

Turbinas hidráulicas modernas

POR

MANUEL ESPINOSA HERRERA

(Conclusión)

Pérdida por filtración.—En las turbinas de baja velocidad específica adquieren gran importancia las pérdidas por filtración y la de la fricción del agua sobre la mariposa.

La pérdida por filtración es debida a la diferencia de presión entre la entrada y salida de la mariposa que provoca la filtración del agua por el espacio entre la mariposa y la caja envolvente.

Esta pérdida se puede expresar como sigue:

sea

C_r = razón entre el espacio libre del ajuste y el diámetro de la mariposa

C_d = Coeficiente de descarga de este espacio libre.

Asumiendo dos espacios de filtración y que ésta se produce por una presión de $\frac{H}{2}$ la pérdida por filtración L_e será

$$L_e = \frac{q_e}{Q} = \frac{2\pi D C_r D C_d \sqrt{2g \frac{H}{2}}}{Q}$$

Siendo por otra parte

$$V_q = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad U_2 = \frac{\pi D H}{60 \sqrt{2gH}}$$

$$L_e = \frac{2\pi\sqrt{g}CrCd\sqrt{H}D^2N^2}{V_q^2H^{3/2}} = \frac{2\sqrt{g}(60)^22gCrCdU^2}{\pi V_q^2} = A \frac{U^2}{V_q^2}$$

Siendo $A = \frac{14400 g \sqrt{g} Cr Cd}{\pi}$

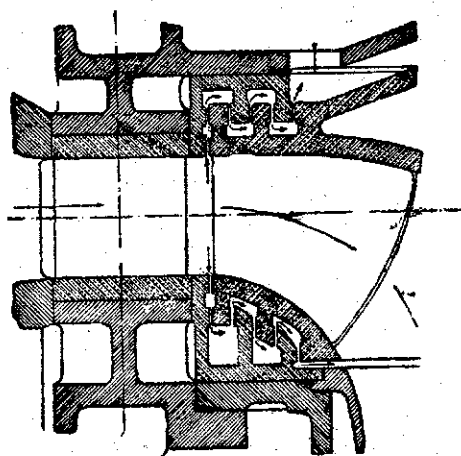
Tomando $Cr=0,0005$ y $Cd=0,5$ $L_e = \frac{201 U^2}{V_q^2}$

Despreciando la variación de U y poniendo $U=0,7$

$$L_e = \frac{100}{V_q^2}$$

Esta expresión nos dice que la filtración es inversamente proporcional al cuadrado de la velocidad específica V_q y por consiguiente de importancia en las turbinas de baja velocidad específica.

En las turbinas de baja velocidad específica para reducir la pérdida por filtración se ha recurrido a ajustes especiales de goma y al ajuste de laberinto (fig. 21.)



ANILLO DE DESLIZAMIENTO
TIPO LABERINTO.

Fig. 21.

Como se ve en la fig. 21, las filtraciones de agua deben pasar a través de una serie de seis anillos de deslizamiento a continuación de cada cual se encuentra un ensanche. En cada ajuste se destruye la velocidad, siendo en consecuencia solamente un sexto de la altura efectiva la que produce la filtración.

Cuando se usa un ajuste de laberinto la pérdida por filtración da por la expresión anterior, que es para un ajuste ordinario de anillo, se reduce a

$$L_e = \frac{50}{V^2 q}$$

Como una comparación de esta pérdida por filtración entre las turbinas de alta y baja caída consideremos la unidad de 30 000 HP., bajo la caída de 207 m. Para esta mariposa de asiento de tipo simple la filtración a través del ajuste es de 340 litros por segundo, que es el 2,6% de toda la carga de la unidad, mientras que para la unidad de 10 000 HP. bajo 9,10 m. de caída la pérdida por filtración es también 340 litros por segundo que alcanza solamente a 0.35% de la carga total.

Desarrollo futuro de las turbinas.—Para dar una idea de las posibilidades de un futuro incremento de la velocidad específica de las turbinas, es necesario hacer notar que la mejor relación entre las velocidades depende de las pérdidas que hemos considerado, pérdidas que varían con la potencia $\frac{3}{4}$ de la velocidad específica Vq .

La relación entre la eficiencia y la velocidad específica Vq puede ser derivada como sigue.

$$h_e = \frac{f_2 + f_3}{f_2 + f_3} U^2 + (f_2 + f_3) C_m^2 \quad ; \quad \text{y de} \quad \frac{C_m}{U} = \frac{\sqrt{\frac{f_2 f_3}{2}}}{f_2 + f_3}$$

$$h_e = 3 (f_2 + f_3) C_m^2 \quad \text{y tambien de} \quad KV_q = U \sqrt{C_m} = \frac{f_2 + f_3}{\sqrt{\frac{f_2 + f_3}{2}}} C_m^{3/4}$$

$$h_e = \frac{3}{2^{2/3}} \frac{(f_2 f_3)^{2/3}}{(f_2 + f_3)^{1/3}} K V_q \quad \text{y} \quad Ef. = 1 - \frac{3}{2^{2/3}} \frac{(f_2 f_3)^{2/3}}{(f_2 + f_3)^{1/3}}$$

Estos valores de la eficiencia son solamente indicaciones de los valores límites obtenibles, pues se han considerado solamente dos de las pérdidas más importantes y hemos despreciado otros de menor influencia.

En la fig. 22, se muestra una serie de curvas de eficiencia dibujadas en función de Vq .

La curva A es la curva de la eficiencia obtenible, calculada de la fórmula teórica, usando las valores $f_2 = 0,04$ y $f_3 = 0,15$.

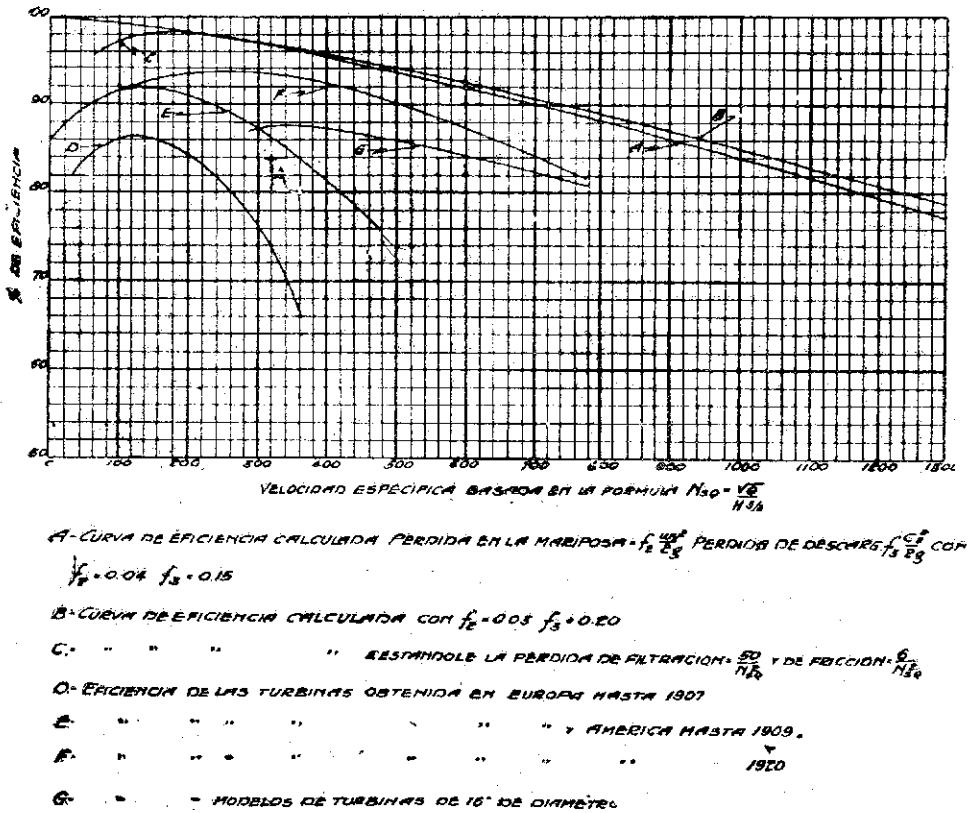


Fig. 22

Para mostrar el efecto de la variación de los coeficientes se ha dibujado la curva B con los valores $f_2=0,03$ y $f_3=0,20$.

El efecto de las pérdidas por filtración y fricción del disco se muestra por la curva C que se ha dibujado, restándole estas pérdidas a la curva A; la pérdida por filtración se ha calculado suponiendo un ajuste de laberinto.

Para mostrar los progresos generales que se han obtenido en los últimos años y la continua tendencia hacia una alta velocidad específica se han agregado las curvas siguientes:

La curva D muestra las eficiencias que se habían obtenido en Europa hasta 1907.

La curva E las eficiencias obtenidas hasta 1909 tanto en América como en Europa.

La curva F muestra las eficiencias obtenidas en nuestros días.

La curva G las eficiencias obtenidas en los ensayos de modelos de 16" de diámetro en el laboratorio de I. P. Morris en E. U.

Planteando el problema en sus condiciones teóricas generales se ve que el máximo de eficiencia y las mayores velocidades específicas están representadas por las curvas *A* y *B*. Se puede, en consecuencia, obtener una velocidad específica mayor aumentando la magnitud de todas las velocidades sin cambiar su proporción, lo que impone la adopción de una alta velocidad de caída en comparación con la caída total de la planta. Con el objeto de ver la posibilidad de usar este medio podemos determinar cómo varía la velocidad absoluta de descarga de la mariposa con respecto a V_q .

Según la proporción mostrada en el triángulo de las velocidades fig. 19 tenemos:

$$\frac{C_m}{C} = \frac{\sqrt{\frac{f_2 f^3}{2}}}{\sqrt{\frac{f_2 f_3}{f_2 + \frac{f_2 f_3}{2}}}} \quad \frac{U}{C} = \frac{f_2 + f_3}{\sqrt{\frac{f_2 f_3}{f_2 + \frac{f_2 f_3}{2}}}}$$

Tenemos además

$$K \cdot V_q = U \sqrt{C_m} = \frac{f_2 + f_3 \left(\frac{f_2 f_3}{2} \right)^{1/4}}{\left(f_2 + \frac{f_2 f_3}{2} \right)^{3/4}} C^{3/2}$$

de los cuales

$$C_2 = \frac{f_2 + \frac{f_2 f_3}{2}}{\left(f_2 + f_3 \right)^{4/3} \left(\frac{f_2 + f_3}{2} \right)^{1/3}} K^{4/3} V_q^{4/3}$$

$$C^2 = \frac{C_2^2}{2g H} = \frac{1 + \frac{f_3}{2f_2}}{\left(1 + \frac{f_2}{f_3} \right)^{4/3} \left(\frac{f_3}{2f_2} \right)} K^{4/3} V_q^{4/3}$$

De esta última fórmula que da los valores de C^2 que representa la relación de la altura de velocidad del agua de descarga de la mariposa a la caída de la turbina se puede calcular sus valores para los diferentes valores de la velocidad específica

En esta expresión, como ya lo hemos hecho notar, K es un coeficiente

$$K = \frac{\pi D_2}{60(2g)^{3/4} \sqrt{A}}$$

en la cual D_2 es el diámetro medio de descarga de la mariposa medida normalmente a su velocidad media. En una mariposa en la cual la dirección de la velocidad media de descarga tiene una inclinación moderada con el eje de la turbina, y cuyos álabes se extienden hasta cerca del eje, D_2 puede ser tomado aproximadamente igual a $2/3 D$, siendo D el diámetro exterior de descarga.

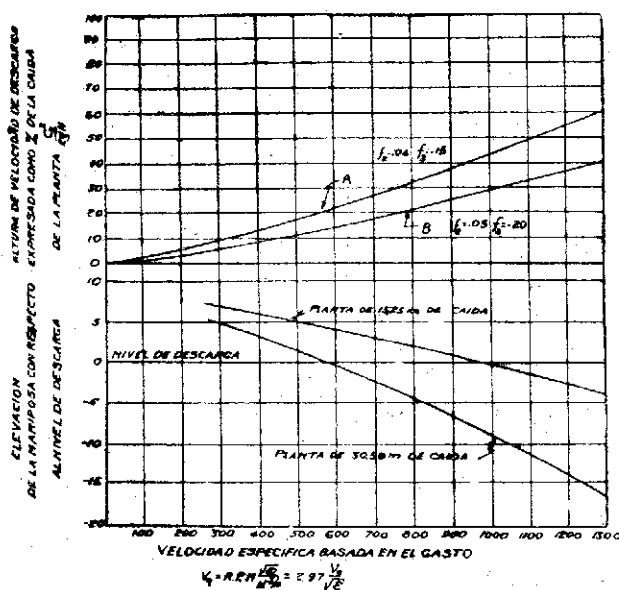


GRAFICO DE LAS ALTURAS DE VELOCIDAD Y ELEVACIONES DE LA MARIPOSA

Fig. 23

En la fig. 23 se han dibujado las curvas A y B que muestran los valores de C^2 para los dos juegos de valores de f_2 y f_3 ; el diagrama superior muestra los valores correspondientes de C^2 .

Las ordenadas de esta curva representan las alturas de velocidad correspondiente a la velocidad absoluta de descarga de la mariposa expresada como un porcentaje de la caída de la planta. Con los valores menores de los coeficientes f_2 y f_3 que han sido usados en el cálculo de estas curvas se muestra la posibilidad de conseguir mayor velocidad específica que la obtenida actualmente y se ve además que esto puede ser obtenido sin tener la necesidad de emplear una altura de velocidad extremadamente alta.

Por otra parte se ha encontrado por las últimas experiencias que se puede emplear una gran altura de velocidad sin comprometer seriamente la eficiencia, lo que permite además reducir las dimensiones de las turbinas.

Hasta hoy día no se han hecho experimentos para determinar los valores numéricos de los coeficientes f_2 y f_3 . Como la forma de las curvas no será sustancialmente alterada por la determinación del valor numérico de estos coeficientes para cada tipo de turbina, las conclusiones generales que se derivan de ellos podrán ser siempre aplicados.

Se deduce en primer lugar de ellas que el incremento de la velocidad específica hasta valores muy altos trae como consecuencia el uso de una gran altura de velocidad en la descarga de la mariposa, altura de velocidad que en las turbinas dispuestas según la práctica actual esta limitada por la altura de la mariposa sobre el canal de descarga.

Por otra parte la presión absoluta en la descarga de la mariposa debe ser superior a la presión de vaporización del agua y conservar la suficiente caída para la retardación de la corriente durante los cierres rápidos de la válvula. La suma de la elevación estática de la mariposa sobre el nivel de descarga y la altura de velocidad por recuperar no se debe aproximar demasiado al límite de la columna barométrica; en los ejemplos siguientes el límite que se ha tomado es de 8,20 m. Con este valor límite si una mariposa es colocada a 5,20 m. del nivel de descarga, quedan solamente 3 m. como el límite de la altura de velocidad que debe ser empleada para suplir las pérdidas en el tubo de succión, distribución de la velocidad e incremento de la velocidad durante la operación a toda carga.

Con el objeto de mostrar en forma general la limitación de la velocidad específica originada por la localización de la turbina con respecto al nivel de descarga, se han dibujado las curvas de la parte inferior de la fig. 23, usando la curva A como base, pero agregando 30% de altura de velocidad con el objeto de tener un margen para cubrir ciertos factores, como ser la desigual distribución de las velocidades de la descarga de la mariposa y la variación de la velocidad absoluta desde el punto de operación normal hasta toda carga; sin embargo, este margen puede ser reducido por la aceptación de que la altura de velocidad no sea totalmente recuperada por el tubo de succión. En la fig. 23 en la parte baja se han dibujado las curvas para plantas que operan bajo las caídas de 15,20 m. y 30,50 m., respectivamente.

Si se conserva la práctica usual en el diseño de las plantas hidro-eléctricas, el campo de aumento de la velocidad específica es muy restringido. Mr. H. Birchard

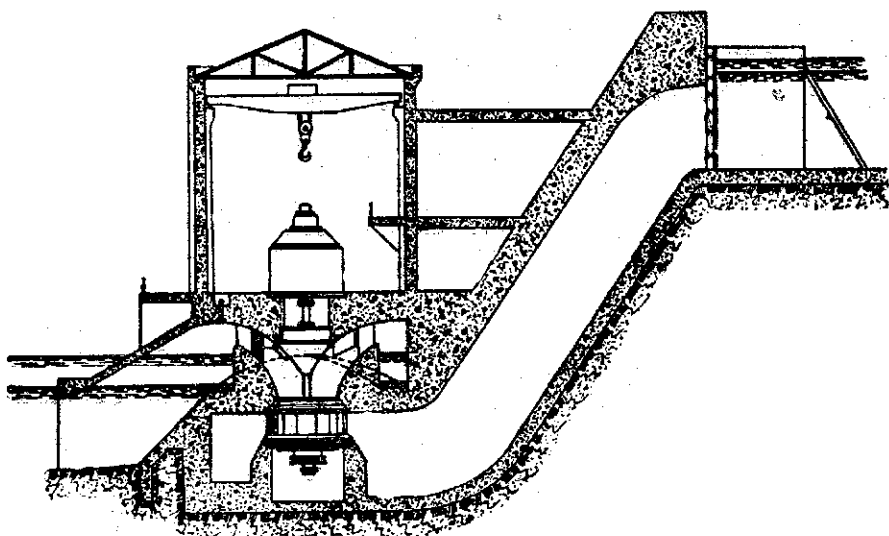


Fig. 24

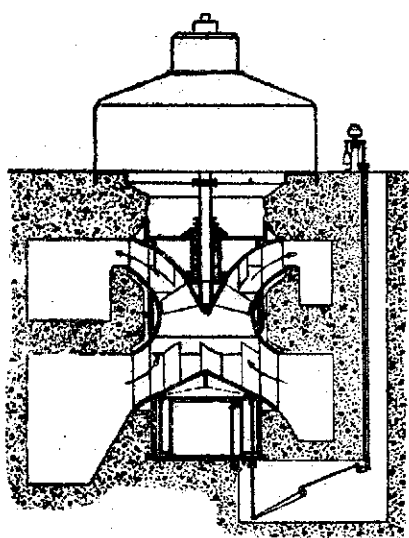


Fig. 25

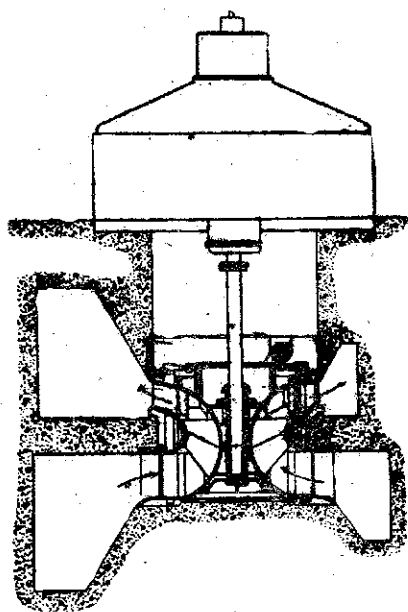


Fig. 26

Taylor ha propuesto, para salvar esta dificultad, colocar la turbina bajo el nivel de la descarga. La objeción que se hace a esta clase de turbinas es que queda sumergida y es inaccesible durante aguas máximas; esta dificultad es evitada por el procedimiento simple de invertir la turbina, colocando el tubo de succión hacia arriba de manera que descargue sobre un vertedero colocado ligeramente sobre el nivel

del agua de descarga. La fig 24 muestra una planta que se puede construir de acuerdo con esta idea y las figuras 25 y 26 muestran dos nuevas formas de turbinas apropiadas para plantas diseñadas bajo este principio.

Altura de la mariposa sobre el nivel de descarga.—La altura de la mariposa sobre el nivel del agua de descarga debe determinarse por una investigación cuidadosa para cada diseño especial de mariposa. En el curso de este artículo hemos hecho varias referencias aisladas con respecto a este punto.

Las causas que limitan esta altura son la conservación de la mariposa y el vacío en la parte superior del tubo de succión que no debe ser superior a la columna barométrica.

Según una investigación cuidadosa de Albion Davis sobre un gran número de turbinas hidráulicas, ha llegado a la conclusión de que la causa principal del desgaste rápido de las mariposas se debe a la altura total de succión excesiva, es decir a la altura de la mariposa sobre el nivel de descarga más la altura de la velocidad en la garganta de la mariposa.

Según Davis la causa principal de la destrucción de las mariposas es la alta caída de succión que produce un vacío casi absoluto sobre las superficies de la mariposa. El desgaste se produce por la aspiración del tubo de succión que produce una pulverización del agua que deja en libertad el oxígeno. Este desgaste no se produce en una clase determinada de mariposas ni depende del material usado en su construcción, sino que es más directamente proporcional al tamaño de la mariposa.

Las causas principales que contribuyen a la formación del vacío local en la mariposa son según su importancia:

- 1.º Altura sobre el nivel de descarga.
- 2.º Alta velocidad de descarga de la mariposa.
- 3.º Diseño de la mariposa como ser, tamaño de los álabes, ángulo y curvatura, pues ambos afectan la distribución de la velocidad, y la tendencia local del agua para alejarse de los álabes.
- 4.º Diseño del conjunto de la turbina y más especialmente el diseño del tubo de succión.

En general este desgaste se ha originado en las turbinas modernas a causa de la alta velocidad, alta caída y gran capacidad de las unidades, y en especial por el mejoramiento de la eficiencia del tubo de succión.

En la fig 27 se ha dibujado la curva que es el límite máximo de la altura a que

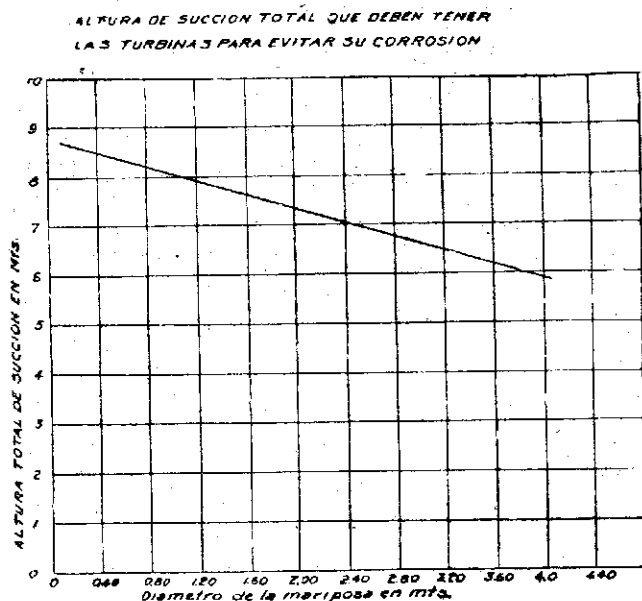


Fig. 27

se debe ir. Esta curva es el resultado de una investigación cuidadosa sobre un gran número de turbinas en operación y se refiere solamente al desgaste de las mariposas por efecto de la succión, es decir, al desgaste químico a causa de los gases desprendidos por el vacío local, y no al desgaste que producen las materias granulométricas arrastradas por el agua.

Como hemos dicho, la altura de la mariposa debe ser tal que el vacío en la parte superior del tubo de succión no sea superior a la columna barométrica.

Según la fig. 28 la altura total de succión está definida por la relación:

$$H_d = H + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - p.$$

En la cual

H_d = Altura total de succión

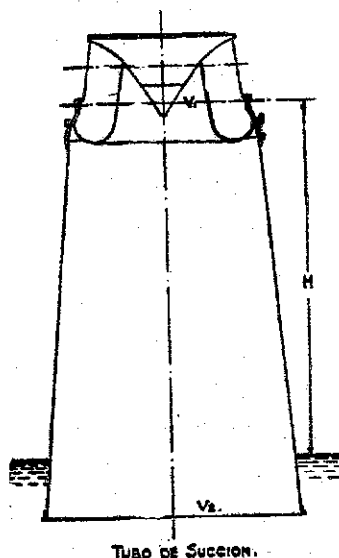
H = Elevación del centro de la mariposa al nivel del agua de descarga

V_1 = Velocidad del agua en la mariposa

V_2 = Velocidad del agua en la descarga del tubo de succión

p = Pérdidas en el tubo de succión.

El vacío total en la garganta de la mariposa es dependiente como se ve, no solamente de la elevación estática sobre el nivel del agua del canal de descarga, sino también de la altura de la velocidad en este punto. Al nivel del mar y a la temperatura de $90^{\circ}F$ la columna barométrica es alrededor de 10 m, para esta condición la caída total de succión dada por la fórmula no debe pasar de 8,20 m. Sin embargo, se debe dejar un cierto margen para tomar en cuenta los cambios de presión debidos al movimiento de la válvula de admisión de la turbina cuando se hace la regularización.



TUBO DE SUCCION.

Fig. 28

Para las plantas localizadas sobre el nivel del mar, donde la columna barométrica es menor, debe dejarse el mismo margen la determinación de esta altura.

Por razones económicas es siempre deseable usar mariposas de alta velocidad para todas las caídas, pero debido a su pequeño tamaño si son usadas para caídas muy altas, su velocidad llega a ser excesiva y como consecuencia los torbellinos y remolinos, proporcionales a la caída, adquieren una gran magnitud, lo que baja la eficiencia de las unidades; la vida misma de la mariposa es comprometida, pues siendo sus álabes de gran curvatura el desgaste mecánico es muy pronunciado. Por otra parte, si es muy grande la velocidad en la garganta de la mariposa se produce una caída de succión excesiva.

Este último caso puede ser muy bien apreciado por un ejemplo.

Sea una mariposa de velocidad específica $V_e = 360$, de diámetro $D_2 = 1,50$ m. funcionando en una caída de 9,10 m. tendrá una velocidad de 132 R. P. M. y des-

arrollará 1 800 HP., en estas condiciones la velocidad a través de la garganta D_2 de la mariposa debe ser 8,20 m. por segundo, equivalente a una caída de succión de 3,40 m. Restándole las pérdidas en el tubo y la pérdida de descarga quedará alrededor de 2,30 m. como velocidad por recuperar, que debe ser agregada a la altura de la mariposa sobre el nivel del agua del canal de descarga para obtener la caída total de succión, lo que nos dará 5,40 m. como altura de la mariposa sobre el nivel de descarga. Si la caída se lleva a 18,30 m. esta mariposa podrá desarrollar 5 100 HP. y la recuperación de velocidad correspondiente será de 5,60 m., de manera que la mariposa no debe ser colocada a más de 3 m. sobre el nivel de descarga. Como se vé, a medida que aumenta la caída, la altura de la mariposa con respecto al nivel de descarga disminuye. Como un caso extremo, si la caída fuera llevada a 183 m., la mariposa podría desarrollar 160 000 HP. y la velocidad en la garganta llegaría a ser 35,50 m. por segundo (equivalente a 68,30 m. de caída), lo que nos dará una velocidad por recuperar de 45,70 m., lo que nos daría la condición ridícula de colocar la mariposa a 38 m. bajo el nivel de descarga.

Para una caída de 183 m. una mariposa de baja velocidad (velocidad específica $V_e = 94.80$, con un diámetro $D = 1,50$ m. puede moverse a 525 R. P. M. y desarrollar 14 500 HP. La velocidad en la garganta será alrededor de 7,90 m. por segundo que corresponde a una caída de 3,20 m. y siendo 2,10 m. la altura de velocidad por recuperar, se puede colocar esta mariposa a una altura de 5,50 m. sobre el nivel de descarga.

De las consideraciones anteriores se deduce que la altura de la mariposa depende de la velocidad específica que es fijada por la caída y de consideraciones de conservación.

Selección de las turbinas.— La elección de la potencia, velocidad y número de las unidades de una planta hidro-eléctrica debe hacerse considerando el conjunto de la turbina y generador.

Deben estudiarse cuidadosamente las características hidráulicas como la caída y sus variaciones, el gasto de la fuente surtidora, las facilidades de almacenaje, como asimismo las condiciones de transporte que limitan las dimensiones de las unidades.

De las características eléctricas deben determinarse el factor de carga, la naturaleza de la carga, la capacidad de reserva necesaria, la seguridad y flexibilidad del servicio, el costo de instalación y los gastos de explotación.

Las unidades deben operarse tan cerca como sea posible a su carga máxima y deben ponerse en servicio nuevas unidades cuando el consumo pasa de esta carga

evitando cuanto sea posible el uso de la capacidad de sobrecarga de las unidades.

Cuando el sistema está expuesto a repentinas sobrecargas de cierta magnitud debe disponerse de unidades de reserva para que tomen esta carga.

La elección de una sola unidad para una planta no es una práctica conveniente sino en el caso de una red alimentada por un sistema de plantas.

Para el caso de un sistema de una sola planta es preferible que el número de unidades no baje de tres; si se necesitan más unidades, su número será fijado por el tamaño mayor que permitan los medios de movilización, y si no existe esta limitación debe considerarse el problema bajo el punto de vista técnico y económico. Una potencia dada producida con un pequeño número de grandes unidades, el costo de primera instalación, los gastos de explotación y el espacio ocupado son reducidos y la eficiencia es también mejor que para un gran número de pequeñas unidades.

En una planta es una práctica conveniente usar unidades iguales.

Las plantas hidro-eléctricas que están expuestas a grandes variaciones de la caída deben tener unidades de emergencia que se pondrán en servicio a medida que baje la altura de la caída. Otros medios que se han usado para evitar este inconveniente ha sido el suprimidor de la represa de descarga de Thurlow y la turbina eyector Moody. La turbina eyector cuando baja la caída admite un chorro de agua a gran velocidad en el tubo de succión, este chorro sin pasar por la mariposa, produce una succión adicional que compensa la diferencia de nivel entre la cámara de carga y el canal de descarga.

En las plantas de caída baja se deben usar turbinas de la mayor velocidad que sea posible, con el objeto de disminuir el peso y en consecuencia el costo de la turbina y el generador.

En las instalaciones de alta caída el problema se reduce a la elección de una turbina de velocidad razonable que evite el uso de los costosos generadores de alta velocidad.

Bajo el punto de vista de la velocidad las turbinas, como lo hemos visto, se caracterizan por su velocidad específica, así para las caídas bajas se usan las turbinas de alta velocidad específica, que sólo está limitada por el progreso en el diseño de mariposas de alta velocidad y para las caídas altas se usan las turbinas de baja velocidad específica que está limitada por la poca eficiencia de las turbinas de muy baja velocidad específica.

Las turbinas de reacción se han construido para una velocidad específica tan baja como 75, pero esto representa un caso excepcional y bajo condiciones normales no se debe bajar de una velocidad específica de 90.

La eficiencia de las turbinas crece con la velocidad específica hasta valores máximos que se obtienen con velocidades específicas que fluctúan entre 110 y 140.

La turbina Francis para velocidades específicas mayores de 340 requiere un gran desarrollo de álabes que toman formas muy complicadas facilitando su corrosión, mientras que su eficiencia decrece a medida que su velocidad específica aumenta, no siendo recomendable usar turbinas de este tipo para una velocidad específica mayor de 450.

Con las mariposas tipo propulsor, especialmente con los del tipo diagonal, se puede obtener una alta eficiencia y buenas condiciones de operación para velocidades específicas mayores; estas turbinas se construyen en condiciones normales para velocidades específicas que fluctúan entre 450 y 680.

Actualmente se considera como buena práctica usar los siguientes límites para las turbinas.

Velocidades específicas de 90 a 110 para caídas mayores de 270 m.

Velocidades específicas de 90 a 135 para caídas mayores de 140 m.

Velocidades específicas de 90 a 180 para caídas mayores de 75 m.

Velocidades específicas de 90 a 270 para caídas mayores de 40 m.

Estos límites no son sino meras normas, sin que se pretenda que todas las turbinas estén dentro de ellas.

La turbina tipo propulsor se usa para los valores siguientes:

Velocidad específica hasta 450 para altura de caída hasta 25 m.

Velocidad específica hasta 680 para altura de caída hasta 15 m.

Las turbinas Francis se han construido para velocidades específicas comprendidas entre 30 y 500 y las de tipo propulsor hasta para una velocidad específica de 500.

Las turbinas de impulsión tipo Pelton se usan con buenos resultados para valores muy bajos de la velocidad específica. Las mayores eficiencias se obtienen con velocidades específicas que varían entre 5 y 20. La eficiencia de esta turbina decrece rápidamente cuando se aumenta la velocidad específica y el valor límite no debe ser mayor de 25.

El límite de la altura de caída para la cual se pueden aceptar turbinas de reacción o impulsión no es absolutamente determinado y día a día se amplifican más y más los valores entre los cuales se pueden usar con éxito turbinas de reacción. La Pelton Water Wheel ha terminado en 1924 una turbina de reacción para una caída de 261 m. Esta unidad de una capacidad de 35 000 HP. y de 514 R. P. M. pesa al-

rededor de 100 tons. es de tipo vertical y para evitar las filtraciones debidas a la gran presión se ha recurrido al uso de empaquetaduras especiales de caucho.

Las turbinas de impulsión se usan para las más altas caídas hasta 120 m. Las turbinas de Fully en Suiza del tipo Pelton de 3 000 HP. funcionan bajo una caída de 1 650 m., siendo esta caída la más alta que se ha aprovechado.

En casos excepcionales, cuando por condiciones locales son desfavorables las turbinas de reacción, se pueden usar turbinas de impulsión en caídas menores de 120 m., especialmente cuando el agua arrastra una gran cantidad de arena o contiene materias químicas corrosivas, pues estas materias imponen un alto costo de conservación y producen una disminución muy rápida de la eficiencia de las turbinas de reacción, destruyendo en muy poco tiempo la mariposa y caja de estas turbinas, mientras que en las ruedas de impulsión sólo afectan los arcaduces que son fácilmente reemplazados.

Al considerar un proyecto hidro-eléctrico de una caída comprendida entre 120 m. y 340 m. se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones para hacer la selección del tipo de turbina.

1.º El equipo de reacción es más liviano y ocupa menos superficie que el equipo equivalente de impulsión.

2.º Las unidades de reacción pueden ser operadas a mayor velocidad que las unidades de impulsión, lo que permite el uso de generadores más livianos y de menor costo.

3.º A causa de ser más livianos las diversas piezas del equipo de reacción requieren un puente grúa menos potente.

4.º Las turbinas y generadores más livianos disminuyen el costo de las fundaciones, la grúa más liviana disminuye el costo de la superestructura y con la disminución del espacio ocupado decrece el costo del edificio.

5.º El equipo de reacción tiene una eficiencia mayor que el de impulsión desde los $\frac{3}{4}$ al total de la carga.

Por otra parte los siguientes factores limitan la aplicación de las turbinas de reacción, para moderadas y altas caídas.

1.º Las filtraciones por el ajuste entre la mariposa y la caja envolvente. Esta filtración crece rápidamente con el incremento de la caída, con la correspondiente pérdida de la eficiencia.

2.º Con las turbinas de reacción se tiene más baja eficiencia con una parte de la carga que con las de impulsión.

3.º Necesidad de tener varias unidades de impulsión en una planta en compara-

ción de una ó dos de reacción con la misma capacidad total. Esto es más conveniente para funcionar con poca carga y permitir retirar o poner en servicio una fracción de la potencia de la planta.

4.º Mayores facilidades de reparación e inspección de las ruedas de impulsión

Los progresos efectuados en los últimos años en la construcción de las turbinas de reacción, como los cambios en las condiciones de operación para servir redes casi siempre alimentadas por varias plantas, han reducido o casi anulado los factores que se invocan en favor de las turbinas de impulsión para estas caídas.

