

Para el cálculo de las chimeneas con umbral en la cámara superior o con dintel en la inferior, según la concepción de KAMMÜLLER, puede verse la obra *Sichringungen in den Zulieferungs und Abfuhr Kanälen von Wasserkraftanlagen*, de J. BRANK y J. SCHÜTTER, 1938, parte de cuya exposición hemos seguido en las chimeneas con vertedero y cámaras.

La disposición de las cámaras inferiores de las chimeneas de equilibrio, como galerías partiendo del pozo piezométrico y sin salida, tiene el inconveniente de resultar difícil la salida del aire de la galería en los movimientos de ascenso y la entrada en el descenso. Por esta razón, es frecuente disponer la cámara inferior como galería de comunicación (casi horizon-

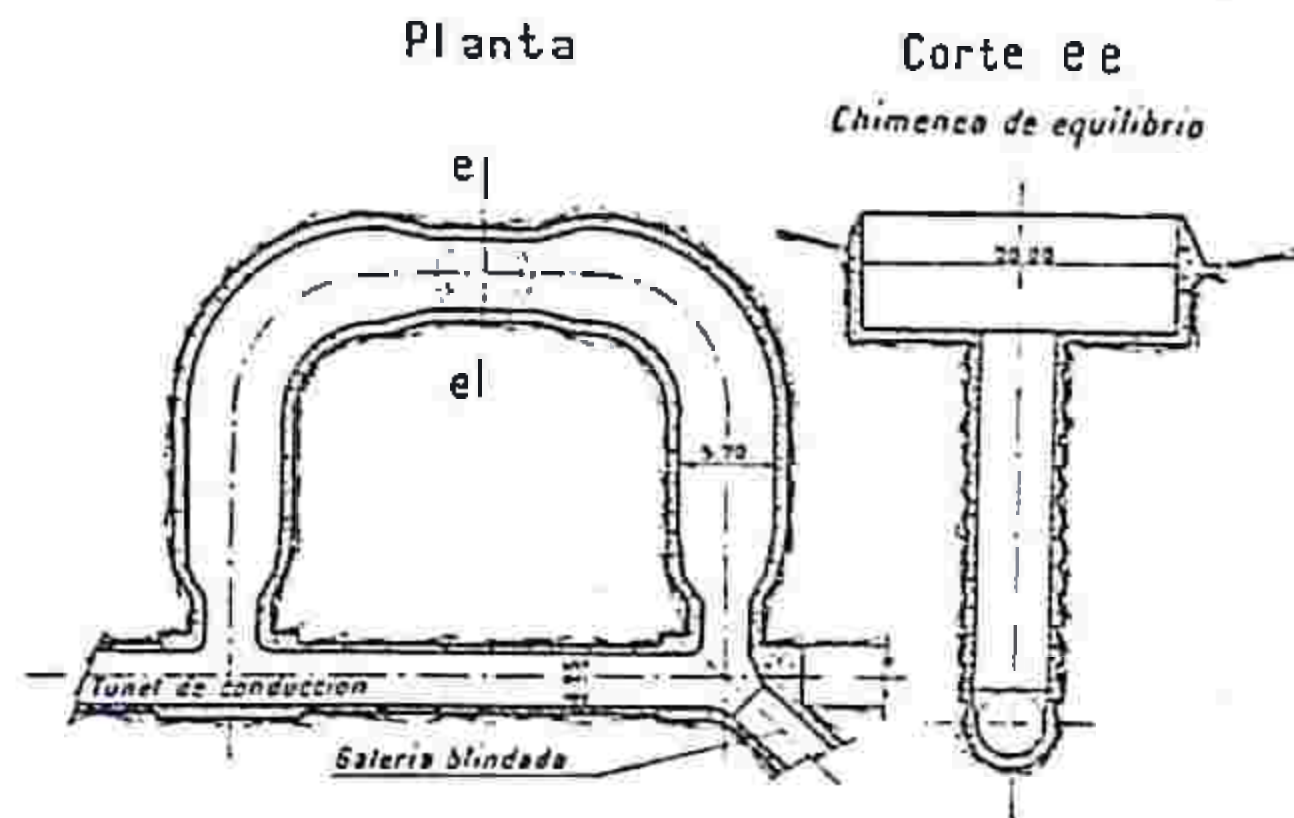


Fig. 19-13. — Chimenea de equilibrio del salto de Las Conchas.

tal) entre la transición de galería a tubería y la chimenea de equilibrio, lo que, además de permitir la entrada y salida del agua con toda facilidad, proporciona una cierta elasticidad para la ubicación de la chimenea, que se puede desplazar ligeramente hacia zonas en que el recubrimiento de roca sea mayor o ésta sea más sana. En la central de Las Conchas (España) la chimenea de equilibrio se ha dispuesto con una doble cámara inferior, que comunican el túnel en carga y la tubería de presión con la chimenea de equilibrio (fig. 19-13).

En la figura 19-14 se representa la chimenea de equilibrio del aprovechamiento de Lumiei (central de Ampezzo Italia), con desnivel del orden de 100 m. entre las dos cámaras, debido a la gran carrera del nivel del embalse: puede observarse en la figura que la cámara inferior está formada por una galería en anillo con una pendiente del 2,2 por 100 para facilitar la salida del agua y aire (artículos de SEMENZA y DE BRAM en *L'Energia Elettrica*, 1948).

**Chimeneas de equilibrio con estrangulamiento inferior.** — Con objeto de reducir la amplitud de las oscilaciones en las chimeneas de equilibrio, en algunos casos, se estrangula el paso del agua entre la unión de la galería de presión y tubería y la chimenea de equilibrio, con lo que al paso

del agua se produce una caída de presión que se suma a la sobreelevación del nivel de la chimenea, para tender a detener el movimiento del agua en la galería.

La pérdida de presión en el estrangulamiento viene dada por la fórmula:

$$h_e = \mu \frac{v^2}{2g} = c' v^2; \quad [19-51]$$

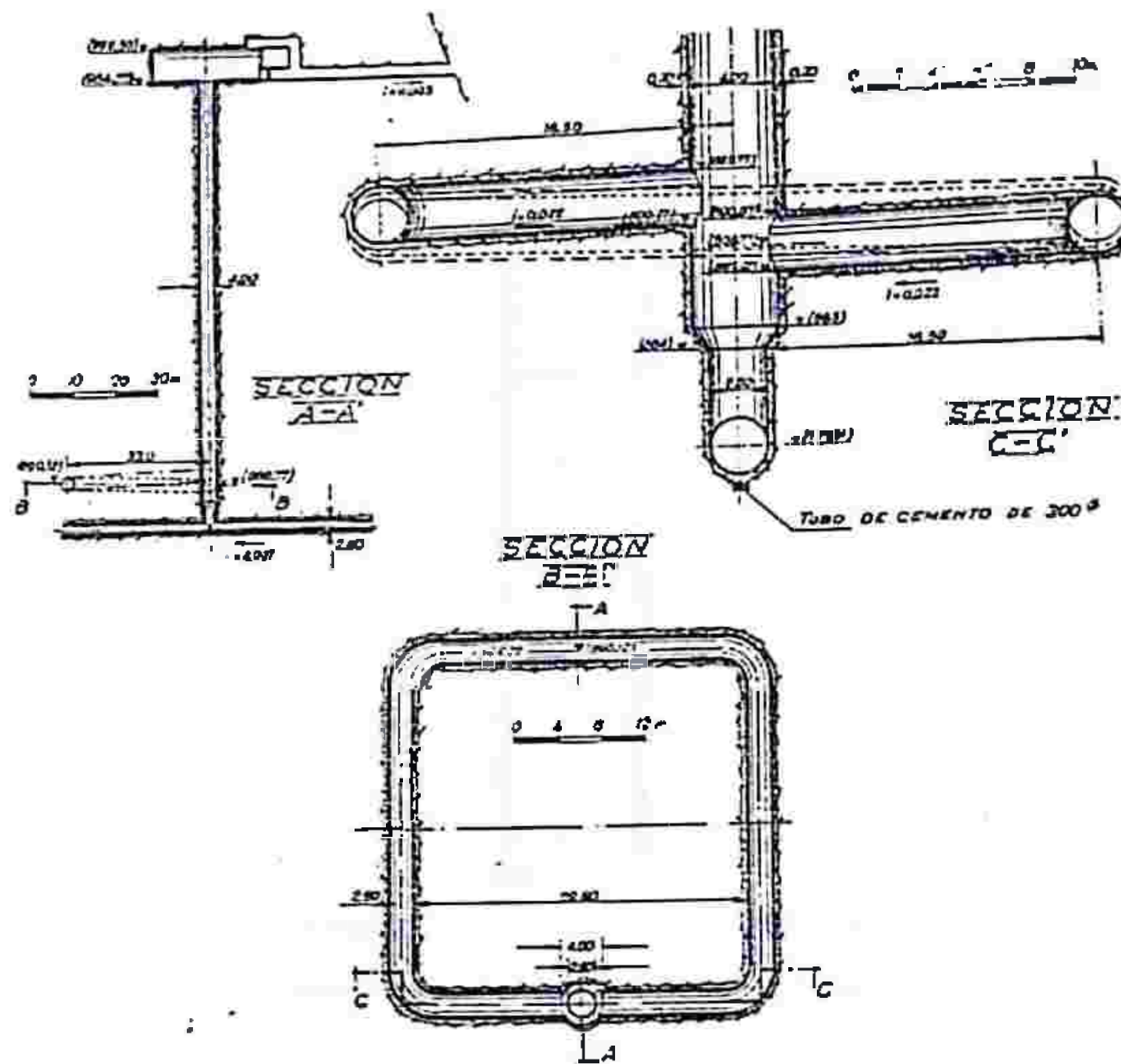


Fig. 19-14. — Chimenea de equilibrio del aprovechamiento de Lumiei (Italia).

siendo  $\mu$  un coeficiente, que en los casos más complicados debe hallarse experimentalmente, y en caso de estrangulamiento en pared delgada, se calcula por la fórmula de BORDA:

$$\mu = \left[ \frac{F}{mf} - 1 \right]^2 + \frac{1}{9}; \quad [19-52]$$

siendo  $F$  la sección de la chimenea,  $f$  la del estrangulamiento y  $m$  el coeficiente de contracción, que es del orden de 0,6.

Con objeto de conseguir la máxima eficiencia sin incrementar la presión en la galería, conviene que la pérdida de carga al paso por el estrangulamiento del máximo caudal sea, aproximadamente, igual a la máxima sobreelevación del nivel en la chimenea (fig. 19-15), y en este caso tendremos que, al producirse un cierre brusco, en el primer instante pasará todo el caudal a través del estrangulamiento, produciéndose una contrapresión,  $h_c$ , que tenderá a detener la afluencia del agua por la galería; en los instantes sucesivos se irá incrementando la sobreelevación — y mientras  $h_c$  va disminuyendo con el cuadrado de  $\frac{dy}{dt}$  hasta el momento en que se alcanza el máximo, en que — y alcanzará el valor que tenía  $h_c$  en el instante inicial y  $h_c$  se anula, no difiriendo mucho de estos valores extremos la suma de los dos ( $h_c - y$ ) en la fase intermedia. Debido a ser el área de las contrapresiones rectangular en lugar de sensiblemente triangular, como ocurre en las chimeneas sin estrangulamiento, la amplitud de las oscilaciones se divide por un coeficiente que tiene un valor del orden de  $\sqrt{2}$ .

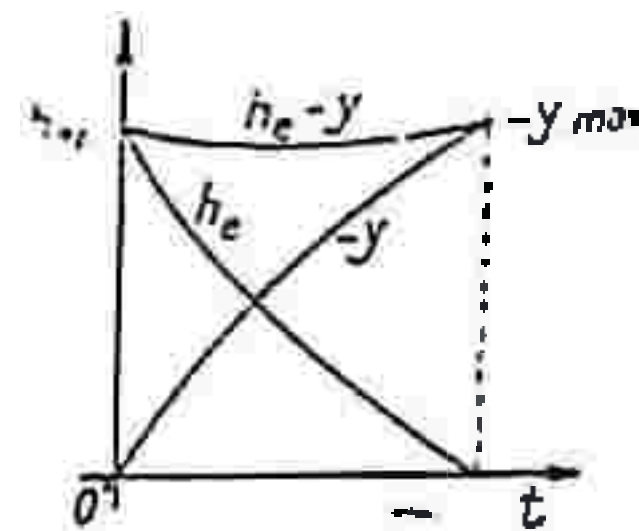


Fig. 19-15. — Variación de la sobrepresión en el fondo de una chimenea con estrangulamiento.

Interviniendo la velocidad al cuadrado para amortiguar las oscilaciones en la chimenea de equilibrio, es frecuente que la amplitud de las oscilaciones sea mayor para un cierre del regulador con cargas parciales o con sólo el cierre de una de las turbinas. Del mismo modo, en este caso puede ser más desfavorable un cierre lento del obturador de la tubería que un cierre brusco. Al hacer el estudio deben tenerse en cuenta estas posibilidades.

En el estudio de las chimeneas de equilibrio con estrangulamiento inferior se llega a las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{L}{g} \frac{du}{dt} = y = cu^2 \mp c' \left( \frac{dy}{dt} \right)^2; \quad [19-53]$$

$$Au + F \frac{dy}{dt} = Q; \quad [19-54]$$

el signo del último término de la ecuación [19-53] será negativo si el nivel en la chimenea se eleva, y positivo, si desciende.

Las fórmulas [19-53] y [19-54] se pueden expresar en diferencias finitas y proceder numéricamente igual en las chimeneas ordinarias:

$$\Delta y = \frac{Q - Au}{F} \Delta t; \quad [19-55]$$

$$\Delta u = \frac{g}{L} \left[ y = cu^2 \mp c' \left( \frac{Q - Au}{F} \right)^2 \right] \Delta t \quad [19-56]$$

Tiene este tipo de chimeneas de equilibrio, además, la ventaja de que apenas existen perturbaciones en la transición de la galería a la tubería forzada, por lo que las pérdidas de energía en este tramo serán muy pequeñas

en caso de régimen normal. Por contra, tienen los siguientes inconvenientes: al producirse una sobrepresión desde el primer momento en la base de la cámara, se incrementan las sobrepresiones por golpe de ariete en la tubería; en el caso de apertura brusca el efecto del estrangulamiento no es tan favorable, pues, por una parte, al no ser frecuente recurrir de una vez

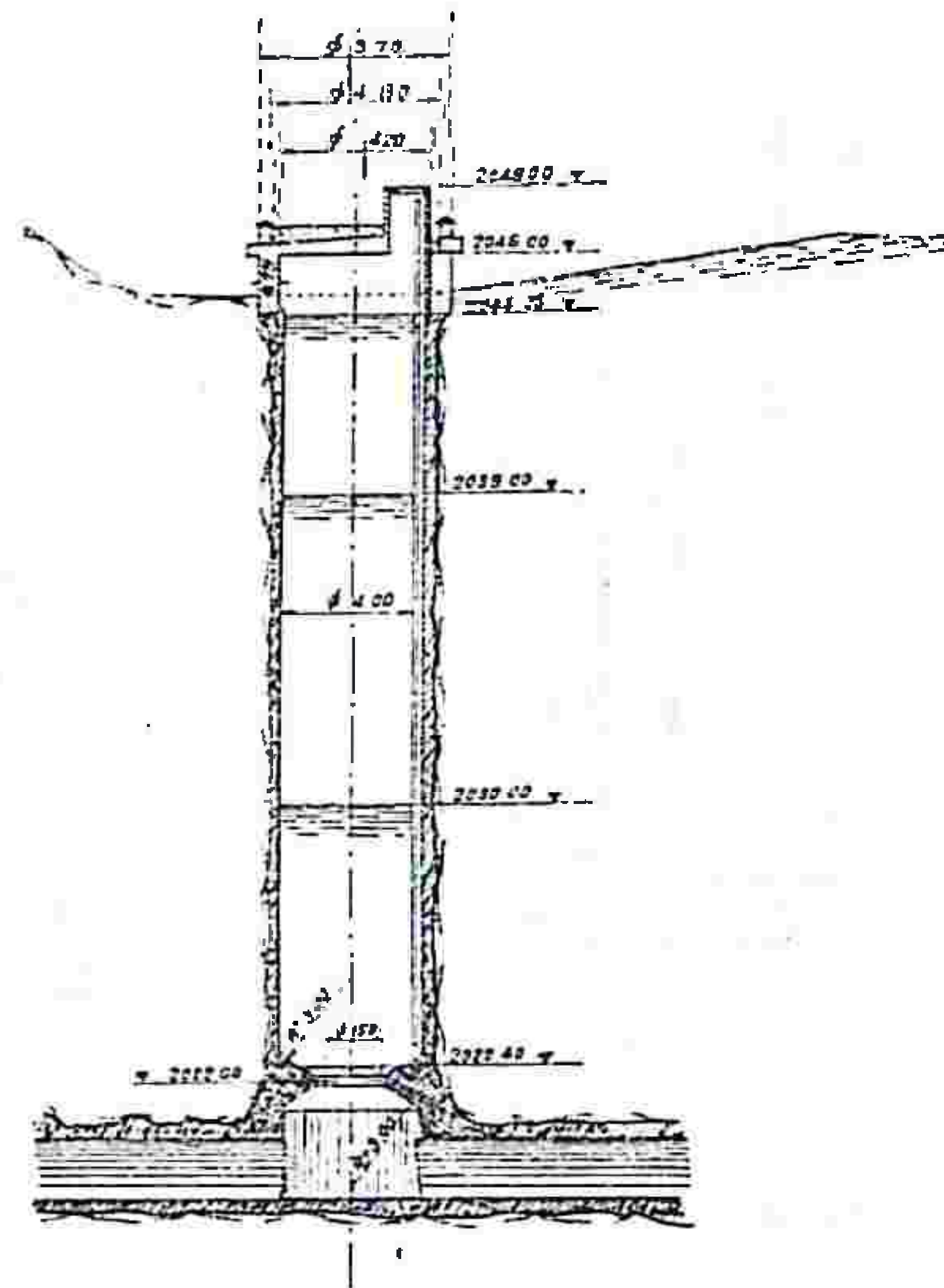


Fig. 19-16. — Chimenea de equilibrio del salto de Artigues (Francia).

todo el caudal, las velocidades al paso por el estrangulamiento son menores, y, además, en caso de una llamada brusca podría darse el caso de una rotura de la columna de agua.

En la figura 19-16 se representa la chimenea de equilibrio de Artigues en el Pirineo francés para un caudal  $Q_0 = 39 \text{ m}^3/\text{c.}$ , con una galería de presión de 2.064,20 m. de longitud y secciones de 2,46 a 3,23  $\text{m}^2$ , siendo la altura de salto 830 m.

La figura 19-17 representa el conjunto de la central, tuberías y chi-