

otras ruedas, pero tienen la ventaja de poder marchar con gran velocidad sin que su efecto útil se separe notablemente del efecto máximo que les es propio, lo cual evita en muchos casos el tener que multiplicar los engranajes.

Si la paradera es vertical y se halla distante de la rueda, y las palas de esta dejan un juego de 4 á 5 centímetros en un canal mal acabado, el efecto útil equivaldrá á los 20 centésimos del trabajo absoluto de la corriente y se hallará por la fórmula, $C=0\cdot00267\times V\times A$, representando por C el número de caballos, por V el volumen de agua por segundo en litros, y por A la altura del salto en metros ó la diferencia del nivel superior del líquido al nivel inferior.

Si las palas dejan un juego que no llegue á 3 centímetros, el efecto útil será los 30 centésimos del efecto motor, y la fórmula se transformará en, $C=0\cdot004\times V\times A$.

Si la rueda se halla ajustada en un canal concéntrico con ella, y la paradera está inclinada y muy cerca de la rueda, el efecto útil será los 40 centésimos del efecto motor, en cuyo caso se tendrá la fórmula $C=0\cdot0053\times V\times A$. Pero si el agua se toma por un vertedero en el nivel superior del recipiente llegará á dar los 50 centésimos del efecto motor y la fórmula será, $C=0\cdot0066\times V\times A$.

Ejemplo: Hallar el efecto útil producido por una rueda de palas planas movida por debajo sabiendo que el gasto es de 480 litros por segundo y la altura total del salto de 1'60 m.

En el 1.º caso será, $C=0\cdot00267\times 480\times 1\cdot60=2\cdot051$ c.

En el 2.º caso, $C=0\cdot004\times 480\times 1\cdot60=3\cdot072$ »

En el 3.º id. $C=0\cdot0053\times 480\times 1\cdot60=4\cdot070$ »

En el 4.º id. $C=0\cdot0066\times 480\times 1\cdot60=5\cdot069$ »

Estos resultados manifiestan la cantidad de trabajo útil

que puede dar una rueda de palas planas en un mismo salto de agua segun las circunstancias de su establecimiento.

Con el fin de evitar las pérdidas de fuerza viva en estas ruedas aprovechando la ventaja que ofrece su sencillez y la mayor velocidad que pueden adquirir, Mr. Poncelet imaginó dar una curvatura conveniente á sus palas resultando de aquí las

RUEDAS VERTICALES DE PALAS CURVAS MOVIDAS POR DEBAJO. Estas ruedas (fig. 100) sustituyen con ventaja las de palas planas y son muy usadas en todos los países industriales, pues, el efecto útil que producen es mucho mayor que el obtenido por aquellas.

El fondo del depósito ó recipiente está en igual nivel que el del conducto en que el agua llega á la rueda, en cuyo punto forma un arco perfectamente concéntrico con ella y termina por un resalto brusco para dar fácil salida al agua: la paradera se inclina de 60° ó de 45° para disminuir los efectos de la contraccion á cuyo objeto las paredes laterales de la abertura se redondean lo posible dando al canal el mismo ancho del orificio: tambien se procura que la pendiente debajo de la rueda sea de $\frac{1}{10}$ á $\frac{1}{15}$ con el fin de que el agua conserve toda la velocidad que tiene al salir por la abertura; y para que se desprenda inmediatamente despues de haber obrado se da al canal *a* de salida toda la seccion y pendiente que sea posible.

La curvatura de las palas es arbitraria con tal que sea continua pero se acostumbra darles la forma circular haciendo que el arco descrito por ellas sea normal á la circunferencia interior de la corona y casi tangente á la exterior. En el fondo y bordes laterales del canal se deja entre sus paredes y la rueda un juego de un centímetro si es de hierro colado, y de 2 centímetros si la rueda se hace de madera.

El efecto útil de estas ruedas es de 0'50 á 0'65 del efecto motor ó trabajo absoluto del salto ; y el efecto máximo se obtiene cuando la velocidad de la rueda es los 0'55 de la del agua y se han llenado todas las condiciones favorables al tiempo de establecerla.

Si la altura de la abertura es de 20 á 30 centímetros y el salto no llega á 1'50 m. se obtiene 0'65 del efecto motor, pero si el salto es mayor y la abertura del orificio es de 8 á 15 centímetros el efecto útil disminuye sensiblemente hasta 0'60.

Ejemplo : Hallar el efecto útil de una rueda de palas curvas movida por debajo, siendo de 480 litros el gasto y de 1'60 ms. la altura total del salto : la abertura es de 12 centímetros.

La fórmula será $C=0'008 \times V \times A$ que substituyendo da $C=0'008 \times 480 \times 1'60=6'144$ caballos.

Si la altura del salto fuese menor de 1'50 m. y la abertura del orificio estuviese comprendida entre 20 y 30 centímetros la fórmula del trabajo útil sería, $C=0'00867 \times V \times A$.

La distancia de las palas curvas en la circunferencia exterior se hace por término medio de 32 centímetros, y la capacidad comprendida entre dos de ellas y el canal debe ser doble del volumen correspondiente al gasto de agua ; y esta condicion podrá servir para determinar las demás dimensiones.

El diámetro de la rueda se determinará á voluntad haciendo que cuando menos equivalga al doble de la altura media del salto aumentada de dos veces el grueso de la lámina de agua. Pero en las ruedas hidráulicas el efecto útil y la velocidad no varían sea cual fuera el diámetro de la rueda, porque si es mayor, la rueda dará menos vueltas, y si es menor dará mas vueltas, pues, la velocidad á

la circunferencia de la rueda dependerá siempre de la que tenga el agua al llegar á ella.

RUEDAS DE CAJONES MOVIDAS POR ENCIMA. Estas ruedas bien establecidas dan un efecto útil mayor que todas las demás, y como su efecto máximo corresponde á una velocidad nula en la circunferencia de la rueda, se procura obtener el efecto máximo relativo dándole una velocidad que no llegue nunca á 2 metros.

Los cajones son angulares ó curvos y su número se determina haciendo que la distancia de uno á otro en la circunferencia exterior sea de 30 á 36 centímetros, y su profundidad en el sentido del radio se hará igual á esta misma distancia.

Es preciso dar á los cajones un perfil tal, que retengan el agua el mayor tiempo posible y que al llegar á la parte inferior queden completamente vacíos : para esto (figura 101) se toma la mitad *ac* de la parte *ab* de radio comprendida entre las dos circunferencias interior y exterior, y uniendo el punto medio *c* con el extremo *d* del siguiente se obtiene el perfil pedido.

El canal *t* debe dar el agua directamente al segundo ó tercer cajón contando desde el vértice superior de la rueda, y la lámina de agua no debe tener mas que de 5 á 8 centímetros de espesor, en cuyo caso si los cajones se llenan hasta la mitad se tendrá un efecto útil de 70 á 75 centésimos del trabajo absoluto del salto. Pero si los cajones son llenados hasta las dos terceras partes de su capacidad y la velocidad de la rueda es mayor, el efecto útil baja hasta los 60 ó 65 centésimos de dicho trabajo absoluto. La fórmula para el caso mas favorable será, $C=0'01 \times V \times A$; y para cuando la velocidad sea mayor y los cajones se llenen de los dos tercios arriba, se tendrá, $C=0'008 \times V \times A$.

Ejemplo: Hallar el efecto útil correspondiente á una rueda de cajones movida por encima, siendo la altura del salto 5'60 m. y el gasto de 480 litros de agua por segundo.

En el 1.^{er} caso será $C=0'01 \times 480 \times 5'60=26'88$ caballos.

En el 2.^o caso, $C=0'008 \times 480 \times 5'60=21'504$ caballos.

El diámetro de estas ruedas equivale á la altura total del salto disminuida de la altura ó carga que deba tener el agua en el canal de conduccion y del juego indispensable entre este y la rueda y entre la parte inferior de la rueda y el fondo.

La velocidad de las ruedas de cajones puede estar comprendida entre 30 y 80 centésimos de la del agua, y el número de vueltas se podrá determinar por la fórmula $n=$

$\frac{60 \times v}{\pi \times D}$. El ancho del canal de conduccion se puede deter-

minar conociendo el volúmen de agua que sale en un segundo y el grueso que ha de darse á la lámina de agua al llegar á la rueda. A esta le darán 5 centímetros mas de ancho por cada lado con el fin de que reciba toda la cantidad de agua dada por el canal de conduccion.

El uso de estas ruedas es ventajoso en los saltos mayores de 3 metros, pero si el nivel del salto es variable y el gasto excede de 500 litros por segundo la ventaja sobre las otras ruedas desaparece. Sin embargo, repetidas experiencias, hechas con ruedas de cajones movidas por encima en saltos de 3 á 9 metros y con una carga de agua en su vértice de $\frac{1}{8}$ á $\frac{1}{4}$ de la total altura del salto, han probado que en circunstancias favorables pueden dar el 80 por ciento del trabajo absoluto del agua; pero cuando es-

tas ruedas reciben el agua á la altura de su eje, solo dan de 60 á 64 centésimos del efecto motor.

TURBINAS. Las turbinas son ruedas horizontales de eje vertical que gozan la incomparable ventaja de ocupar muy poco espacio y de girar sumergidas á una profundidad cualquiera y á todas las velocidades, pudiéndose aplicar á grandes y á pequeños saltos.

La teoría de la turbina de Mr. Fourneyron ha conducido á Mr. Poncelet á observar que para una abertura determinada, el gasto de agua depende necesariamente de la velocidad de rotacion propia de la máquina y de tal modo crece con ella que llega á cambiar completamente la apreciacion de los efectos mecánicos. Pero segun los experimentos de Mr. Morin estas turbinas centrifugas dan un efecto útil que puede regularse de 70 á 78 centésimos del efecto motor.

La turbina (fig. 102) se compone de dos partes, la una fija que recibe el agua del depósito para conducirla á la parte móvil que es la rueda.

La parte fija tiene unas aberturas por donde es conducida el agua á las palas cilíndricas que se hallan en la circunferencia de la rueda. El agua al salir de aquellas aberturas con una velocidad debida al salto, choca contra las palas móviles y resbalando á lo largo de ellas las hace ceder, y la rueda en virtud de esta presion gira en torno del eje haciendo girar á este.

La velocidad á la circunferencia interior de la rueda debe ser cuando menos los 58 centésimos de la del agua.

En cuanto á las dimensiones de las partes que constituyen la turbina debe advertirse, que el diámetro interior de las coronas ha de ser los 70 centésimos del exterior, si la rueda es pequeña, y de 75 á 84 centésimos cuando la rueda es grande. Entre dos palas curvas debe quedar un

espacio circular próximamente igual á su altura, y el número de aberturas fijas ha de ser mitad del de las palas móviles si estas no exceden de 24, pero si hubiese mas, debería ser el tercio.

Los orificios ó aberturas que dan salida al agua son rectangulares y su superficie es el cuarto de la del círculo interior. El diámetro de este se puede hallar partiendo el gasto de agua en litros por 175 veces la velocidad debida al salto y extrayendo del resultado la raíz cuadrada.

La latitud ó ancho de los orificios de salida se hallará multiplicando el diámetro del círculo interior por 1'4, y su altura multiplicándolo por 0'14025.

El número de palas móviles se determinará partiendo la circunferencia interior por la altura de los orificios.

Ejemplo: Hallar el efecto útil y las dimensiones principales de una turbina para un salto de 5'60 m. con un gasto de 480 litros por segundo.

$$\text{Velocidad debida al salto } \sqrt{19.6 \times 5.60} = 10.476 \text{ ms.}$$

$$\text{Diámetro interior} = \sqrt{\frac{480}{175 \times 10.476}} = 0.511 \text{ ms.}$$

$$\text{Ancho de los orificios} = 1.4 \times 0.511 = 0.7154 \text{ ms.}$$

$$\text{Altura de los orificios} = 0.14025 \times 0.511 = 0.072 \text{ ms.}$$

$$\text{Circunferencia interior} = 3.1416 \times 0.511 = 1.605 \text{ ms.}$$

$$\text{Número de palas móviles} = \frac{1.605}{0.072} = 22$$

$$\text{Aberturas fijas} = \frac{22}{2} = 11$$

$$\text{El diámetro exterior} = 10 \times \frac{0.511}{7} = 0.73$$

El efecto útil será por término medio, los 75 centésimos del trabajo absoluto del salto, esto es, $C = 0.01 \times 480 \times 5.60 = 26.88$ caballos.

Para obtener el efecto útil máximo en una turbina bien establecida es preciso que la velocidad de la rueda sea los 70 centésimos de la del agua.

Cuando el gasto de agua y la altura del salto están sujetos á variar, debe hacerse el cálculo con arreglo á esta circunstancia para establecer la turbina en las condiciones que ofrezcan el mayor efecto posible durante el año. Pero si la variacion fuese muy notable, convendria establecer dos ó mas turbinas calculadas para el mayor, mediano y menor gasto y altura del agua.

COMPARACION DE LAS RUEDAS. — De todo lo dicho resulta, que las condiciones que han de llenar las ruedas para producir el efecto máximo no son las mismas, por cual razon no será indiferente emplear cualquiera de ellas, sino que deberá atenderse á las circunstancias de localidad; esto es, á la altura del salto, al gasto de agua, á la velocidad que se exija y á la fuerza que se quiera utilizar.

Así, las ruedas de palas planas movidas por debajo vendrán en los pequeños saltos con mucho gasto de agua: podrán marchar á gran velocidad, pero ofrecerán el inconveniente de utilizar una pequeña fraccion del trabajo debido al salto. No obstante, si estas ruedas se encajonan bien en el canal y reciben el agua por un vertedero, pueden dar hasta los 70 centésimos del efecto motor, aplicándose principalmente en los saltos de 1 á 3 metros. Si el salto fuese mayor, su diámetro que debe ser cuando menos el doble del salto haria la rueda de grandes dimensiones y por lo mismo muy pesada, lo cual aumentaria la pérdida del trabajo por el gran roce de los muñones. Es-

tas ruedas no pueden marchar cuando se sumergen sobre la altura de las palas.

Las ruedas de palas curvas bien ajustadas á un canal de forma circular, cuando el salto es menor de 1'50 m. pueden dar un efecto útil de 0'65 á 0'70, y en saltos mayores, de 0'50 á 0'60 del trabajo absoluto. Pueden marchar á considerable velocidad, sin que se pierda parte de su efecto útil. Su ancho, el del orificio y el del canal son á igualdad de fuerza mucho menores que las de palas planas, de que resulta su construccion mas económica y su peso mucho menor. Estas ruedas pueden marchar sumergidas hasta la tercera parte del salto, lo cual las hace muy útiles en los países sujetos á inundaciones, pero tienen el inconveniente de no poder funcionar á una velocidad menor de la que corresponde al efecto máximo, pues el agua produce una especie de rechazo que inutiliza gran parte del efecto.

Las ruedas de cajones gozan de iguales ventajas que las de palas planas, se aplican á saltos de 3 á 9 metros con poco gasto de agua, y su construccion es menos dispendiosa, pues, no hay necesidad de que la rueda ajuste en un canal circular. No pueden aplicarse á saltos mayores de 8 á 9 metros porque resultarian de grandes dimensiones y la excesiva carga de agua que suportaria el árbol ocasionaria frotamientos considerables. Estas ruedas deben marchar á pequeñas velocidades, por lo que es necesario multiplicar los engranajes de transmision, pero trabajan bien aunque se sumerjan á mayor altura de la corona.

Las turbinas de Mr. Fourneyron se aplican á todos los saltos desde los mas pequeños á los mas grandes. Dan un efecto útil de 70 á 79 centésimos del efecto motor y pueden marchar á velocidades muy diferentes de la que corresponde al efecto máximo sin que el trabajo útil difiera

notablemente de este máximo. Pueden funcionar á todas las profundidades, y en razon del poco espacio que ocupan ofrecen la ventaja de poderse colocar sin inconveniente en cualquier punto del establecimiento á que se destinan. La circunstancia de marchar con velocidad superior á la de otras ruedas dispensa de emplear transmisiones complicadas.

Tabla de la fuerza absoluta de un tipo según el número de ruedas que se colocan en el salto por unidad.

Número de ruedas	Efecto útil	Efecto motor	Velocidad	Longitud	Diámetro
1	0.01730	0.01730	100	1.000	1.000
2	0.03460	0.03460	100	1.000	1.000
3	0.05190	0.05190	100	1.000	1.000
4	0.06920	0.06920	100	1.000	1.000
5	0.08650	0.08650	100	1.000	1.000
6	0.10380	0.10380	100	1.000	1.000
7	0.12110	0.12110	100	1.000	1.000
8	0.13840	0.13840	100	1.000	1.000
9	0.15570	0.15570	100	1.000	1.000
10	0.17300	0.17300	100	1.000	1.000
20	0.34600	0.34600	100	1.000	1.000
30	0.51900	0.51900	100	1.000	1.000
40	0.69200	0.69200	100	1.000	1.000
50	0.86500	0.86500	100	1.000	1.000
60	1.03800	1.03800	100	1.000	1.000
70	1.21100	1.21100	100	1.000	1.000
80	1.38400	1.38400	100	1.000	1.000
90	1.55700	1.55700	100	1.000	1.000
100	1.73000	1.73000	100	1.000	1.000