

# El laboratorio de ensayo de turbinas hidráulicas de Kriens<sup>1</sup>

AFOROS DE CAPACIDAD Y DETERMINACIÓN DEL EMPUJE AXIAL.

La determinación de la capacidad efectiva se verifica, frenando mecánicamente mediante el freno de Prony. Este ha sido construido de forma que pueda servir para el frenado de turbinas de eje horizontal, así como también de eje vertical. Para ambos casos, la caja de freno está fijada sobre el eje de turbina con cojinetes de bolas y centrada.

Las figuras 21 y 22 muestran el freno en la disposición para turbinas verticales. En un fuerte marco de hierro perfileado y de chapa está colocada la cinta de freno de dos partes, constando de cinta de acero revestida con piezas de madera de tilo. Ella rodea completamente la polea de freno rectificada, de 660 mm de diámetro y de 200 milímetros de anchura. Entre ambas partes existen unos muelles para el equilibrio. La superficie de rozamiento se lubrica con aceite; la refrigeración efectúase mediante agua sobre la parte interior de la polea. Además de las dos grandes ruedas de mano sobre los husillos para cerrar el freno, hállase en el centro una rueda de mano pequeña, la cual actúa, con una multiplicación de palanca de 1:10, sobre uno de los husillos grandes, permitiendo así una graduación fina del freno. La fuerza de freno es transmitida por un cable de acero que ataca en ángulo recto la palanca de frenaje con el eje vertical sobre una polea con cojinetes de bolas y con eje horizontal directamente sobre

el peso muerto de la balanza centesimal, de manera que ésta actúa siempre descargando. El ataque del cable de acero sobre la pesa es elástico mediante un muelle

y caucho. La fuerza de frenaje se calcula por la fórmula conocida:

$$N_e = \frac{Pn}{K}$$

Significa:  $N_e$ , la potencia efectiva de la turbina en caballos;  $P$ , la fuerza de frenaje = peso muerto — lectura de la balanza en kilos;  $n$ , las revoluciones por minuto;  $K$ , la constante de frenado.

En las figuras 21 y 22 puede verse también la disposición para medir el empuje axial hidráulico. Todos los pesos de las partes rotatorias, como son el eje con acoplamiento, rueda motriz, polea de freno y también el freno, están apoyados sobre un cojinete pivote de bolas que descansa sobre un manguito móvil dentro de un cilindro de fundición. Este manguito puede elevarse mediante husillo y rueda de mano; de esta manera la balanza de resortes soporta poco a poco el peso de las partes antes nombradas, el que, en caso de no estar en servicio el aparato de medición del empuje axial, descansa directamente sobre la construcción de carga montada sobre el depósito satélite. Un mecanismo con multiplicación de 1:20 indica la importancia de la presión axial con la elevación del eje de la turbina. Para la medición basta con una elevación de unos 0,2 mm.

Antes de cada serie de ensayos se determina el peso de todas las partes colocadas, excepto el empuje ascensional de las partes que se sumergen en el agua, y que reducen el peso, mediante esta balanza de resorte. Es variable el peso del agua de re-

frigeración contenida en la polea de freno, pues, según su número de revoluciones, frenando desde la marcha en vacío hasta el frenado total, la superficie del agua se pondrá más o menos parabólica. Mediante cálculo o por un ensayo de salida, con lectura continua de la balanza

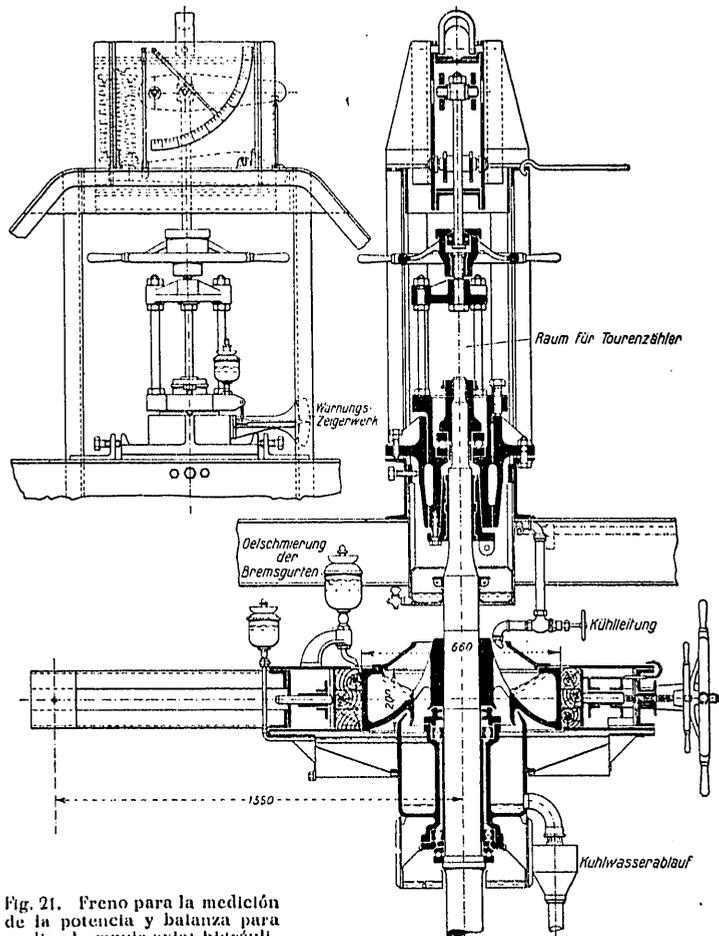
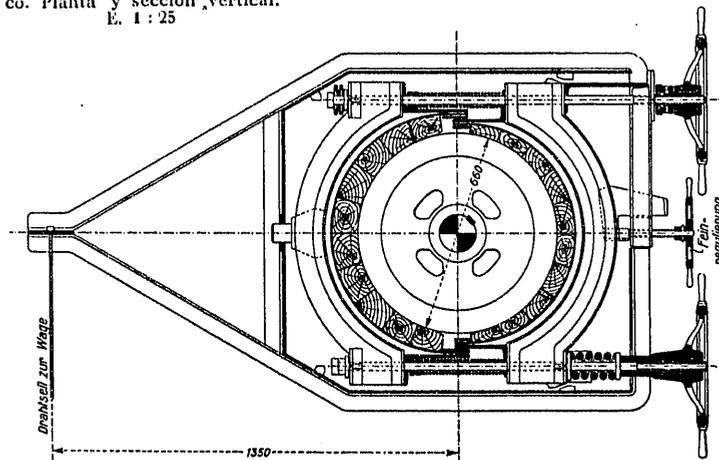


Fig. 21. Freno para la medición de la potencia y balanza para medir el empuje axial hidráulico. Planta y sección vertical. E. 1:25



<sup>1</sup> Véase el número anterior, página 315.

de empuje axial, puede determinarse el peso del agua de la polea de freno, en función del número de revoluciones. Para un punto de ensayo fijado, se calcula el empuje axial:

$$A = W - G' - q$$

$W$ , lectura de la balanza en kilos;  $G'$  diferencia entre el peso colocado y empuje ascensional en kilos;  $q$ , peso del agua en la polea de freno en kilos.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REVOLUCIONES.

Un tacómetro con una esfera de unos 30 cm de diámetro sirve para la graduación ordinaria del número de revoluciones. Es accionado directamente desde el eje de la turbina y visible desde el puesto del que frena. El número de revoluciones se cuenta exactamen-



Fig. 22. Vista del freno y aparato de medición del empuje axial

te en el extremo del eje mediante un cuentarrevoluciones mecánico con reloj de parada instantánea; comprobando el mecanismo del reloj de cuando en cuando da la garantía de una marcha exacta.

Las figuras 23, 24 y 25 demuestran cómo se fijan gráficamente los resultados de los ensayos de turbinas con los medios indicados. Las curvas representan gráficamente las propiedades características de una turbina modelo que ha sido ensayada detenidamente, como base para la construcción de las turbinas para la central de Eglisau. La figura 23 indica, adaptado el cálculo a un salto de 1 m en función del número de revoluciones  $n_1$ , de la marcha en vacío hasta el frenado total con una abertura constante de los álabes directrices, por ejemplo, de 98,8 mm la cantidad de agua  $Q_1$ , el rendimiento  $\eta$ , el empuje axial hidráulico  $S_a$ , la potencia  $N_1$  y el número de revoluciones específicos  $n_s$ .

La figura 24 demuestra para un número de revoluciones constante  $n_1$  de 200 por minuto, en función

de las cantidades de agua  $Q_1$ , el rendimiento  $\eta$ , la potencia  $N_1$ , los números de revoluciones específicos  $n_s$ , y las aberturas de la rueda directriz  $b_{eff}$ , así como el empuje axial hidráulico  $S_a$ . La figura 25 demuestra la característica principal del sistema de rueda en cuestión que resulta de tales exposiciones, representando las curvas de las cantidades de agua para aberturas constantes de la rueda directriz, rendimientos constantes y números específicos constantes de revoluciones en función de todas las revoluciones posibles  $n_1$ , como carac-

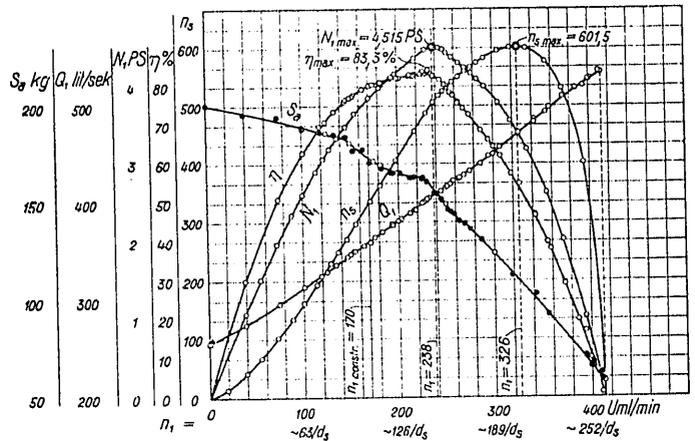


Fig. 23. Curvas características de una turbina Francis con abertura constante (serie de freno)

terística del sistema, referido al diámetro  $D_s$  como unidad.

DIFERENTES DISPOSICIONES DE ENSAYO.

Las figuras 26 a 30 representan una serie de disposiciones de ensayo que son posibles gracias a la construcción especial del depósito móvil satélite. Demuestran gran variación para la colocación de turbinas de ensayo, siendo así posible hacer una gran serie de ensayos comparativos, por ejemplo, la compa-

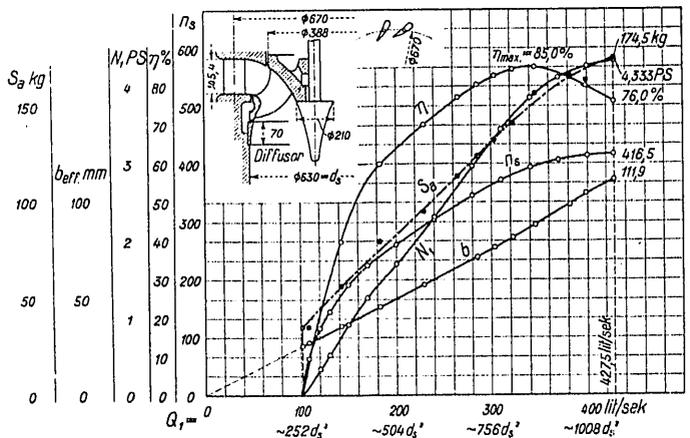


Fig. 24. Recopilación de características medias de una turbina Francis con número de revoluciones constante: 200 p. m. (serie de freno)

ración entre turbinas abiertas y cerradas; además, la comparación entre tubos de aspiración rectos o curvos, y otras más. Con la disposición del depósito satélite elevada (fig. 30) éste cumple con la función de un depósito regulador.

Con la instalación de ensayo es posible ensayar turbinas Francis hasta un diámetro del tubo de aspiración de 1,3 m.

Para construcciones mayores sólo pueden ensayarse modelos de turbinas.

Para turbinas de baja presión se construyó más tarde una pequeña instalación de ensayo móvil (figura 31), constando de una bomba centrífuga para 200 litros por segundo, con 6 m de altura de elevación, así como de una turbina de ensayo, unida a la bomba, para ruedas motrices de unos 150 a 200 mm de diámetro, las que, según necesidad, se colocan, con eje vertical

tubos de aspiración. Con ella es posible hacer pronto y con muy poco gasto, relativamente, ensayos que señalan el camino a seguir y someter una cantidad mucho mayor de objetos a ensayar o ensayos comparativos que no sería posible en la instalación principal de ensayos durante el tiempo disponible y con los mismos medios económicos.

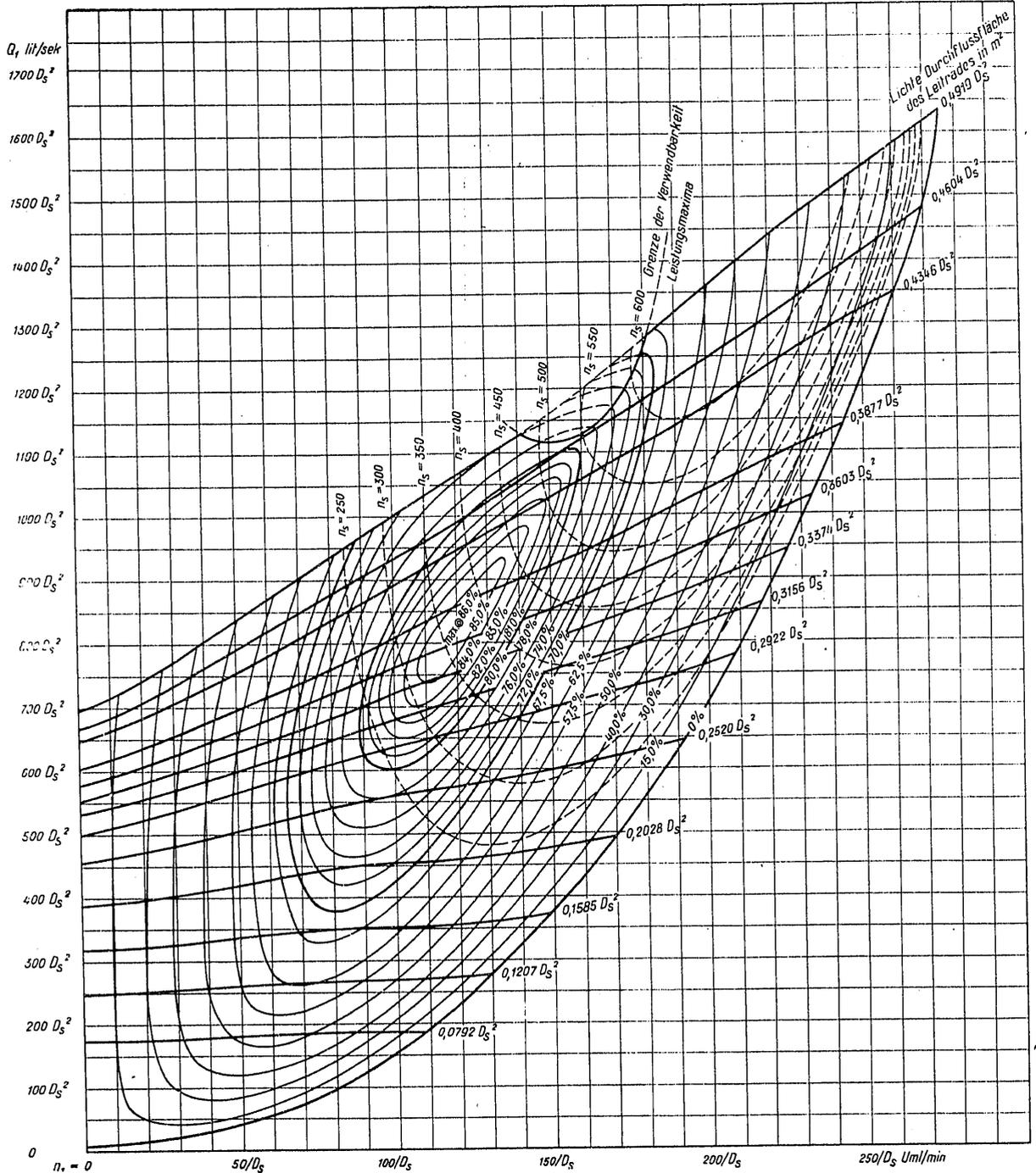


Fig. 25. Características principales (cantidades de agua  $Q_1$  para rendimientos constantes, abertura de las paletas directrices y número de revoluciones específico  $n_s$  en función del número de revoluciones  $n_1$ ) de un modelo de turbina Francis extrarrápida según fig. 24. (Modelo III para Eglsau 1918)

o eje horizontal, dentro de una caja de agua abierta o cerrada con vertedero. La turbina de ensayo vierte el agua dentro de un canal de aforo de madera de 1 metro de anchura y de 8 m de longitud, con una lámina de agua máxima de 70 cm. Al final de este canal está colocado un vertedero con contracción lateral. Esta pequeña instalación de ensayo se usa para ensayos preliminares, para obtener en principio aclaraciones entre las diferentes turbinas, formas de ruedas motrices y

### III. LA INSTALACIÓN DE ENSAYOS DE ALTA PRESIÓN.

Para estos ensayos se emplea la bomba de alta presión. Los grupos a ensayar de turbinas Francis o Pelton se unen directamente a la tubería de la bomba y se ensayan sobre el depósito inferior del tubo de aspiración con el depósito satélite elevado, o luego sobre el canal de aforo (figuras 5.<sup>a</sup>, 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup>) Al principio del canal de aforo está colocada una construcción de

carga de hormigón armado que permite cualquier colocación y variación de ensayo. La tubería de agua ha sido montada entre el depósito inferior del tubo de aspiración y el canal de aforo, para poder hacer las uniones aguas abajo y aguas arriba. La bomba de al-

te de la parte estrechada para las entradas de las toberas o junto a la entrada a la espiral, respectivamente; como instrumento de comprobación sirve un manómetro doble de comprobación con dos mecanismos indicadores separados, y un manómetro de mercurio

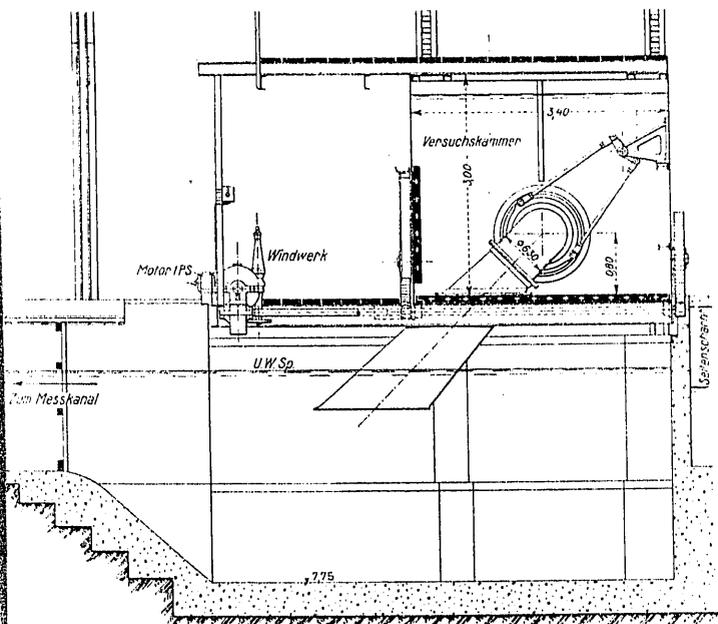


Fig. 26. Depósito satélite en la posición más baja. Turbina Francis con rueda motriz libre y tubo de aspiración oblicuo. Eje de la turbina normal al del canal. E. 1 : 100

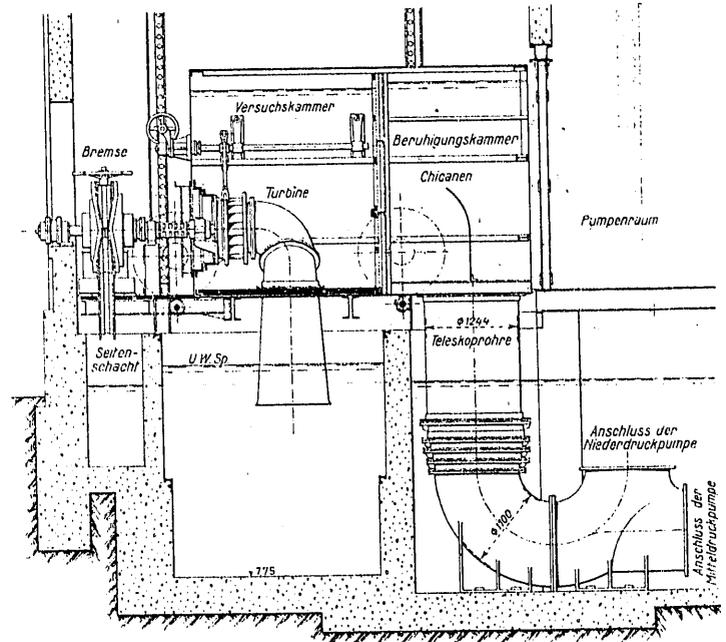


Fig. 28. Turbina Francis con tubo de aspiración curvo y eje paralelo al del canal

ta presión da como máximo 200 caballos de potencia hidráulica; así que, en general, hay que hacer ensayos de modelos. La medición de potencia se efectúa con los mismos medios que para las turbinas de baja presión; el aforo de la cantidad de agua se hace con anchuras de

que se halla muy cerca. Es natural que en las mediciones de salto se efectúen todas las correcciones referentes a la altura del manómetro y referentes a la altura de velocidad en el lugar de la medición. Las oscilaciones en las revoluciones del motor de accionamiento traen como consecuencia variaciones de

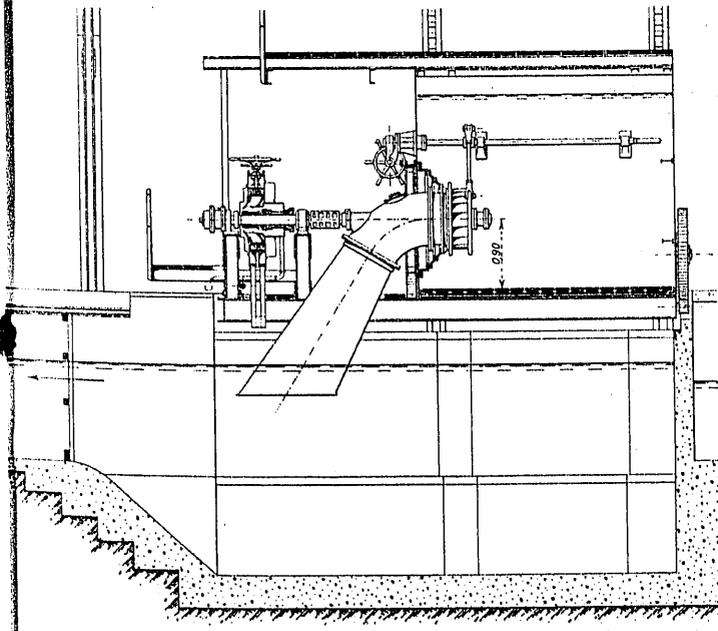
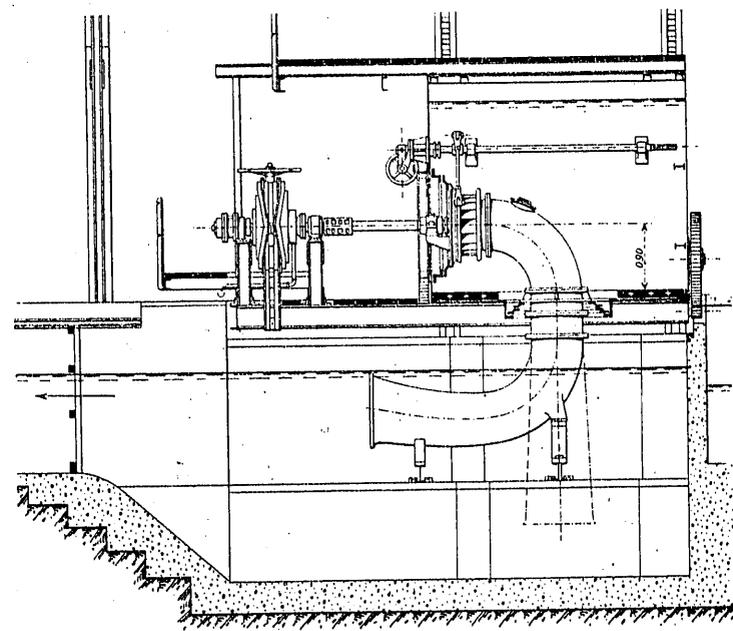


Fig. 27. Turbina Francis con tubo de aspiración oblicuo y eje paralelo al del canal



vertedero más pequeñas, puesto que se trata de 250 litros por segundo como máximo. El salto se mide mediante manómetros especiales (fig. 32) que permiten una lectura exacta hasta de 0,01 m; la unión para estos instrumentos hállase inmediatamente delan-

presión en la bomba, y a fin de que esto no efecte a los ensayos se ha colocado una salida auxiliar en las tuberías de elevación (fig. 33), en forma de una tobera de aguja invertida, a la que incumbe la subordinación de la presión de la bomba al volumen sumi-

nistrado y tener constante la presión delante de la turbina de ensayo. La distribución de este regulador de

potente foco luminoso. El freno de potencia está montado sobre el eje horizontal de la rueda motriz. La tu-

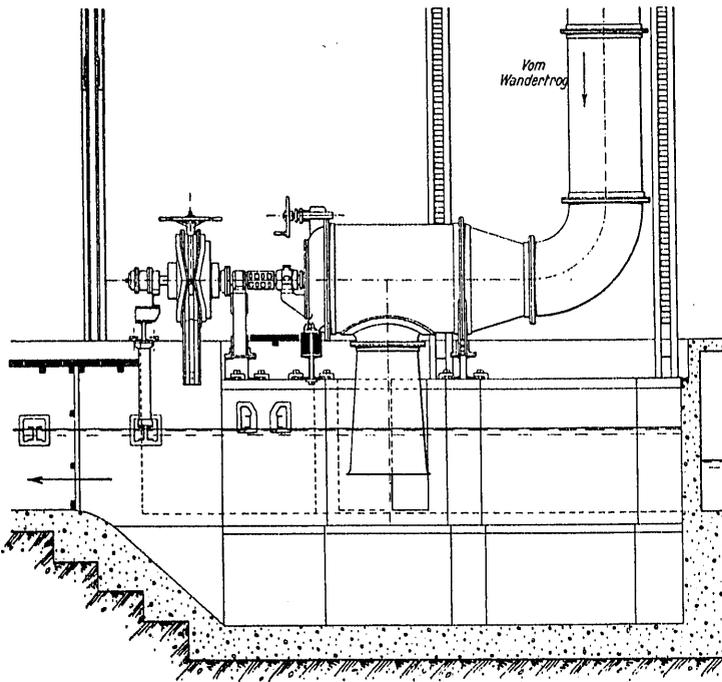


Fig. 29. Turbina Francis gemela con tubo de aspiración recto o curvo

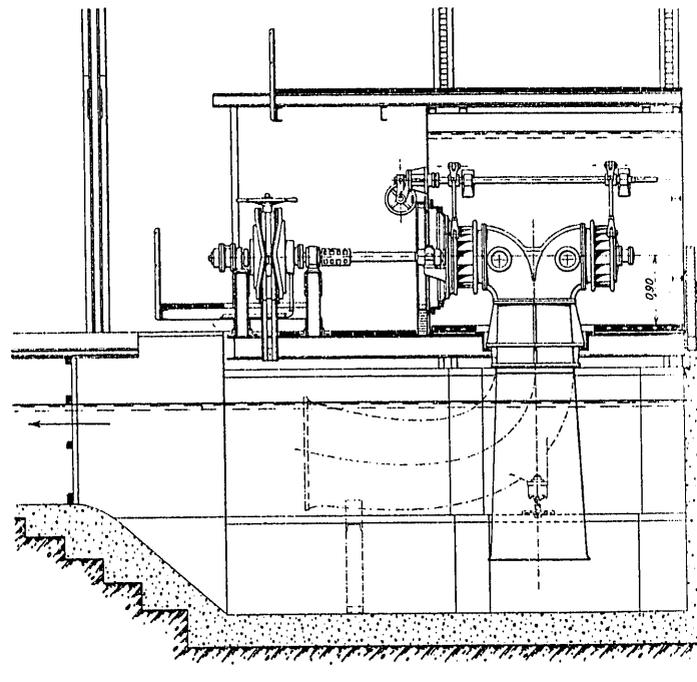


Fig. 30. Turbina Francis gemela C, cerrada, unida al depósito satélite con tubo colector

presión efectúase desde el mismo regulador de presión de aceite que se menciona anteriormente. La válvula de regulación del regulador se acciona como sigue: Sobre un émbolo rectificado, y por medio de una columna de aceite intermedia, actúa la presión de elevación de la bomba. Esta presión transmite, por una palanca con carga combinada de pesa y de muelle, las oscilaciones de la altura de elevación sobre la válvula de distribución, haciendo funcionar el émbolo del servomotor la salida auxiliar. La pesa en la palanca está graduada de manera que toda la instalación, como ya dejamos dicho, está en juego; así que las oscilaciones de presión se limitan a un 1 por 100, poco más o menos, del salto.

A continuación se describirá brevemente la instalación para ensayar turbinas Pelton, haciendo referencia a las figuras 7.<sup>a</sup> y 9.<sup>a</sup>

La rueda motriz está colocada dentro de una gran cámara de madera, cuyas dimensiones interiores son 3,9×2,2

×1,7 m. Para poder observar la corriente del agua de la turbina, la cámara está provista de mirillas y de un

bería, unida directamente con la bomba de alta presión, permite la unión con una, dos y tres toberas. Las piezas de unión están provistas de bridas giratorias y prensaestopas, siendo así posible una variación de la situación de las toberas con la rueda motriz o entre ellas.

Puesto que las turbinas Pelton permiten ensayos sistemáticos y sucesivamente de la tobera, de la rueda motriz y de la caja de turbinas, se averigua primero la mejor forma de la tobera; luego sigue el ensayo de las ruedas motrices de diferentes tamaños con variación del número de álabes y de su forma y la fijación de la situación más favorable de las toberas en la caja y una con la otra. Dadas las grandes dimensiones exteriores de la caja de madera, no caben influencias perturbadoras, como ocurre con una caja de turbina mal construída; así que puede ensayarse la rueda motriz como tal; después de fijar la tobera y la rueda motriz, pueden hacerse luego dentro de la caja diferen-

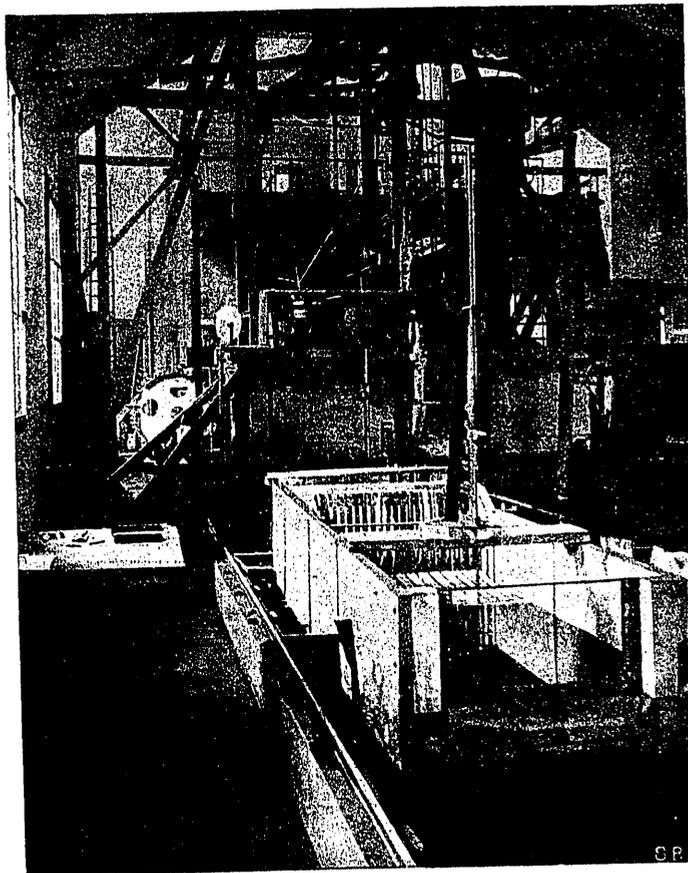


Fig. 31. Instalación de ensayo, móvil, para pequeñas ruedas motrices, de 150 a 200 mm diámetro

tes formas de cajas de turbinas, haciéndolas provisoriamente de madera y de cemento, para ensayarlas.

Las formas de tobera, de rueda motriz y de caja de turbinas averiguadas por estos ensayos fundamentales han sido empleadas en construcciones nuevas,

ciones de la hidráulica que diariamente se presentan al ingeniero o al constructor.

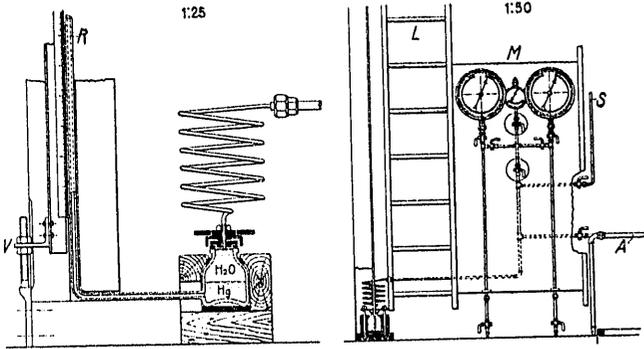


Fig. 32. Manómetros combinados de la instalación de alta presión. Explicación: A, Unión con el salto elevado  $H = 75$  m a la bomba de presión de mano; L, Escalera de servicio; M, Manómetro; R, Tubo de elevación del tubo U de 3 mm diámetro, tubo para fijar la posición a cero de la columna de mercurio; V, Graduación de la escala.

confirmando los resultados obtenidos con los modelos, en unidades hasta de 10000 caballos.

Para los montajes ha sido instalada: debajo del tejado de la torre una grúa eléctrica móvil de dos toneladas de fuerza (figuras 8.<sup>a</sup> y 9.<sup>a</sup>), con un recorrido de largo alcance en el lado posterior de la torre.

Debemos llamar la atención también sobre el manó-

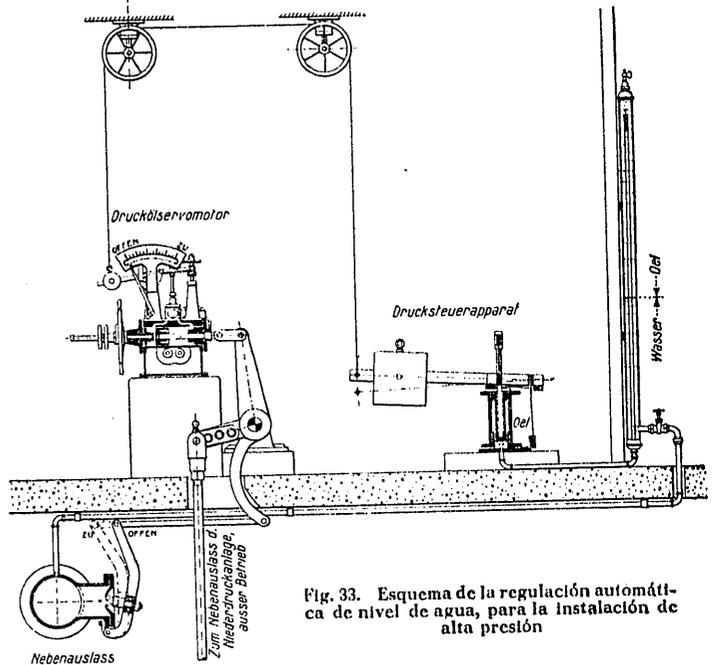


Fig. 33. Esquema de la regulación automática de nivel de agua, para la instalación de alta presión

La figura 34 muestra los ensayos con el modelo de la turbina extrarrápida de Bell  $D_s = 505$  mm en el laboratorio de ensayo y con la turbina correspondien-

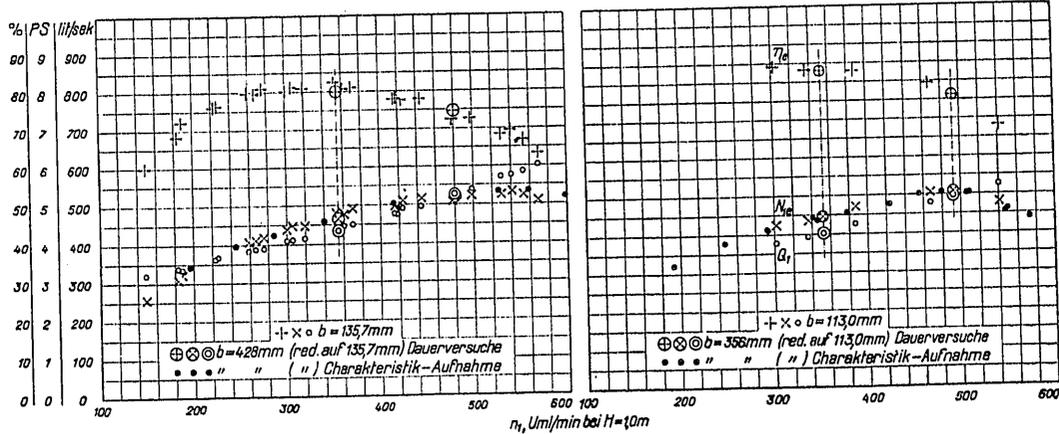


Fig. 34. Resultados obtenidos con una turbina extrarrápida Bell de  $D_s = 1600$  mm, en comparación con los resultados de un modelo menor de  $D_s = 505$  mm con tubo de aspiración de igual forma

metro de mercurio (figuras 9.<sup>a</sup> y 32), que consta de un tubo de vidrio de 10 m de longitud y de 3 milímetros de diámetro interior del depósito de mercurio y de las uniones necesarias, con el cual tiene la instalación un órgano para ensayar toda clase de manómetros.

Toda esta instalación está montada en una pared lateral de la torre, y puede usarse para mediciones y ensayos hasta de 15 atmósferas de presión. En la parte adosada junto a la instalación de ensayo hállase un aparato para ensayar cojinetes de pivote, para cuyo accionamiento sirve un motor eléctrico de 300 caballos. La posibilidad de carga asciende a 100 000 kilos con 900 revoluciones por minuto.

EPÍLOGO

La instalación de ensayo antes descrita muestra una construcción típica de un laboratorio de ensayo industrial, el que, con el empleo de todos los medios de medición modernos, da una amplia adaptación a las necesidades prácticas y es capaz de resolver perfectamente, pronto y sin gastos demasiado elevados, las cues-

te  $D_s = 1600$  en la central Matte de la fábrica de electricidad de Berna. Ambas características han sido tomadas de la publicación ya mencionada sobre turbinas

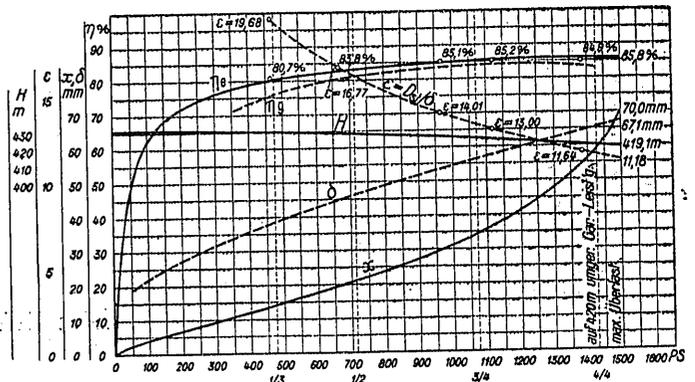


Fig. 35. Resultados obtenidos con una turbina Pelton de una potencia de 1500 caballos (curva de trazo continuo), en comparación con los resultados obtenidos con un modelo menor de 50 caballos

extrarrápidas, en la *S. B. Z.* (tomo 83, año 1924), y llamamos la atención sobre los párrafos *g* y *h* (páginas 39 y 40). Los resultados de medición han sido aplicados al salto  $H=1$  m y reducidos al diámetro del tubo de aspiración  $D_s=505$  mm.

La figura 35 muestra la curva de rendimiento del modelo de rueda Pelton ensayado en la instalación de ensayo de Bell y Cia. para una potencia de unos 50 caballos con 50 m de salto neto, comparándolo con los resultados de la prueba de recepción de las turbinas Pelton para las Hilaturas de Hoh. Kunz. de Windinch; para las Hilaturas Linthal, para 1 500 caballos de potencia con 420 m de salto útil. Los diámetros de la

circunferencia tangente al eje del chorro de la turbina de ensayo y de la turbina Pelton de 1 500 caballos, son de 650 mm y de 750 mm.

En ambos casos se ve perfectamente la buena concordancia entre el modelo y la turbina construida, quedando, por tanto, confirmados los resultados exactos de los ensayos de modelos sobre las grandes construcciones. Este hecho demuestra la alta importancia de una instalación de ensayos bien montada para el progreso en la construcción de turbinas, cuando con ella se efectúan ensayos exactos y sistemáticos, cuyos resultados se emplean luego para el desarrollo futuro.

## Faro Aero-Marítimo en Punta de Calaburras (Málaga)

En el mes de mayo último se ha inaugurado en el faro de Punta de Calaburras el primer aparato aeromárítimo de las costas españolas. Este faro es el más importante de la provincia de Málaga, por estar situado en la punta más saliente de la costa de la misma, y es el que busca toda la navegación que viene del Mediterráneo para embocar el Estrecho de Gibraltar.

El aparato existente tenía la apariencia de luz blanca, variada por destellos cada tres minutos. En el plan de reforma de los faros de la provincia de Málaga se había fijado para el de Calaburras la apariencia de relámpagos equidistantes blancos, con un alcance en tiempo medio de 28 millas.

El que suscribe redactó, con fecha 31 de diciembre de 1923, un proyecto de aparato y linterna para dar a este faro la apariencia y alcance aprobados. Como en el faro existente la altura del foco luminoso sobre el nivel del mar era sólo de 85 metros, lo que permite un alcance geométrico de 17,4 millas para un observador colocado a seis metros sobre el nivel del mar, o sea muy in-

ferior al que se precisaba de 28 millas, hubo que pensar en elevar la altura del foco luminoso para aproximar en lo posible el alcance geométrico al óptico. La torre antigua se hallaba en muy mal estado, pues la piedra que se empleó en su construcción era de muy mala calidad y estaba tan descompuesta que hubo que desistir de la idea de elevar su altura, habiéndose proyectado y construido una nueva torre en la parte opuesta del edificio, con una altura sobre el terreno de 23,40 metros, con lo que se ha obtenido una altura del foco luminoso sobre el nivel del mar de 45,90 metros.

En vista de la importancia, cada vez mayor, que va adquiriendo la navegación aérea, y teniendo en cuenta la circunstancia de que los aviones Latecoère, de la línea Toulouse-Casablanca, pasan por las proximidades del faro de Calaburras, y también con mucha frecuencia los aviones militares que van de la base de Tablada a la zona de Melilla y Alhucemas, se pensó en la conveniencia de sustituir el aparato aprobado por otro que sirviera a un

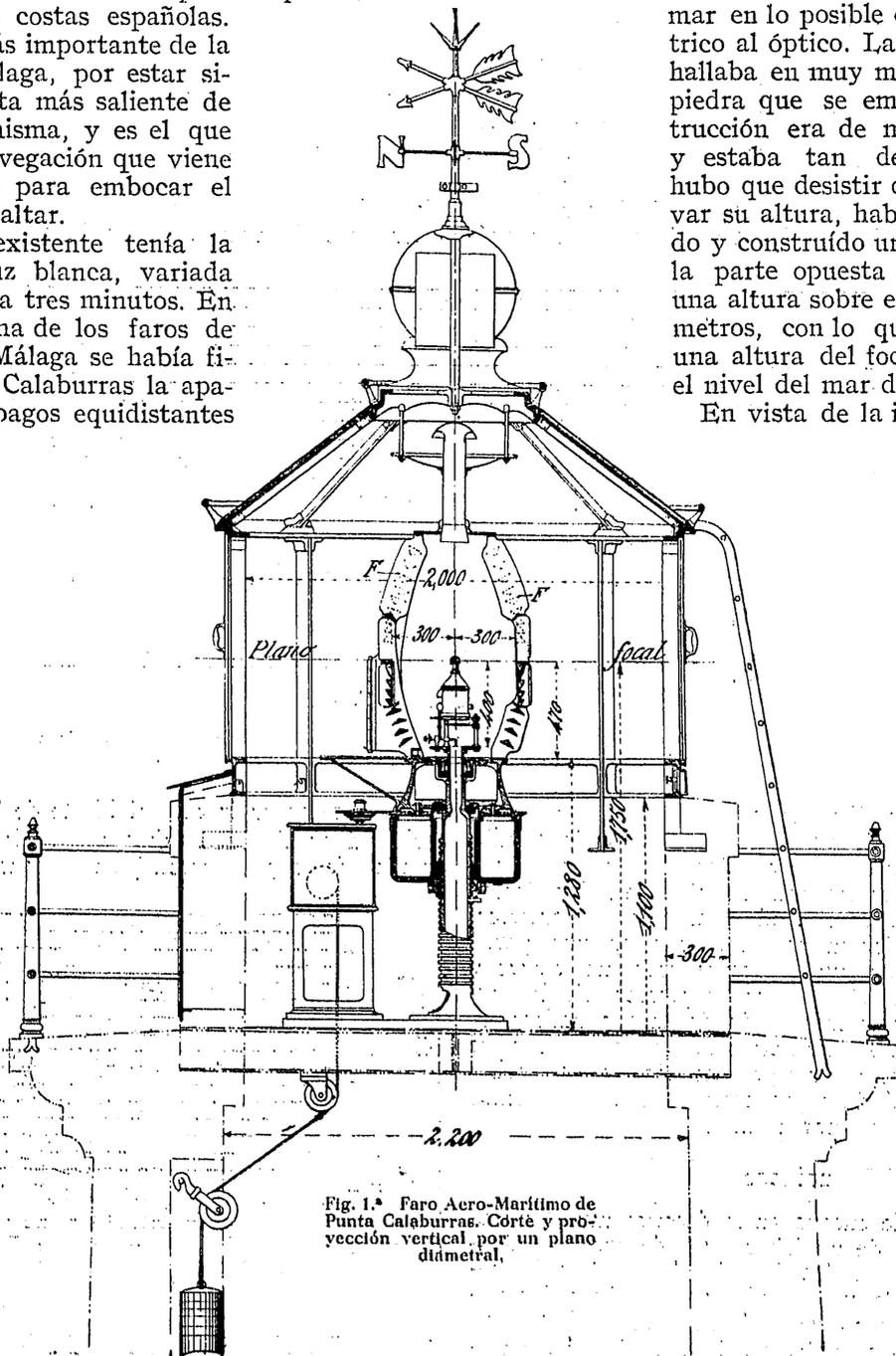


Fig. 1.º Faro Aero-Marítimo de Punta Calaburras. Corté y proyección vertical por un plano diametral.