} h dV = \int_{H_{\min.}}^{H_{\max.}} 3 K h^3 dh = \frac{3}{4} K [H_{\max.}^4 - H_{\min.}^4].$$

El volumen utilizable vale, naturalmente:

$$V_u = K [H_{\max.}^3 - H_{\min.}^3].$$

Si se hace $\frac{H_{\min.}}{H_{\max.}} = \eta$, quedará:

$$V_u = K \cdot H_{\max.}^3 (1 - \eta^3)$$

y

$$E_u = \frac{3}{4} K H_{\max.}^4 (1 - \eta^4).$$

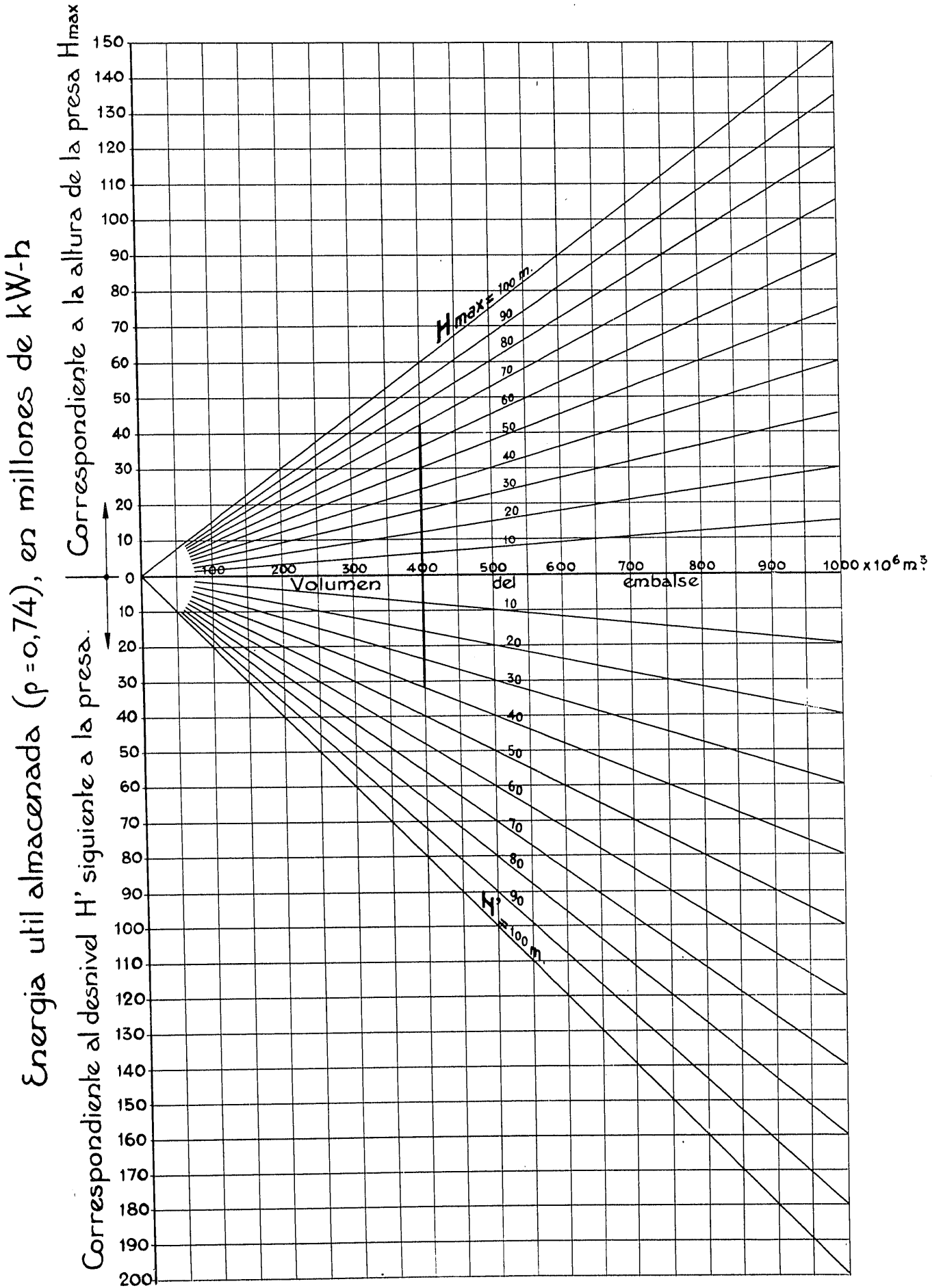


Figura 3.^a

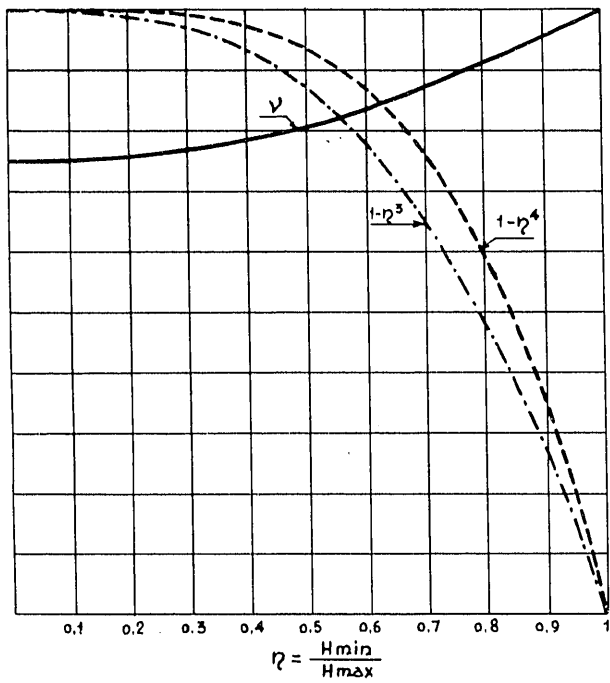


Figura 4.ª

La altura media de salto es entonces:

$$H_m = \frac{E_u}{V_u} = \frac{3}{4} H_{\text{máx.}} \frac{1 - \eta^4}{1 - \eta^3} = \nu H_{\text{máx.}}$$

haciendo:

$$\nu = \frac{3}{4} \frac{1 - \eta^4}{1 - \eta^3}$$

Los valores de $1 - \eta^4$ y ν pueden representarse en un pequeño diagrama, que resulta muy útil, en función de la relación η entre las alturas mínima y máxima, según aparece en la figura 4.ª

Puede verse que la relación $\nu = \frac{H_{\text{media}}}{H_{\text{máxima}}}$ varía cuando se eleva la altura de toma desde el fondo a la superficie, entre 0.75 y 1, como es lógico.

La forma de la función $1 - \eta^4$, que mide, como hemos visto, la relación de la energía almacenada sobre la toma a la total del embalse, es muy expresiva.

Decrece con mucha lentitud hasta $\eta = 0.5$, acentuando después rápidamente su caída. Indica esto que la casi totalidad de la energía es utilizable si la toma está por debajo de la mitad, valor al que corresponde $1 - \eta^4 = 0.94$; siendo normal en las turbinas de Francis modernas. La obtención de rendimientos aceptables con altura de salto mitad de la máxima, es con-

secuencia lógica que, en general, podrá fijarse el nivel mínimo hacia la mitad del embalse, en saltos de pie de presa, sin que sea apreciable la disminución del efecto regulador, ni tener que recurrir a la adopción de rodetes especiales para salto reducido, excepto en casos especiales.

Si el salto comprende un tramo de río posterior a la presa, de desnivel H' , la energía disponible valdrá:

$$\begin{aligned} E &= \int_{H_{\text{mín.}}}^{H_{\text{máx.}}} h dV + H' \int_{H_{\text{mín.}}}^{H_{\text{máx.}}} dV = \\ &= \frac{3}{4} K (H_{\text{máx.}}^4 - H_{\text{mín.}}^4) + H' K (H_{\text{máx.}}^3 - H_{\text{mín.}}^3) = \\ &= K H_{\text{máx.}}^3 \left[\frac{3}{4} (1 - \eta^4) H_{\text{máx.}} + (1 - \eta^3) H' \right]. \end{aligned}$$

Valor que puede fácilmente calcularse con ayuda del gráfico de la figura 4.ª, en el que se toman los valores de $1 - \eta^4$ y $1 - \eta^3$. Los valores de E vienen expresados naturalmente en toneladas-metro, y pueden convertirse en kw-h dividiendo por 367 (energía bruta) o por 500 (energía neta con rendimiento medio global de 0,74).

Para facilitar aún más esta evaluación, en casos en que el cálculo deba hacerse en serie, puede emplearse el ábaco de la figura 3.ª, que representa los valores de los dos términos de E , en función de $V = K H_{\text{máx.}}^3$, $H_{\text{máx.}}$ y H' cuando $\eta = 0$, es decir, supuesta la toma en el fondo del embalse:

$$E = V \left[\frac{3}{4} H_{\text{máx.}} + H' \right]$$

Así, por ejemplo, si

$$H_{\text{máx.}} = 70, V = 400 \times 10^6 \text{ m.}^3 \text{ y } H' = 40,$$

se tiene:

$$E = 42 + 32 = 74 \text{ millones de kw./h.}$$

Si la situación de la toma fuera diferente, deben corregirse los valores obtenidos, multiplicándolos, respectivamente, por $1 - \eta^4$ y $1 - \eta^3$, que se obtienen del gráfico número 4.

Por ejemplo: si $H_{\text{mín.}} = 35$ $\eta = \frac{35}{70} = 0.5$, se obtiene en la figura 4.ª:

$$1 - \eta^4 = 0.94 \quad 1 - \eta^3 = 0.87$$

y, por tanto,

$$E = 42 \times 0.94 + 32 \times 0.87 = 39.5 + 27.8 = 66.3 \text{ millones de kw./h.}$$

Enrique BECERRIL,
ingeniero de Caminos.