

## Energía hidroeléctrica dinámica

La "turbina de succión" o "turbina de chorro" de Viktor Schaubberger

La ingeniería hidroeléctrica, hasta el día de hoy, se ocupa casi exclusivamente de dos variables: una es la diferencia de altura entre el agua de cabecera y la turbina y la otra es la cantidad de agua que puede fluir a través de las turbinas.

Una tercera variable importante, la velocidad del flujo de agua, generalmente no se considera importante. Se toma en consideración solo como la velocidad resultante de la liberación de la presión del agua relacionada con la diferencia de altura y dependiente de ella, pero no como un factor importante en sí mismo. De hecho, el diseño actual de las instalaciones hidroeléctricas normalmente excluye la utilización del potencial energético dinámico inherente al flujo libre del agua. Una presa destruye este potencial energético natural al llevar el agua de su estado dinámico de flujo a un estado estático, una ausencia total de movimiento.

Si estudiamos los escritos de Viktor Schaubberger y Ludwig Herbrand, descubrimos que la energía inherente al flujo libre y sin obstáculos del agua puede ser potencialmente mucho mayor que la que se puede obtener con el uso exclusivo de la presión resultante de la diferencia de altitud.

En los molinos y antiguas herrerías de la era preindustrial se ha utilizado un flujo normal de agua en lugar de una presión inducida por la altitud. Schaubberger

En tiempos recientes, fue Viktor Schaubberger, el inventor austríaco y genial observador de los mecanismos de la naturaleza, quien abogó por primera vez por el uso de una mayor velocidad del agua en lugar de la presión del agua para la producción de energía hidroeléctrica. En 1930 obtuvo una patente para lo que denominó turbina de chorro (Strahl turbine). (1)

Los principios utilizados por Schaubberger para aumentar la velocidad del agua eran la configuración en chorro de la tubería de entrada de agua y la promoción, mediante nervaduras espirales en el interior del chorro, de un movimiento de vórtice del agua.

La patente de Schaubberger nos da dos pistas muy importantes sobre los cambios innovadores en la tecnología hidroeléctrica.

La primera es que una tubería configurada como un embudo o chorro aumentará la velocidad del flujo del agua al restringir el espacio disponible en el que el agua puede fluir. Este aumento de la velocidad es especialmente grande si el embudo o chorro permite o incluso fomenta que el agua forme un patrón de flujo característico conocido como vórtice. Este patrón de vórtice en sí mismo tiene una tendencia, bastante independiente del efecto del chorro, a aumentar la velocidad del agua, a disminuir su temperatura y a aumentar la densidad del agua.

La segunda innovación propuesta por Schaubberger es un diseño revolucionario de la turbina, que consigue una rotación a velocidades muy altas y al mismo tiempo evita las dificultades habituales de cavitación que se encuentran en los diseños normales de turbinas de alta velocidad. De hecho, la rueda de la turbina de Schaubberger tiene forma cónica, con "costillas" que descienden en espiral por la superficie del cono en forma de sacacorchos, y está situada en el centro del chorro de agua. La rueda de la turbina en forma de sacacorchos divide el flujo de agua, absorbe la energía dinámica del agua y permite que el flujo continúe sin mayores interrupciones. Las turbinas del diseño actual "cortan" el agua en miles de contraflujos destructivos y vórtices cruzados, desperdiciando así gran parte de la energía disponible y provocando el problema común de la cavitación, una corrosión y destrucción superrápidas del material de las palas de la turbina. A continuación se muestra la descripción de este nuevo tipo de turbina según la patente de Schaubberger número 117 749:

"El objeto de la invención es una máquina hidroeléctrica, que utiliza la energía viva de un chorro de agua para el propósito de generar energía.

Según la invención, la rueda de la turbina es un cono con palas en forma de sacacorchos.

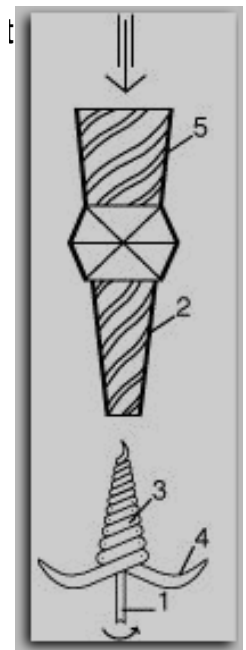
El cono está alineado con su eje en la dirección del eje del chorro. De esta manera, el chorro de agua se divide y se desvía de su curso y, por lo tanto, entrega toda su energía viva al cono giratorio de una manera que, siempre que la longitud del cono y el ancho de su base estén en una relación correcta entre sí y siempre que las palas estén colocadas en el ángulo correcto, estos parámetros dependiendo de la velocidad del chorro de agua, el agua saldrá de la máquina sin agitación.

La ilustración es una representación esquemática aproximada de la invención.

El cono giratorio, que está alineado con su eje (1) en la dirección del agua chorro que sale del tubo de chorro (2), está formado por palas (3) en forma de sacacorchos.

Los extremos (4) de estas palas (3) están doblados ligeramente hacia arriba contra la dirección del chorro de agua que llega para provocar una desviación del chorro y transferir la mayor cantidad posible de la energía viva del chorro al cono giratorio.

En el interior del tubo de chorro (2) hay nervaduras en forma de tornillo (5) que promueven un giro, lo que según observaciones reales aumenta la velocidad del chorro de agua y la eficiencia de la máquina.



#### REIVINDICACIONES DE PATENTE:

- Una turbina de chorro, que se distingue por el hecho de que en la trayectoria del chorro de agua y alineada con su eje de manera que se divide el chorro, hay una turbina que Anguila en forma de cono, cuya superficie está formada por hojas parecidas a sacacorchos.
- Turbina de chorro según la reivindicación 1, que se distingue por un tubo de chorro (2) con nervaduras (5) inclinadas en la dirección de giro de la rueda de la turbina".

Esta patente fue solicitada en 1926 y concedida en 1930. Parece que Schauberger utilizó en realidad una pequeña turbina de este diseño en un arroyo de agua cerca del edificio de los guardabosques durante esos años, para generar electricidad, pero no hay registros fiables disponibles. (2) Herbrand

Otro ejemplo del uso de las potencias dinámicas del agua corriente ha sido documentado por Ludwig Herbrand, un ingeniero alemán que, como estudiante a mediados de la década de 1930, fue llamado para evaluar y calcular los parámetros de algunos generadores y unidades excitadoras que se habían instalado recientemente en la central eléctrica de Rheinfelden, así como para diseñar la protección contra sobrecarga eléctrica y los mecanismos de conmutación pertinentes para estos generadores. También se le pidió que comparara los generadores con los de otra central eléctrica que se había descrito en un artículo de una revista especializada revista.

Para gran consternación del entonces joven e inquisitivo estudiante de ingeniería, parecía que los generadores bajo examen suministraban más energía eléctrica de la que debían, según la teoría aceptada. Uno de los generadores de la central eléctrica de Rheinfelden, con 50 metros cúbicos de agua por segundo y una diferencia de altitud de solo un metro, suministraba tanta energía como un generador en cerca de Ryburg-Schwörstadt, que tenía una capacidad de 250 metros cúbicos de agua por segundo y una diferencia de altitud desde las aguas de cabecera hasta la turbina de 12 metros. (3)

Este hecho fue confirmado por el profesor. Finzi, el diseñador de las turbinas y generadores, le dice al joven Herbrand:

"No te preocupes por esto. Es correcto. El generador funciona sin problemas desde hace algún tiempo. Haz los cálculos al revés y lo comprobarás por ti mismo. Somos ingenieros eléctricos. Esos otros problemas no son nuestros para resolverlos, los dejamos a los expertos en agua. Hemos repetido nuestras mediciones y la potencia del generador es exactamente la especificada. Lo único es que nadie lo sabe". (4)

Herbrand fue pronto reclutado en el ejército y la Segunda Guerra Mundial no le permitió investigar más sobre el tema. Sólo mucho más tarde, en los años 1970 y 1980, Herbrand retomó los cálculos realizados para sus exámenes de ingeniería e intentó -hasta ahora sin éxito- interesar a la industria y al gobierno en este uso diferente y más eficiente de la energía hidroeléctrica.

#### Datos técnicos

Intentaré delinear aquí los datos técnicos, utilizando cálculos que se basan en fórmulas aceptadas y consideraciones físicas confirmadas por experimentos reales, para demostrar que con un enfoque diferente a la ingeniería hidroeléctrica, podríamos obtener significativamente más energía eléctrica que la que se extrae de los recursos hídricos en la actualidad, con maquinaria más simple y menos gasto, así como con menos perturbaciones al medio ambiente.

Como se mencionó anteriormente, la ingeniería hidroeléctrica actual funciona con presión de agua, obtenida como resultado de la diferencia de altitud entre las aguas de cabecera y la

ubicación de la turbina. Esta presión, cuando se libera a través de la turbina, da como resultado una aceleración momentánea del agua y, por lo tanto, una cierta velocidad del chorro de agua. Esta velocidad se calcula con la fórmula.

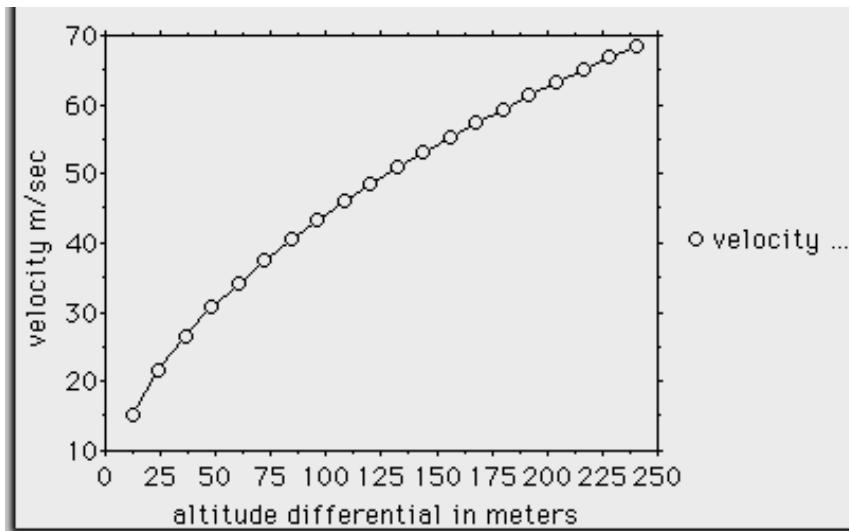
$$v = \text{Sqrt } 2 \cdot g \cdot h$$

v es la velocidad, g la aceleración gravitacional de la tierra (9,81 m/seg<sup>2</sup>) y h la diferencia de altitud medida en metros.

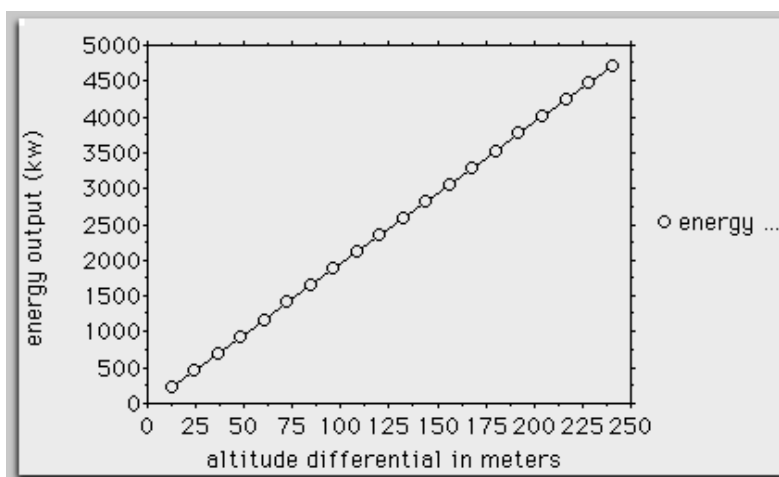
Ejemplo: Una altitud de 12 m da como resultado una velocidad de  $\text{Sqrt } 2 \cdot 9,81 \cdot 12 = 15,3$  m/seg. La progresión de la velocidad en relación con la diferencia de altitud se muestra en la siguiente tabla.

Altura en metros	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
Velocidad en m/seg	15,3	21,7	26,6	30,7	34,3	37,6	40,6	43,4	46	48,5
Altura en metros	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240
Velocidad en m/seg	50,9	53,1	55,3	57,4	59,4	61,4	63,3	65,1	66,9	68,6

Estos valores se representan gráficamente a continuación.



Vemos que la curva de velocidad al principio aumenta más abruptamente y luego tiende a aplanarse con mayores diferencias de altitud. Examinemos ahora la producción de energía en kilovatios con un aumento de la diferencia de altitud.



El aumento de la producción de energía es lineal, como se muestra en el gráfico anterior.

### Cálculo

La energía eléctrica que se puede obtener del agua se calcula en base a la velocidad de flujo y la masa del agua, es decir, la magnitud del flujo medida en metros cúbicos por segundo, según la fórmula

$$E_{kin} = m/2 \cdot v^2 \text{ (kw)}$$

Un ejemplo, suponiendo una velocidad de 25 m/seg y una masa de 5 metros cúbicos por segundo:

$$5 / 2 = 2,5 \cdot 25 \cdot 25 = 1562,5 \text{ kw}$$

A modo de comparación, se ofrecen algunos ejemplos adicionales (suponiendo un caudal de agua constante pequeño, de solo 2 metros cúbicos por segundo):

velocidad:

en m/s 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

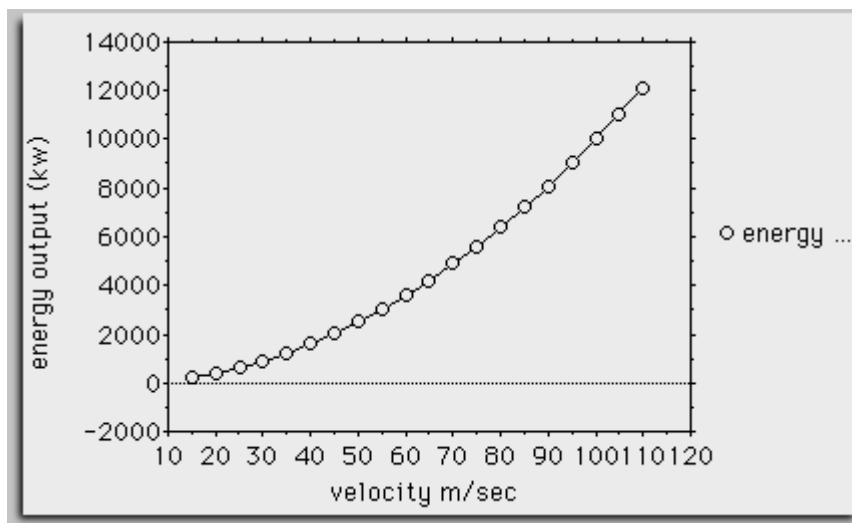
potencia eléctrica en Kw 225 400 625 900 1225 1600 2025 2500 3025 3600

velocidad en m/s 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110

potencia eléctrica en kw 4225 4900 5625 6400 7225 8100 9025 10 000 11

025 12,100

Estas cifras muestran que una duplicación de la velocidad cuadruplica la potencia de salida, un aumento triplicado de la velocidad conduce a un aumento de nueve veces de la potencia de salida. En otras palabras, tenemos un aumento exponencial. La curva de aumento de energía trazada en función de la velocidad del agua se muestra en este tercer gráfico.



La representación gráfica deja claro que un aumento de velocidad trae aumentos de energía progresivamente mayores. Por lo tanto, cuanto mayor sea la velocidad del agua, mayor será la eficiencia general de la planta de energía.

Sin embargo, para el propósito de utilizar la energía hidroeléctrica para generar energía eléctrica, es bastante irrelevante si la velocidad del agua es el resultado de la presión obtenida a través de la diferencia de altitud o si se obtiene de alguna otra manera, como alentando la tendencia natural del agua a fluir. Y parece que podemos aumentar la velocidad del flujo del agua casi a voluntad. Cómo aumentar la producción eléctrica Hay dos variables básicas en la ingeniería hidroeléctrica que determinan la producción eléctrica. Son la cantidad de agua disponible y la velocidad del flujo. La primera variable, la cantidad de agua disponible, depende en gran medida de la ubicación y generalmente no está sujeta a aumento por la intervención humana.

Es la segunda variable, la velocidad del flujo del agua, que puede manipularse de muchas maneras. Aparte de aumentar la presión del agua, que es una forma comparativamente

ineficiente de aumentar la velocidad del flujo, este parámetro puede verse influenciado por otras soluciones de ingeniería más simples y más rentables.

Es un principio común en coherencia aumentar la velocidad del flujo de los gases de escape calientes mediante una restricción de la trayectoria del flujo de estos gases. Esto se llama el principio del chorro y se ha utilizado con éxito durante décadas.

El mismo principio se puede utilizar para aumentar la velocidad de un flujo de agua, como un río. De hecho, cuando un río se ve obligado, por la configuración natural del terreno, a fluir a través de un desfiladero estrecho, la velocidad en el punto más estrecho es mucho mayor que antes y después del paso del río por el desfiladero. Este efecto se puede aprovechar buscando un desfiladero natural o estrechando artificialmente el lecho de un río para provocar un aumento de la velocidad del agua.

Otra forma de aumentar la velocidad del flujo del agua es promover la formación de un vórtice longitudinal. Se trata de un movimiento de giro o rodadura cuyo eje coincide con la dirección del flujo del agua. Estos vórtices tienen la propiedad de provocar un aumento de la velocidad del flujo y una contracción del diámetro del espacio que necesita la masa de agua. También provocan una disminución de la temperatura del agua y, por lo tanto, un aumento de su densidad. (La densidad específica más alta del agua se alcanza a una temperatura de + 4° C.)

El agua tiene una tendencia natural a formar vórtices, especialmente si su flujo se acelera por alguna influencia externa como la gravedad. Podemos observar esto notando el remolino con el que se vacía una bañera o un lavabo llenos o cualquier otro recipiente lleno de agua, si el agua se fuerza a fluir a través de un tubo conectado a un agujero en el fondo del recipiente. Pero incluso un simple grifo de agua, que libera un flujo de agua, mostrará este mismo fenómeno si el agua fluye relativamente tranquila, sin burbujas ni agitación. A medida que el agua gana velocidad, forma un vórtice claramente en forma de embudo justo ante nuestros ojos.

Una confirmación de esta tendencia de los vórtices a aumentar la velocidad del agua (o en otras palabras a disminuir la resistencia al flujo del agua) proviene de experimentos realizados en 1952 en la Escuela Técnica Superior de Stuttgart por el Prof. Franz Pöpel y Viktor Schauburger.

Los experimentos se realizaron con tuberías de diferentes materiales y diferentes formas, para determinar si los materiales o las formas tenían una influencia en la resistencia al flujo de agua en las tuberías.

**Parece que los mejores resultados se lograron con tuberías de cobre, y que este material causó menos resistencia al flujo del agua que incluso las tuberías de vidrio liso utilizadas como comparación. Pero el dato más importante que surge de estos experimentos es que, al utilizar una determinada tubería configurada en espiral, basada en la forma del cuerno del antílope kudu, la fricción en esta tubería disminuyó con un aumento de la velocidad y, en un punto determinado, el agua fluyó con una resistencia negativa. (5)**

## Teoría y práctica

La mejor teoría no vale el papel en el que está escrita, si no se puede poner en práctica. Por lo tanto, examinaremos la utilización práctica de estos principios en la ingeniería hidroeléctrica. El objetivo es aumentar la velocidad del flujo de agua hasta tal grado que el chorro resultante libere más energía cinética que el uso convencional de la presión del agua lograda con medios comparables.

Paso 1:

Como primer paso, el flujo normal de un río se lleva a una velocidad mayor mediante el recurso de un muro que restringe gradualmente el lecho del río. Esto aumentará la velocidad normal de flujo de 2 a 5 m/seg a unos considerables 10 a 15 m/seg.

Paso 2:

En En este punto, para aumentar aún más la velocidad, debemos proporcionar un canal de flujo que se asemeje más a la forma de un vórtice natural. Lo hacemos canalizando el agua que ya fluye rápidamente en el punto más estrecho del lecho del río en un "embudo" o "tubo de chorro" aproximadamente redondo que restringe gradualmente más el diámetro del canal de flujo del agua y, por lo tanto, provoca un aumento adicional en la velocidad.

Para ayudar a este proceso, podemos promover la formación de un vórtice en el embudo o tubo de chorro que garantizará que el agua salga del chorro a una velocidad considerable. Esto se hace ya sea mediante nervaduras espirales en el interior del tubo de chorro como propone

Schauberger, o formando todo el tubo en una configuración ligeramente "sacacorchos". Instalando una turbina y un generador en el punto de liberación del chorro de agua, preferiblemente del diseño propuesto por Schauberger, ahora proporcionará una salida de energía eléctrica mucho mayor que la lograda por medios comparables de la manera convencional. Cuando el paso 1 no es posible porque el río es demasiado pequeño, o cuando simplemente queremos adaptar las plantas de energía existentes para utilizar la energía dinámica del flujo de agua, el paso 2 aún se puede combinar de manera rentable con el diseño actual de la pequeña planta hidroeléctrica, modificando la forma de la tubería de carga a una configuración de embudo o de tubo de chorro, obteniendo así parte del aumento de velocidad a partir del uso normal de la gravedad y otra parte a través de la acción específica del efecto de chorro y el flujo de vórtice.

### Sin límite teórico

¿Existen límites a la velocidad a la que se puede hacer fluir un chorro de agua? Esta es una pregunta que obviamente debemos hacernos antes de embarcarnos en este tipo de proyecto.

Parece que teóricamente no hay limitaciones, siempre que se utilice el modo de flujo de vórtice. Si se fuerza al agua a fluir en tuberías rectas, la resistencia aumenta con el aumento de la velocidad. No es así cuando permitimos que el agua fluya en su modo natural, acomodando el vórtice resultante en nuestro diseño de tubería. En este caso, la resistencia puede ser muy baja e incluso negativa, como lo demuestran los experimentos realizados en Stuttgart.

Para estimar los posibles beneficios de utilizar las potencias dinámicas inherentes al flujo de agua, podemos suponer de manera conservadora que deberíamos poder obtener, sin dificultades particulares, velocidades entre 40 y 50 m/seg. Esta es una estimación basada en la observación de Herbrand de que en la planta de energía de Rheinfelden se logró una velocidad de 35 m/seg. Podemos ver en las tablas estadísticas anteriores que 45 m/seg de velocidad son equivalentes a un diferencial de altitud de más de 100 metros.

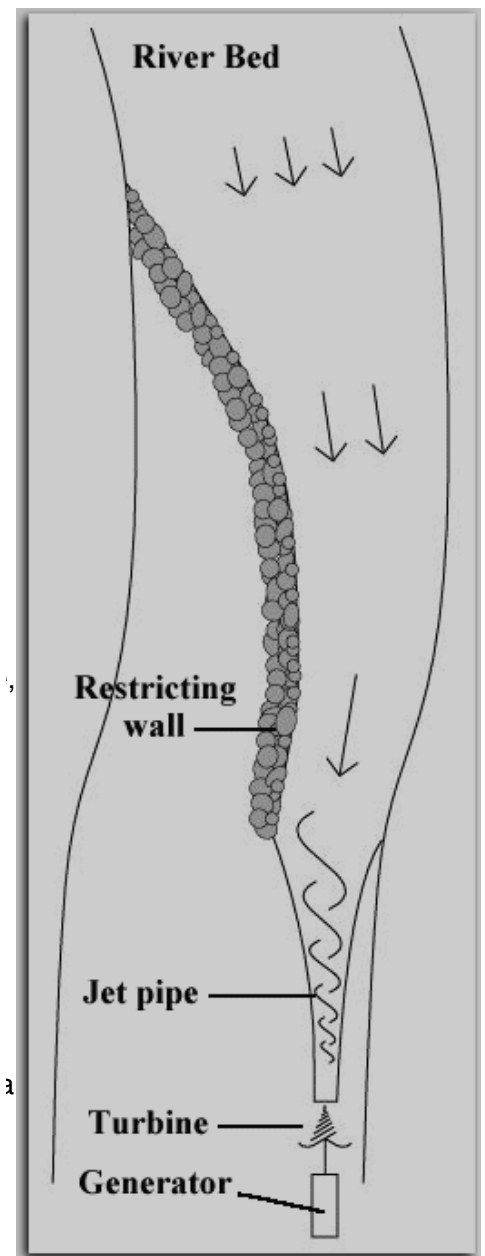
Y suponiendo que tenemos un flujo de agua de 10 m<sup>3</sup>/seg, podemos predecir (en  $v = 45$  m/seg) una salida de energía de 10 megavatios. Se trata de una cantidad considerable de energía y se puede obtener prácticamente en cualquier lugar a lo largo del curso normal de un río, sin la costosa y ambientalmente cuestionable práctica de construir una presa y un lago artificial para obtener 100 metros de diferencia de altitud. Si es cierto que la velocidad del flujo del agua se puede aumentar casi a voluntad y con medios

comparativamente simples a una fracción del costo de los diseños hidroeléctricos actuales, alguien podría preguntar:

**¿Por qué no estamos utilizando este método obviamente superior?**

### Las ideas fijas y la "ley de conservación de la energía"

Es muy difícil desaprender algo que uno estudió y especialmente si lo que se aprendió se necesitó después para aprobar un examen. El peso de las llamadas "leyes naturales" que se utilizan para apoyar estas doctrinas hace que sea aún más difícil para cualquier persona ponerse de pie y decir "¡oye, hemos pasado



algo por alto aquí!"

Por supuesto, "todo el mundo sabe" que el agua tiene que estar presurizada si vamos a utilizarla para la generación de energía hidroeléctrica. Y todo el mundo sabe también que la tecnología de la ingeniería hidroeléctrica está bien encaminada desde principios de siglo. ¿Por qué molestarse en buscar más?

No es así Ludwig Herbrand. Ha librado una batalla incesante durante más de 20 años para obtener el reconocimiento de esta nueva tecnología. Literalmente, ha enviado cientos de cartas al gobierno y a la industria, así como a instituciones internacionales, con muchísimas respuestas negativas, diciéndole más o menos educadamente que sus propuestas no son bienvenidas.

Es difícil atravesar esta barrera del "conocimiento", especialmente cuando los expertos creen ver una violación de la ley de conservación de la energía.

Se invoca la conservación de la energía cuando los cálculos no parecen permitir una mayor producción de energía. Pero en este caso tenemos un factor que se ha descuidado en nuestros cálculos, no una violación de las leyes de conservación.

### **El agua es un acumulador de energía**

Existen algunas evidencias de que la disminución de la temperatura del agua, que es una consecuencia del movimiento del vórtice, proporciona la energía al agua que luego vemos como energía cinética en forma de aumento de la velocidad del agua. De esta manera, un vórtice transformaría el calor (que es un movimiento molecular aleatorio) en energía dinámica (que es movimiento en una dirección determinada). Schauberger destacó el hecho que el agua podía almacenar enormes cantidades de energía al calentarse. En un artículo sobre el río Danubio afirma que para calentar un metro cúbico de agua en tan solo 0,1 grados C, se necesitan unos 42.700 kgm de energía, y dice que esto demuestra las enormes energías que se encuentran ligadas cuando el agua se calienta y se liberan cuando el agua se enfría. (6)

La termodinámica, tal como se enseña en nuestras escuelas y universidades, no permite una transformación bidireccional del calor con bajas diferencias de temperatura. La termodinámica se basa en la observación de máquinas de vapor y tiene poco que ver con la naturaleza, aunque algunos insisten en que las llamadas leyes de la termodinámica son "leyes naturales".

Sin embargo, la termodinámica no es capaz de explicar ciertos fenómenos naturales.

(7)

En los cálculos de la producción de energía eléctrica, la velocidad no se considera por separado, sino como resultado única y exclusivamente de la diferencia de altitud. Eso es como decir que no hay otra forma de lograr la velocidad del agua que la presión. Puede que sea la forma de calcular de los expertos, pero la realidad física es diferente. La velocidad del agua, como hemos visto, no está exclusivamente vinculada a la presión, sino que puede lograrse con diferentes medios.

Por lo tanto, la forma correcta de calcular es partir de la velocidad y llegar a la potencia de salida. La diferencia de altitud y la velocidad equivalente calculada en la fórmula da anteriormente son un caso especial, no la regla general.

**Debemos distinguir entre la velocidad equivalente inducida por la presión y la velocidad natural del agua que fluye. Es decir, debemos distinguir entre la gravedad y la inercia. Estas dos fuerzas son similares en sus efectos, pero son, no obstante, dos fuerzas claramente diferentes. Este artículo no permite un examen detallado de las fuerzas físicas involucradas. Para aquellos que estén interesados en este tema, me gustaría hacer referencia a un artículo que escribí sobre los fundamentos de la física en EXPLORE! en 1992.** (8)

Espero que este artículo pueda contribuir a superar la "barrera del conocimiento", los diversos "todo el mundo sabe" en el campo de la ingeniería hidráulica. A cualquiera que desee utilizar los poderes dinámicos del agua le recomiendo que estudie los escritos de Viktor Schauberger, el gran maestro de la ingeniería hidráulica que permaneció al margen de la ciencia oficial toda su vida, porque sus puntos de vista eran radicalmente diferentes de los de los profesores de su tiempo.

Josef Hasslberger

Roma, Italia

Diciembre de 1993

Referencias:

1. Patente otorgada a Viktor Schauburger por la Oficina de Patentes de Austria, número 117 749 del 10 de mayo de 1930
2. Implosion nr. 58, pg 31 artículo (sin firmar) "¿Se puede aprovechar la energía?"
3. Hasslberger, Josef Understanding Water Power  
¡EXPLORE! Vol. 4 número 1, 1993
4. Herbrand, Ludwig "Das Geheimnis der Wasserkraft", 1 de noviembre de 1990, pág. 9
5. Alexandersson, Olof "Living Water" Gateway Books, Bath, Reino Unido
6. Schauburger, Viktor "Das Problem der Donauregulierung" en Implosión nr. 23
7. 8.  
Hasslberger, Josef Un nuevo comienzo para la termodinámica ¡EXPLORA! vol. 4 número 5, 1993
- Hasslberger, Josef Vortex - El movimiento natural ¡EXPLORA! vol. 3 número 5, 1992