

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 284**

51 Int. Cl.:

E02B 9/00 (2006.01)

F03B 13/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2009 E 09784965 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2016 EP 2321468**

54 Título: **Sistema de generación de energía hidroeléctrica**

30 Prioridad:

21.08.2008 GB 0815311

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.10.2016

73 Titular/es:

**AQUANOVIS HOLDINGS LIMITED (100.0%)
Hamm Court Farm, Hamm Court, Weybridge
Surrey KT13 8XZ, GB**

72 Inventor/es:

JANKEL, PAUL

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 586 284 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de generación de energía hidroeléctrica

La presente invención está dirigida a un procedimiento para la construcción de un sistema de generación de energía hidroeléctrica y a sistemas de generación de energía hidroeléctrica construidos por un procedimiento de este tipo.

5 En la actualidad, una serie de problemas fundamentales limitan la capacidad de construir y de usar sistemas de generación de energía hidroeléctrica.

Los sistemas de generación de energía hidroeléctrica habituales requieren la construcción de una presa en un valle en el curso de un río. El flujo de agua en el río hace entonces que el agua se embalse, se eleve el nivel del agua, y la columna de agua resultante se use para la generación de energía hidroeléctrica entre la parte superior del nivel del agua y la base de la presa.

Este tipo de sistemas de generación de energía hidroeléctrica requieren el uso de una gran área de tierra, suponen costes de construcción considerables, afectan el flujo de agua corriente abajo, tienen un considerable efecto visual perjudicial sobre la zona de la presa y la zona de embalse resultante, y tienen un efecto considerable y perjudicial sobre la flora y la fauna corriente abajo debido al limo que anteriormente ha recorrido toda la longitud del río que se recoge en el embalse y evita que fluya corriente abajo.

Una alternativa son los sistemas de generación de energía hidroeléctrica de "columna" baja de río fluyente que no requieren que se construya una presa pero que requieren que un volumen muy grande de agua fluya a través de los mismos con el fin de generar la suficiente energía eléctrica para justificar su construcción. Estos también tienen desventajas y, en particular, ralentizan el caudal de agua en el río y también provocan una desfiguración sustancial del río. Aunque los sistemas de río fluyente pueden construirse para usar solo una pequeña parte del agua que fluye en un río, la producción de potencia es pequeña.

Los sistemas de generación de energía hidroeléctrica convencionales también fallan en el aprovechamiento de las fuentes de agua que proporcionan una gran energía potencial, tales como las cascadas montañosas y otras fuentes de agua de caída libre. Estas fuentes de agua son especialmente útiles ya que pueden proporcionar una gran caída vertical, y el desvío de agua a un sistema de generación de energía hidroeléctrica en su recorrido hasta el fondo de la caída vertical no debe provocar ningún efecto medioambiental adverso.

La generación hidroeléctrica convencional tiene varios problemas.

1) Uso de la tierra: hay una escasez de sitios topográficamente adecuados y disponibles para las presas en el mundo desarrollado. La tierra es un recurso escaso y valioso; dondequiera que se construya una presa habrá una considerable pérdida de tierra.

2) Extracción de agua: los proyectos hidroeléctricos de "columna" baja, que comprenden, por ejemplo, diseños de río fluyente convencionales, se ven obligados a usar enormes cantidades de agua para generar la energía suficiente como para justificar económicamente su construcción. Normalmente, esto implica el bloqueo de la navegación fluvial. Las presas bloquean completamente los ríos y usan todo el caudal del río para generar electricidad.

3) Elevado gasto para las presas y la infraestructura: en todos los casos de generación hidroeléctrica comercial hay una gran inversión de capital en hormigón y acero. Evitar este gasto sería una gran mejora tanto desde una perspectiva económica como medioambiental. También hay un gasto desmesurado de carbón en la construcción de proyectos hidroeléctricos a gran escala.

4) Se acepta ampliamente que los sistemas de generación de energía hidroeléctrica convencionales tardan al menos un ochenta por ciento de su vida útil operativa en amortizar sus costes de construcción.

5) Tubería de superficie: esta es ambientalmente perjudicial e imposible de instalar en acantilados escarpados y pendientes pronunciadas.

6) Sustitución de la planta: en muchos proyectos hidroeléctricos a gran escala los generadores de turbina se construyen en los cimientos de la presa, por lo que es difícil o imposible sustituirlos. Esto conduce, naturalmente, a una degradación de la eficiencia de tales sistemas a lo largo del tiempo.

7) Biodiversidad en el ecosistema local: como se ha mencionado anteriormente, las presas convencionales y los proyectos de río fluyente requieren el aprovechamiento de la mayor parte, si no de la totalidad, de una fuente de agua. Esto dificulta la vida silvestre local de los ríos. La extracción de agua y su efecto sobre la biodiversidad es una preocupación creciente en todo el mundo y es un factor limitante para un nuevo proyecto hidroeléctrico.

Además, hay numerosas localizaciones montañosas y muy inclinadas con caídas naturales de agua en las que no hay capacidad para represar o construir un proyecto de río fluyente. La presente invención trata de hacer uso de tales localizaciones. Tales lugares (por ejemplo lugares montañosos) a menudo también están lejos de una red de

suministro eléctrico nacional o local convencional, y la presente invención trata de superar este problema proporcionando un sistema de generación de energía hidroeléctrica que pueda instalarse en estas localizaciones y conectarse a una red de suministro eléctrico tal como una red de suministro eléctrico nacional o local.

5 La técnica anterior relevante incluye los documentos JP 11081288, US 4014173, SU 589329 y JP 10299636. El documento JP 11081288 desvela un sistema en el que se hace pasar el agua desde una fuente de agua (W) a una primera altura (h_1) a través de una turbina (1) de generación de electricidad a un compartimento (15) de almacenamiento de agua de un tanque (13) a una segunda altura (h_2). A continuación, se usa un efecto de sifón para extraer el agua del compartimento de almacenamiento de agua, devolviéndola sustancialmente a la primera altura (h_1) desde la que, a continuación, sale a la fuente de agua en la segunda altura (h_2). Como se observará, los sifones dependen de la presión hidrostática para conducir el agua. La ecuación de Bernoulli describe la acción de los sifones y puede usarse para obtener la altura y el caudal máximos de un sifón, y confirma que la máxima altura posible de un sifón es de aproximadamente 10 metros, y que cuanto mayor es la altura más lenta es la velocidad del flujo de agua en el sifón. Por lo tanto, este sistema tiene limitaciones fundamentales en términos de la caída vertical que puede admitir y la salida posterior de agua lejos del compartimento (15) de almacenamiento de agua del tanque (13).

El documento US 4014173 desvela un sistema de presa en el que una turbina de potencia se acciona por la columna de la presa, transportándose el agua desde una altura en la parte inferior de la presa (por debajo del nivel de superficie del río 12) y, a continuación, vuelve a una altura por encima del nivel de superficie del río 12.

20 El documento SU 589329 desvela un sistema hidroeléctrico subterráneo en el que un conducto (3) transporta el agua desde un depósito hacia abajo a una turbina y, a continuación, a través de un tubo de succión a un depósito inferior.

El documento JP 10299636 desvela un sistema de molino de agua de río fluyente.

25 Como se ha señalado anteriormente, tales sistemas de la técnica anterior o bien están limitados en las fuentes de agua que son capaces de usar, o darán como resultado un impacto ambiental negativo considerable, requiriendo, por ejemplo, la construcción de presas y, por lo tanto, afectando de manera negativa al flujo de agua corriente abajo de la presa.

30 Además (y como se trata a continuación), los sistemas de la técnica anterior requieren un flujo de agua relativamente alto con el fin de generar una determinada cantidad de potencia, tienen una baja producción de potencia por metro cúbico de agua que pasa a través de los mismos, y la producción total de dióxido de carbono por megavatio hora de electricidad generada durante la vida útil de la central hidroeléctrica es alta en comparación con la de la presente invención.

Otras publicaciones incluyen los documentos EP0545885A y GB2054280A.

El documento EP-A-0 545 885 (D1) se considera como la técnica anterior más próxima a la materia objeto de las reivindicaciones 1 y 10.

35 El documento D1 muestra un procedimiento de construcción de un sistema de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura a una segunda altura, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- (i) construir una caverna de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura;
- 40 (ii) instalar al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea;
- (iii) cuando dicha localización de fuente de agua no esté en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura, colocar dicha localización de fuente de agua en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura.

45 El documento D1 desvela además un sistema de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura a una segunda altura, comprendiendo el sistema de generación de energía hidroeléctrica:

- (i) una caverna de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura;
- 50 (ii) un primer túnel desde dicha caverna de energía subterránea a una localización de fuente de agua en o adyacente y en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura;
- (iii) una tubería (implícitamente conocida) en dicho primer túnel para definir un primer conducto que durante el uso transporta agua desde dicha localización de fuente de agua a dicha caverna de energía subterránea;
- (iv) un segundo conducto desde dicha caverna de energía subterránea a dicha fuente de agua en o por debajo de dicha segunda altura;
- 55 (v) al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea en comunicación de flujo de fluido con dicho primer túnel y su trayectoria de flujo de fluido.

La presente invención pretende superar las desventajas de la técnica anterior. De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento de construcción de un sistema de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura a una segunda altura, estando la primera altura al menos 10 metros por encima de la segunda altura, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- (i) construir una caverna de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura, teniendo dicha caverna de energía subterránea una cubierta de techo desmontable;
- (ii) realizar una perforación direccional para definir un primer túnel desde dicha caverna de energía subterránea a una localización de fuente de agua en o adyacente a dicha fuente de agua en dicha primera altura, teniendo dicho primer túnel un diámetro no mayor de 6 metros;
- (iii) instalar una tubería en dicho primer túnel para definir un primer conducto que durante el uso transporta agua desde dicha localización de fuente de agua a dicha caverna de energía subterránea;
- (iv) construir un segundo conducto desde dicha caverna de energía subterránea a dicha fuente de agua en o por debajo de dicha segunda altura;
- (v) realizar una perforación direccional para definir un segundo túnel desde dicha caverna de energía subterránea a una red de suministro eléctrico;
- (vi) instalar al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea en comunicación de flujo de fluido con dicho primer túnel y dicho segundo conducto;
- (vii) instalar al menos un cable eléctrico en dicho segundo túnel que conecte dicha al menos una turbina de generación de electricidad a dicha red de suministro eléctrico; y
- (viii) cuando dicha localización de fuente de agua no esté en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura, colocar dicha localización de fuente de agua en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura.

Además de la tubería forzada y los puntos de acceso físico, el resto de la construcción es subterránea. Esto es intencionado para reducir el impacto medioambiental del sistema. Esto, a su vez, facilita un procedimiento de permisos más sencillo en zonas medioambientalmente sensibles y, de hecho, permite la construcción de un sistema de generación de energía hidroeléctrica en zonas que, de lo contrario, serían inadecuadas para otros sistemas de generación de energía hidroeléctrica (técnica anterior).

La presente invención crea una "columna" de agua extremadamente alta en la parte inferior del primer túnel, hasta aproximadamente cuarenta atmósferas de presión. Un objetivo de la presente invención es (como se detalla a continuación) reducir la extracción de agua al mínimo: como se duplica la "columna" de agua, se reduce a la mitad el agua requerida para producir la misma potencia.

Al centrarse en las cascadas y las fuentes de agua de caída libre, la presente invención reduce además el impacto en la biodiversidad local. La extracción de agua es un tema sensible para cualquier tipo de vida acuática del río. En las denominadas "zonas de excepcional belleza", tales como los parques nacionales, la cantidad de agua extraída de cualquier fuente de agua puede limitarse por factores puramente estéticos. La presente invención maximiza la producción de potencia en relación con la cantidad de agua que fluye a través del sistema. En consecuencia, solo necesita extraerse un pequeño porcentaje del flujo de agua de cualquier fuente de agua determinada. El agua extraída se devuelve a la fuente de agua corriente abajo en o por debajo de la segunda altura.

Como puede observarse a partir de los resultados mostrados en las figuras 9 y 10 (a continuación), la presente invención proporciona una mejora sustancial con respecto a las instalaciones de generación de energía hidroeléctrica de la técnica anterior existentes en términos de la producción de potencia eléctrica lograda por metro cúbico de agua usada. Esto es especialmente útil en vista de los potenciales cambios futuros en la legislación que darán lugar a que se haga un recargo por unidad de volumen de agua usada y que, por lo tanto, premiará a los que minimizan su consumo de agua.

Preferentemente, la primera altura está al menos 50 metros por encima de la segunda altura. Preferentemente, la primera altura está al menos 100 metros por encima de la segunda altura. Más preferentemente, la primera altura está al menos 200 metros, más preferentemente al menos 250 metros, más preferentemente al menos 300 metros, más preferentemente al menos 350 metros, más preferentemente al menos 400 metros, por encima de la segunda altura, más preferentemente al menos 450, 500, 550 o 600 metros por encima de la segunda altura.

Preferentemente, el primer conducto tiene una capacidad de flujo de al menos 1 m^3 por segundo. En ciertas realizaciones, el primer conducto tiene una máxima capacidad de flujo de menos de 2 m^3 por segundo. En ciertas realizaciones, el primer conducto tiene una capacidad de flujo de al menos o hasta 2, 3, 4, 5 o 6 m^3 por segundo.

Preferentemente, la fuente de agua en la primera altura es una fuente de agua que corre libremente, tal como un río. Evidentemente, pueden usarse otras fuentes de agua, tales como los lagos, que tienen agua que fluye hacia dentro y hacia fuera de las mismas.

Preferentemente, el procedimiento también comprende la etapa de definición de una tubería forzada en la localización de fuente de agua. Las tuberías forzadas pueden construirse con filtros y dispositivos de control de flujo

para filtrar hacia fuera objetos grandes que, de otro modo, podrían bloquear o dañar el primer conducto o la al menos una turbina de generación de electricidad y para controlar el flujo en el primer conducto.

Preferentemente, la tubería forzada comprende además medios de prevención de vórtices.

5 Preferentemente, el primer túnel tiene un diámetro no mayor de 5, más preferentemente no mayor de 4, más preferentemente no mayor de 3, lo más preferentemente no mayor de 2 metros.

10 Preferentemente, la tubería instalada en el primer túnel para definir el primer conducto se instala para definir un solo tubo. Sin embargo, la necesidad absoluta de esto puede variar dependiendo del tipo de roca que define el primer túnel. Por ejemplo, las secciones del túnel que se definen por una roca muy poco porosa puede que no necesiten tener instalada una tubería, mientras que otras secciones que se definen por una roca menos densa y más porosa requerirán que se instale una tubería.

15 Preferentemente, la tubería (especialmente para el primer conducto) es una tubería de presión. Por ejemplo, con una columna de 400 metros (es decir, la diferencia entre las alturas primera y segunda), puede usarse una tubería de acero grado X52 API 5L (PSL1) (Corus Steel, Reino Unido). Esta tubería puede admitir una presión interna de 40 atmósferas usando un espesor constante de 12,7 mm. Preferentemente, la tubería se cubre además con una protección exterior de tres capas en la forma de un recubrimiento de polietileno o de polipropileno de 3 capas, con una capa resistente al agua que protege la superficie interna de la tubería para mejorar su longevidad. Durante la construcción, una vez que las tuberías se han soldado entre sí, se someten a continuación a rayos X para detectar cualquier imperfección o fractura en la junta de soldadura y para confirmar que la junta será capaz de soportar la presión durante el uso. Por supuesto, una junta de soldadura defectuosa haría que la presión del agua rompiera la junta durante el uso, lo que a su vez provocaría fugas de agua y una reducción de la generación de presión y de potencia total. A continuación, se usan manguitos para cubrir la soldadura y se calientan para adherirlos por termoretracción alrededor de las juntas de soldadura.

20 Otras formas de tuberías serán fácilmente evidentes para los expertos en la materia y su idoneidad se determinará de acuerdo con los parámetros de la construcción a realizar. Por ejemplo, de acuerdo con la presión de columna e interna, puede ser posible usar tuberías a base de carbono, tales como tuberías de polipropileno. Por ejemplo, puede usarse un tubo reforzado con vidrio (GRP).

25 Preferentemente, el primer túnel es de un diámetro constante a lo largo de su longitud. Preferentemente, la tubería de presión se usa en el primer túnel que tiene unos diámetros interno y externo constantes (por ejemplo, la tubería de acero grado X52 API 5L (PSL1) (Corus Steel, Reino Unido)).

30 Como alternativa, la tubería puede tener un diámetro interno constante, pero variar en espesor, es decir, un diámetro externo variable, siendo el espesor del tubo adecuado para la presión que se ejerce durante el uso por el agua que pasa a través de la tubería. Esto puede proporcionar un ahorro de costes en comparación con el uso de tuberías de presión a lo largo de toda la longitud del primer túnel. Por ejemplo, puede no requerirse una tubería de presión en la parte superior del primer túnel (es decir, adyacente a la localización de fuente de agua), mientras que en la parte inferior del primer túnel (es decir, adyacente a la caverna de energía subterránea) la presión ejercida durante el uso por el agua es muy importante y, por lo tanto, requiere una tubería de presión adecuada.

35 Como alternativa, la tubería puede tener un diámetro interno variable. Por lo tanto, puede variarse el diámetro interno y/o externo de la tubería con el fin de permitir que contenga la presión del agua durante el uso.

40 Preferentemente, el ángulo promedio con respecto a la horizontal del primer túnel entre la caverna de energía subterránea y la fuente de agua es de 22-35 grados. Preferentemente, el ángulo con respecto a la horizontal del primer túnel entre la caverna de energía subterránea y la fuente de agua varía entre 22 y 35 grados. Por lo tanto, el ángulo del túnel puede variar de sección a sección del túnel, pero preferentemente se mantiene dentro del intervalo de 22-35 grados con respecto a la horizontal. Preferentemente, el ángulo se determina a lo largo de una distancia de al menos 5 metros, más preferentemente al menos 10, 15, 20, o 25 metros, más preferentemente aún al menos 50 o 45 100 metros. En particular, este es el caso cuando la tubería es una tubería de acero.

Otras formas de tuberías pueden permitir diferentes intervalos de ángulo con respecto a la horizontal. Por lo tanto, por ejemplo, puede ser adecuado que el ángulo promedio con respecto a la horizontal del primer túnel entre la caverna de energía subterránea y la fuente de agua sea de hasta 45 grados, preferentemente entre 22 y 45 grados. Como antes, el ángulo varía preferentemente entre esos valores. Preferentemente, el ángulo se determina a lo largo de una distancia de al menos 5 metros, más preferentemente al menos 10, 15, 20, o 25 metros, más preferentemente aún al menos 50 o 100 metros. Las formas preferibles de tuberías para tales intervalos de ángulo aumentados incluyen tuberías a base de carbono, tales como GRP.

50 Preferentemente, las longitudes de tubería no superan los 0,6 grados, adoptando a su vez un diámetro de aproximadamente 1 metro y una longitud de tubería de 10 metros.

55 Al mantener el ángulo del primer túnel dentro del intervalo dado de 22-35 grados con respecto a la horizontal, se logran una serie de ventajas. En particular, la tubería a instalar, se asienta y se mantiene convenientemente en su

posición por la gravedad en lugar de ejercer unas cantidades de fuerza de compresión excesivamente grandes sobre la siguiente sección por debajo de la tubería. Además, se facilita la construcción ya que la gravedad ayuda en la colocación de la tubería.

5 La disposición del segundo conducto de agua no necesita ser un tubo enterrado y simplemente se requiere devolver el agua en uso a la fuente de agua en o por debajo de la segunda altura. Por lo tanto, por ejemplo, puede comprender un tubo enterrado. Como alternativa, puede ser un tubo localizado en la superficie.

10 Como se verá a partir de la realización específica, la presente invención proporciona una considerable mejora medioambiental en comparación con los sistemas de generación de energía hidroeléctrica de la técnica anterior, siendo la producción total de CO₂ por megavatio hora durante la vida útil total de la instalación de generación de energía hidroeléctrica significativamente menor que la de las instalaciones existentes comparables.

Además, es especialmente deseable obtener la máxima producción de potencia posible a partir de una determinada unidad de volumen de agua, siguiendo las iniciativas de legislación medioambiental, lo que dará como resultado la imposición de un gravamen o impuesto sobre cada unidad de volumen de agua que se retira de un suministro de agua, fomentando de este modo la conservación de las fuentes de agua.

15 La presente invención logra una producción de potencia sustancialmente mayor por unidad de volumen de agua que los sistemas de generación de energía hidroeléctrica de la técnica anterior, y proporciona de este modo una mejora significativa sobre la técnica anterior.

20 Además, los bajos costes de construcción que pueden lograrse con la presente invención pueden permitir la amortización de los costes de construcción dentro de un período de tiempo mucho más corto que los sistemas de generación de energía hidroeléctrica actuales y, por lo tanto, permitir una recuperación sustancialmente mejorada de la inversión y, por lo tanto, fomentar y permitir también la construcción de sistemas de generación de energía hidroeléctrica en localizaciones que anteriormente no se hubieran considerado económicamente viables o atractivas.

25 Las turbinas de generación de electricidad se conocen bien en la técnica y las turbinas adecuadas serán fácilmente evidentes para los expertos en la materia. Preferentemente, al menos una turbina de generación de electricidad es una turbina Pelton.

Preferentemente, la producción de potencia total de la al menos una turbina de generación de electricidad no es mayor de 5 megavatios. En ciertas realizaciones, la producción de potencia total de la al menos una turbina de generación de electricidad es mayor de 5 megavatios.

30 La producción de potencia total transportada en el segundo túnel por el al menos un cable eléctrico desde la al menos una turbina de generación de electricidad a la red de suministro eléctrico puede estar limitada en la práctica por la resistencia del al menos un cable eléctrico que genera calor, y la necesidad de efectuar el enfriamiento en el segundo túnel. Obviamente, la generación de calor puede reducirse aumentando la tensión y disminuyendo el amperaje o usando al menos un cable eléctrico que tenga una resistencia más baja, pero puede lograrse un límite general a la capacidad de potencia conveniente y práctica del al menos un cable eléctrico. Como tal, la producción de potencia total de la al menos una turbina de generación de electricidad puede ser no mayor de 5 megavatios. Preferentemente, no es mayor de 4 megavatios.

40 De acuerdo con la invención, la caverna de energía subterránea se fabrica con una cubierta de techo desmontable. Por ejemplo, la cubierta de techo puede ser una cubierta de techo de hormigón, cubierta a su vez por el suelo, de tal manera que las plantas pueden crecer en la parte superior de la caverna de energía subterránea. De esta manera, la caverna de energía subterránea puede tener un mínimo impacto medioambiental y estético, y también puede permitir un acceso relativamente cómodo siempre que la al menos una turbina de generación de electricidad tenga que sustituirse posteriormente; las turbinas de generación de electricidad son piezas muy importantes del equipamiento y, como se ha señalado anteriormente, sustituir las en una instalación de presa hidroeléctrica convencional puede ser especialmente difícil. Al proporcionar una cubierta de techo desmontable, el techo puede retirarse y obtener un cómodo acceso a la caverna de energía subterránea, pudiendo, por ejemplo, emplearse a continuación una grúa, para extraer una turbina de generación de electricidad existente e introducir una turbina de generación de electricidad de sustitución. A continuación, la cubierta de techo puede volver a ponerse en su lugar y, por ejemplo, volver a ponerse las plantas y el suelo en la parte superior de la misma. Este tipo de trabajo puede ser necesario solo una vez cada cincuenta años o más, y como tal es un mantenimiento aceptable, en particular por el aumento de longevidad que proporciona a la instalación.

Preferentemente, la caverna de energía subterránea de la etapa (i) se construye en primer lugar mediante la construcción de una cavidad de excavación desde la que pueden realizarse cómodamente la perforación, la instalación y la construcción de las etapas (ii)-(vii) y, a continuación, la colocación sobre la misma de una cubierta de techo, definiendo de este modo la caverna de energía subterránea.

55 La presente invención también tiene en cuenta los aspectos prácticos de la transmisión de la energía generada a la red de suministro eléctrico, por ejemplo, una red de suministro eléctrico local o nacional. Mediante el uso de la perforación direccional para hacer un conducto subterráneo para cables eléctricos, se minimiza aún más el impacto

medioambiental.

Preferentemente, el procedimiento comprende, además, la etapa de conectar la al menos una turbina de generación de electricidad a una instalación de producción de agua potable con el fin de alimentar la instalación de producción de agua potable. Preferentemente, el procedimiento comprende, además, conectar el segundo conducto o la caverna de energía subterránea a una instalación de producción de agua potable con el fin de dotarla tanto de agua como de electricidad para la producción de agua potable.

Preferentemente, la fuente de agua es agua que fluye hacia una cascada o hacia una localización de caída libre.

En una realización alternativa, la fuente de agua es agua de deshielo glacial, es decir, el sistema de generación de energía hidroeléctrica se construye con el fin de usar el agua de deshielo glacial como fuente de agua. Preferentemente, la energía que se genera se usa para alimentar un sistema de refrigeración. Preferentemente, el sistema de refrigeración es un sistema de refrigeración para un glaciar. Por lo tanto, el agua de deshielo glacial puede usarse para generar energía que se usa para enfriar el glaciar, dando como resultado un deshielo más lento del glaciar. Preferentemente, el calor del sistema de refrigeración se dirige al agua de deshielo que fluye a medida que pasa a, o a través de, el segundo conducto, de tal manera que se lleva lejos del glaciar y no provoca el calentamiento del glaciar.

Por lo tanto, la presente invención supera numerosos problemas técnicos:

1) Uso de la tierra: la presente invención evita la necesidad de construir presas a gran escala; en consecuencia, no se pierde tierra en la construcción de presas.

2) Extracción de agua: la presente invención crea intencionadamente una presión ultra alta para reducir al mínimo el flujo de agua requerido a través de la misma. La presente invención tiene una relación muy alta entre la energía generada y el agua extraída en comparación con los diseños existentes de sistemas de generación de energía hidroeléctrica.

3) Coste elevado de capital de construcción de infraestructuras: al evitar la construcción de presas o la enorme inversión de capital requerida para capturar hidroelectricidad de los sistemas de baja "columna", la presente invención hace que la construcción de plantas de generación de energía hidroeléctrica sea considerablemente menos costosa. La reducción en el uso de hormigón y de acero en relación con la producción de potencia también reduce el carbono emitido en la fabricación de los componentes de los sistemas.

4) Construcción de tubos de superficie: mediante el uso de la perforación direccional para crear una tubería subterránea, se evitan los problemas prácticos de la construcción en superficie de un tubo presurizado. El peso de los tubos presurizados hace por sí solo que sea imposible construirlos en la superficie, por ejemplo, alrededor de los contornos de un acantilado. Otras construcciones de superficie pueden hacer frente a las características topográficas que producirían bolsas de aire dentro del tubo presurizado. La presente invención crea una línea recta eficaz para el flujo de agua, reduciendo al mínimo la fricción, y mejorando al máximo la eficiencia de la generación de energía a partir del agua extraída. Manteniendo el tubo presurizado en su lugar dentro de un túnel perforado, puede admitirse un peso de tubo mucho mayor que en el caso de una tubería de superficie convencional; esto permite, a su vez, crear presiones más altas en la parte inferior del túnel de lo que sería posible con los tubos de superficie, que tienen que mantenerse firmemente en su lugar, solo para soportar su propio peso.

5) Sustitución de la planta: la presente invención deja intencionadamente la sala de turbinas fácilmente accesible de manera que con el tiempo la turbina pueda sustituirse rápidamente. Esto es especialmente útil ya que la tecnología y la eficiencia de las turbinas mejoran con el tiempo. Esto también ayuda a evitar los enormes gastos que supone la sustitución de una turbina en el caso improbable de un fallo catastrófico.

6) Biodiversidad: la presente invención está pensada para usar fuentes de agua tales como cascadas en las que la biodiversidad no se verá afectada.

7) La presente invención evita casi por completo la contaminación ambiental superficial o visible.

8) La construcción está diseñada para reducir los riesgos para la vida humana (un problema habitual en los diseños hidráulicos convencionales) empleando la perforación direccional, lo que evita la necesidad de que los seres humanos sean "subterráneos" durante la construcción. Esto se mejora aún más por el medio a pequeña escala de los sistemas de la presente invención.

9) Producción de energía descentralizada: la capacidad de construir los sistemas de la presente invención para comunidades pequeñas reduce su dependencia de la energía eléctrica de una red de suministro eléctrico central (y a menudo poco fiable).

También se proporciona de acuerdo con la presente invención un sistema de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura a una segunda altura, estando

la primera altura al menos 10 metros por encima de la segunda altura, comprendiendo el sistema de generación de energía hidroeléctrica:

- 5 (i) una caverna de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura, teniendo dicha caverna de energía subterránea una cubierta de techo desmontable;
- (ii) un primer túnel desde dicha caverna de energía subterránea a una localización de fuente de agua en o adyacente y en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura, teniendo dicho primer túnel un diámetro no mayor de 6 metros;
- 10 (iii) una tubería en dicho primer túnel para definir un primer conducto que durante el uso transporta agua desde dicha localización de fuente de agua a dicha caverna de energía subterránea;
- (iv) un segundo conducto desde dicha caverna de energía subterránea a dicha fuente de agua en o por debajo de dicha segunda altura;
- (v) un segundo túnel desde dicha caverna de energía subterránea a una red de suministro eléctrico;
- 15 (vi) al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea en comunicación de flujo de fluido con dicho primer túnel y dicho segundo conducto; y
- (vii) al menos un cable eléctrico en dicho segundo túnel que conecta dicha al menos una turbina de generación de electricidad a dicha red de suministro eléctrico.

Los aspectos preferidos anteriores del procedimiento anterior se aplican igualmente al sistema de generación de energía hidroeléctrica anterior.

20 La presente invención será más evidente a partir de la siguiente descripción que muestra con referencia a las figuras adjuntas, a modo de ejemplo, solo una forma de construcción de un sistema de generación de energía hidroeléctrica, y un sistema de generación de energía hidroeléctrica realizado por la misma. De las figuras:

- figura 1 muestra una vista esquemática en sección transversal de un esquema de construcción general para un sistema de generación de energía hidroeléctrica de la presente invención;
- 25 figura 2 muestra (línea inferior en $x = 0-400$) una representación gráfica de la distancia contra la altura para el túnel 20 y, por lo tanto, el ángulo con respecto a la horizontal, que varía entre 22 y 35 grados y (línea superior en $x = 0-400$) la elevación de la cascada 40. El eje X muestra la distancia en metros desde la caverna 10 de energía subterránea. El eje Y muestra la altura vertical en metros por encima de h_2 ;
- figuras 3-6 muestran las tablas 1-11 que enumeran cifras y cifras calculadas para diversas presas y el sistema de generación de energía hidroeléctrica de la presente invención;
- 30 figura 7 muestra los resultados (tabla 12) para las diversas presas y el sistema de generación de energía hidroeléctrica de la presente invención;
- figura 8 muestra gráficamente los resultados detallados en la tabla de resultados (figura 7);
- figura 9 muestra la tabla 13 que detalla la producción de potencia en kilovatios por metro cúbico de agua para una diversidad de instalaciones de generación de energía hidroeléctrica;
- 35 figura 10 es una representación gráfica de los datos mostrados en la tabla 13. El eje Y es la potencia en KW/m^3 de agua; y
- figura 11 muestra la tabla 14 que detalla la producción de potencia en MW en comparación con el valor de la financiación del proyecto en millones \$US para una diversidad de instalaciones de generación de energía hidroeléctrica; datos procedentes de assets.panda.org/downloads/aidenvdamfinancereport.pdf.
- 40

Una localización para la instalación 100 de generación de energía hidroeléctrica se determina de acuerdo con la altura de las cascadas y las caídas de agua libre disponibles, el flujo de agua, la dureza de las rocas, las precipitaciones y la demanda de electricidad. En la presente realización, está disponible una cascada 40 con una caída vertical de aproximadamente 380 metros. Una tubería 50 forzada se construye adyacente al río 70 a una altura h_1 .

45 El río 70 continúa en la base de la cascada 40 en la altura h_2 . La diferencia de altura entre h_1 y h_2 es de 400 metros.

La caverna 10 de energía se construye adyacente a la base de la cascada 40 excavando una cavidad de excavación. Se insertan paredes de hormigón para hacer una caverna (aunque sin techo). En otras realizaciones, las paredes de hormigón se insertan en la caverna 10 de energía una vez que se ha completado la perforación de todos los túneles.

55 A continuación, se baja un perforador direccional a la caverna 10 de energía y se realiza la perforación direccional usando el perforador direccional desde la caverna 10 de energía para definir el túnel 20 a la tubería 50 forzada. Los escombros de la perforación se recogen y se retiran de la caverna 10 de energía. El túnel 20 cubre una distancia horizontal de 737 metros en un ángulo promedio con respecto a la horizontal de aproximadamente 28,5 grados, variando entre 22 y 35 grados, y teniendo una longitud total de aproximadamente 920 metros. A continuación, el perforador direccional da marcha atrás hacia la caverna 10 de energía.

El túnel 20 tiene un diámetro de 2 metros y se usa una tubería de presión con un diámetro interno de 1 metro, lo que permite un caudal durante el uso de un metro cúbico por segundo. En otras realizaciones, el túnel 20 tiene un

diámetro de 1,3 metros y se usa una tubería de presión con un diámetro interno de 1 metro y un espesor de tubo de 0,1 metros.

5 A continuación, se inserta una primera sección de la tubería de acero grado X52 API 5L (PSL1) (Corus Steel, Reino Unido) en la parte superior del túnel 20 en la tubería 50 forzada y se desliza hacia abajo hasta el fondo en la caverna 10 de energía. A continuación, se insertan unas secciones adicionales de tubería de presión desde la parte superior del túnel 20 en la tubería 50 forzada y se deslizan hacia abajo para acoplarse con la sección de tubería de presión insertada previamente. Una vez insertadas, las secciones de la tubería de presión se sueldan entre sí, se someten a rayos-X para garantizar que están libres de fallos, y se colocan unos manguitos sobre las mismas y se adhieren por termoretracción para efectuar el sellado y la protección final, definiendo de este modo un primer conducto. La tubería de presión tiene un diámetro interno y externo constante. Por lo tanto, el espesor y, por lo tanto, la resistencia de la tubería de presión son adecuados para la presión que se ejercerá durante el uso sobre la misma.

10 Al tener el túnel 20 en un ángulo de 23,5 grados, cada sección de la tubería de presión que se inserta se soporta principalmente por la roca/tierra por debajo de la misma y no por la sección de la tubería de presión por debajo de la misma. Esto evita que se ejerza una fuerza de compresión excesiva sobre las secciones de la tubería de presión y ayuda a reducir los costes de construcción mediante el uso de la fricción para reducir el peso que necesita sostenerse durante la construcción.

15 A continuación, se usa el perforador direccional para definir un túnel desde la caverna 20 de energía al río 70 en la base de la cascada 40, y la tubería se inserta en el túnel 30 y se sella para definir un segundo conducto 30. En la caverna 10 de energía, el extremo de la tubería de presión del túnel 20 se conecta a la tubería en la caverna de energía a través de una válvula para permitir el cierre del flujo de agua desde dentro de la caverna 10 de energía, y también se proporciona un colector para permitir la recogida de sólidos. Por lo tanto, los sólidos pueden retirarse del colector cerrando la válvula y abriendo el colector. Una vez que el colector se ha sustituido y sellado, puede volver a abrirse la válvula. Después de la válvula y del colector, se proporciona una instalación de turbina Pelton para la generación de electricidad. El agua sale de la instalación de turbina Pelton y sale de la caverna 10 de energía a lo largo de la tubería en el segundo túnel 30 al río 70 en la base de la cascada 40.

20 Por lo tanto, se define una trayectoria de flujo de fluido desde la tubería 50 forzada a lo largo del primer conducto hacia la instalación de turbina Pelton hacia el segundo conducto y que termina en el río 70 en la base de la cascada 40.

25 A continuación, se usa el perforador direccional para definir un túnel 80 desde la caverna 10 de energía a una red de suministro eléctrico (no mostrada) a lo largo de la que se coloca el cableado eléctrico para conectar la instalación de turbina Pelton a la red de suministro eléctrico.

30 Por último, el equipo de excavación se usa para colocar la tubería 50 forzada en comunicación de flujo de fluido con el río 70 adyacente. Por lo tanto, el río 70 en la altura h_1 está en comunicación de flujo de fluido con el río 70 en la altura h_2 a través del primer conducto, la instalación de turbina Pelton y el segundo conducto.

35 Con una "columna de agua" de 400 metros y un flujo de 1 metro cúbico de agua por segundo pasando en el primer conducto a través de la tubería 50 forzada, la instalación de turbina Pelton genera 2 megavatios de electricidad, y el impacto sobre el flujo de agua hacia la cascada 40 no es demasiado grande, continuando al menos un 80 % del flujo de agua hacia la cascada 40. Como el flujo de agua a lo largo del río 70 en la altura h_2 cambia con las estaciones y las precipitaciones, la tubería 50 forzada puede ajustarse de forma remota para reducir o aumentar el flujo de agua hacia el primer conducto según proceda.

40 En una realización alternativa (no mostrada), se proporciona la misma disposición de un primer conducto que tiene una "columna" de 400 metros, y se dimensiona con un diámetro interno de uno a dos metros, lo que permite un flujo de 1,75 metros cúbicos de agua por segundo, generando la instalación de turbina Pelton 3,7 MW de electricidad.

45 Los cálculos de la producción de potencia por las realizaciones de la presente invención se hacen usando la ecuación:

$$\text{Producción de potencia (kW)} = 9,8 \text{ (aceleración debida a la gravedad) } \times \text{flujo de agua (m}^3\text{/s)} \times \text{columna (metros)} \times \text{eficiencia (\%)}$$

50 Los dos ejemplos anteriores se calculan con una eficiencia de sistema de aproximadamente un 50 %, que son los valores dados en la tabla 13. Sin embargo, es una estimación muy conservadora y puede esperarse una eficiencia de hasta un 80-90 % con un uso eficiente de la turbina.

55 A continuación, se proporciona un túnel de acceso en el lado de la caverna 10 de energía y, a continuación, se coloca un techo de paneles de hormigón armado en la parte superior de la caverna 10 de energía y, a continuación, se coloca tierra en la parte superior, de manera que las plantas puedan crecer en la parte superior de la misma y se minimice su impacto medioambiental.

- 5 Por lo tanto, las únicas partes del sistema 100 de generación de energía hidroeléctrica que pueden verse desde la superficie son la tubería 50 forzada, el túnel de acceso a la caverna 10 de energía y (a distancia desde el sitio de la caverna 10 de energía) el extremo del túnel 80 donde se conecta a la red de suministro eléctrico. Por lo tanto, se minimiza el impacto medioambiental (especialmente el impacto visual) del sistema 100 de generación de energía hidroeléctrica, a la vez que proporciona una fuente importante y valiosa de electricidad.
- Con el fin de facilitar la gestión del sistema 100 de generación de energía hidroeléctrica, el cableado de comunicaciones ópticas se extiende junto con el cableado eléctrico en el túnel 80 y se conecta con los sistemas de gestión informatizados del sistema 100 de generación de energía hidroeléctrica, de tal manera que puede lograrse una gestión remota.
- 10 Las tablas y los resultados adjuntos proporcionan datos que comparan la producción de potencia y el impacto medioambiental de la presente invención con los de los sistemas de generación de energía hidroeléctrica existentes.
- La producción de potencia de por vida mostrada en la tabla 1 se calcula como capacidad de potencia * 24 * 365 * vida útil de la planta en años (tabla 8) * tiempo a plena capacidad (tabla 7) / 1000.
- 15 El CO₂e corriente arriba estimado (tabla 2) se calcula como (valor de hormigón (tabla 2) * emisión de CO₂e (toneladas métricas por millón de dólares) (tabla 4)) + (valor de acero (tabla 2) * emisión de CO₂e (toneladas métricas por millón de dólares) (tabla 4)).
- El CO₂ directo (tabla 2) se calcula como (((emisiones difusas promedio (tabla 10) * 100) * área de embalse (tabla 2)) * días del año sin hielo en el embalse (tabla 11) * vida útil de la planta (años) (tabla 8) * fracción de área inundada en los primeros diez años (tabla 11)) / 1000.
- 20 El CO₂ total (tabla 2) se calcula como CO₂e corriente arriba estimado (tabla 2) + CO₂ directo (tabla 2).
- Las figuras de la presente invención se basan en un valor de infraestructuras de hormigón y de acero de 1,5 M USD, una capacidad de potencia de 2 MW, y una columna de 400 metros.
- Como puede verse en la figura 11, el coste de capital en comparación con la producción de potencia es muy favorable cuando se compara con una diversidad de instalaciones de generación de energía hidroeléctrica existentes.
- 25 Como puede verse en la tabla de resultados y la figura de resultados adjunta, el sistema de generación de energía hidroeléctrica de la presente invención supera sustancialmente los sistemas de la técnica anterior en términos de la producción de CO₂ total por megavatio hora de potencia generada durante la vida útil del sistema. De hecho, las cifras son más de dos veces tan buenas como las de la presa más cercana, aproximadamente seis veces como las de la presa promedio y casi cien veces mejores que las de la peor presa. También cabe señalar que estas cifras se calculan suponiendo que una presa convencional tiene una vida útil de 90 años, mientras que un sistema de la presente invención solo logrará una vida útil de 50 años. Como tal, las cifras son extremadamente conservadoras y, obviamente, serían mucho mejores si se atribuyera la misma vida útil a ambos tipos de sistema.
- 30 Se apreciará que no se pretende limitar la presente invención solo al ejemplo anterior, otras formas son fácilmente evidentes para los expertos en la materia sin alejarse del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.
- 35 Los signos de referencia se incorporan en las reivindicaciones solamente para facilitar su comprensión, y no limitan el ámbito de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de construcción de un sistema (100) de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura (h_1) a una segunda altura (h_2), estando la primera altura al menos 10 metros por encima de la segunda altura, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - 5 (i) construir una caverna (10) de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura, teniendo dicha caverna de energía subterránea una cubierta de techo desmontable;
 - (ii) realizar una perforación direccional para definir un primer túnel (20) desde dicha caverna de energía subterránea a una localización de fuente de agua en o adyacente a dicha fuente de agua en dicha primera altura, teniendo dicho primer túnel un diámetro no mayor de 6 metros;
 - 10 (iii) instalar una tubería en dicho primer túnel para definir un primer conducto que durante el uso transporta agua desde dicha localización de fuente de agua a dicha caverna de energía subterránea;
 - (iv) construir un segundo conducto (30) desde dicha caverna de energía subterránea a dicha fuente de agua en o por debajo de dicha segunda altura;
 - 15 (v) realizar una perforación direccional para definir un segundo túnel (80) desde dicha caverna de energía subterránea a una red de suministro eléctrico;
 - (vi) instalar al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea en comunicación de flujo de fluido con dicho primer túnel y dicho segundo conducto;
 - (vii) instalar al menos un cable eléctrico en dicho segundo túnel que conecta dicha al menos una turbina de generación de electricidad a dicha red de suministro eléctrico; y
 - 20 (viii) cuando dicha localización de fuente de agua no esté en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura, colocar dicha localización de fuente de agua en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera altura está al menos 50 metros por encima de la segunda altura.
- 25 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la primera altura está al menos 100 metros por encima de la segunda altura.
4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la primera altura está al menos 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550 o 600 metros por encima de la segunda altura.
5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer conducto tiene una capacidad de flujo de al menos 1 m^3 por segundo.
- 30 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el primer conducto tiene una máxima capacidad de flujo de menos de 2 m^3 por segundo.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de agua en la primera altura es una fuente de agua que corre libremente.
- 35 8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la fuente de agua en la primera altura es un río (70).
9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de definir una tubería (50) forzada en dicha localización de fuente de agua.
- 40 10. Un sistema (100) de generación de energía hidroeléctrica en un entorno que comprende una fuente de agua que fluye desde una primera altura (h_1) a una segunda altura (h_2), estando la primera altura al menos 10 metros por encima de la segunda altura, comprendiendo el sistema de generación de energía hidroeléctrica:
 - (i) una caverna (10) de energía subterránea en una localización adyacente a dicha fuente de agua en dicha segunda altura;
 - 45 (ii) un primer túnel (20) desde dicha caverna de energía subterránea a una localización de fuente de agua en o adyacente y en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de agua en dicha primera altura;
 - (iii) una tubería en dicho primer túnel para definir un primer conducto que durante el uso transporta agua desde dicha localización de fuente de agua a dicha caverna de energía subterránea;
 - (iv) un segundo conducto (30) desde dicha caverna de energía subterránea a dicha fuente de agua en o por debajo de dicha segunda altura; y
 - 50 (v) al menos una turbina de generación de electricidad en dicha caverna de energía subterránea en comunicación de flujo de fluido con dicho primer túnel y dicho segundo conducto; **caracterizado porque**

dicha caverna de energía subterránea tiene una cubierta de techo desmontable;
 dicho primer túnel tiene un diámetro no mayor de 6 metros; y el sistema comprende además:

 - (vi) un segundo túnel (80) desde dicha caverna de energía subterránea a una red de suministro eléctrico; y

(vii) al menos un cable eléctrico en dicho segundo túnel que conecta dicha al menos una turbina de generación de electricidad a dicha red de suministro eléctrico.

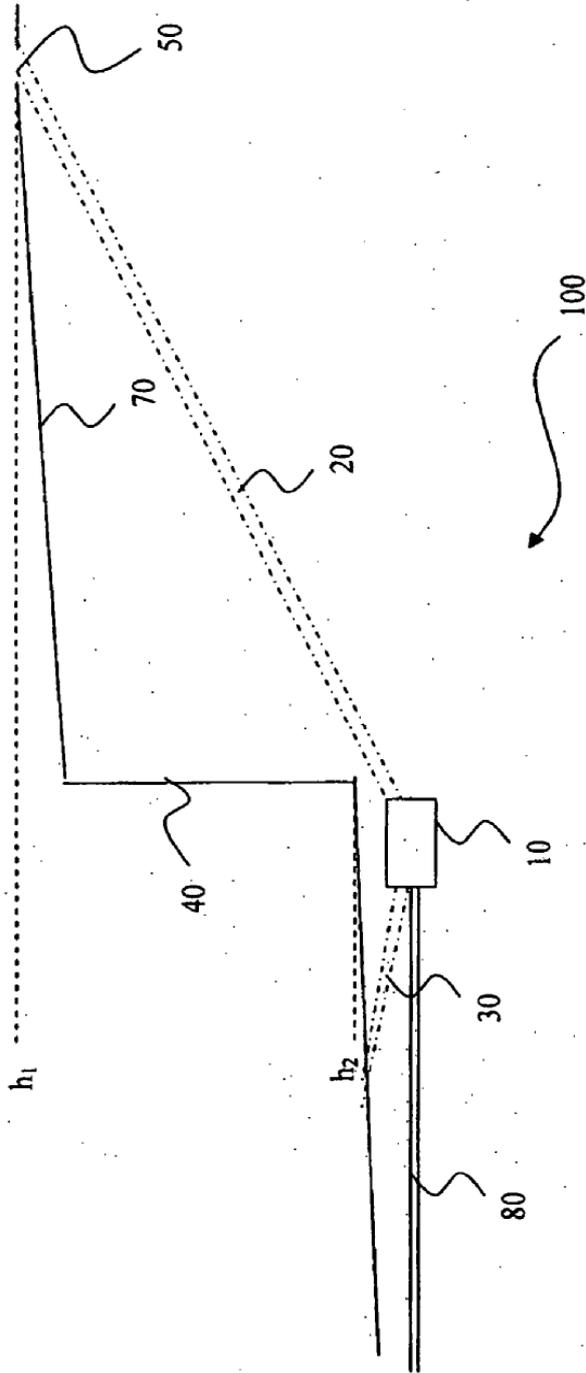


Figura 1

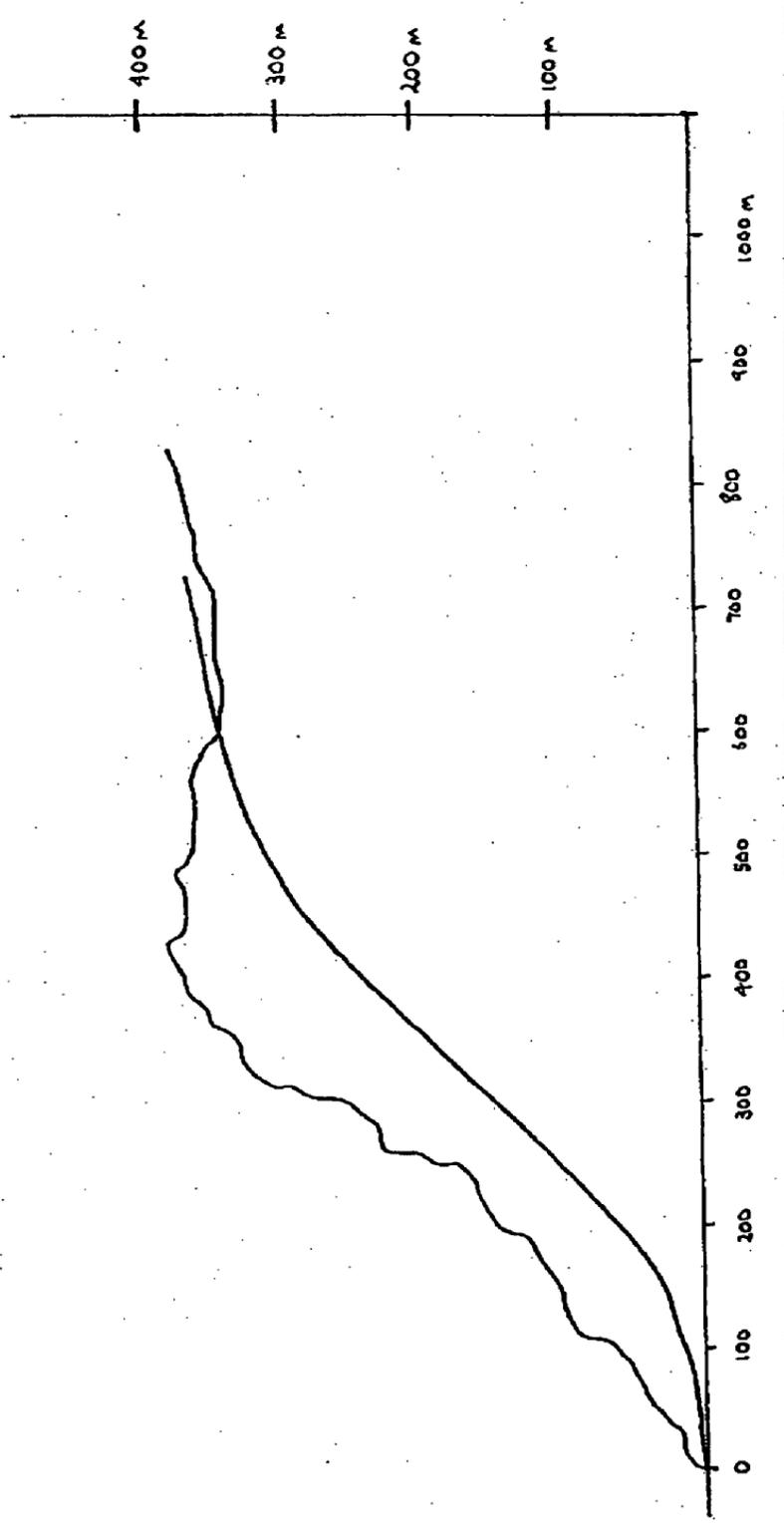


Figura 2

Figura 3

Tabla 1

Nombre de presa	País	Valor de infraestructura		Capacidad de potencia	Área de embalse		Volumen de embalse		Altura/columna de presa		Producción de por vida	Río	Impactos
		Millones \$US	MW		KM2	MM3	M	GWh					
Ertan	China	2.384	3.300	101	5.800	240	1.300.860	Yalong	DESPLAZAMIENTO				
Nam Theun II	Laos	1.227	1.070	450	?	50	421.794	Theun					
Manantali	Mali	933	200	477	?	65	78.840	Bafing					
Ralco	Chile	540	570	34	?	155	224.694	Biobio	DESPLAZAMIENTO				
Urrá	Chile	800	340	74	?	73	134.028	Sinú					
Maccagua II	Venezuela	2.570	2.540	47	?	72	1.001.268	Caroní	DESPLAZAMIENTO				
Carruacchii	Venezuela	2.130	2.160	237	?	55	851.472	Caroní					
Tocoma	Venezuela	2.000	2.160	87	?	80	851.472	Caroní	DESPLAZAMIENTO				
Deriner	Turquía	711	670	?	2.000	247	264.114	Coruh					
Xiaowan	China	2.710	4.200	?	15.000	292	1.655.640	Lancang					
Longtan	China	2.980	5.400	?	?	192	2.128.680	Hongshui					
Kameng	India	611	600	?	?	157	236.520	Bichom					
Bujagali Falls	Uganda	550	200	?	?	30	78.840	Nilo					
Yacyyrretá	Paraguay/Argentina	11.500	2.700	?	?	?	1.064.340	Paraná					
Promedio		2.260	1.865	188	7.600	131	735.183						
Presente inversión		1,5	2	0	0	400	788		No				

Figura 4

Tabla 2

Nombre de presa	Capacidad de potencia		Altura / columna de presa (M)	Área de embalse (1)		Hormigón (2)		Acero (3)		CO2e corriente arriba estimado (4)		CO2 directo (5)		CO2 total (6)	
	MW			KM2	M\$	M\$	M\$	MT	MT	MT	MT				
Ertan	3.300		240	101	596	477	769.371	1.124.433	1.893.804	1.124.433	1.893.804				
Nam Theun II	1.070		50	450	307	245	396.014	5.009.850	5.405.864	5.009.850	5.405.864				
Manantali	200		65	477	233	187	301.126	5.310.441	5.611.567	5.310.441	5.611.567				
Ralco	570		155	34	135	108	174.285	378.522	552.807	378.522	552.807				
Urrá	340		73	74	200	160	258.200	823.842	1.082.042	823.842	1.082.042				
Maccagua II	2.540		72	47	643	514	829.468	527.704	1.357.172	527.704	1.357.172				
Carruacchii	2.160		55	237	533	426	687.587	2.636.294	3.323.881	2.636.294	3.323.881				
Tocoma	2.160		80	87	500	400	645.500	972.356	1.617.856	972.356	1.617.856				
Deriner	670		247	82*	178	142	229.475	911.257	1.140.732	911.257	1.140.732				
Xiaowan	4.200		292	513*	678	542	874.653	5.712.355	6.587.007	5.712.355	6.587.007				
Longtan	5.400		192	660*	745	596	961.795	7.344.456	8.306.251	7.344.456	8.306.251				
Kameng	600		157	73*	153	122	197.200	816.051	1.013.251	816.051	1.013.251				
Bujagali Falls	200		30	24*	138	110	177.513	272.017	449.529	272.017	449.529				
Yaccyretta	2.700		?	330	2.875	2.300	3.711.625	3.672.228	7.383.853	3.672.228	7.383.853				
Promedio	1.865		131	228	565	452	729.558	2.536.558	3.266.116	2.536.558	3.266.116				
Presente inversión	2		400	0	0,015	0,375	531	0	531	0	531				

(1) cuando el valor específico no está disponible, se estima dividiendo la capacidad de potencia por la capacidad promedio para la relación de área de embalse (tabla 9)

(2) estimado en el 25% del valor de infraestructura

(3) estimado en el 20% del valor de infraestructura

(4) (toneladas métricas) basado en el valor de infraestructura de hormigón y de acero estimado y factores de emisión de CO2e de tabla 4

(5) CO2 que no se absorbe como resultado de que no hay tierra disponible para absorber CO2 durante la vida útil total de la instalación HEP

(6) CO2e corriente arriba estimado + CO2 directo

* indica la estimación calculada como capacidad de potencia MW (tabla 2) / capacidad promedio para la relación de área de embalse (tabla 9)

Tabla 3

Desglose de costes de HEP tradicional	
Materiales	25%
Encofrado	20%
Compra de planta	19%
Funcionamiento de planta	19%
Colocación y consolidación de hormigón	4%
Pre-enfriamiento de hormigón	3%
Tratamiento de hormigón	3%

Fuente: **Concrete Dam Construction**
www.dur.ac.uk/~des0www4/cal/dams/cons/consf3.htm

Tabla 4

Factores de emisión de CO ₂ e (toneladas métricas por millones de dólares gastados)	
Actividad	CO ₂ e / M\$
Fabricación de hormigón	163
Molinos de hierro y de acero	1410

Fuente: **EIOLCA**
www.eiolca.net

Tabla 5

Consideraciones de macro micro planta		
	Macro	Micro
Selección de sitio	Significativo	Mínimo
Evaluación de sitio	Significativo	Mínimo
Construcción de planta	Significativo	Mínimo
Funcionamiento de planta	Mínimo	Mínimo
Desmantelamiento de planta	Significativo	Mínimo

Tabla 6

Desglose de costes de presente invención	
Tubo de acero	25%
Hormigón	1%
Colocación y consolidación de tubo	

Figura 5

Figura 6

Tabla 7

Tiempo a plena capacidad	
Presente inversión	90%
Presas	50%

Tabla 8

Vida útil de la planta (años)	
Presente inversión	50
Presas	90

Tabla 9

Capacidad promedio para la relación de área de embalse	8,19
--	-------------

Tabla 10

Emisiones difusas	
Tipo de tierra	Kg CO2 Hectárea Día
Mojada polar/boreal	11,20
Temperatura fría	15,20
Temperatura caliente - Húmeda	8,10
Temperatura caliente - Seca	5,20
Tropical - Mojada	44,90
Tropical - Seca	39,10
Promedio	20,62

Tabla 11

Días del año sin hielo en el embalse	300
Fracción de área inundada en los primeros diez años	0,2

Fuente: IPCC

www.ipcc-nggip.iges.or.jp/index.html

Figura 7

Tabla 12 - Resultados

CO2 total/producción de
por vida

Presa	kg CO2e / MWh	Nombre de presa
1	1.455,81	Ertan
No mostrada	12.816,36	Nam Theun II
No mostrada	71.176,65	Manantali
2	2.460,27	Rálco
3	8.073,25	Urrá
4	1.355,45	Maccagua II
5	3.903,69	Carruacchii
6	1.900,07	Toccoma
7	4.319,09	Deriner
8	3.978,53	Xiaowan
9	3.902,07	Longtan
10	4.284,00	Kameng
11	5.701,79	Bujagali Falls
12	6.937,49	Yaccyrrrettá
Promedio	4.442,59	Promedio
13	673,76	Presente invención

Figura 8

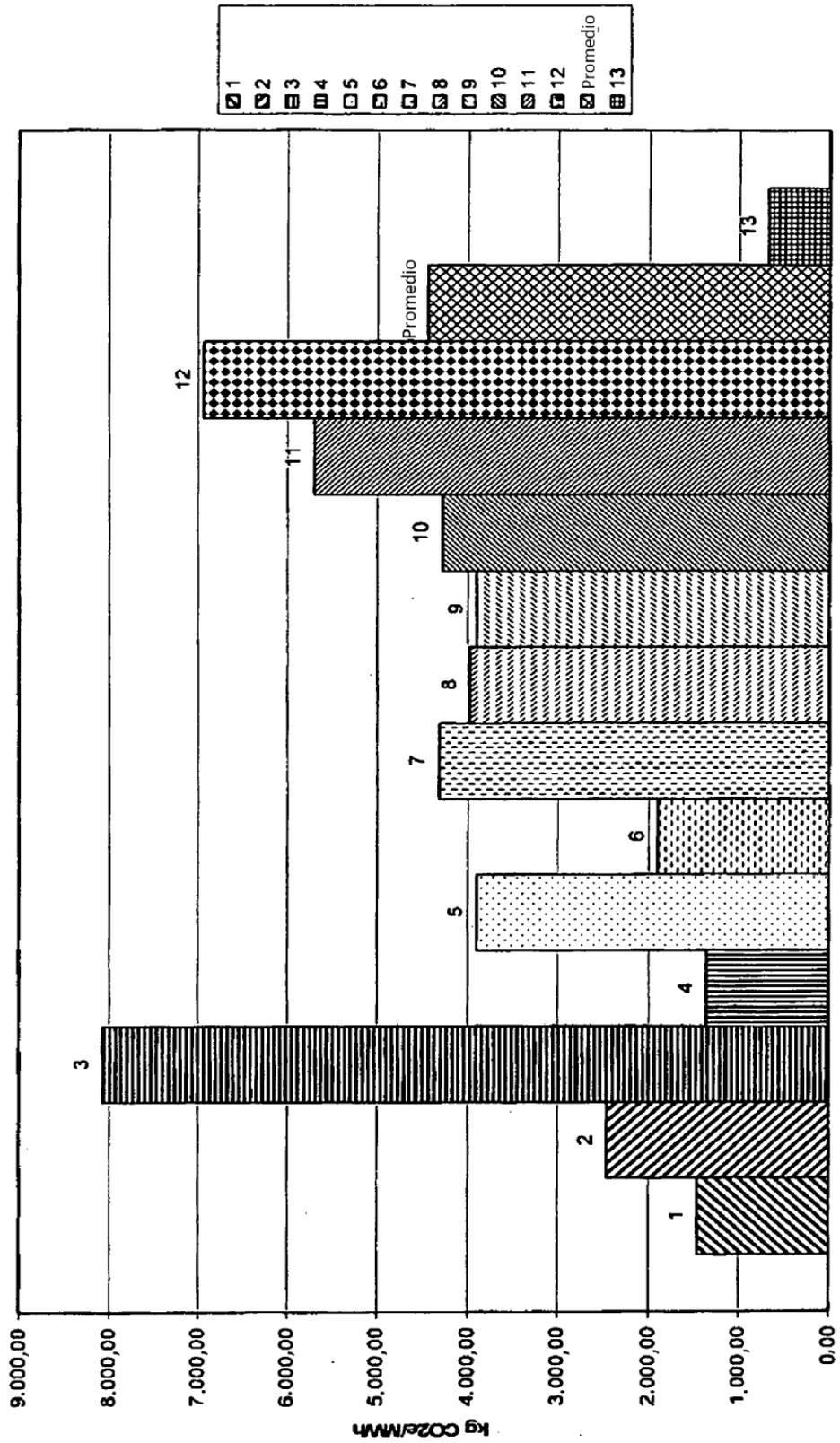


Figura 9

Tabla 13

Nombre de planta	Potencia KW/m3 de agua	Flujo m3/s	Producción de potencia		Columna	Túnel	Presa	Acueductos	Río fluyente	Almacenamiento
			MW	m						
Trinafour	429,52	1,16	0,50	91	km	m				
Victoria Falls Station	778,80	1,28	1,00	165	sí	364w 49h				sí
PRESENTE INVENCIÓN	1.888,00	1,06	2,00	400						
Loch Ericht	259,60	8,47	2,20	55	sí	sí	sí			
Lussa	547,52	4,38	2,40	116		sí		sí		
Mullardoch	127,44	18,83	2,40	27	sí	sí				
Kilmelfort	523,92	4,77	2,50	111		sí				
Cuaich	127,44	19,62	2,50	27		sí			sí	
Lednock	429,52	6,98	3,00	91	sí	sí		sí		
Achanalt	94,40	32,84	3,10	20		sí				
Lairg	47,20	74,15	3,50	10		427w 12h			sí	
Lubreoch	141,60	28,25	4,00	30		530w 39h				
Dalchonzie	136,88	29,22	4,00	29	sí	sí				
Sron Mor	217,12	23,03	5,00	46		sí				
Foyers Falls	509,76	9,88	5,04	108	sí	sí				

Figura 10

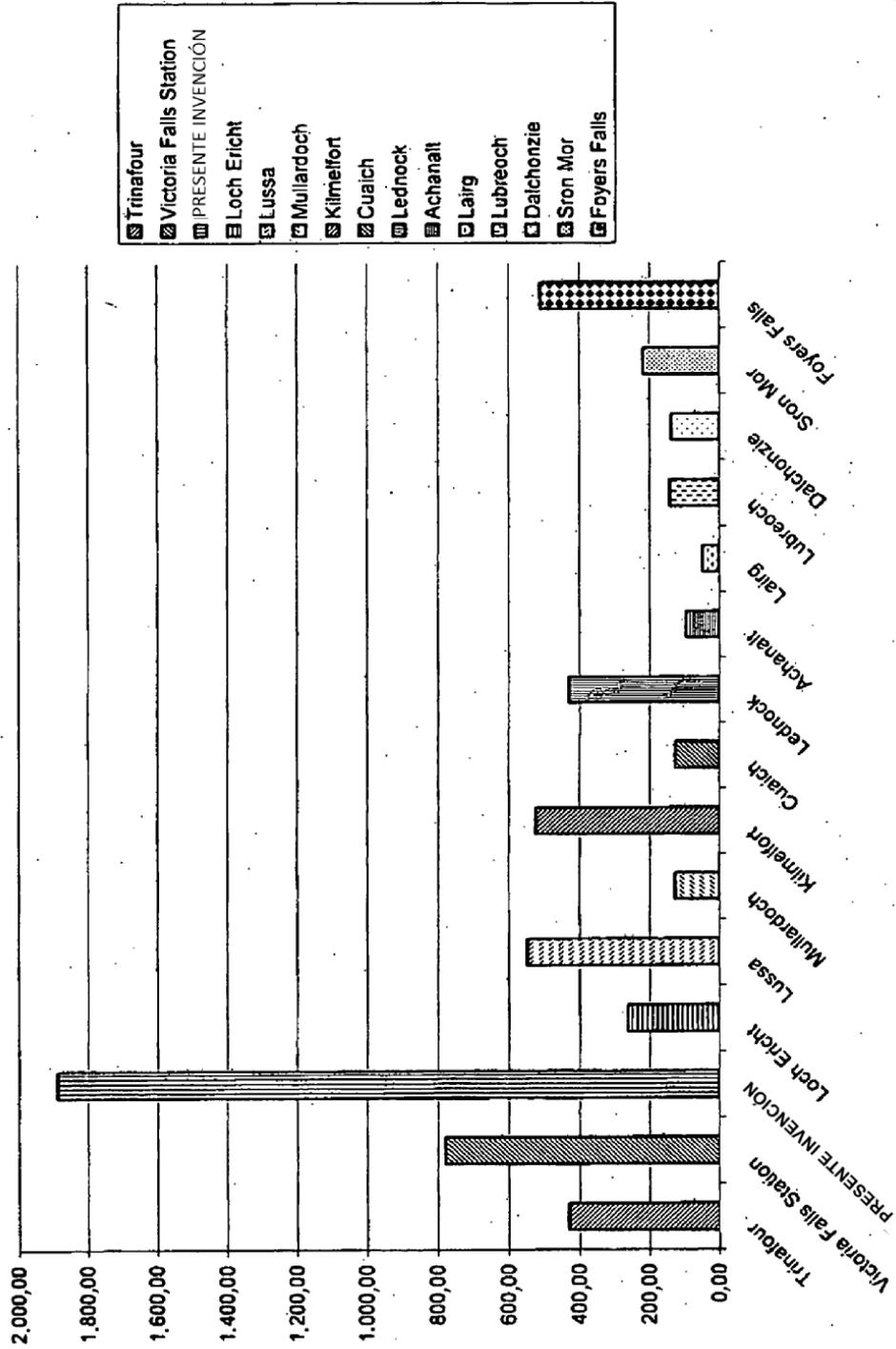


Figura 11

Tabla 14

Nombre de presa	Financiación del proyecto millones \$US	Producción de potencia MW	Área de embalse hectáreas	Área de embalse kilómetros cuadrados	Volumen de embalse metros cúbicos por millón	Altura de presa (m)	País
Értan	2384	3300	101	101,0	5800	240	China
Nam Theun II	1227	1070	45000	450,0		50	Laos
Manantali	933	200	47700	477,0		65	Mali
Ralco	540	570	3400	34,0		155	Chile
Urrá	800	340	7400	74,0		73	Chile
Maccagua III	1970	2540	4740	47,4		72	Venezuela
Carruacchii Dam	2130	2160	23680	236,8		55	Venezuela
Tocoma Dam	2000	2160	8734	87,3		80	Venezuela
Deriner	711	670			2000	247	Turquía
Xiaowan	2710	4200			15000	292	China
Longtan	2980	5400				192	China
Kameng	611	600				157	India
Bujagali Falls	550	200					Uganda
Yacerryretá	11500	2700				30	Paraguay / Argentina
Sungai Selangor III	790						Malasia
Pangue		400					Chile