

SET-TE: Energía hidroeléctrica

1.- Descripción general

La energía hidroeléctrica se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior, lo que provoca el movimiento de turbinas a gran velocidad en un movimiento de rotación que, finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores.

En el conjunto de las energías renovables, la hidroeléctrica juega un papel preponderante ya que aporta el 85 % de la producción de electricidad "renovable" a nivel global (2008)^[1]. Evidentemente, en el futuro esta proporción tan alta a nivel global se espera ver disminuida cuando las otras fuentes de energía renovable como la eólica, solar, etc. vayan incrementando con más intensidad su proporción en el mix eléctrico. Si se compara la aportación de la energía hidroeléctrica, no solamente en relación a las renovables, sino en comparación con todas las fuentes de producción de electricidad, su porcentaje alcanza el 16,3% del total (2008)^[2].

En cuanto a la evolución de la producción de energía hidroeléctrica, se observa un considerable crecimiento a lo largo de los años (figura 1), alcanzando los 3288 TWh en 2008. Esto es atribuible a nuevas instalaciones que han entrado en funcionamiento, principalmente en países en desarrollo y que elevan la capacidad total instalada en 2009 a los 850 GW^[3]. La Agencia Internacional de la Energía estima que el potencial técnico de este tipo de instalaciones puede permitir alcanzar los 16400 TWh/año^[2].

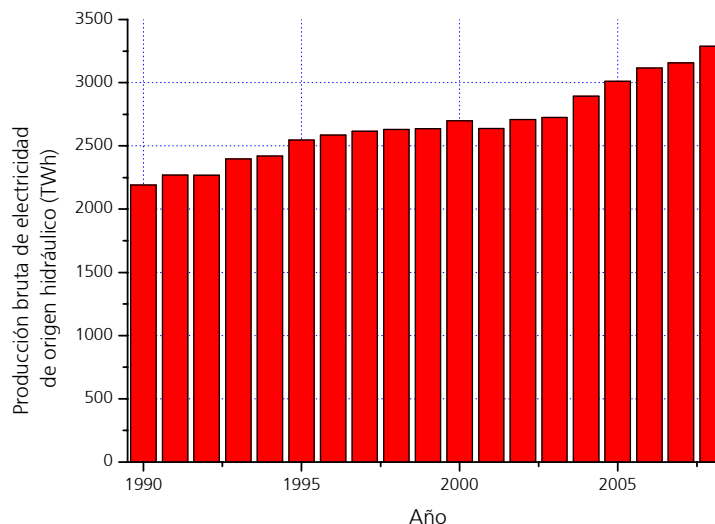


Figura 1.-Evolución de producción bruta de electricidad de origen hidroeléctrico entre 1990 y 2008 a nivel mundial (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

La energía hidroeléctrica presenta una serie de ventajas muy notables en relación a otras fuentes de energía:

1. Es una tecnología muy bien establecida en la actualidad, que lleva produciendo electricidad a precios muy competitivos desde hace un siglo aproximadamente.
2. Produce electricidad de una forma muy flexible y con un tiempo de respuesta (del orden de segundos) muy rápido según las necesidades, por lo que puede aportar en tiempos muy cortos las demandas necesarias y compensar huecos de producción de otras fuentes, especialmente de las renovables no gestionables.
3. El almacenamiento de agua mediante bombeo en embalses permite, de forma equivalente, acumular energía para su posterior utilización como electricidad.
4. Desde el punto de vista de emisiones, así como de su payback energético, presenta unas excelentes prestaciones.

Sin embargo, la energía hidroeléctrica también presenta una serie de inconvenientes, sobre todo desde el punto de vista medioambiental, como se verá a lo largo de este informe. Entre éstos se encuentran la inundación de zonas de gran biodiversidad, el perjuicio al paso de los peces en las dos direcciones de los ríos, la disminución de su caudal hasta niveles no ecológicos y, a menudo, el desplazamiento de poblaciones para poder ser construidas sus instalaciones. Evidentemente estos inconvenientes se ven muy disminuidos en el caso de las plantas mini- y micro- hidroeléctricas

Un parámetro importante en relación a las plantas hidroeléctricas es el denominado factor de capacidad que es, por definición, la energía anual producida dividida por el máximo que podría producir. Así, un valor típico medio de una planta para el factor de capacidad es del 40%, quizás una cantidad algo más baja de lo que cabría esperar.

El potencial técnico que se estima para la energía hidroeléctrica es de unos 463 EJ/año, mientras que los últimos datos disponibles nos señalan que la energía eléctrica de origen hidroeléctrico alcanzó los 11 EJ/año. Es importante recalcar que la mayor parte de este potencial se encuentra localizado en África, Asia y Latinoamérica, mientras que en los países desarrollados, casi todo el potencial económico ya ha sido explotado. De todos modos, hay países como Noruega, Paraguay, Brasil y la República Democrática del Congo, en los que la producción de electricidad mediante esta tecnología puede superar el 85 % de la demanda del país.

Para establecer una clasificación de las centrales hidroeléctricas, se puede realizar de acuerdo con varios criterios. Como primer criterio se suele tomar la potencia, empleándose las siguientes denominaciones:

- a) Grandes sistemas hidroeléctricos, si $P > 10$ MW.
- b) Pequeños sistemas hidroeléctricos, también denominado mini, si $100 \text{ kW} < P < 10$ MW.
- c) Sistemas micro-hidroeléctricos, cuando $P < 100$ kW.

Un segundo criterio se suele referir a la altura h del salto efectivo del agua, clasificándose en:

- a) Sistemas hidroeléctricos de salto elevado, $h > 100$ m.
- b) Sistemas hidroeléctricos de salto intermedio, $10 \text{ m} < h < 100$ m.
- c) Sistemas hidroeléctricos de salto bajo, $h < 10$ m.

Por último, los sistemas hidroeléctricos también se clasifican en sistemas de embalse o presa y en sistemas de río fluyente ("run-of-river) que carecen de embalse o éste es muy pequeño. Aunque no siempre, la mayor parte de los sistemas en río fluyente pertenecen, por su potencia, a la clasificación del grupo de mini- y micro-hidroeléctrica.

2.- Estado actual de la tecnología

Turbinas:

En la tecnología actual, existen tipos muy distintos de turbinas. En la clasificación de las turbinas no es conveniente asignarlas por ejemplo a un determinado tamaño del salto, ya que hay otros factores, como es la potencia y otros, que también influyen en el tipo de turbina más apropiado para cada situación (véase más abajo). Las turbinas actuales (figura 2)^[4] se suelen dividir en dos grandes grupos:

- a) Turbinas de reacción (o de presión) accionadas por la presión hidrostática del agua. Las más empleadas son las Francis, de hélice y Kaplan.
- b) Turbinas de impulso (o de acción) que aprovechan la energía cinética del agua. Las más conocidas entre ellas son las Turgo y Pelton.

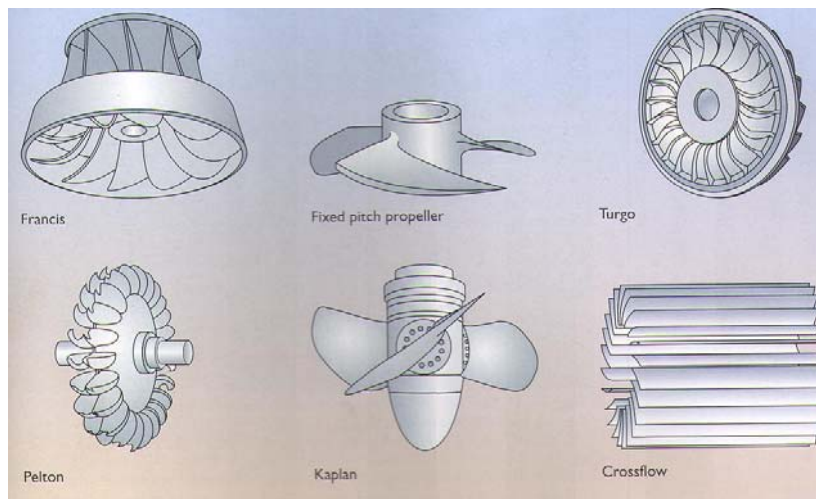


Figura 2.- Distintos tipos de turbinas empleadas para producir energía hidroeléctrica.

La turbina Francis es, con diferencia, la más empleada en alturas de cabeza de 10-250 m. Se denomina también "turbina de flujo radial" ya que el agua fluye desde la circunferencia exterior sobre paletas curvas hacia el centro. Estas turbinas se encuentran completamente sumergidas y su eje puede colocarse tanto vertical como horizontalmente. En estas turbinas, el agua ejerce una gran presión sobre las paletas del rotor y la energía de rotación adquirida se debe esencialmente a la presión ejercida sobre la turbina.

Las turbinas de hélice operan esencialmente como el propulsor de un barco, pero a la inversa. Se suelen emplear en saltos bajos, a la vez que caudalosos. Estas turbinas se denominan Kaplan cuando el ángulo de incidencia de los álabes se regula automáticamente para cada caudal, lo que permite mantener la eficiencia de conversión cuando cambia la demanda de electricidad.

Entre las turbinas de impulso, la más utilizada es la Pelton para saltos de gran altura (hasta 300 m). Consiste esencialmente en una rueda móvil con álabes en forma de doble cucharón montados en su borde. El agua a alta presión se convierte en el inyector en un chorro saliente que incide sobre la arista que separa los dos cucharones. Allí se divide en dos chorros que salen despedidos lateralmente tras haber transferido su impulso a la rueda. De este modo la rueda puede llegar a alcanzar velocidades de giro de hasta 1000 rpm. Una diferencia esencial de la turbina de impulso Pelton es que mientras las de reacción vistas anteriormente operan sumergidas enteramente y por efecto de diferencia de presión, las de impulso operan en el aire a presión atmosférica.

La figura 3^[4] muestra de un modo práctico los rangos de aplicación de las distintas turbinas para diversos rangos de altura de salto, flujo de agua y potencias. Obsérvese en la figura el solapamiento de los bordes, por lo que aparecen difuminados.

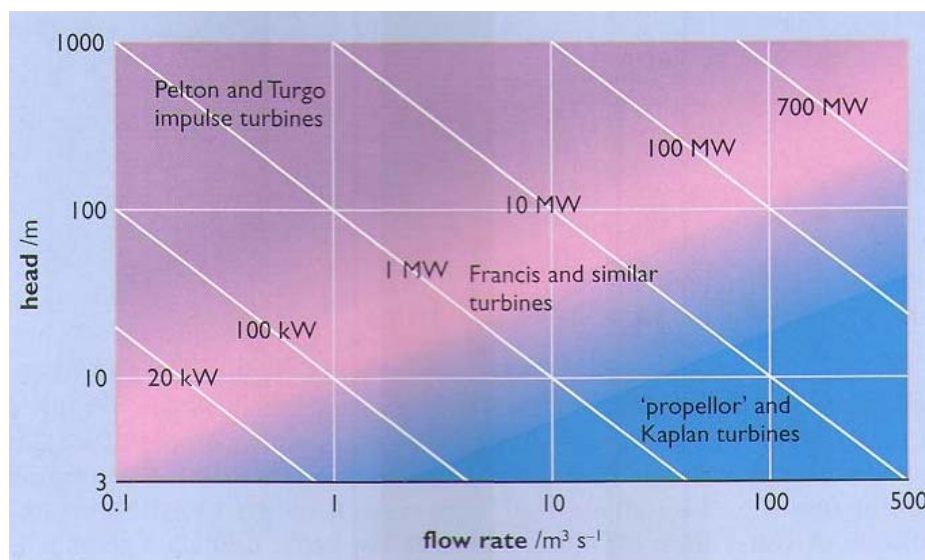


Figura 3.- Rangos de aplicación (altura, flujo, potencia) de los distintos tipos de turbinas

Grandes sistemas hidroeléctricos:

Como se ha señalado anteriormente, esta categoría puede quedar acotada para sistemas con capacidad superior a los 50 MW. Así, se pueden contabilizar actualmente instalaciones para la producción de energía hidroeléctrica que llegan a alcanzar los 22,5 GW (presa de las Tres Gargantas, China), aunque con ésta sólo dos instalaciones más superan los 10 GW: Itaipuen Brasil (14 GW) (figura 4) y Guri en Venezuela (10,4 GW).

Algunos de estos grandes sistemas no se dedican a inyectar energía a la red, sino que sirven directamente a la producción de grandes empresas industriales que son fuertes consumidores de energía eléctrica, como las dedicadas a la producción de aluminio.

En este punto también hay que señalar que los sistemas hidroeléctricos, principalmente los grandes pero también con tendencia a incluir pequeños, se utilizan como sistemas de acumulación de energía a partir del aprovechamiento de los excedentes de energía eléctrica producida para bombear agua a los embalses, siendo actualmente los sistemas más baratos de almacenamiento de energía eléctrica^[2]. Más información relacionada se puede encontrar en el SET dedicado a sistemas de almacenamiento de energía.



Figura 4.- Imagen de la presa de Itaipú (Brasil), segunda mayor del mundo.

Pequeños sistemas hidroeléctricos (turbinas en sistemas con caída pequeña):

Dentro de los sistemas con capacidades inferiores a los 50 MW, se observa una creciente actividad en parte debido a que las subvenciones y los programas de I+D se han centrado en este tipo de centrales, así como que muchos de los sitios idóneos para grandes centrales ya se encuentran ocupados, además de que la construcción de grandes centrales, sobre todo en países desarrollados, suele tropezar con grandes problemas medioambientales y sociales. En el caso de los países subdesarrollados, hay un matiz distinto y se suele recurrir a estas centrales para evitar grandes inversiones en presas y tendido de líneas de distribución de electricidad.

Los pequeños sistemas hidroeléctricos se suelen plantear en emplazamientos donde se puede conseguir una fuente de energía renovable de bajo coste (figura 5), áreas aisladas a las que resulta extremadamente costoso acercar la red eléctrica o en países en los que no existe una red eléctrica nacional.



Figura 5.- imagen de una central hidroeléctrica pequeña.

Sistemas hidroeléctricos de río fluyente (sin embalse):

Las centrales minihidroeléctricas (figura 6) son muy a menudo de río-fluyente. Este tipo de sistemas trata de evitar los daños medioambientales que producen los embalses, situándose al lado del cauce de los ríos, sin influir demasiado en su flujo. Además, suelen aprovechar las corrientes de los ríos pequeños, o si son ríos importantes, se sitúan en los tramos iniciales de sus cabeceras, especialmente en las zonas relativamente montañosas.



Figura 6.- imagen de turbina para una central hidroeléctrica de río fluyente.

El planteamiento de estos sistemas, además, introduce una novedad en cuanto a su operación con respecto a los que utilizan embalse. Así éstos siempre son considerados para producir electricidad cuando se producen picos de demanda, dada su rápida disposición a inyectar energía eléctrica a la red (excepto en países donde la aportación de energía hidroeléctrica a la red es elevada, donde también contribuyen a la producción de base). En cambio, las características de los sistemas de río fluyente se consideran para aportar potencia en la producción de base, dado que se entiende que tienen capacidad para generar electricidad de forma muy estable durante las 24 horas del día.

Sistemas con huella medioambiental reducida:

El lugar donde se sitúa una central hidroeléctrica es estudiado muy detalladamente antes de proceder a su construcción. Se trata, evidentemente, de que el sistema hidroeléctrico genere un impacto medioambiental reducido, dado que en las últimas dos o tres décadas ha habido un gran rechazo público en relación a los grandes proyectos hidroeléctricos, especialmente en los países desarrollados. Se trata de que el beneficio de producción de energía a partir de una fuente renovable no se vea empañado por estos aspectos. Por esta misma razón se está apoyando cada vez más la energía mini-hidroeléctrica, ya que los impactos hidrológicos de una central de agua fluyente o de canal de desviación suelen ser mucho más pequeños.

En el caso de los embalses, habrá que tener en cuenta que no se puede disminuir del todo el flujo de agua río abajo por los efectos que puede tener sobre la fauna fluvial, cambios de nivel de aguas freáticas, etc. Por tanto, aguas abajo de una presa siempre tiene que existir el denominado flujo mínimo o ecológico, por lo que no todo el caudal remanente se podrá utilizar para el riego.

Otros efectos que hay que valorar es el impacto ecológico causado por el proceso de construcción de una gran presa que puede durar bastantes años. Al final habrá que valorar la desaparición de terrenos con una fauna y flora autóctona que luego es sustituida a menudo por lagos para la pesca y actividades de ocio. Estos cambios ecológicos se deben tratar de predecir antes del comienzo de construcción de las presas, para evitar efectos no deseados, como ocurrió tras la construcción de la presa de Assuan, donde al dejarse de producir las inundaciones anuales que fertilizaban las tierras con nutrientes, ha habido un notable empobrecimiento de los suelos.

A veces se trata de disminuir una parte del impacto medioambiental garantizando el tránsito de los peces en general y, en particular, las migraciones periódicas de salmones, construyendo escalas junto a las presas. También, para evitar que los peces pasen a través de las turbinas, algunos países establecen por ley que la entrada de agua a la turbina esté protegida por una rejilla.

Por otro lado, el agua que llega a la turbina contiene muy poco sedimento, lo que genera erosión de los fondos marinos y pérdida de bancos de arena río abajo, acelerado con aperturas intermitentes de las compuertas de las turbinas. También se producen variaciones en el contenido de oxígeno del agua antes y después del emplazamiento de la instalación. Además, el agua que sale de la turbina suele estar más caliente que la almacenada.

En países del área tropical los embalses de agua producen cantidades importantes de metano, que es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el CO₂. Las emisiones de metano de estos embalses pueden llegar a ser comparables al a las emisiones de centrales de producción de energía eléctrica con combustibles fósiles, especialmente si los embalses están sobredimensionados con respecto a la potencia eléctrica instalada, y si no se realizó una labor de limpieza de biomasa previa al llenado del embalse^[5].

Por último, es además muy importante el impacto social cuando hay necesidad de desplazar a las personas que habitan en el territorio afectado. Así la construcción de la presa de Aswan (figura 7) supuso el desplazamiento de cerca de 100.000 personas, un número insignificante en comparación con la presa de las Tres Gargantas, sobre el río Yangsé, que exigió el desplazamiento de 1.200.000 personas aproximadamente.



Figura 7.- im(agen del proceso de construcción de la presa de Aswan (Egipto).

Sistemas de gestión del agua:

Como se ha señalado anteriormente, la prioridad en los países desarrollados está siendo, al menos, garantizar el mantenimiento del caudal ecológico de los ríos en los que se sitúa un embalse para que la actividad de producción de energía no resulte incompatible con el medioambiente. A veces, la mejora en la eficiencia del sistema lleva a la operación con cauces río-abajo vaciados para lograr una mayor caída del flujo de agua.

Por otro lado, los sistemas hidroeléctricos dotados con embalse se utilizan para controlar el riesgo de inundaciones, garantizar un constante flujo de agua para los sistemas de riego agrícolas e, incluso, sostener actividades lúdicas.

Etapas de desarrollo:

En función del grado de penetración en el mercado, podemos considerar, en general, que la energía hidroeléctrica implica una tecnología madura, especialmente en lo relacionado con turbinas, sistemas grandes y buena parte de los aspectos relacionados con la gestión del agua (figura 8). Sin embargo, hay aspectos en estas tres subtecnologías que aún tienen campo de trabajo para que se produzcan importantes innovaciones. Específicamente, en el campo de gestión de agua hay una actividad importante en I+D en aspectos específicos que se puede distinguir las actividades tradicionales de regulación de cauces y potenciación de actividades agrícolas. Lo mismo ocurre en relación a la atenuación de la huella medioambiental de la producción de energía hidroeléctrica. Estas consideraciones

nos llevan a dividir en dos los segmentos que señalan el desarrollo tecnológico en gestión del agua y en atenuación de huella medioambiental.

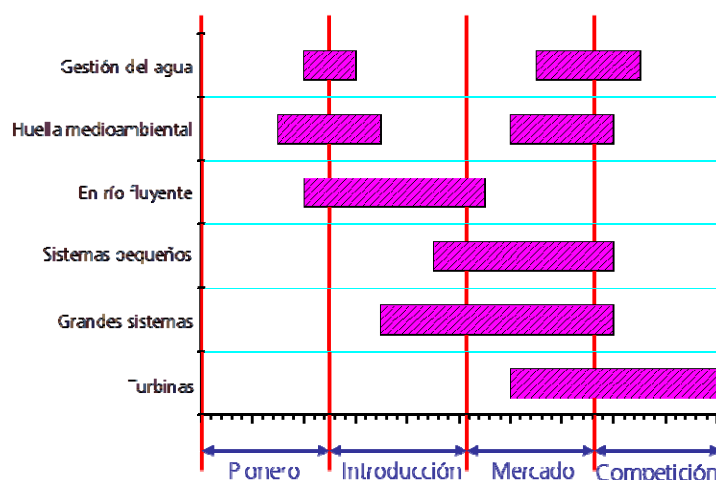


Figura 8.- Estado del desarrollo de cada una de las tecnologías implicadas en el desarrollo de la energía hidroeléctrica.

Por otro lado, el desarrollo de los sistemas pequeños va más retrasado, principalmente debido a una cuestión de costes, mientras que la tecnología hidroeléctrica en río fluyente se puede considerar como la más inmadura y necesitada de avances para su adecuada penetración en el mercado.

3.- Costes actuales y futuros escenarios

La energía hidroeléctrica implica una de las formas más baratas de producir electricidad. Así, en países OCDE el coste de inversión se puede situar en los 2400 USD/kW de capital y la producción de electricidad en los 0,03-0,04 USD/kWh, mientras que en países en desarrollo los costes de inversión se sitúan por debajo de los 1000 USD/kW y la producción de electricidad en los 0,02-0,06 USD/kWh^[6]. Estos valores implican que ya se ha producido la paridad de red, algo evidente dado que la energía hidroeléctrica es una de las fuentes de producción de electricidad tradicionales en cualquier sistema eléctrico que disponga del recurso. Estos son costes medios, los cuales varían en función de las características del emplazamiento (mano de obra, indemnizaciones, impacto medioambiental,...). Para sistemas hidroeléctricos de río fluyente, los costes de inversión se estiman en un rango de 2000-4000 USD/kWh^[2].

Por otra parte, dado que la fuente de energía es gratuita, los costes de inversión se concentran en los primeros años. Además, como la durabilidad media de este tipo de centrales supera los 50 años, los planes de inversión y endeudamiento para afrontar la construcción y operación de estas centrales debe tener en cuenta este condicionante.

En los cálculos de inversión también hay que tener en cuenta el tiempo de vida de los distintos componentes, que son diferentes. En el caso de componentes como

las turbinas, su vida útil se suele estimar entre 25 a 50 años. Por lo que se refiere a las estructuras externas, un tiempo típico puede ser de 100 años.

De cara al futuro, los costes de inversión no se plantea que puedan bajar como en el caso de tecnologías emergentes (por ejemplo, fotovoltaica), dado que la inversión va muy asociada a los costes de las materias primas, para las cuales no se prevé una evolución a la baja en precios.

A los costes de generación de energía hidroeléctrica que hemos presentado habría que añadir los costes de operación y mantenimiento, estimados en 5-20 USD/MWh para plantas nuevas de tamaño medio y grande, y el doble para plantas de producción pequeñas. También habría que añadir los costes de distribución de electricidad, donde debemos observar que no siempre las fuentes explicitan si estos costes se encuentran o no incluidos en los datos de generación aportados.

4.- Tasa de retorno energético, emisiones de CO₂ y costes externos

En primer lugar, hay que considerar que todos los valores que se exponen a continuación son medios, dado que las condiciones de cada emplazamiento particular son determinantes en cuanto al cálculo de los mismos. Así, la tasa de retorno energético se sitúa entre 30-270, siendo la mayor de todas las fuentes de energía renovable estudiadas. Los costes externos medios se sitúan en los 0,005 EUR₂₀₀₀/kWh, siendo también el valor menor de los obtenidos para las distintas fuentes de energía renovable^[7].

En cuanto a las emisiones de CO₂, no hemos encontrado estudios rigurosos que nos aporten datos al respecto. De forma algo extendida se suele considerar que este tipo de tecnología no emite CO₂, sin embargo, consideramos que se trata de una apreciación errónea dado que, especialmente en la fase de construcción, las emisiones de CO₂ han de ser muy considerables, de forma similar a lo demostrado para otras tecnologías renovables^[7]. No obstante, teniendo en cuenta la durabilidad de las centrales hidroeléctricas, la repercusión de las emisiones de CO₂ por kWh producido se ha considerado el más pequeño de todas las tecnologías renovables^[7].

También hay que considerar las emisiones de CO₂ y metano que se pueden producir en los embalses de las centrales hidroeléctricas. Así, existe cierta controversia en el sentido de indicar que las emisiones de CO₂ tan reducidas con este tipo de tecnología se ven empañadas por las emisiones de metano, que es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el CO₂. Al respecto, el grupo IEAHydropowerImplementingAgreement, bajo el liderazgo de Brasil, ha iniciado trabajos exhaustivos para contabilizar el balance de carbono en reservorios de agua dulce, donde se incluyen análisis de ciclo de vida que, incluso, llegan a considerar los impactos de potenciales inundaciones^[2].

5.-Tendencias tecnológicas futuras

Dentro de la energía hidroeléctrica existen varias tendencias que cubren de forma general toda la tecnología. Así, destaca el desarrollo de sistemas híbridos,

especialmente hidroeléctrica-viento e hidroeléctrica-hidrógeno, planteados como sistemas que puedan cubrir tanto producción como almacenamiento. Actualmente estos sistemas se están ensayando a escala pequeña, pero la tendencia hacia el futuro es a que vayan ganando protagonismo en la generación de energía distribuida y en emplazamientos aislados.

Otro aspecto general en el que se está indagando es en la investigación de la producción de energía hidroeléctrica y el efecto que el cambio climático puede tener en su producción. Este tipo de estudios es especialmente importante dado que las centrales hidroeléctricas tienen tiempos de vida que se prolongan mucho en el tiempo, por lo que variaciones climáticas a largo plazo pueden tener repercusiones en las instalaciones que actualmente se están diseñando y construyendo.

Turbinas:

En el ámbito de las turbinas, se están desarrollando materiales para las mismas que demuestren una mayor resistencia al desgaste y a la ablación (compuestos fibra/resina), con fricción mínima y con propiedades de autolubricación. También se desarrollan turbinas menos intrusivas para caídas pequeñas, que permitan la obtención de recursos en nuevos emplazamientos. Además, hay que destacar el desarrollo de nuevos diseños de turbinas mediante dinámica de fluidos utilizando potentes herramientas informáticas de simulación.

Grandes sistemas hidroeléctricos:

El esfuerzo principal en este campo se está centrando en la mejora de las instalaciones existentes (especialmente las más anticuadas) para lograr mayores potencias y eficiencias, así como un mantenimiento reducido. También se trata de que estas instalaciones no afecten al suministro de agua en lugares donde escasea, además de lograr el diseño de embalses que eviten emisiones de metano a partir de la descomposición de material orgánico.

Por último, se están desarrollando importantes esfuerzos en la extensión de la vida de las centrales hidroeléctricas mediante procesos de restauración y mejora, así como el control remoto de las instalaciones para la automatización de procesos y el diagnóstico adelantado de fallos, de forma que se reduzcan los gastos de operación y mantenimiento.

Pequeños sistemas hidroeléctricos (turbinas en sistemas con caída pequeña):

Debido a la tendencia a que el recurso hídrico cada vez sea más escaso, este tipo de infraestructuras, frente a las grandes, va adquiriendo mayor protagonismo. Aun así, debe mejorar el diseño de equipos, desarrollar nuevos materiales, mejorar los sistemas de control y generación de electricidad, etc. El objetivo principal es acercar los niveles de eficiencia y de costes de producción de energía a los que se obtienen en los sistemas grandes. También en este campo se desarrolla tecnología de control remoto y plantas con sistemas de mantenimiento limitados.

Sistemas hidroeléctricos en río fluyente (sin embalse):

Dado que se trata de la tecnología más cara dentro de las estudiadas en este SET, el esfuerzo fundamental se centra en abaratar costes. Con esta tecnología, las cuestiones más importantes vienen determinadas por la necesidad de obtener la mayor eficiencia energética en emplazamientos de características muy diversas y variables, así como la protección de dichos sistemas y la del medioambiente. Además, es necesario desarrollar sistemas de control específicos que permitan que esta forma de producción de energía tenga poca variabilidad en el tiempo, de forma que aporte potencia al sistema eléctrico en régimen de producción de base.

Sistemas con huella medioambiental reducida:

El esfuerzo principal en materia medioambiental se centra en el desarrollo y aplicación de nuevos diseños de ingeniería civil, equipos electromecánicos y de instrumentación que sean efectivos en la atenuación de la huella ecológica que este tipo de actividades genera. Especial énfasis se está haciendo en el diseño de sistemas que faciliten la vida acuática, reduzcan las emisiones de metano, eviten la erosión de los cauces de los ríos y mantengan la temperatura y oxigenación de las aguas.

Sistemas de gestión del agua:

En un escenario futuro en que el agua será cada vez más escasa, la investigación en lograr optimizar la gestión de este recurso es fundamental para garantizar que no se generen tensiones sociales debido a su escasez. También debe mejorarse la compatibilidad entre la producción de energía eléctrica y la adecuada gestión del recurso hídrico.

6.- Hitos en preproducción 2008-2010

La presa de las Tres Gargantas empieza a operar a toda su capacidad^[8]

La presa de las Tres Gargantas (China), con una cabeza de 185 m y una longitud de 2,5 km (figura 9), ha empezado a operar a toda su capacidad. El embalse está formado por un lago serpenteante de 660 km de longitud y cubre 58.000 km². El embalse comenzó a llenarse en 2003 y se espera que produzca 84,7 TWh/año. El presupuesto de la instalación ascendió a 25 mil millones de USD.

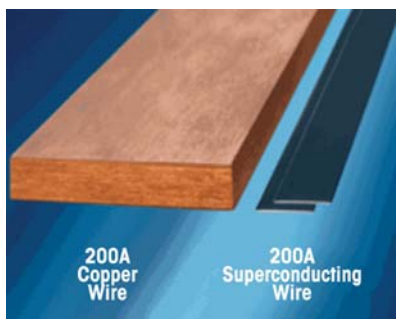


Figura 9.- imagen de la presa de las tres gargantas (China).

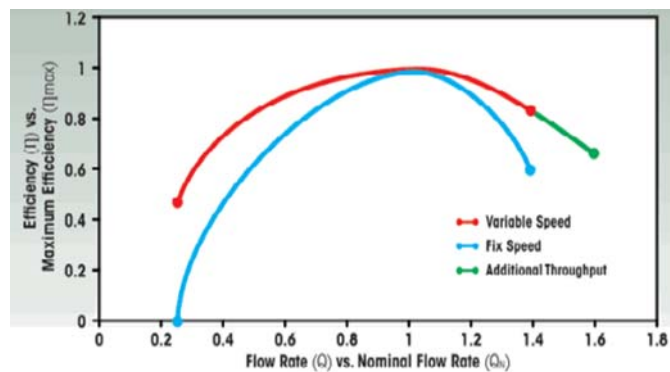
7.-Hitos en innovación 2008-2010

La tecnología se superconductores en los generadores hidroeléctricos^[9]

Una planta operada por E.ON Waserkraft en Alemania será la primera en comercializar Superconductores Alta Temperatura (SAT), en el sector hidroeléctrico, los cuales presentan grandes ventajas para los generadores de energía mini hidroeléctrica. Estos generadores de velocidad variable, aparte de aumentar en un 36% la capacidad de estas pequeñas plantas, ofrecen una gran reducción de tamaño y peso (figura 10.a), permitiendo la mejora de las plantas sin construcción adicional. El material superconductor ha sido desarrollado por ZenergyPower y las investigaciones financiadas por la UE. Las pruebas han sido realizadas para distintos flujos en el río, eficiencia de las turbinas, etc. El material SAT forma las espirales de los rotores mientras que el estator sigue siendo de cobre. Los SAT se enfrían a 30 K mediante helio. Estas propiedades son especialmente beneficiosas para los generadores de velocidad variable como muestra el aumento de la eficiencia en la figura 10.b.



(a)



(b)

Figura 10.- (a) imagen de la sección de cobre tradicional y de SAT; y (b) diagrama de eficiencia del generador en función de la velocidad de flujo del agua.

Generadores en río fluyente bajo el agua^[10]

En un constante esfuerzo por acercar los costes de producción de energía hidroeléctrica en río fluyente a los de la convencional, se están ensayando nuevos prototipos donde turbinas y generadores se encuentran bajo el agua, integrados en una única estructura. La generación de electricidad se produce mediante el movimiento de imanes implantados en el rotor con respecto a bobinas. El resultado es una turbina con centro abierto (figura 11).



Figura 11.-Imagen de sistema de generación en río fluyente en el cual se integra el generador a la turbina.

8.- Estadística de publicaciones

La figura 12 muestra el número de publicaciones científicas durante el período 2001-2009 para los distintos tipos de tecnologías implicadas en el desarrollo de la energía hidroeléctrica^[11].

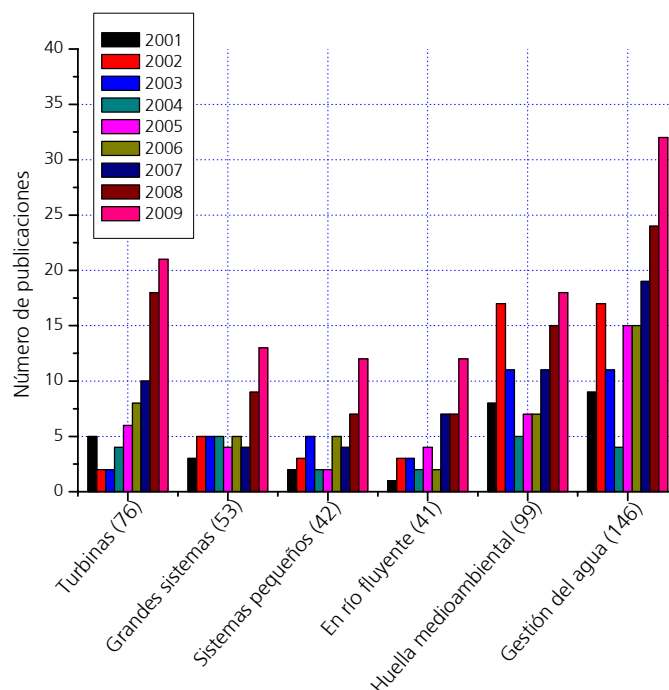


Figura 12.- Número de publicaciones científicas durante el período 2001-2009 para los distintos tipos de tecnologías implicadas en el desarrollo de la energía hidroeléctrica.

Como se puede apreciar, la actividad científica en este campo es significativa y creciente, especialmente en los aspectos relacionados con la gestión del agua,

dada la importancia que dicho recurso está adquiriendo en el siglo XXI. En segundo lugar se detecta una actividad relativamente constante en el análisis del impacto medioambiental de estas infraestructuras, especialmente controvertidas cuando se trata de sistemas grandes y afectan a poblaciones. En tercer lugar se sitúa la actividad en el desarrollo de turbinas, con una tendencia claramente ascendente, lo que se atribuye a la necesidad de mejorar instalaciones anticuadas incrementando la eficiencia de las mismas.

En cuanto al estudio de sistemas de producción de energía eléctrica a partir del recurso hidroeléctrico, la actividad científica también es ascendente pero resulta sensiblemente inferior que en los campos señalados más arriba, así como bastante equilibrada entre los tres sistemas expuestos.

Referencias

- 1.- IEA (2010).
- 2.- IEA Essentials (2010).
- 3.- International Hydropower Association (2010).
- 4.-J.Ramage (2004).
- 5.- World Commission on Dams (2009).
- 6.- IEA (2008).
- 7.- (ExternE-Pol).
- 8.-R. Stone (2008).
- 9.- Renewable Energy World (2010).
- 10.-Economist web edition (19.02.2008).
- 11.- Thomson Reuters.