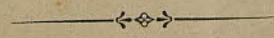


1400540830

INTERNACIONAL
INSTITUCIÓN ELECTROTÉCNICA



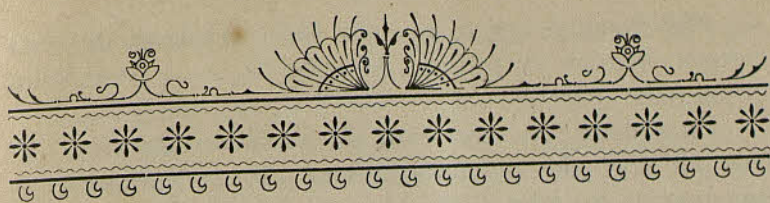
TURBINAS



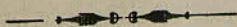
FA 621.1 TUR

VALENCIA 1905
IMP. Y LIT. E. MIRABET
COMEDIAS, 28 Y NAVE, 3

ES PROPIEDAD DEL AUTOR



TURBINAS



Los cursos de agua corren por lechos ó cauces, cuyos fondos están en pendiente desde el nacimiento de cada río ó corriente de agua hasta el final del mismo.

Esta pendiente de cada río, canal ó arroyo, ocasiona el movimiento de las aguas con mayor ó menor velocidad. Y el peso de las aguas, multiplicado por el descenso de las mismas, representa una energía muy considerable que se puede utilizar para producir un trabajo útil.

Natural ó artificialmente se establecen *saltos de agua*, ó caídas del agua corriente que, al descender una altura H , pueden desarrollar una energía que se mide en kilogrametros ó en *caballos de vapor*.

Un litro de agua pesa (muy aproximadamente) *un kilogramo*, y cayendo de una altura de *un metro* ejecuta un trabajo de *un kilogrametro*.

Dos litros de agua cayendo de una altura de *un metro* efectúan un trabajo de *dos kilogrametros*. *Mil litros* de agua cayendo de una altura de *un metro* efectúan un trabajo de *mil kilogrametros*.

Mil litros de agua cayendo de una altura de cinco metros efectúan un trabajo de $1000 \times 5 = 5000$ kilográmetros.

En general, una corriente de agua de gasto Q (litros por segundo) cayendo de una altura H , representa una energía ó potencia de $Q \times H$ kilográmetros por segundo. Y como se sabe, que 75 kilográmetros equivalen á un *caballo de vapor*, la potencia de un salto de agua se representa en caballos de vapor por la fórmula:

$$CV = \frac{Q \times H}{75}$$

representando CV caballos de vapor Q el gasto ó caudal de agua en *litros por segundo* y H la *altura en metros* desde el nivel superior del agua hasta el nivel inferior.

Si se tiene una corriente de agua $A m n$, *figura 1*, que por condiciones topográficas del terreno, ó por un accidente del suelo, cae desde m á n salvando una altura H , será capaz de producir un trabajo útil representado por el gasto Q multiplicado por dicha altura H . Para ello bastará interponer en el salto $m n$ una máquina apropiada que *absorva* la energía desarrollada por el agua en movimiento, y la *devuelva* trasformada de manera que pueda utilizarse para efectuar un trabajo ó una nueva trasformación apropiada á las necesidades de la industria.

Las máquinas que se emplean en los saltos para trasformar y utilizar la energía desarrollada por el agua sometida á la acción de la gravedad, son de varias clases y formas.

Antiguamente se empleaban únicamente las ruedas para utilizar la potencia hidráulica. Los motores antiguos de ruedas presentan la ventaja de sencillez y facilidad de construcción, pues no exigen más que rústicos trabajos de carpintería y de forja; pero su rendimiento ó trabajo útil, sólo alcanza un 30 á 40 por 100.

Actualmente se construyen algunas ruedas perfeccionadas, como la rueda *Pelton*, que dan un rendimiento mayor; hasta de 85 por 100 *según sus constructores*.

Pero el motor hidráulico por excelencia es la **turbina**.

Supóngase, *figura 2*, que el salto de agua de la *figura 1* se dispone de manera que el agua pase por un tubo y, descendiendo según la indicación de las flechas que hay en el dibujo, salga lateralmente por aberturas que en proyección horizontal están en los extremos de las paletas curvas *oa, oa, oa,...* de una corona circular fija, base del cilindro.

Otra corona móvil alrededor el eje *o' o'*, con paletas curvas *p a*, según se representa en proyección horizontal, recibe el agua de la corona fija, y empujando las paletas *p a, p a,...* hace girar esta corona alrededor del eje *o' o'* proyectado horizontalmente en *o*, transformando el movimiento del agua al descender por el tubo en movimiento giratorio del eje *o' o'* y desarrollándose un trabajo debido á la pesantez del agua. La turbina representada en croquis por la *figura 2* es de las llamadas *radiales centrífugas*.

En la *figura 3* se representa otro ligero croquis de una turbina también *radial*, pero *centrípeta*.

Otra forma de turbinas es la representada en la *figura 4*. El agua desciende verticalmente por aberturas ú orificios practicados en el fondo de la corona fija que sirve de base al cilindro de bajada y cae en las paletas inclinadas de la corona móvil. Estas turbinas se llaman *axiales ó paralelas*.

Las turbinas *mixtas* se representan en el croquis de la *figura 5*. Pueden ser *centrífugas ó centrípetas*, pero el agua obra también en ellas como en las *axiales*.

Clasificación de las turbinas. Se ve por lo anterior, que las turbinas pueden afectar distintas formas y así se clasifican de distintas maneras.

Una clasificación es según la dirección del movimiento del agua en las paletas, y con arreglo á dicha dirección pueden ser:

- 1.º *Axiales ó paralelas*, *figura 4*.
- 2.º *Radiales*, *figuras 2 y 3*, y

3.º *Mixtas, figura 5.*

Clasificación según la situación de la corona móvil con relación al nivel inferior del agua.

1.º *Turbinas descubiertas.* Son las que tienen la corona móvil más arriba del nivel inferior del agua, y por lo tanto al aire libre. Tienen la ventaja de no ocasionar rozamiento ni choques con la masa líquida que rodea ó envuelve á otras turbinas y ofrecen muy poca resistencia al paso del líquido por la corona. Pero presentan el inconveniente de perderse con ellas parte de la carga ó altura de salto, que con la variación del caudal ó gasto puede ser pérdida de consideración.

2.º *Turbinas sumergidas.* Tienen la corona móvil sumergida en el agua del canal de salida ó sea más baja que el nivel inferior del agua.

Por esta causa el rozamiento de la corona con la masa líquida que la envuelve es un inconveniente; así como son inconvenientes de estas turbinas los choques del agua de salida, que ocasionan pérdidas de trabajo, y la dificultad que ofrece la visita y limpieza de la corona.

3.º *Turbinas sumergidas en un tubo difusor, figura 6.* La corona *a a* de estas turbinas se halla sobre el nivel inferior de las aguas en el canal de salida y siguen, después de hacer girar á la corona móvil, por un tubo difusor *m n* que forma parte del salto. Las aguas, al descender por el tubo, ejercen una especie de absorción y la altura de aguas *h* no se pierde para el efecto útil de la energía del salto. La altura *h* no debe ser superior á 6 metros. Cuando es de 2 á 4 metros funcionan muy bien estas turbinas.

Otra clasificación de las turbinas. Según el modo de acción del agua se clasifican también las turbinas en turbinas de *acción ó desviación libre*, turbinas de *presión ó reacción*, y turbinas *límites* sin reacción.

Las turbinas pueden ser también de *inyección total* ó de *inyección parcial*.

Cuando la turbina está montada en una instalación de salto constante y caudal de agua invariable, debiendo

marchar siempre á igual velocidad, caso muy frecuente en instalaciones eléctricas, suele ser de inyección total. Entonces el agua entra por todos los puntos de la periferia de la corona circular.

Pero si el caudal de aguas ó régimen de alimentación de la turbina es variable y ésta debe trabajar á distintas velocidades según las necesidades de la industria á que se aplica, entonces puede ser de inyección parcial. Entonces, por medio de disposiciones especiales, el agua se hace llegar á la corona móvil por una parte limitada de su periferia, y por medio de distribuidores movibles se aumentan ó disminuyen los orificios de entrada.

Las turbinas son, también, de eje horizontal ó de eje vertical. A continuación se describen algunos tipos de turbinas, los más generalmente empleados.

Descripción de algunas turbinas

Turbina Fourneyron. Es una turbina centrífuga de eje vertical. Véase la *figura 7*, en donde se indican á grandes rasgos la forma, instalación y partes principales de esta turbina. *A* es el canal de entrada del agua en el cubo ó depósito de mampostería *B B*. Sobre este cubo está el piso *D D* que pertenece á la fabrica ó departamento de máquinas de la instalación general. En el fondo del cubo hay un pozo tubular *C b, C c*, por donde desciende el agua para pasar por la turbina y salir luego por el canal *E* de nivel inferior. En dicho pozo se instala la turbina que consta, esencialmente, de tres partes principales; el distribuidor ó corona fija, el *receptor*, rueda ó corona móvil, y el regulador ó compuerta.

La corona fija consta de un platillo metálico *m n, n m*, invariablemente unido á un eje hueco *F F* fijo al piso *D D*. Sobre el platillo descansan unas paletas verticales curvadas en la forma y dirección que se indica en la proyección horizontal según las líneas *n' m'*. Estas paletas fijas ó directrices no terminan todas en el eje hueco, llegando algunas únicamente hasta la mitad del platillo.

Entre cada dos de estas paletas directrices forman un pequeño canal de salida del agua, y ésta que cae verticalmente por el pozo Cc toma por los distintos canales del distribuidor ó corona fija, direcciones radiales horizontales. Para que este cambio no sea brusco, el fondo del platillo tiene la forma curva nm .

La *rueda ó corona* móvil se representa en corte y proyección vertical en $baefgidec$. Consta de dos platillos metálicos en forma de corona circular, colocados paralelamente uno $abcd$ encima del otro $efgi$ y unidos por paletas curvas formadas por superficies ó láminas cilíndricas verticales que se proyectan horizontalmente en $p'q'$. Un platillo inferior $efkgi$ se une á la corona móvil y en él está atornillado y fuertemente unido el eje kI sólido, que se mueve libremente dentro del eje hueco. Así la corona ó rueda móvil, al girar, hace girar también al eje kI y con éste gira el piñón I que puede engranarse con el sistema de ruedas de la fábrica ó taller.

El *regulador* ó compuerta de admisión es una corona cilíndrica que puede subir y bajar á voluntad por medio de varillas rs . Al bajar cierra los espacios comprendidos entre las paletas fijas del distribuidor, resultando mayor ó menor la sección de salida del agua, y así se puede graduar la marcha de la turbina.

Manera de funcionar esta turbina. El distribuidor está fijo al piso de la fábrica y para que el agua pase por él á la corona móvil sin que escape por otra parte, se dispone el cilindro tubular metálico Cb, Cc que recubre el pozo, y que llega hasta el platillo superior de la corona móvil. Por este tubo desciende el agua, que pasa por los canales entre paletas del distribuidor y llega á la corona, moviéndola y haciendo girar al eje kI .

No obstante, el cuidado excesivo en el ajuste y construcción de todas las piezas, siempre hay fugas de agua, remolinos y choques en el movimiento del líquido, y todo se traduce en pérdida de trabajo útil.

Turbina Fontaine. Es una turbina *axial* ó *paralela*. Véase la *figura 8*. El *distribuidor* ó corona fija aa , está

adosado al piso ó fondo del canal y consta de dos cilindros concéntricos, de poca altura, unidos por paletas curvas que dividen el anillo comprendido entre los dos cilindros en pequeños canales curvos, por los que desciende el agua variando rápidamente de dirección y empujando á las paletas, también curvas, de la corona móvil.

La *rueda ó corona móvil* está formada por dos cilindros ó mejor, como se representa en la figura, por dos superficies, tronco cónicas *b b* unidas por las paletas curvas correspondientes y con un platillo *c c* al eje vertical que trasmite el movimiento á los aparatos de la fábrica.

El *regulador* suele estar formado por tantas pequeñas compuertas de admisión como orificios ó canales presenta el distribuidor, llevando cada pequeña compuerta vertical una varilla, y estando todas las varillas unidas por un anillo horizontal que se maniobra desde el piso de la fábrica.

En esta turbina no es necesario que la corona ó rueda esté sumergida. El nivel inferior, como se vé en la figura, puede enrasar con el plano inferior de dicha corona. Esto evita rozamientos de la misma con el agua de salida y aumenta el trabajo útil con relación á las completamente sumergidas.

Turbina sifón. Cuando el salto de agua que se quiere utilizar es de poca altura ó caída de agua, y por lo tanto de mucho caudal, se pueden emplear con ventaja estas turbinas, representadas en esquema ó líneas generales en la *figura 9*. Claro es que con saltos cuya altura sea de 30 á 90 centímetros, en las turbinas ordinarias entraría el agua agitada y con grandes cantidades de aire que dificultaría la buena marcha del aparato y no daría éste el rendimiento conveniente. Por esto es conveniente el empleo de las turbinas sifón para pequeños saltos. El agua entra por el tubo *M M*, envuelve al distribuidor *a a* y después de accionar á la corona *b b* pasa al canal. Claro es que la acción en la corona *b b* será la correspondiente á la altura de caída *h*.

Turbina Hércules.—La turbina Hércules americana es una turbina mixta, al mismo tiempo centrípeta y paralela. El agua llega horizontalmente al distribuidor de fuera á dentro, acciona sobre las paletas del receptor por su fuerza viva y después

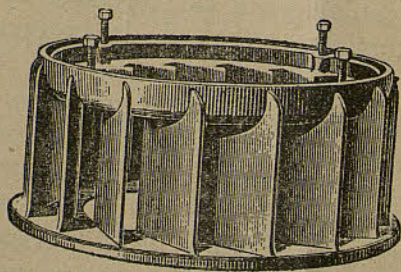


Figura A

actúa por reacción en dirección paralela al eje; de manera que actúa la carga del agua y la impulsión.

En la *figura A* se representa una vista perspectiva del distribuidor; en la *figura B* se vé en igual forma el receptor ó corona móvil, y en la *figura C* se representa la turbina completa en corte para que puedan apreciarse detalles de su interior y su manera de funcionar.

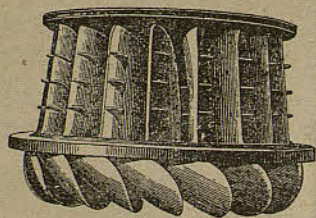


Figura B

El distribuidor, *figura A*, lleva paletas fijas verticales curvadas para dar al agua la dirección conveniente al entrar en el receptor. Las paletas fijas del distribuidor ocupan (*L figura C*) toda la altura de la parte cilíndrica de las paletas (*H figura C*) del receptor. Un anillo *M* unido á la cúpula *N* reúne las paletas directrices del distribuidor. Esta cúpula *N* y anillo *M* pueden quitarse y permiten entonces sacar el distribuidor para visitarlo y limpiar la corona *H*.

Receptor, rueda ó corona móvil representado en la *figura B* y en *H figura C*. Está fijo en su parte inferior á un círculo que asegura la solidez del conjunto y en la parte superior se reúnen las paletas sobre un disco y sobre nervios que las hacen solidarias del eje vertical *D I Y* de giro.

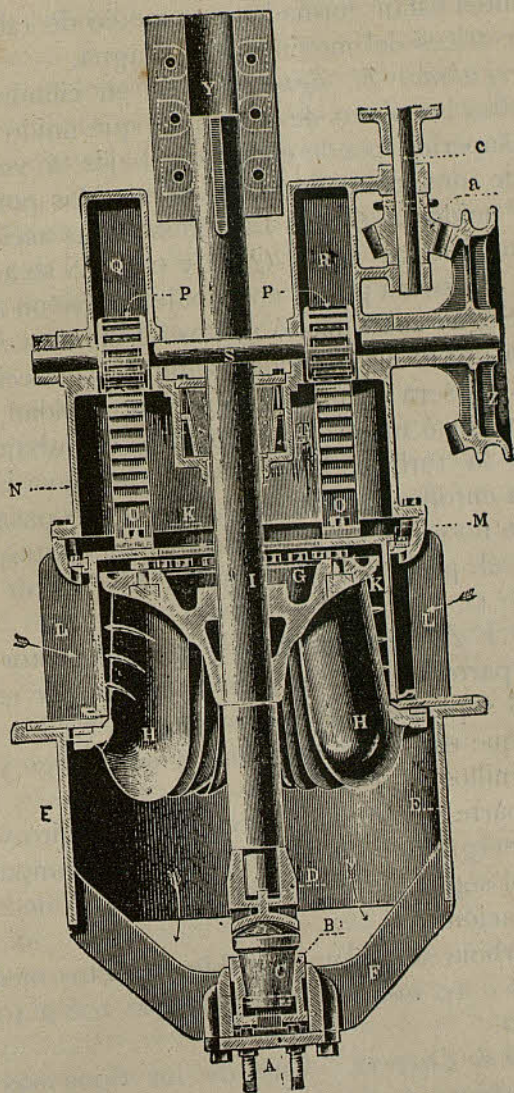


Figura C

Las paletas del receptor están divididas en compartimentos en sentido horizontal, que quedan en descubier-
to más ó menos según el trabajo que debe desarrollar la
turbina, por medio del regulador de admisión. Estos com-

partimentos están formados por medio de tabiques curvos, directrices del movimiento del agua.

El *regulador K*, *figura C*, es un cilindro metálico, como todas las piezas de la turbina, que unido á un disco circular superior, puede elevarse ó bajar á voluntad por medio de dos cremalleras *O O* movidas por dos piñones *P P* unidos al eje *S*. Las cremalleras ascienden resguardadas por las cajas *Q R*, y el eje *S* se acciona por la rueda *Z* movida por el engranaje del piñon *a* que lleva el eje *c*. Según suba más ó menos el cilindro *K*, el agua que entra por el distribuidor, según la dirección de las flechas *L L*, será en más ó en menos cantidad, y el gasto será mayor ó menor y por lo tanto el trabajo desarrollado por la turbina. La garganta que lleva la polea *Z* sirve para enrollar en ella una cadena que pasa por una polea (que no se vé en la figura) con un contrapeso que equilibra el peso del distribuidor *K* y el de las cremalleras *O O*.

El eje *Y I D* está acuñado y fijo al receptor *H G*.

En la parte inferior se monta un tubo de aspiración *E* unido al suplemento *F* que sirve para recibir el eje de giro *B C* que es de madera dura y se corrige y arregla por los tornillos *A*.

En la parte superior del arbol ó eje de giro y transmisión de energía hay un mandril *Y* para empalmar un nuevo arbol según la altura que se desee ó necesidades de la instalación.

Esta turbina se adapta muy bien á saltos medios, de 1,50 *m.* á 6 ó 10 *metros* y con gasto de 200 á 400 litros por segundo.

Turbina de Chèvres. Uno de los tipos más interesantes de turbinas centrípetas de eje vertical son las instaladas en Chèvres (Suiza) á 6 kilómetros de Ginebra, utilizadas para la producción de corriente eléctrica. Cada una de las turbinas, con el máximum de carga y admisión total pueden desarrollar una potencia de 1200 caballos.

El esquema, en conjunto, de un motor de Chèvres se representa en la *figura 10*. Las coronas del distribuidor

y del receptor no son horizontales sino inclinadas. La corona móvil J está dividida, en su altura, en tres partes por dos tabiques, lo mismo que la corona directriz F y el distribuidor V. Este está constituido por un anillo, que rodea exteriormente la corona directriz y lleva una serie de compuertas, como se representa en la *figura 11*, (proyección horizontal) que pueden cerrar más ó menos la entrada del agua en el distribuidor F. Estas compuertas unidas al anillo distribuidor, se maniobran por el árbol *t* relacionado con el regulador de marcha del conjunto. En Chèvres las turbinas están acopladas dos á dos sobre cada árbol motor (en la *figura 10* sólo se representa la turbina inferior de un elemento): pero son alimentadas una y otra independientemente. La turbina alta trabaja á pequeño salto ó caída de agua y mucho gasto ó sea cuando el río, que es el *Ródano*, lleva mucho caudal de aguas. La turbina baja trabaja con pequeño gasto y mucho salto ó desnivel de caída.

Se adoptó esta disposición por la gran variación del caudal del Ródano. Durante el deshielo de las montañas que rodean al gran lago, el gasto llega á 900 m^3 por segundo y entonces funcionan ambas turbinas. Durante el estiaje el río da 120 m^3 por segundo y funcionan sólo las turbinas inferiores.

En el mismo eje de cada turbina, arriba, sobre el piso de la fábrica ó central eléctrica, se acopla una dinamo, ó alternador, también de eje vertical.

Turbinas de eje horizontal. Es un tipo muy moderno de turbinas y muy empleado en instalaciones eléctricas, por prestarse muy ventajosamente al acoplamiento directo del eje de la turbina con el de las dinamos más usuales. Tiene también su principal aplicación en los casos de saltos de agua de grande altura en que el líquido es dirigido á la turbina por medio de cañerías ó tubos de gran longitud. Sin embargo pueden emplearse también en pequeños saltos.

Una de las ventajas principales de estas turbinas es la facilidad de su instalación en el mismo piso de la cen-

tral ó fábrica por sus reducidas dimensiones. El agua entra en estas turbinas por un tubo que sigue la dirección conveniente, según los detalles de cada instalación, y llega al receptor *a a*, *figura 12*, en unos tipos por todos los puntos de la circunferencia del receptor, y en otros por una sola parte de dicha circunferencia. Acciona el agua á la corona, rueda ó receptor *b b*, y el eje motor *m n* gira, saliendo por *n* á la sala de máquinas. El tubo de salida *A* actúa como tubo difusor y por succión ejerce acción sobre la turbina no perdiéndose altura de salto, siempre que no pase de 6 metros la distancia del eje de turbina al nivel inferior del canal.

En la *figura D* se representa la instalación de una de estas turbinas de frente, y en la *figura E* se representa la misma de perfil. *P* es el tubo de llegada y *m* la caja de la turbina en cuyo interior se encuentran las coronas, distribuidor, receptor y el regulador que se acciona por engranajes y detalles que se indican en *n*. *R* es el tubo de salida ó difusor.

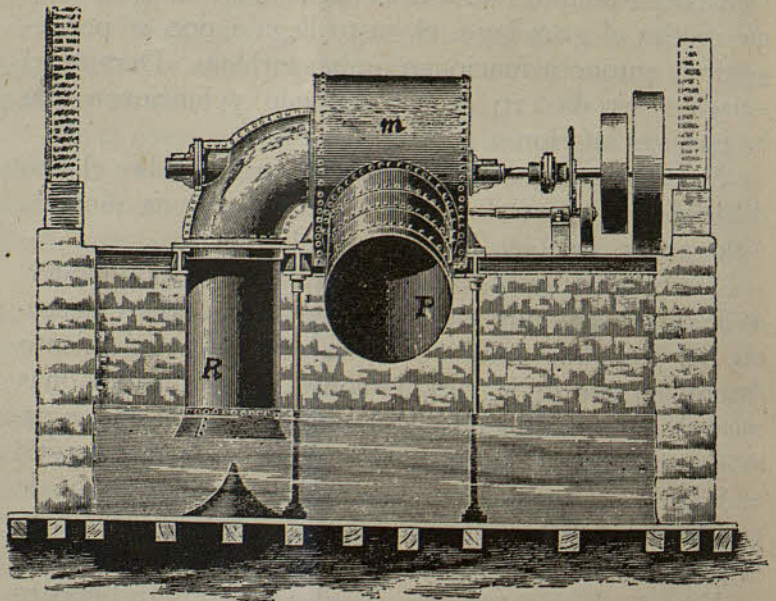


Figura D

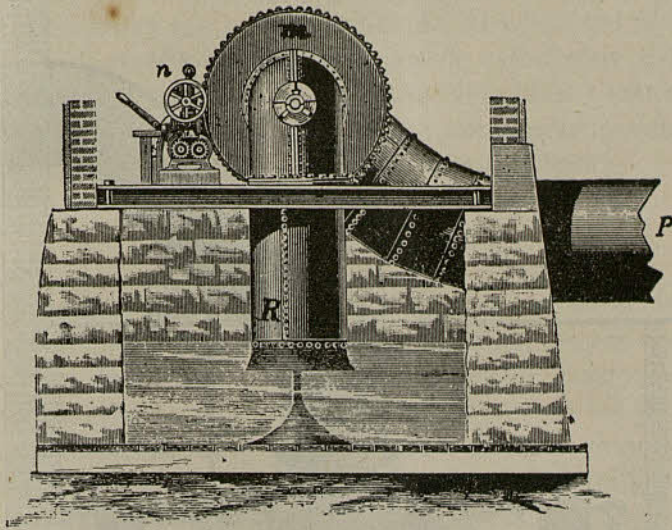


Figura E

Uno de los mejores y más perfectos tipos de este género de turbinas, es la turbina **Victor**, que se ve en la *figura F* con la envuelta descubierta para indicar el mecanismo de las turbinas. Es un tipo de dos turbinas acopladas ó gemelas sobre un mismo eje motor.

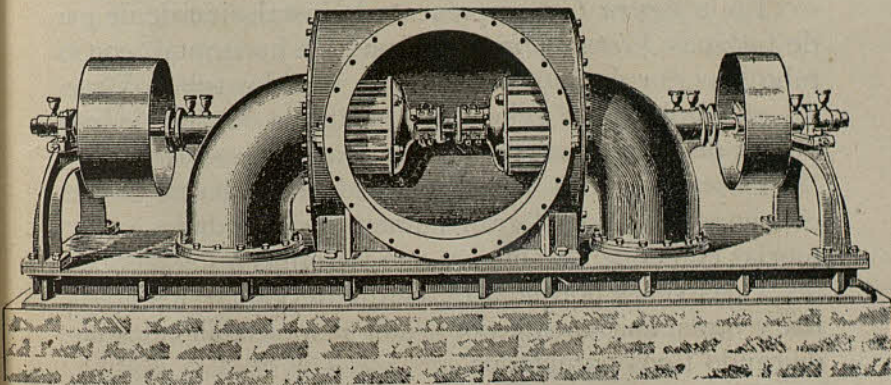


Figura F

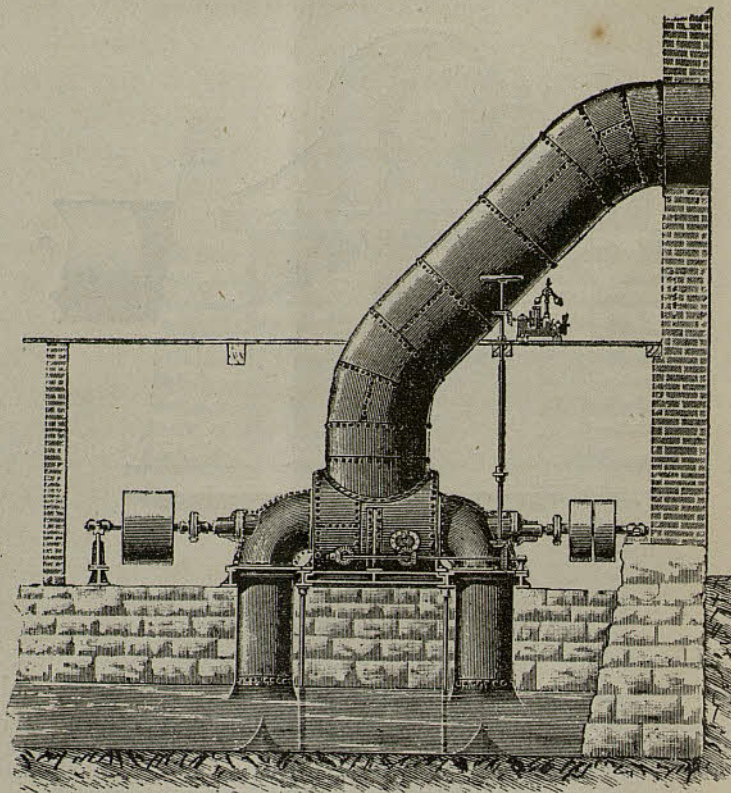


Figura G

En la *figura G* se representa la instalación de un par de turbinas *Victor* sobre un mismo eje horizontal, con el tubo superior de entrada del agua, los dos tubos difusores, el regulador de velocidad y aparatos de cierre, y con poleas dispuestas para recibir correas de transmisión.

Describir todas las turbinas ideadas hasta hoy es casi imposible, por el gran número de variedades y diferencias en pequeños detalles que introducen los fabricantes. Unas veces porque así creen perfeccionar los aparatos, y otras, únicamente por eludir responsabilidades modificando tipos patentados.

Para proyectar una instalación, según el caso, localidad, condiciones del salto de agua y aprobaciones del

motor, se piden modelos y presupuestos á las principales casas constructoras *con garantías* de la velocidad que se desea y de rendimiento, y después de estudiados distintos ofrecimientos de dichas casas se elige la que más conviene, teniendo muy en cuenta el coste ó presupuesto, y la seriedad é importancia de la casa constructura.

Cálculo de las turbinas

Para que una turbina trabaje en buenas condiciones de rendimiento deben someterse todas las piezas que la forman á dimensiones determinadas que, al mismo tiempo, respondan á la solidez del conjunto y de las partes. Dichas dimensiones se deducen del cálculo y dependen, en cada género de turbina, de los dos datos principales determinantes del trabajo útil posible: de la altura de caída H del agua y del gasto Q .

Turbinas axiales paralelas. El tipo de turbinas que se representa en la *figura 13* es el de una turbina axial ó paralela y puede aplicarse á distintas alturas de salto; pero no conviene para saltos pequeños y volumen de agua variable, por que si la corona móvil ó rueda queda sumergida, trabaja mal la turbina. Se puede emplear en saltos de altura superior á *metro y medio* ó *dos metros*, y especialmente en saltos de 3 á 8 metros y más.

En estas turbinas, si la altura H ó carga de agua es pequeña, entra directamente el agua en el distribuidor, como se representa en la *figura 14*; pero si el salto es mediano ó grande, el agua entra en el distribuidor por un tubo, y éste se calcula para que su mayor diámetro no exceda mucho de *un metro* y para que vaya estrechando poco á poco hasta el distribuidor, como se indica en la *figura 13*. La altura ó carga de agua h' sobre el extremo superior del tubo de entrada, debe ser algo mayor de *un metro* para evitar que el agua forme embudo, que daría una disminución de carga útil. Por esta razón en cargas totales muy pequeñas se emplean los sifones, como se dijo en las turbinas representadas en la *figura 9*.

Organización ó detalle de la turbina. En la *figura 15* se representa la mitad de un corte por el eje de la turbina que se considera. *E* es el eje de giro del motor. *T* un tubo hueco de hierro que gira alrededor del eje *E* y arrastra á la corona móvil ó rueda *n n*, unida al eje hueco por los radios de fundición *r*.

El distribuidor ó corona fija de la máquina lo constituye la pieza *MC*, atornillada en *M* á la pieza fija resistente *S*, y en *C* al tubo vertical *N*, formando todo la caja del distribuidor, que únicamente tiene abiertos en el fondo los conductos que se cierran ó abren con los obturadores ó compuertas *D* del regulador.

Cálculo de las dimensiones y proporciones de cada pieza. Conociendo la altura *H* de carga, ó salto total de agua, se puede calcular la velocidad *V_t* de salida del agua en el plano horizontal inferior del distribuidor; y de ésta se deduce la velocidad *V* efectiva ó práctica, que sirve de base á los cálculos que se estudian.

Para seguir con provecho estos cálculos, téngase en cuenta, además de la *figura 15*, la *figura 16*. La corona circular fija es un canal circular continuo ó anillo hueco *D* dividido en muchos orificios ó aberturas por medio de tabiques curvos de forma especial *helizoidal*, cuyos tabiques se llaman *directrices*. Es decir: supóngase que se tiene un canal recto cuya sección es igual á la sección *D* de la abertura del distribuidor, cuyo canal, *figura 17*, tiene una longitud igual al desarrollo de la circunferencia media de la corona fija. Supóngase que dicho canal se divide en varios cajones ó compartimentos por medio de tabiques curvos *m' n'*, *m' n'*, *m' n'*, que en proyección horizontal se representan por *m m n n*, *m m n n*,... Supóngase que dichos tabiques están formados por líneas *rígidas* metálicas horizontales que se proyectarán verticalmente según *puntos* como el *s'* y horizontalmente según rectas como la *s s*. Supóngase que se dá al canal, poco á poco, una forma curva como se representa en la proyección horizontal *figura 18*. Las varillas rectas *n n s s m m* seguirán rígidamente, horizontales y cada una de ellas se man-

tendrá *normal* á las dos superficies laterales del canal. Cuando éste siga curvándose, hasta darle la forma circular, cada tabique se habrá convertido en una superficie curva *helizoidal*; de manera que en cada punto de ella se podrá trazar una *recta* horizontal que coincidirá con dicha superficie, y será una de sus generatrices. Dichas superficies habrán tomado la forma que tienen los tabiques ó *directrices* del distribuidor de la turbina que se estudia; y la *misma forma helizoidal* tendrán las *paletas* de la corona móvil ó rueda de la turbina.

Sean:

- V la velocidad práctica ó efectiva que el agua adquiere *al salir* del distribuidor.
- V_t la velocidad teórica del agua obtenida por el cálculo matemático en el mismo punto.
- v la velocidad del agua en el punto medio de la rueda ó corona móvil, correspondiente dicha velocidad al máximo efecto que se obtenga en el movimiento.
- n el número de vueltas que dará la rueda con el máximo efecto en cada *minuto de tiempo*.
- a_0 el ángulo de inclinación de las directrices *figura 16*.
- d_0 la *distancia mínima* entre dos directrices medida en la parte inferior de las mismas.
- d_1 la distancia mínima entre dos directrices á la entrada de las aberturas correspondientes de la rueda.
- d_2 la distancia mínima entre dos directrices á la salida de las aberturas de la rueda.
- b_0 el ancho de las aberturas del distribuidor en sentido de los radios.
- b_1 el ancho de las aberturas de la rueda á la entrada.
- b_2 el ancho de las aberturas de la rueda á la salida.
- s_0 el espesor ó grueso de las directrices.
- s_1 el espesor de las paletas á la entrada de las aberturas de las ruedas.

- s_2 el espesor de las paletas á la salida de las aberturas de la rueda.
- h_0 la altura del distribuidor.
- h_1 la altura de la rueda ó corona móvil.
- h la distancia que separa el plano inferior de la corona móvil y el nivel del agua en el canal de descarga.
- m_0 el número de directrices ó tabiques del distribuidor.
- m_1 el número de paletas de la rueda.
- R el radio medio de la corona móvil ó rueda.

Determinación del ángulo a_0 . La primera dimensión que debe precisarse es el ángulo a_0 , *figura 16*, de inclinación de las directrices.

Para alturas H y gastos Q , que no son grandes ni pequeños, es decir, cuando H esté comprendido entre 3 metros y 9 metros, con gastos comprendidos entre 500 litros y 3000 litros por segundo, conviene hacer $a_0 = 30^\circ$.

Si H es pequeño y Q grande se dá mayor valor al ángulo, pudiendo ser hasta de 40° .

Si H es grande y el gasto Q pequeño puede disminuirse hasta hacerlo de 25° .

Determinación de la distancia d_0 . Admitido el ángulo de inclinación de las directrices procede determinar la separación d_0 entre ellas. Se admite una distancia $d_0 = 10$ milímetros para turbinas de poco gasto, aunque sean de grandes cargas, cuyas turbinas son siempre pequeñas.

A veces aún se da á la distancia mínima entre las directrices valores menores de 10 *m m*. Pero cuando el gasto es grande, y por lo tanto la turbina, se dán á las distancias entre directrices valores que pueden llegar á 80 ó 90 milímetros. En el cálculo de turbinas especiales se obtiene el valor de dicha distancia por la fórmula empírica

$$d_0 = 10 + 30 \sqrt{\frac{Q}{V H}} \text{ mm.}$$

Todos estos valores de d_0 son provisionales, pues dependen del número de directrices y del espesor de las

mismas, que se calculan después, y se corrige ó rectifica en cada caso el valor de d_o .

Altura del distribuidor y de la corona móvil. La altura del distribuidor depende de la proporcionalidad en las dimensiones del mismo y por lo tanto de la distancia entre directrices, y de ella se deduce. Generalmente se hace

$$h_o = (2 d_o + 20) \text{ m m.}$$

La altura de la corona h_1 se hace casi siempre *doble* que la del distribuidor, ó sea

$$h_1 = 2 h_o$$

en turbinas pequeñas y de tamaños medios; pero en las grandes turbinas se aumenta *un 10* y hasta *un 20 por 100* más.

Fijas las anteriores dimensiones se pueden calcular las velocidades de caída, que serán

$$V_i = \sqrt{2 g (H - h - h_1)}$$

y con el anterior valor de la velocidad teórica, puesto que la altura real es la cantidad entre paréntesis, se obtiene el valor de V , velocidad práctica efectiva

$$V = 0,95 V_i$$

valor este último que sirve para calcular, como se hace después, la velocidad en la rueda, enlazada con el radio de la turbina y con el número de vueltas por minuto.

Otras dimensiones en el distribuidor. Al ancho de la abertura b_o del distribuidor, en sentido de los radios, se le dá las siguientes dimensiones:

Para turbinas pequeñas; $b_o = 2,5 d_o$.

Para turbinas medianas, de 3 á 3,5 d_o .

Para turbinas grandes, de 4 á 6 d_o .

El espesor s_o de las directrices, cuando las directrices se construyen con hierro dulce ó con acero, es de 2 *mm.* para turbinas pequeñas; de 3 á 4 *mm.* para turbinas medianas, y de 5 *mm.* para turbinas grandes. Cuan-

do las directrices se construyen de fundición, los valores de s_0 son dobles de los indicados.

Número de directrices. El número de tabiques directores de las aguas que deben pasar á la rueda es proporcional al gasto Q , é inversamente proporcional á la distancia d_0 , lo mismo que á la otra dimensión de las aberturas ú orificios de salida del agua y á la velocidad teórica. Es también inversamente proporcional á un coeficiente 0,95 de salida del distribuidor, y por consiguiente puede representarse su valor por la expresión.

$$m_0 = \frac{Q}{0,95 d_0 b_0 V_t} \quad (a)$$

Ahora bien: el número de directrices ha de ser un número entero, y por simetría y para evitar choques, así como para que las componentes que pueda haber en sentido horizontal de las fuerzas desarrolladas en cada abertura ó paso se destruyan dos á dos, conviene también que dicho número sea *par*. Pero el número m_0 deducido de la fórmula anterior por rara casualidad será un número entero y par. Lo que se hace en la práctica es hallar el valor de dicho número, y tomar para valor de m_0 el número *entero y par* que más se aproxime á dicho valor. Se sustituye dicho número entero y par en la misma fórmula (a) dejando como incógnita á d_0 , conservando los mismos valores deducidos para las demás dimensiones y se calcula el valor *definitivo* de d_0 , que ya se indicó al principio que era provisional.

Radio medio de la turbina. El valor de R está dado por la fórmula

$$R = \frac{m_0 (d_0 + s_0)}{2 \pi \text{ sen } \alpha_0}$$

Claro es que R debe ser mayor que b_0 ; la proporción mejor es que sea igual ó mayor que 6 ó 7 veces b_0 . Entonces puede adoptarse para la turbina que se calcula la admisión total, ó admisión por toda la circunferencia del distribuidor.

Si no sucede así se calculará el radio de manera que sea igual á $x R$, siendo el valor más conveniente de Rx , de 6 á 7 veces b_0 , y el distribuidor ocupará $\frac{1}{x}$ de la circunferencia de la corona.

Siempre que en una turbina de pequeño gasto Q y de grande altura de carga H resulte en su cálculo un radio R muy pequeño, se aumentará dicho radio hasta que sea igual ó mayor que 5 b_0 , y se hará de admisión parcial.

En un proyecto de turbina se procede por ensayos ó tanteos modificando convenientemente los valores de R y variando también las del ángulo a_0 y los de b_0 y d_0 .

Trazado de las directrices. Sea MN , figura 16 un trozo de la circunferencia media de la corona fija, ó distribuidor, rectificada. Sean a y b , dos extremos de dos directrices consecutivas. La distancia $a b$ se determina por la relación $a b = \frac{2 \pi R}{m_0}$, si la turbina es de admisión total.

Si es de admisión parcial será $a b = \frac{2 \pi R}{x m_0}$.

Haciendo centro en a con un radio $d_0 + s_0$ se traza el arco de puntos que se ve en la figura. Desde b se traza la tangente $b c$ á dicho arco. Se une a con c y se prolonga la recta $a c$ hasta O . Con radio $O c$ se traza el arco $c e$, y la línea mixta $b c e$ es la que determina la forma de la directriz. Quedan así calculados todos los detalles del distribuidor ó parte fija de la turbina.

Cálculo de la rueda ó corona móvil. Entre el plano inferior del distribuidor y el plano superior de la rueda debe quedar una pequeña distancia ó *juego* para facilitar el movimiento de la segunda, evitando rozamientos y choques de la misma con las partes sólidas fijas de la turbina. Ese juego debe ser de 3 á 5 milímetros.

El ancho b_1 de las aberturas de la rueda á la entrada del agua debe ser de 4 á 10 *mm.* mayor que el ancho b_0 .

de las aberturas del distribuidor: 4 *mm.* cuando estas últimas son pequeñas y 10 *mm.* cuando son mayores.

El ancho b_2 de las aberturas á la salida son, en los tipos comunes de turbinas, iguales á tres veces las aberturas de entrada, ó sea $b_2 = 3 b_1$. Pero en casos de ser Q (el gasto) muy grande y H (carga ó altura) pequeño, puede ser algo menos, y aún llegar sólo á 2,5 b_1 .

Sección de la corona, figura 19. Conocida la altura h_1 de la corona, y las dimensiones superior é inferior de la abertura, se toma un punto z algunos milímetros más arriba de la línea del plano superior. Se une z con los extremos de b_2 . Se bajan dos verticales desde los extremos de b_1 y desde o y o se trazan los arcos tangentes á las verticales y á las oblicuas que se unen en z .

Antes de trazar las paletas debe determinarse la velocidad v correspondiente al máximo efecto y el número de vueltas n que dará la rueda con el mismo objeto.

Por consideraciones mecánicas deducidas del triángulo de velocidades, se obtiene que la velocidad v para el efecto máximo es

$$v = \frac{V}{2 \cos a_0} + \frac{g h_1}{V \cos a_0}$$

siendo, $g=9,81$.

Obsérvese que representando n el número de vueltas por 1', será

$$n = \frac{60 v}{2 \pi R}$$

El número de paletas m_1 se hace igual al de tabiques ó directrices del distribuidor, y á veces algo mayor, en las turbinas de admisión total.

En las turbinas de admisión parcial el número de paletas se hace igual ó algo mayor de m_0 .

El espesor s_2 es de 5 á 10 *mm.*, según los valores de b_1 .

Trazado de las paletas. Es muy interesante el trazado de las paletas; y de su perfección y cuidadosa cons-

trucción depende en gran parte la buena marcha de la turbina.

Supóngase que se tiene *figura 20*, el desarrollo de la sección circular entre dos paletas $o p$, $o' p'$. Trácese en dirección horizontal la línea $o v$ de magnitud igual, con arreglo á escala, á la velocidad v ya conocida, y trácese también la línea $o V$ de magnitud y dirección igual á la velocidad V también conocida, así como su dirección, que es la de salida del agua de los distribuidores. Componiendo el paralelogramo en que se conoce un lado $o v$ y su diagonal $o V$, se tendrá la línea $o v'$ que dará el valor de la *velocidad del agua* al recorrer las paletas. La línea $v' o$ prolongada y tangente á la curva interior de las paletas nos determina la distancia d_1 que será

$$d_1 = \frac{Q}{m_1 b_1 v'}$$

La distancia d_2 se determina de análoga manera por la fórmula

$$d_2 = \frac{Q}{m_1 b_2 v}$$

para turbinas de admisión total.

Para las de admisión parcial será

$$d_1 = \frac{xQ}{m_1 b_1 v'}, \quad d_2 = \frac{xQ}{m_1 b_2 v}$$

Obtenidos los valores de las dos distancias anteriores se marcan los dos puntos $p' p''$, que separan los extremos de dos paletas consecutivas en la circunferencia media de salida.

La distancia $p' p''$ se determina por la expresión

$$p' p'' = \frac{2 \pi R}{m_1}$$

haciendo centro en p' con radio igual á $d_2 + s_2 +$ dos ó tres milímetros, para facilitar la salida del agua, se traza un arco, y desde el punto p'' la tangente $p'' t$, cuya tan-

gente determina la inclinación de las paletas á la salida del líquido. Se toma un punto cualquiera t sobre dicha tangente y por él se traza la $t r$ paralela á la $v' o$; se toma $t r = t p''$; se une p'' con r y se prolonga la recta hasta y ; por y se traza la $y o''$ perpendicular á $o v'$, y por p'' se traza la $p'' o''$ perpendicular á $t p''$. Su punto de encuentro o'' es el centro de la curva $y m p''$ que es la curva interior de la paleta.

Las dimensiones d_2 y d_1 de entrada y salida de la vena líquida entre cada dos paletas consecutivas se toman de manera que sean normales á las tangentes $v' o$ y á las $o p$, $o' p'$ respectivamente, y además que las líneas que las representan tengan sus centros en los centros de las líneas $o o'$ la d_1 , y $p p'$ la d_2 . Hecho lo anterior se dibuja la sección de la paleta de manera que vaya disminuyendo de arriba á abajo, terminando abajo en bisel, y siendo sus mayores espesores de *vez y media* á *dos veces* s_2 . Terminado el trazado se señalarán unas ranuras laterales en las caras de cada abertura de salida, como se indica en k , *figura 19*, con objeto de dar salida al aire que pueda quedar encerrado entre las distintas paletas.

Turbinas radiales. En la *figura 21* se representan las proyecciones horizontal y vertical de una turbina radial centrífuga, de admisión parcial. Es conveniente para grandes alturas H y pequeños gastos Q . $T' T$ es el tubo de llegada del agua al distribuidor parcial $c' c$. En proyección horizontal el distribuidor sólo tiene cuatro aberturas comprendidas en $c d$. Las tres $c b$ están abiertas en la proyección que representa la *figura*, y la extrema, entre b y d , cerrada por el obturador que se mueve por un engranaje con el piñón P , y puede dejar más ó menos aberturas cerradas, según el grado de admisión que se desea.

La corona móvil ó rueda se representa en $e' e'$, $e e$ $e e$, y está unida al eje $E' E$ por los radios $r' r' r' r'$.

Cálculo del distribuidor. En esta turbina el distribuidor se calcula exactamente lo mismo que el de la turbina axial ó paralela; pero teniendo en cuenta que los

tabiques no son helizoidales, sino de superficies cilíndricas de generatrices verticales, proyectadas según las curvas *c b d*.

Se determinan, como se ha explicado anteriormente las cantidades ó valores de a_0 , d_0 , b_0 , h_0 , h_1 , m_0 y V ; después se calcula el radio R_1 correspondiente á la circunferencia exterior del distribuidor por la fórmula

$$2 \pi \frac{R_1}{x} \operatorname{sen} a_0 = m_0 (d_0 + s_0)$$

Pero obsérvese que en la fórmula entra también x , grado de admisión parcial. Se tomará antes de resolverla el valor de x que convenga, para calcular R_1 , ó se precisará R_1 y se deducirá de la fórmula el valor de x , según los casos y tanteando la mejor solución.

La velocidad v para el efecto máximo en la circunferencia de radio R_1 será

$$v = \frac{V}{2 \cos a_0}$$

Cálculo de la rueda. Las paletas de la rueda serán también formadas por superficies cilíndricas verticales, proyectadas según las curvas que se indican en la corona *e e e e*. Después de trazados, por sus *tangentes*, los ángulos de entrada y de salida a_1 y a_2 , se trazará la curva interior de las paletas de manera que sea tangente á dichas rectas (*tangentes*); pero el centro de dicha curva se buscará cuidadosamente por tanteos, no pudiendo aplicarse las reglas dadas en el caso anterior de las turbinas paralelas.

En el caso de tratarse de una turbina radial del género representado en la *figura 21*, pero de admisión total, los cálculos son los mismos con sólo prescindir del coeficiente x de admisión, ó haciendo en las fórmulas á $x = 1$.

Turbinas de reacción con tubo de aspiración. Cuando el nivel aguas abajo ó inferior del salto es variable; se ha dicho que convienen estas turbinas. Si la altura H

es mediana, llega el agua directamente al distribuidor, como se representa en la *figura 22*, que indica una turbina de eje vertical. La rueda *a a* gira dentro del tubo fijo vertical *b b*. Si la turbina es de eje horizontal, como se representa en la *figura 23*, se hacen lo mismo los cálculos.

El tubo de aspiración *b b* llega hasta más abajo del nivel inferior del agua ó *nivel de descarga*, y resulta la turbina á una altura conveniente sobre este nivel; pero de manera que dicha altura sea menor de 8 metros. Estas turbinas deben ser siempre de admisión total, recibiendo el agua por toda la circunferencia del distribuidor, con objeto de que no queden en el interior espacios ó cámaras de aire. La obturación parcial ó entrada del agua se regula con una compuerta cilíndrica *c c* situada en la parte inferior del tubo, que puede subir ó bajar maniobrando palancas ó varillas *d*; cuya compuerta limita más ó menos la cantidad de agua que puede salir por el tubo de aspiración, y por consiguiente la de entrada, manteniendo siempre llena la turbina y el tubo.

También se regula la entrada del agua con una disposición cilíndrica que permite cerrar más ó menos los orificios de entrada del distribuidor, cuando éste está dividido en varios órdenes ó secciones por tabiques paralelos entre sí y normales al eje de giro, como sucede en la turbina *Hércules* y en otras.

Cálculo de las turbinas con tubo de aspiración. Representando por las mismas letras ó con las mismas notaciones las cantidades análogas á las consideradas en las turbinas anteriores, se darán los siguientes valores:

$\alpha_0 = 20^\circ$ para valores medianos de *H*. Si va disminuyendo *H* se aumenta el valor del ángulo hasta 30° .

$$\alpha_1 = 90^\circ - \frac{\alpha_0}{2}$$

$$V = 0,9 \sqrt{\frac{g H}{\cos \alpha_0}}$$

$v = V$, para el efecto máximo en la circunferencia media.

$m_0 =$ número de directrices $= 12$ para turbinas pequeñas, llegando hasta 24 para turbinas grandes.

$h_0 =$ altura del distribuidor $= 0,6 R$, cuando se trata de pequeñas turbinas. Pero para turbinas grandes ó de mayor radio se disminuye hasta $h_0 = 0,4 R$.

$b_0 =$ ancho radial de las aberturas del distribuidor, se suele hacer igual á $0,4 R$. Si en los primeros tanteos de cálculo de la turbina resulta que conviene disminuir el número de vueltas, se aumenta el radio R , y entonces se da al ancho radial de las aberturas un valor algo menor de $0,4 R$. Si, por el contrario, se desea aumentar el número de vueltas que debe dar la turbina, se disminuye el radio R y se da á las aberturas un ancho radial mayor.

$s_0 =$ Se calcula lo mismo que en los casos de las otras turbinas; de 2 á 5 *mm.* según las dimensiones de las aberturas del distribuidor.

Para calcular el radio medio R verdadero, y comprobar las buenas dimensiones y acierto en los valores del ángulo α_0 , téngase en cuenta que el gasto Q está representado por la siguiente igualdad:

$$Q = V b_0 (2 \pi R \operatorname{sen} \alpha_0 - m_0 s_0). \quad (b)$$

Se sustituyen en ella los valores de b_0 , V , $\operatorname{sen} \alpha_0$, m_0 y s_0 , para deducir el valor de R .

$R =$ radio medio, deducido de la fórmula (b). Pero si R resultase con dimensiones poco convenientes, se aumentan ó disminuyen los valores de b_0 y del ángulo α_0 hasta obtener un radio apropiado y de buenas proporciones.

$$d_0 = \frac{Q}{m_0 b_0 V}.$$

Trazado de las directrices. Las condiciones de entrada del agua en el distribuidor y la forma de éste en la turbina que se estudia, indican que el trazado de las di-

rectrices debe ser el mismo que el de la turbina paralela antes estudiada.

Trazado y cálculo de la rueda. m_1 = número de paletas = $m_0 + 4$ para turbinas pequeñas, llegando hasta $m_0 + 12$ para grandes turbinas.

h_1 = altura de la rueda = $0,5 \cdot R$, cuando se trata de pequeñas turbinas; pero para turbinas grandes ó de mayor radio se disminuye hasta $0,33 R$.

$b_1 = b_0$

$b_2 = b_1$, ó un poco mayor, pudiendo llegar á ser $1,25 b_1$.

d_2 = distancia entre paletas á la salida ó desagiie de las

$$\text{mismas} = \frac{Q}{m_1 b_2 v}$$

$s_2 = s_1 = s_0$.

Trazado de las paletas. La velocidad v' y los valores de $d_1 a_1$ y a_2 se determinan lo mismo que para la turbina *axial*, y lo mismo también el trazado de las paletas, prescindiendo de las ranuras para el aire, pues el agua llena todo el espacio entre hierros sin permitir que el aire ocupe lugar alguno.

Turbinas americanas. Las turbinas mixtas y de tipo americano se construyen siempre para admisión total. En este género están comprendidas las modernas turbinas de modelo Hércules, Francis, Victor, etc. Sean de eje vertical ú horizontal, el cálculo y dimensiones de sus elementos es el mismo.

Directrices. Pueden ser rectilíneas como en la *figura 24*, ó curvas como en la *figura 25*. En ambas figuras MN es parte de la sección horizontal del distribuidor y AB la del receptor ó rueda.

Cálculo. Se calculan los elementos, dimensiones y trazados en estas turbinas de manera análoga á como se ha hecho en las turbinas con tubo de aspiración. Téngase en cuenta que lo que en aquellas (las de tubo de aspiración) representaba el radio medio (R), en las americanas representa el radio de la circunferencia exterior de la rueda N , *figura 26*, ó el interior del distribuidor M ; y v

la velocidad en la circunferencia exterior de la corona móvil ó rueda N .

Actualmente se procura dar al radio R de las turbinas más modernas, un valor pequeño, y para que pueda dar paso la rueda á las cantidades de agua necesarias en cada caso, se tiene, naturalmente que aumentar b_0 . Se consiguen así grandes velocidades y pueden acoplarse directamente las dinamos al mismo eje de rotación ó eje motor de las turbinas.

Los valores usuales para distintos elementos de estas turbinas pueden ser:

$a_0 = 12^\circ$ para valores medianos de H y 22° para valores pequeños.

$$a_1 = 90^\circ - \frac{a_0}{2}$$

$$V = 0,9 \sqrt{\frac{g H}{\cos a_0}}$$

$$v = V.$$

$m_0 = 8$ para grandes valores de H y pequeños de Q ; pudiendo llegar hasta 24 para valores grandes de Q y pequeños de H .

$b_0 =$ altura de las aberturas del distribuidor, pueden ser de 20 á 80 centímetros.

$n =$ número de vueltas, se deduce de la fórmula

$$n = \frac{60 v}{2 \pi R}$$

$R =$ radio de la circunferencia exterior de la rueda ó corona móvil se deduce de la fórmula (b), pero si R resultase con dimensiones poco convenientes, se aumentan ó disminuyen los valores de b_0 y del ángulo a_0 hasta obtener un radio apropiado y de buenas proporciones.

Turbinas dobles de eje horizontal. En las turbinas de eje horizontal, como las del tipo *Victor* y otras, se acoplan al eje dos turbinas, como ya allí se indica. Puede haber dos tubos de aspiración y salida del agua, ó puede

disponerse la turbina doble como se indica en la *figura* 27, con un tubo de entrada M que conduce el agua á una cámara anular que envuelve la caja de turbinas y se representa en NNN , pasando después á las turbinas por los distribuidores SS TT , y á las coronas móviles XX YY . Sale el agua á la cámara ZZZ , y pasa finalmente al tubo de aspiración A .

Estas turbinas tienen muchas ventajas; entre otras, permiten acoplar directamente al eje las turbinas y ruedas motrices; el peso de agua sobre el eje y sobre las turbinas, que es de mucha consideración, queda equilibrado por la igualdad de posesiones en todos sentidos.

En los cálculos anteriores de todas las turbinas no se ha hecho mención de dimensiones que no afectan al movimiento del agua y por consiguiente á la velocidad de la rueda y eje motor; para la resistencia de los distintos órganos es necesario dar espesores apropiados á todas las piezas. La corona del distribuidor, que es siempre de hierro fundido, debe tener de 12 á 20 milímetros de espesor; y las coronas de la rueda, de 15 á 25 milímetros, según los valores de b_0 : cuando b_0 es muy pequeño, 15 milímetros; y cuando b_0 es mayor, hasta 25 milímetros.

La rueda va unida á un cubo, que se ve en la *figura* 15, acoplado al eje motor, cuyo cubo debe tener un espesor igual á 0,5 ó 0,35 del diámetro total del eje citado, y la altura del cubo conviene sea igual al diámetro del mismo eje. La corona móvil se une al cubo por medio de radios r , *figura* 15, y el número de estos radios debe ser de 4 á 6, aunque en las pequeñas turbinas se sustituyen por un disco continuo de sección igual á la de los radios. El espesor de estos radios debe ser de 0,20 á 0,25 la altura del cubo, y deben reforzarse con nervios de la misma fundición.

Ejes de giro y de suspensión. El diámetro D del eje sólido de la turbina se calcula como una pieza vertical que sostiene el peso formado por la rueda, eje y accesorios correspondientes, más el peso de la columna de agua que actúa sobre la corona de la rueda. Puede em-

plearse también la siguiente fórmula deducida del cálculo de la flexión de vigas verticales:

$$D = 0,18 \sqrt[4]{P L^2}$$

siendo P la carga total que actúa sobre la cabeza superior del eje y L la longitud de éste.

El eje hueco que abraza al eje sólido fijo se calcula dando á su diámetro interior D' la dimensión un poco mayor de D : es decir $D' = D + 20$ milímetros. El diámetro exterior D'' puede hallarse matemáticamente teniendo en cuenta el momento de torsión, ó por la fórmula

$$D''^3 = D'^3 + 3650000 \frac{F}{X n}$$

siendo F la potencia en caballos de la turbina, X un coeficiente de seguridad que puede variar de 1 kilogramo á 1,25 kilogramos por mm^2 y n el número de vueltas por minuto.

Muchas disposiciones se dan á los ejes de giro y cada fabricante adopta detalles á su gusto. Pero uno de los sistemas que más se va extendiendo es el de esferas ó bolas, análogo al que se emplea en los ejes de los automóviles, bicicletas, y todo aparato que exige grandes velocidades angulares.

En la *figura 28* se representa esta disposición. E es el eje fijo que lleva clavateado y sólidamente unido el cilindro AA , y éste descansa sobre un platillo que se apoya en una corona de esferas duras de acero *e e*. Estas esferas descansan en una canal de la pieza CC unida al eje hueco BB .

En las turbinas de eje horizontal se emplean otras disposiciones que se estudiarán en otra parte, cuando se trate de los órganos ó máquinas acopladas á dichos ejes.

Turbinas semejantes. El cálculo y construcción de turbinas es un problema que interesa y preocupa mucho á los fabricantes, pues á veces una turbina perfectamente

L, D, D', D'', en mms. P en kgs.

calculada y construida cuidadosamente, en la práctica, al ponerla en marcha no da el resultado satisfactorio que se esperaba.

Los fabricantes tienen sus tipos favoritos y ya ensayados. Pero como las alturas H y gastos Q se presentan con grande variación, no es posible tener construidos todos los tipos que puede exigir la demanda. Pero estudiado perfectamente un ejemplar y conocidas sus favorables condiciones de funcionamiento, es fácil deducir las dimensiones y condiciones de otros tipos, por medio de la *teoría de las turbinas semejantes*.

Se llaman dentro de un tipo mismo turbinas semejantes, las que tienen iguales los ángulos α_0 de entrada del agua; iguales los ángulos α_2 de salida; igual la relación de las velocidades $\frac{v}{V}$ ó sea de la velocidad de la rueda á la del agua, é igual la relación $\frac{b_1}{R}$.

Si se tienen dos turbinas semejantes se podrá establecer: «los gastos Q Q' están en la misma relación que los productos $R^2 V$, $R'^2 V'$ de las velocidades por los cuadrados de los radios». O sea:

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{R^2 V}{R'^2 V'} \quad (d)$$

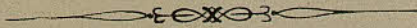
Por consiguiente, si se tiene una turbina y se quiere calcular otra semejante para otro gasto y otra altura diferentes del gasto y altura de salto de la primera, se empezará por calcular la velocidad correspondiente al salto y gasto de la segunda, ó sea de la que se quiere calcular. Con estos datos se tendrán conocidos en la ecuación (d) las cantidades: Q , Q' , R , V y V' ; podrá despejarse el valor de R' ; y por lo tanto, partiendo de este valor se podrán calcular fácilmente todas las dimensiones de la turbina semejante que se desea.

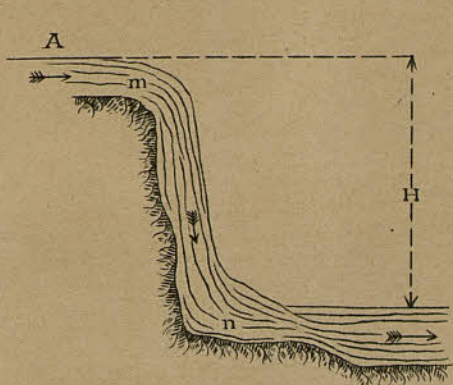
**Rendimiento de las turbinas.* Las turbinas sirven para transformar la energía representada por el agua al caer, en energía desarrollada por el eje de la turbina al

girar con movimiento angular. Esta transformación se efectúa con una *pérdida de trabajo útil*; *pérdida* que se absorbe por los choques del agua, por rozamientos entre los órganos materiales de la turbina, etc. La relación entre la energía de que se dispone en el eje de la turbina y la energía *teórica* desarrollada por el agua al caer en el salto, se llama *rendimiento* de la turbina.

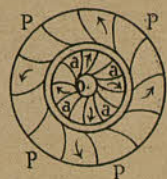
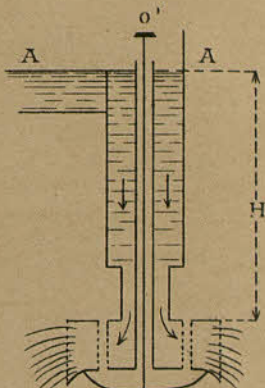
Las mejores turbinas dan un rendimiento de 0,80 á 0,85. Es decir, que si un salto de agua representa una energía de 100 caballos, la turbina empleada en dicho salto para utilizarlos, sólo nos dará, en su eje, una energía de 80 á 85 caballos, perdiéndose de 20 á 15 caballos. Esto siendo la turbina buena y trabajando en las condiciones para que ha sido calculada.

Muchas turbinas no dan más que el 70, el 60 y hasta el 50 por ciento de efecto útil, ó sea un rendimiento de 0,70, 0,60 y hasta 0,50.

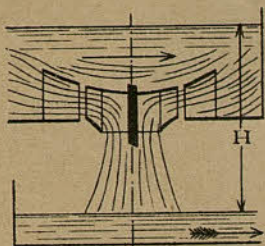




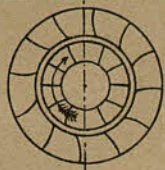
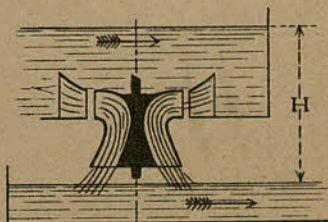
FIGURA, 1.



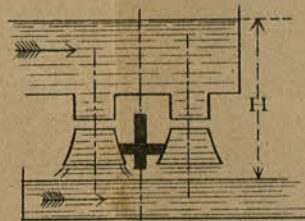
FIGURA, 2.



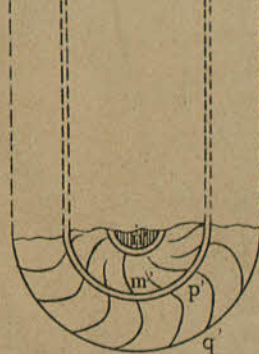
FIGURA, 3.



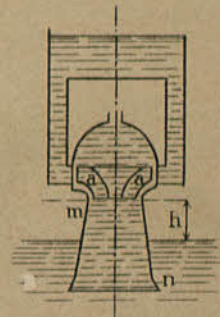
FIGURA, 5.



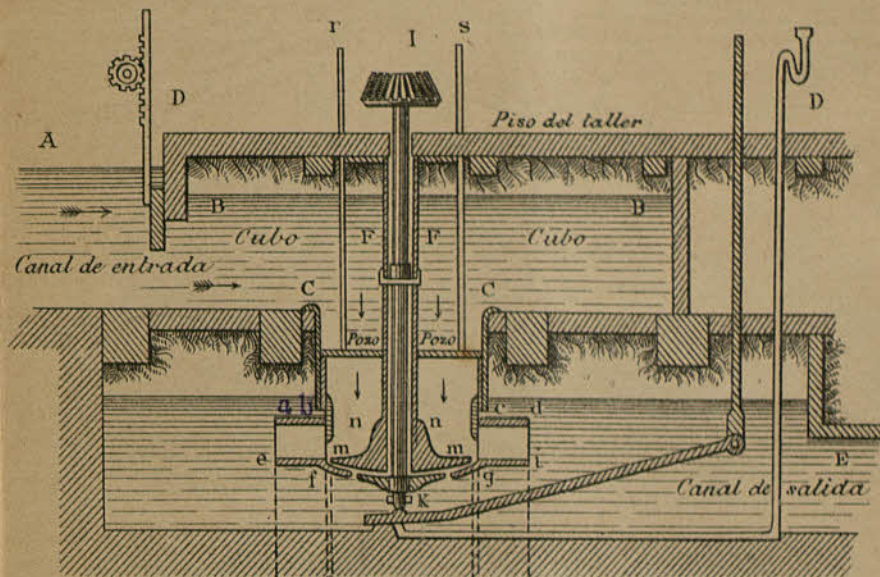
FIGURA, 4.



FIGURA, 7.



FIGURA, 6.



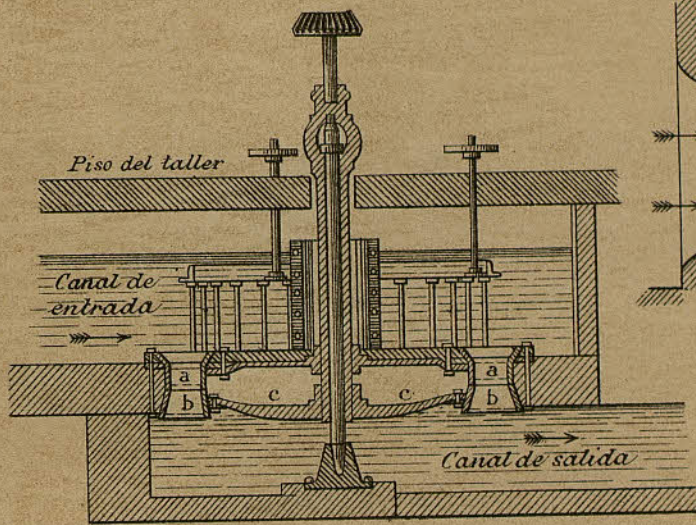


FIGURA 8.

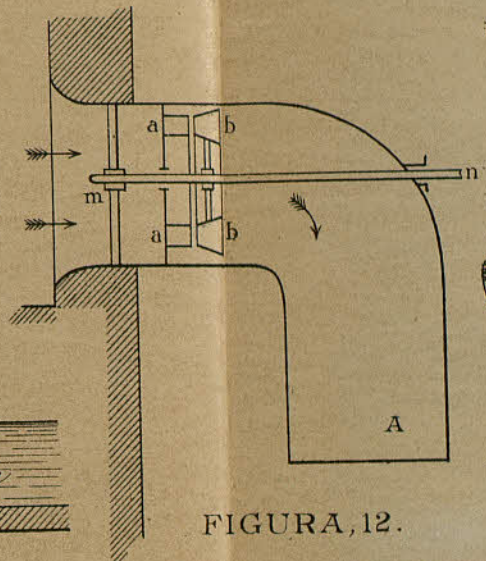


FIGURA 12.

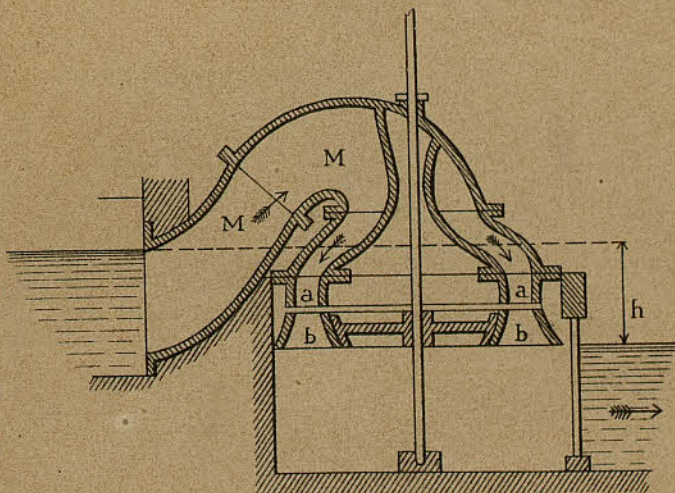


FIGURA 9.

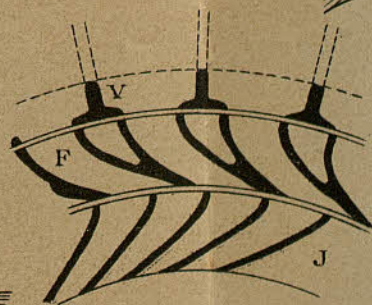


FIGURA 11.

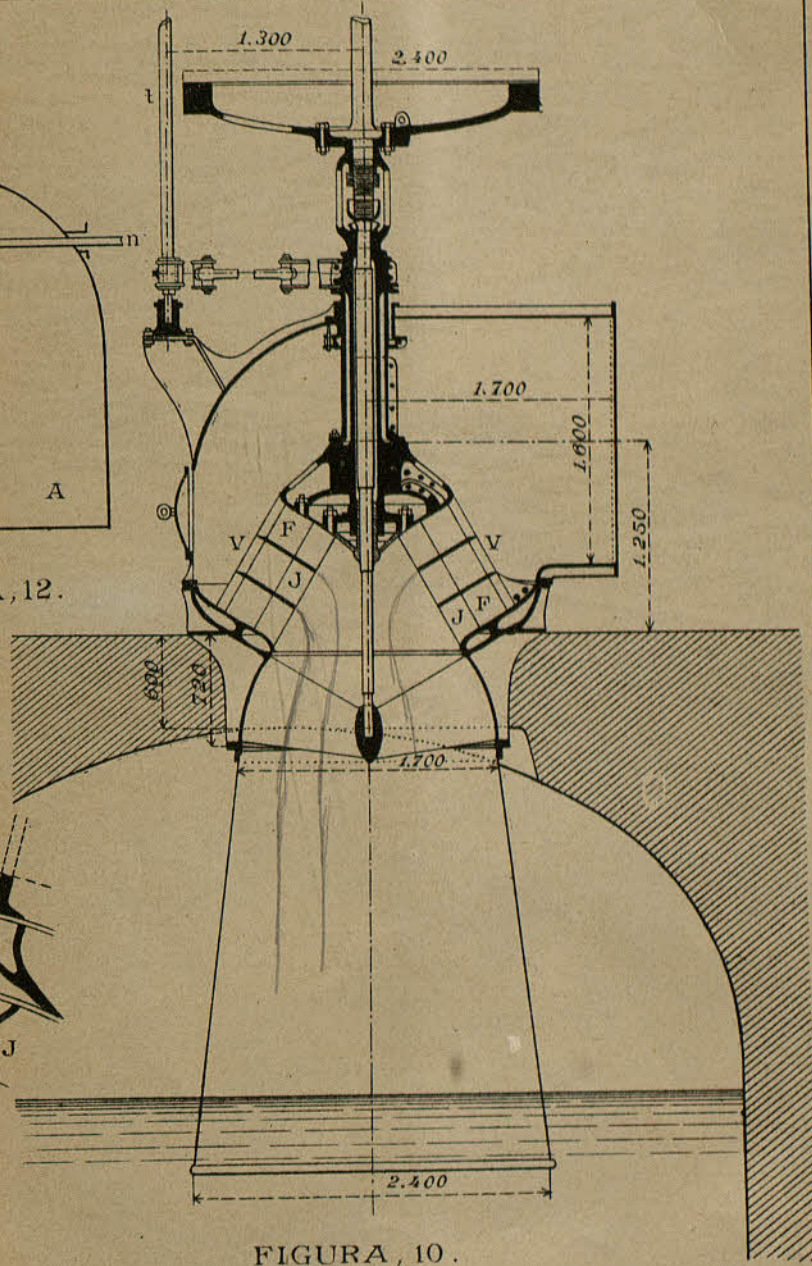
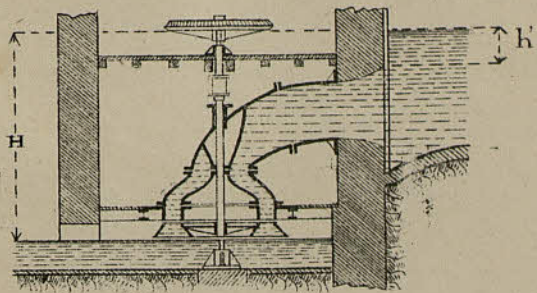
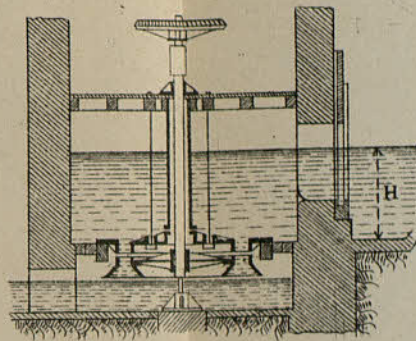


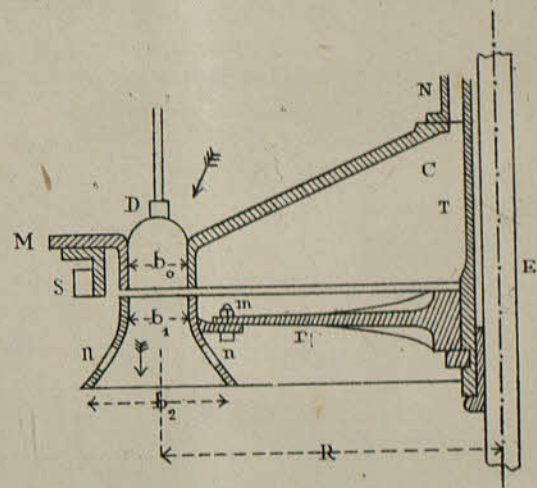
FIGURA 10.



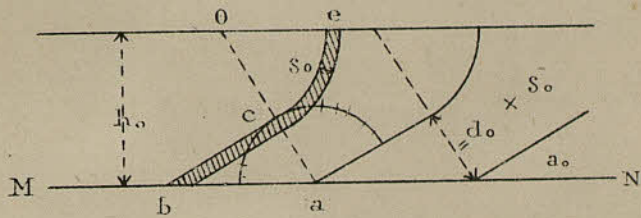
FIGURA, 13.



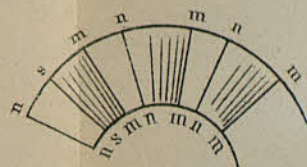
FIGURA, 14.



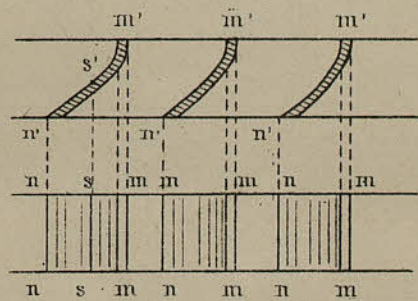
FIGURA, 15.



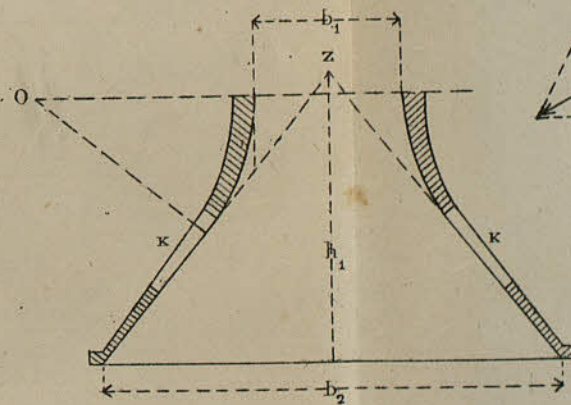
FIGURA, 16.



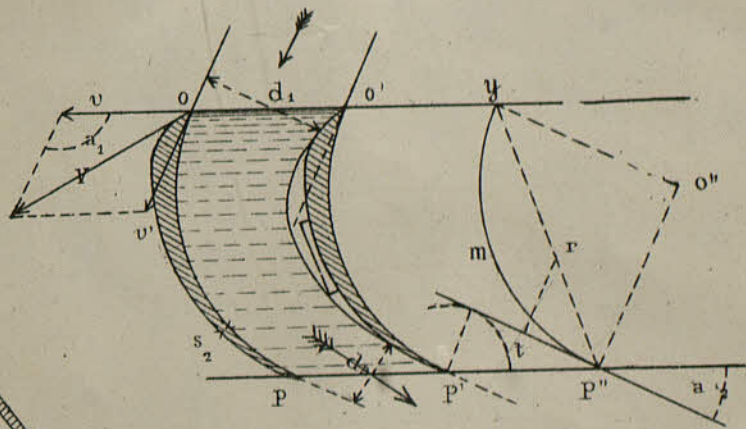
FIGURA, 18.



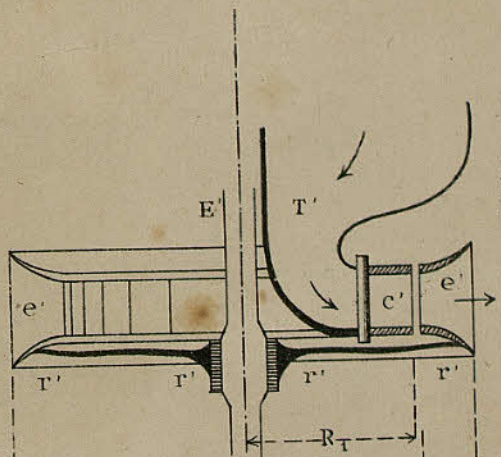
FIGURA, 17.



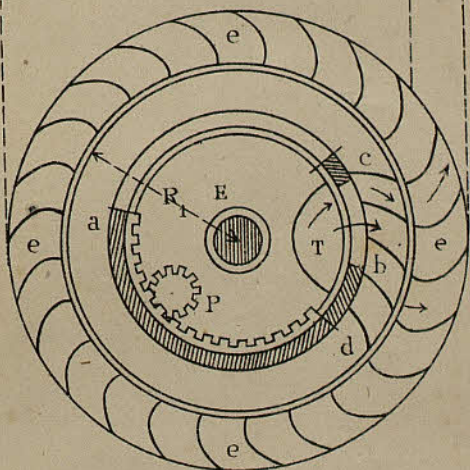
FIGURA, 19.



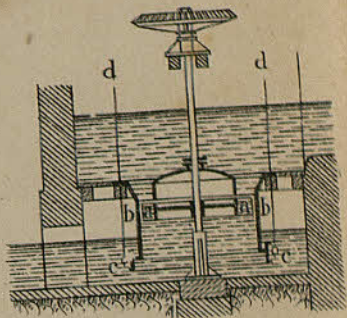
FIGURA, 20.



FIGURA, 22.



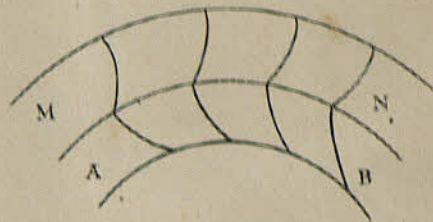
FIGURA, 21.



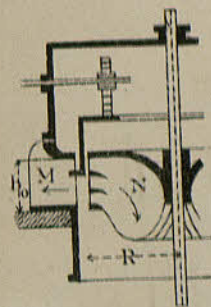
FIGURA, 23.



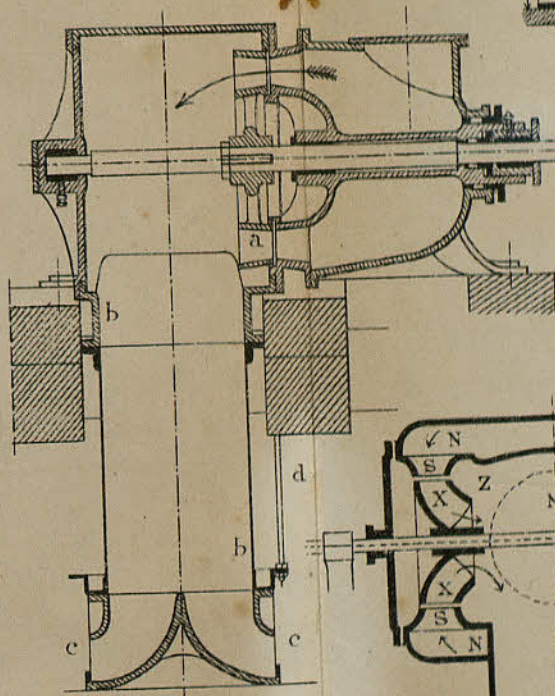
FIGURA, 24.



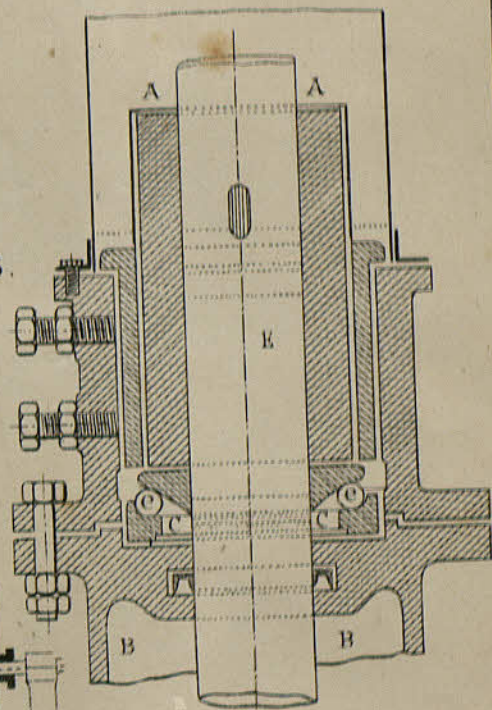
FIGURA, 25.



FIGURA, 26.



FIGURA, 27.



FIGURA, 28.