

GUÍA

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO
DE INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN OPERACIÓN





LIFE+ Environment Policy and Governance
**SISTEMA DE COGENERACIÓN HIDRÁULICA
EN REDES DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS**

LifeHyGENet
LIFE12 ENV/ES/000695



Cofinanciado por:



Socios:





ÍNDICE

INDICE

- 4 INTRODUCCIÓN**
- 10 ALCANCE DE LA GUÍA**
 - 11 PROYECTO LIFEHYGENET
- 14 INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS POTENCIALES**
 - 14 EDAR
 - 15 ETAP
 - 17 REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
 - 18 CANALES DE RIEGO
 - 19 CAPTACIONES PARA OTROS USOS
- 21 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA DISPONIBLES**
 - 23 TURBINA PELTON
 - 23 TURBINA TURGO
 - 24 TURBINA DE FLUJO CRUZADO
 - 24 TURBINA FRANCIS
 - 25 TURBINA KAPLAN
 - 25 OTRAS TURBINAS
- 28 PASOS A SEGUIR PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO EN INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN OPERACIÓN**
 - 29 DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN
 - 29 OBTENCIÓN DE LICENCIAS Y PERMISOS
 - 31 EJECUCIÓN DE OBRAS Y PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN
 - 31 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN
- 33 BUENAS PRÁCTICAS DE APROVECHAMIENTOS ENERGÉTICOS EN INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS**
- 36 DIRECCIONES DE INTERÉS**

1

INTRODUCCIÓN



La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha designado el agua como un bien básico para la humanidad. Por su parte, reconoce a la energía como un elemento fundamental para lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio pues un suministro adecuado de energía en un país tiene un profundo efecto en la productividad, la salud, la educación, el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica y los servicios de comunicación.

Según se está constatando en los últimos años, el consumo de agua y la producción de energía son dos actividades muy relacionadas. Para la producción de energía se necesitan grandes cantidades de agua y para el tratamiento y movilización del agua es necesario el consumo de energía. A pesar de esta clara relación, tradicionalmente la gestión del agua y de la energía se realiza por separado, sin considerar las sinergias existentes entre ambos recursos. Las iniciativas encaminadas a detectar y reforzar estas sinergias marcarán el camino a seguir en las futuras estrategias energéticas y del agua. Para abordar la creciente demanda energética y de agua a costes accesibles se debe conocer la disponibilidad de ambos recursos y desarrollar tecnologías para reducir sus consumos y mejorar su aprovechamiento.



En este sentido, la European Innovation Partnership Water (EIP Water), una iniciativa enmarcada dentro de la Unión por la Innovación 2020 de la Unión Europea (UE), aboga por el desarrollo de soluciones innovadoras encaminadas a abordar tres retos principales:

- Reducir el consumo de energía en la gestión del agua. Se persigue reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia energética en los sistemas de tratamiento, potabilización, suministro y reutilización de agua, por medio de la modernización de los sistemas de monitorización, automatización y control de procesos y la utilización de energías renovables para el autoabastecimiento energético.
- Recuperar la energía contenida en el agua. Se busca un aumento del agua como fuente de energía. Dentro de esta alternativa se plantea un mayor protagonismo de la recuperación energética del agua circulante en infraestructuras hidráulicas en operación a través del desarrollo de tecnología y soluciones innovadoras de aprovechamientos hidroeléctricos de muy pequeño tamaño.
- Reducir el consumo de agua en la producción de energía. Se trabaja en minimizar el impacto de la actividad de producción de energía en la calidad y disponibilidad de agua por medio de la reducción en la captación de este recurso en dos actividades básicas, para procesos de refrigeración de plantas de generación y para actividades de exploración y extracción de combustibles fósiles.

Por otro lado, uno de los principales problemas medioambientales a los que nuestra sociedad se está enfrentando es el denominado cambio climático. No sólo es un problema medioambiental, sino que sus repercusiones se manifiestan en el ámbito de la salud y en la economía. Durante los últimos años han sido aprobados por el Parlamento Europeo diferentes Acuerdos y Directivas enfocados a mitigar el cambio climático.

Tres retos principales: reducir el consumo de energía en la gestión del agua, recuperar la energía contenida en el agua y reducir el consumo de agua en la producción de energía.



Estas acciones forman parte de una Estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura, encaminada a fomentar la eficiencia energética y el uso de energía procedente de fuentes renovables, cuyo horizonte inicial se estableció en 2020, pero que ha sido extendida hasta 2030.

Entre los objetivos fijados para 2030 se encuentran:

- Reducir las emisiones de CO₂ en un 40% con respecto a los niveles de 1990.
- Alcanzar un 27% de cuota global de energía procedente de fuentes renovables.
- Mejorar la eficiencia energética de modo que se reduzca el consumo energético en un 27%.
- Desarrollar tecnologías innovadoras en materia de energía (investigación en sistemas de almacenamiento de energía).

El cumplimiento del objetivo de incremento de la participación de las energías renovables en el suministro energético europeo tiene diversas ventajas. En primer lugar, se materializaría una significativa reducción de las emisiones de gases, entre los que se encuentran los causantes del efecto invernadero, precursor del calentamiento global y del cambio climático. En segundo lugar, está su componente social. De acuerdo al último informe de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA), un aumento de la participación de las fuentes renovables en la matriz energética mundial hasta un 36% supondría la creación de 24,4 millones de empleos en el sector renovable.

Finalmente, un mayor uso de las renovables para la generación de energía implicaría una notable reducción de las importaciones de combustibles fósiles por parte de Europa, lo que supondría importantes ahorros económicos y una reducción estratégica de la dependencia externa.



Dentro de estas fuentes renovables se encuentra la energía hidroeléctrica, aquella que se obtiene de aprovechar la energía contenida en el agua para convertirla en energía eléctrica. Cuando esto se realiza en pequeños cauces o saltos de agua (con centrales con una potencia instalada inferior a 10 MW) recibe el nombre de energía mini-hidráulica.

Se trata de una fuente renovable cuyo aprovechamiento se caracteriza por no producir residuos contaminantes, utilizar el agua sin alterar sus propiedades, utilizar recursos autóctonos que reducen la dependencia energética y aseguran el suministro energético y generar actividad económica, sobre todo, en áreas rurales.

La energía minihidráulica se caracteriza por no producir residuos contaminantes, utilizar el agua sin alterar sus propiedades, utilizar recursos autóctonos que reducen la dependencia energética y generar actividad económica en áreas rurales.

Con respecto a las infraestructuras hidráulicas en operación, los procesos vinculados a la gestión integral del agua (tratamiento, transporte, depuración, reutilización, etc.) parecen lejos de haber llegado al límite en mejora energética. Según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia de España, CNMC, el consumo energético destinado a procesos de tratamiento de agua en áreas urbanas en España se sitúa en torno al 8 % del consumo eléctrico total del país.

En la presente guía se incluye información de utilidad para la implantación de medidas encaminadas a mejorar el aprovechamiento energético de diferentes infraestructuras hidráulicas en operación. La solución propuesta pasa por la instalación en estas infraestructuras de sistemas hidroeléctricos de carácter micro que permitan aprovechar la energía cinética y potencial del agua circulante para la producción de electricidad. Este hecho presenta una doble perspectiva, a pequeña escala ofrece la posibilidad de reducir el consumo eléctrico de los equipos de las plantas o infraestructuras por medio del autoabastecimiento eléctrico, mientras que a una escala de implantación mayor, facilita la generación distribuida y un mayor uso de las fuentes renovables en el sistema español de producción eléctrica.



A lo largo del documento se señalan las principales infraestructuras donde se puede llevar a cabo el aprovechamiento y se hace una descripción de la tecnología disponible y de los mecanismos necesarios para su implantación.





La estrategia propuesta contribuye a la mejora energética de las infraestructuras contempladas, ya que aprovecha un recurso hasta ahora no utilizado, como es el caudal de agua, para su auto-suministro energético. Estas acciones favorecen la consecución de los objetivos marcados por la EIP Water en cuanto a promover la recuperación de energía contenida en el agua de sistemas antropogénicos y reducir el consumo de energía en la gestión del agua. A su vez, la generación apoyada en una fuente renovable sumada a la reducción del consumo del sistema eléctrico nacional, contribuye a cumplir los objetivos marcados por la UE en materia de implantación de fuentes renovables y de disminución de las emisiones de CO₂, así como a reducir la producción eléctrica de grandes centrales térmicas, revirtiendo en un reajuste del consumo de agua en los procesos de producción de energía.

El propósito de esta guía es contribuir a afianzar un nuevo modelo de gestión agua-energía más sostenible, fomentando la réplica de las experiencias planteadas en sistemas con el mismo patrón o similar, en cualquier localización a nivel mundial. Esta guía está dirigida a los gestores y propietarios de redes de transporte, suministro y tratamiento de agua, tales como ayuntamientos, autoridades regionales y nacionales, consorcios públicos, comunidades de regantes, etc., sin olvidar otros actores como centros tecnológicos, asociaciones de empresas, agencias y organismos nacionales, regionales y locales enfocados en la gestión del agua y la energía.

El propósito de esta guía es contribuir a afianzar un nuevo modelo de gestión agua-energía más sostenible.



2

ALCANCE DE LA GUÍA

Las principales infraestructuras hidráulicas en operación detectadas como válidas para la implantación de tecnologías mini-hidráulicas con el propósito de recuperar la energía del agua circulante son:

- Instalaciones de tratamiento de corrientes de agua residuales procedentes de procesos industriales y urbanos, EDAR.
- Instalaciones de potabilización de agua para consumo humano, ETAP.
- Redes de abastecimiento de agua potable.
- Canales de riego.
- Captaciones y descargas en cauces fluviales o mar para otras concesiones (antiguos molinos hidráulicos, piscifactorías, etc.).

Complementariamente, se consideran, aunque no son tratadas en esta guía:

- Rehabilitación y modernización de centrales hidroeléctricas abandonadas o aquellas que ya han superado su vida útil y siguen funcionando muy por debajo de su nivel óptimo con unos rendimientos muy bajos.
- Aprovechamiento de caudales que actualmente no se turbinan en centrales hidroeléctricas en funcionamiento (caudales ecológicos, caudales del canal de descarga,...) con el consiguiente incremento en la eficiencia y producción eléctrica de la central.



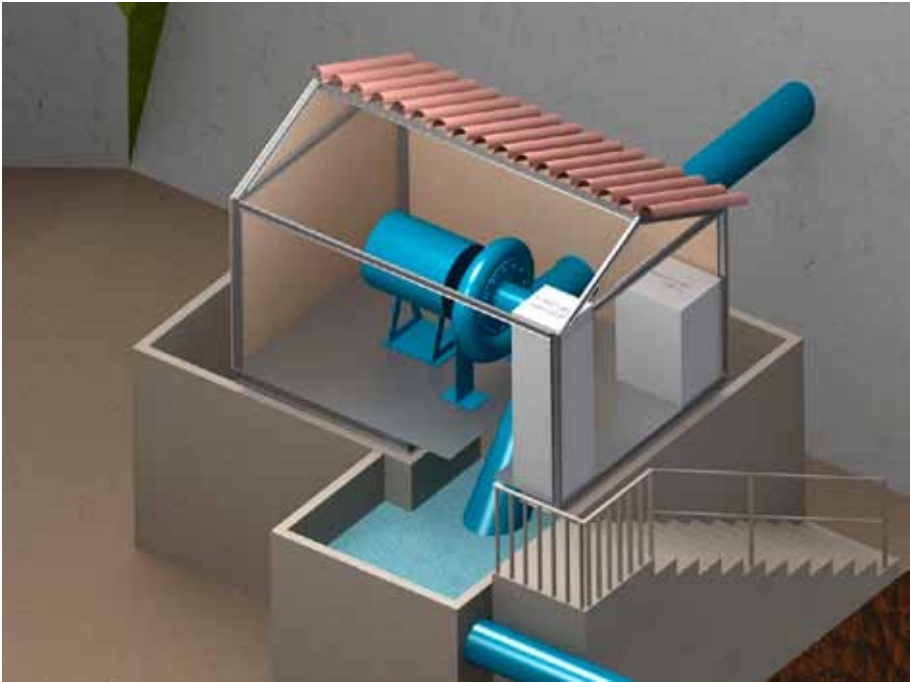
Un aspecto clave a la hora de implantar estos sistemas es evaluar los efectos derivados. Las plantas hidroeléctricas tradicionales ocupan grandes espacios y requieren de una importante obra civil, con impactos sociales, económicos y medioambientales relativamente significativos, algo inasumible en este tipo de redes tan próximas a núcleos de población.

En este sentido, y en aras a desarrollar un dispositivo de generación hidroeléctrica, de pequeño tamaño y fácil instalación, para redes de abastecimiento de agua potable que evite los inconvenientes anteriores, se constituye el proyecto LIFEHYGENET.

PROYECTO LIFEHYGENET



La tecnología validada en el proyecto LIFEHYGENET ha sido configurada para su utilización en redes de distribución y abastecimiento de agua potable como elemento alternativo a los sistemas de reducción de presión. Estos elementos cumplen sobradamente la función para la que han sido destinados, disipando la energía que contiene el agua, sin embargo, se antoja altamente ineficiente al no aprovechar esta energía con fines de producción eléctrica.



La sustitución de una cámara de rotura de carga por el dispositivo desarrollado no solo reduce la presión en la red, sino que también permite el aprovechamiento energético del agua para generar electricidad. El dispositivo es de pequeño tamaño y de carácter modular, con montaje de todos sus elementos en planta para ser transportado totalmente ensamblado y de una sola pieza. El sistema engloba una estructura portante o módulo que contiene una turbina hidráulica de pequeño tamaño y un generador eléctrico. Esta configuración permite reducir considerablemente la obra civil necesaria para la implantación de la unidad en el enclave seleccionado. Las obras se limitarían por tanto al despliegue y conexión de tuberías y de la línea eléctrica.

El dispositivo es de pequeño tamaño y de carácter modular, con montaje de todos sus elementos en planta para ser transportado totalmente ensamblado y de una sola pieza.

El dispositivo ha sido concebido inicialmente para este tipo de redes pero puede ser adaptado y fabricado ad hoc, de modo que pueda ser empleado en distintos tipos de



infraestructuras hidráulicas con unas características de diseño (potencia nominal) también adaptables a las condiciones de caudal de agua y desnivel del emplazamiento elegido.

Un aspecto de vital importancia es que el dispositivo no provoca alteración alguna en la calidad del agua, puesto que todas las superficies de los elementos expuestos a su paso están convenientemente tratadas de acuerdo a las normativas aplicables.

3

INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS POTENCIALES

EDAR

En líneas generales, el punto idóneo para la ubicación del sistema de generación es aquel en el que el agua circulante presente una mayor velocidad de tránsito. Estos puntos se encuentran en las zonas bajas tras importantes desniveles en las conducciones, donde la energía potencial y cinética del agua alcanzan valores pico.



Esquema de EDAR



En el caso de una EDAR, las conducciones de agua se realizan casi exclusivamente por medio de tuberías cerradas. Los puntos identificados como idóneos, siempre que cumplan las premisas anteriores, son dos, en la conducción de entrada al colector y en las tuberías de descarga del depósito final o de posibles depósitos intermedios.

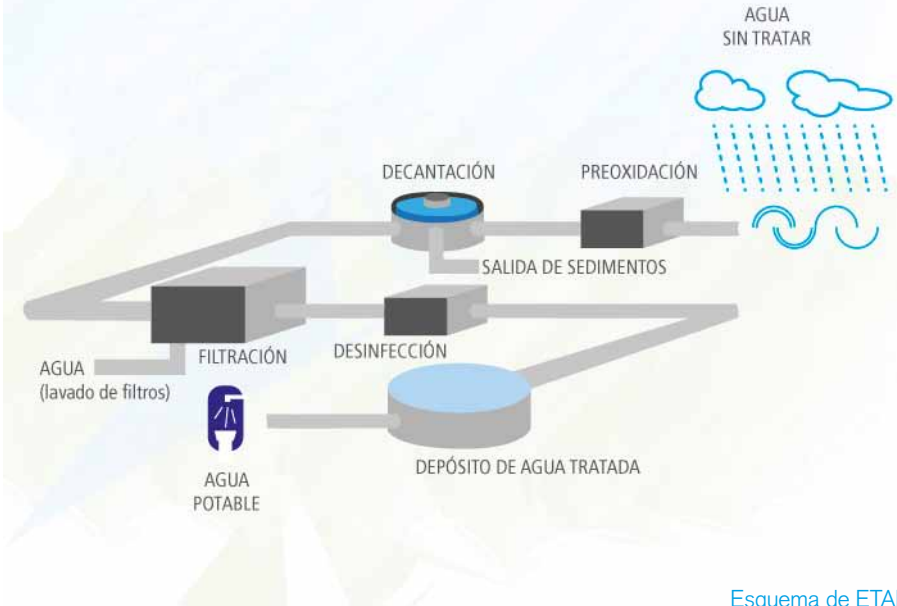
Dado que una EDAR es una infraestructura que presenta consumos eléctricos para acometer parte de sus procesos, la incorporación de un sistema de este tipo permitiría no sólo extraer un recurso energético de una fuente no aprovechada actualmente, sino también emplear dicho recurso en el autoabastecimiento energético de las plantas, lo que redundaría en reducir el consumo eléctrico externo, disminuir la factura eléctrica, minorar el coste del proceso de tratamiento, mejorar la eficiencia energética de la planta y reducir su huella de carbono.

Otra estrategia pasaría por verter la energía eléctrica generada a la red eléctrica y percibir una contraprestación económica por la misma.



ETAP

Al igual que en las EDAR, los puntos idóneos para la ubicación del sistema de generación se encuentran en la conducción de entrada a la planta y en las tuberías de salida del depósito final o de posibles depósitos intermedios, siempre que cuenten con el desnivel necesario. La implantación de esta tecnología se antoja más productiva, si cabe, en este tipo de plantas debido a los crecientes consumos que están experimentando a causa de los novedosos sistemas de potabilización que se están imponiendo para conseguir agua de mayor calidad. En las plantas de última generación, los principales equipos consumidores de energía son los generadores de ozono y las bombas para el lavado de filtros.



Esquema de ETAP

Tanto en las ETAP como en las EDAR, el sistema podría ser complementado con un módulo de almacenamiento energético (baterías eléctricas) que permita ajustar las curvas de producción y consumo de la planta. Puesto que, por norma general, la capacidad de generación no permitiría cubrir el consumo total de la planta, no se aconseja aislar la misma de la red de distribución externa, lo que conllevaría una compatibilización entre el suministro interno y el externo. Aún así, con esta solución se consigue reducir el grado de dependencia energética externa de la planta.

REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

En zonas montañosas, en las que existe un importante desnivel entre el embalse de captación y el depósito de almacenamiento, el agua circulante por las tuberías alcanza unas velocidades relativamente altas en determinados puntos, fenómeno que puede hacer peligrar la integridad estructural de las propias tuberías y del resto de elementos. La solución tradicional a este problema consiste en la implantación, en estos puntos conflictivos, de determinados dispositivos, como las cámaras de rotura de carga, que reducen la velocidad del agua y alivian con ello la presión en los conductos.

La sustitución de cámaras de carga por un sistema de generación hidroeléctrico se convierte en el esquema óptimo para obtener el mayor rendimiento energético del flujo de agua.



Esquema de red de abastecimiento de agua



Del mismo modo que en la experiencia acometida en el proyecto LIFEHYGENET, la sustitución de estas cámaras de rotura de carga por un sistema de generación hidroeléctrico se convierte en el esquema óptimo para obtener el mayor rendimiento energético del flujo de agua.

Otra alternativa válida, siempre que no se pongan en compromiso las condiciones de diseño de la red por un aumento de las pérdidas de carga, consiste en la ubicación de los dispositivos de generación, en este caso de menor tamaño y potencia, inmersos en puntos clave de la propia red de abastecimiento. Estos lugares, en los que la capacidad de extracción de energía es mayor, son las zonas de alta velocidad de tránsito de las tuberías y los vórtices en desagües o succiones de depósitos, donde el flujo de agua adquiere un régimen turbulento de rotación.

En este caso, la estrategia de gestión de la electricidad producida pasaría por su vertido a la red eléctrica y la percepción de una contraprestación económica, aunque cabría la posibilidad igualmente de emplear el autoconsumo energético en caso de presencia de equipos eléctricos próximos al punto de ubicación, tales como sistemas de bombeo o de accionamiento de válvulas.



CANALES DE RIEGO

En los canales de riego generalmente la movilización del agua se realiza exclusivamente por gravedad y a velocidades más bajas, por tanto, su trazado se realiza siguiendo las curvas de nivel del terreno, descendiendo desde los puntos más altos a cotas más bajas y no alcanzando grandes pendientes. Debido a este hecho, lo habitual, desde el punto de vista estructural, es realizar el transporte del agua en canales abiertos (acequias), aunque también cabe la posibilidad de hacerlo bajo tubería a presión.



En la actualidad hay gran variedad de experiencias de aprovechamiento de canales de riego para la generación hidroeléctrica con sistemas tradicionales. El procedimiento clásico es realizar una derivación en by-pass en un punto clave del canal donde se alcanzan unas condiciones óptimas de desnivel. En la derivación realizada se ubica la mini-central. Esta configuración permite, en caso de cierre de las turbinas, mantener en todo momento el caudal de riego y el ecológico aguas abajo.

Canal Segarra-Garrigues.
Fuente:
elpais.com

Al igual que en el caso de las redes de abastecimiento, y ante la ausencia de equipos eléctricos consumidores, la estrategia óptima pasaría por la venta a red de la energía producida.

CAPTACIONES PARA OTROS USOS

Este tipo de infraestructuras, de forma general, disponen de elementos constructivos para la derivación y canalización del caudal de agua.



Mediante un pequeño azud se intercepta el agua del río y se conduce a través de un canal con la pendiente adecuada. Las estructuras de canalización en este tipo de aprovechamientos siguen un patrón similar a los canales de riego, puesto que en la mayor parte de los casos se trata de canales abiertos. Sin embargo, es habitual que presenten un trazado mucho más corto y con escaso desnivel, por lo que se ha de elegir la tecnología óptima para estas condiciones hidráulicas, saltos pequeños y caudales importantes. En el caso de las piscifactorías, el sistema ha de asegurar además la ausencia de daños en los peces, por lo que se ha de recurrir a dispositivos con bajo régimen de giro, como los tornillos hidrodinámicos.



Molino Hidráulico. Fuente: macstuff.net



Piscifactoría El Alba. Fuente: lacuencadelnalon.es

Del mismo modo que en otros casos analizados, en función de la presencia de equipos eléctricos consumidores, la estrategia óptima pasaría por la venta a red o el autoconsumo de la energía producida.

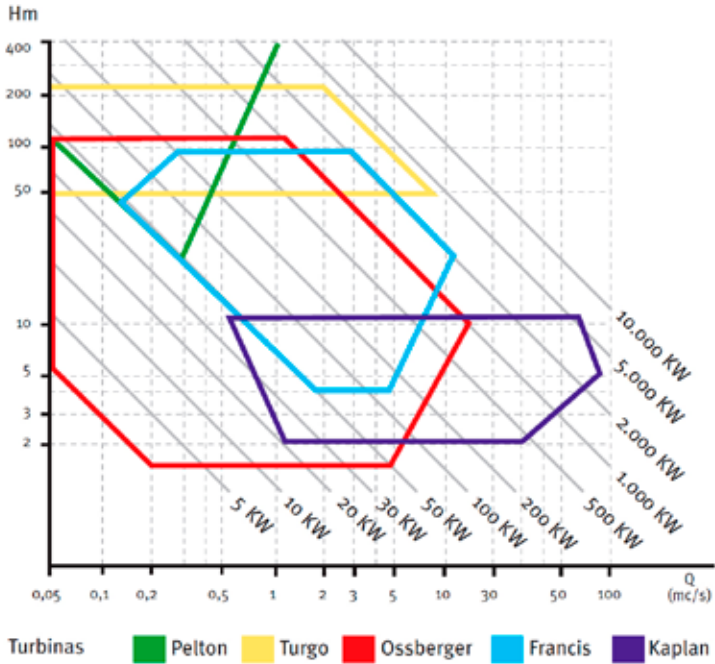


4 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA DISPONIBLES

La turbina hidráulica es el elemento clave y diferenciador de una central hidroeléctrica, puesto que el resto de equipamiento es relativamente similar independientemente de la tecnología empleada. La elección de la turbina adecuada, en lo que se refiere al tipo y tamaño, para una determinada concesión de agua está condicionada en gran medida por los siguientes parámetros:

- Salto o desnivel
- Rango de caudales a turbinar
- Curva de rendimiento
- Coste

En la siguiente figura se detalla el rango de funcionamiento (salto-caudal) de los diferentes tipos de turbina con mayor implantación en el mercado actual:



Rangos de funcionamiento de varios tipos de turbina.
Fuente: IDAE

Por regla general se utilizan turbinas Kaplan para saltos pequeños y caudales medios-altos, turbinas Francis para saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas y turbinas Pelton o Turgo para grandes saltos con caudales más bien bajos. La turbina Ossberger (de flujo cruzado) es la turbina con rango de aplicación más amplio.

Estas son las turbinas con mayor implantación en el mercado pero no son las únicas. En lo concerniente a las infraestructuras hidráulicas en operación objeto de esta guía, cabe la posibilidad de acceder a otras tecnologías habitualmente destinadas a aprovechamientos muy concretos.

Se debe tener presente que la elección final de la máquina no dependerá únicamente de estos criterios técnicos (salto o desnivel y rango de caudales a turbinar) que definen el nivel de producción anual de energía, sino también a criterios económicos como son los costes de inversión, operación y mantenimiento.

Las principales características de cada una de las tecnologías mencionadas se resumen a continuación:

Turbina PELTON

La turbina Pelton se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Su estructura, básicamente, consiste en un disco circular móvil con unas cazoletas sobre las que incide el chorro de agua, dirigido y regulado por uno o varios inyectores. Se encuentra entre las turbinas de régimen lento, que giran a baja velocidad. Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento.



Turbina Pelton.
Fuente: zeco.it

Turbina TURGO

La turbina Turgo ha sido diseñada para saltos de desnivel medio. Estructuralmente, es muy similar a la turbina Pelton, aunque con las cazoletas abiertas por la parte interior, dado que el chorro de agua incide de forma axial. Son sencillas y tienen bajos costes de fabricación, de instalación y de mantenimiento, por lo que se utilizan principalmente en instalaciones hidráulicas pequeñas en las que prima el bajo coste.

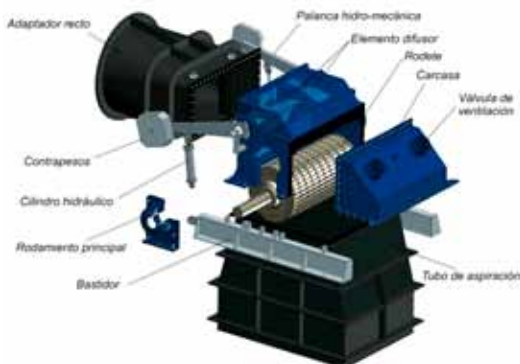


Turbina Turgo.
Fuente: cchpe.net

Turbina DE FLUJO CRUZADO

La turbina de flujo cruzado es una turbina de admisión radial. Su estructura es simple, por lo que se encuentra entre las turbinas con menores costes de inversión y mantenimiento.

Está constituida por un rodete de forma cilíndrica con múltiples palas dispuestas a lo largo del mismo. Este tipo de turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio y presentan buena adaptación a las variaciones de caudal, por lo que suele ser una buena opción para el aprovechamiento de pequeños saltos con caudales bajos.



Turbina de flujo cruzado.
Fuente: ossberger.de

Turbina FRANCIS

La turbina Francis, a diferencia de las anteriores, trabaja a presión. Cuenta con un rodete formado por una corona de paletas, con una forma tal que permiten cambiar la dirección del agua, recibiendo el flujo en dirección radial y expulsándolo en dirección axial. Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización relativamente amplio.



Turbina Francis. Fuente: hydrolink.cz

TurbinaKAPLAN

La turbina Kaplan también trabaja a presión, siendo el flujo de agua axial en todo momento.

Dispone de un rodete con 4 ó 5 palas (álabes) regulables en forma de hélice de barco. Son relativamente ruidosas, por lo que la solución habitual, desde el punto de vista de impacto visual y acústico, es integrarlas en una casa de máquinas enterrada o semienterrada. Son dispositivos de una mayor complejidad y un coste más elevado. Este tipo de turbinas se emplean generalmente en saltos pequeños y caudales variables o grandes.



Turbina Kaplan.
Fuente: zeco.it

OtrasTURBINAS

Adicionalmente a las tecnologías tradicionales comentadas, existen otros dispositivos relativamente novedosos en el mercado, algunos de ellos no pasan de ser meros prototipos.

Uno de los dispositivos que ya ha sido implantado con éxito es el tornillo hidrodinámico. Resulta indicado para aprovechamientos con bajos caudales y desniveles. El elemento móvil de estas unidades es un tornillo sin-fin que gira a un régimen de velocidad muy inferior a las clásicas turbinas, por lo que ofrece un mínimo impacto en caso de presencia de fauna piscícola en la corriente de agua.



Tornillo Hidráulico.
Fuente: hidrotor.com



Otra tecnología que ya cuenta con un importante nivel de penetración en el mercado es la turbina bulbo. Estructuralmente es muy similar a una Kaplan, pues se trata de una derivación de ésta. Las principales diferencias radican en su disposición con el eje horizontal o ligeramente inclinado en la corriente de agua y la encapsulación del generador y resto de componentes eléctricos dentro de una carcasa estanca. Esto permite su operación totalmente sumergida en el agua. Presenta la ventaja de que la obra civil necesaria se reduce, pero los equipos son más complejos y esto dificulta el mantenimiento.



Turbina Bulbo.
Fuente: zeco.it

En condición de prototipo o planta piloto, existen varias experiencias con pequeñas plantas hidroeléctricas que extraen la energía de grandes vórtices de agua en depósitos de acumulación. Disponen de turbinas específicamente diseñadas para tal propósito, con altos rendimientos en el aprovechamiento de la energía de rotación del agua. Estructuralmente son similares a las turbinas Kaplan en cuanto a la disposición de los álabes en el rotor, pero a diferencia de éstas, trabajan a bajas velocidades, lo que reduce el riesgo de afección a los peces y otros organismos.

Turbina de
vórtice. Fuente:
hidroenergia.net





En los últimos tiempos se han llevado a cabo diferentes experiencias piloto consistentes en la implantación de pequeñas micro-turbinas inmersas en las tuberías de agua. Se trata de dispositivos más sencillos y compactos que las turbinas clásicas, por lo que su capacidad de generación por unidad es menor. Su estructura y configuración difieren en función de las condiciones reinantes, si bien, en general se encuentran diseñados para trabajar en una tubería con presión tanto en su salida como en su entrada, dejando pasar el agua casi sin frenarla. Debido a su sencillez presentan bajos costes de implantación y de mantenimiento.



Micro-turbina en tubería. Fuente: aqualogy.net



5 PASOS A SEGUIR PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO EN INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN OPERACIÓN

Un gestor de infraestructuras hidráulicas que quiera realizar un aprovechamiento hidroeléctrico de los caudales circulantes debe tener presente que va a tener que llevar a cabo una serie de acciones que han de ser cuidadosamente planificadas antes de acometer su inicio. Las etapas clave son las siguientes:

- Diseño y dimensionado de la instalación con redacción de documentación técnica
- Obtención de licencias y permisos
- Ejecución de las obras y puesta en marcha de la instalación
- Operación y mantenimiento de la instalación

DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

La secuencia lógica de generación de documentación técnica de cara a la ejecución de un proyecto de este tipo, ordenada cronológicamente, debería incluir:

1. Estudio preliminar. Ofrece una primera visión del proyecto y sus cálculos están basados en estimaciones. Su objetivo es, a partir de las características particulares de la infraestructura hidráulica en operación, aportar los datos básicos para comprobar la viabilidad técnica y el orden de magnitud de la rentabilidad del proyecto, así como determinar si resulta viable avanzar en el mismo.
2. Estudio de viabilidad técnico-económica. Expone con un nivel de detalle suficiente los diferentes aspectos del proyecto: régimen de caudales, potencias de generación, inversiones necesarias, rentabilidades, etc.
3. Anteproyecto técnico. En este documento se desarrolla el diseño de la solución técnica resultante del estudio de viabilidad. El anteproyecto ha de disponer del nivel de detalle suficiente para poder redactar posteriormente el Pliego de Condiciones Técnicas.
4. Proyecto de ejecución con Pliego de Condiciones Técnicas (PPT). Se trata del documento que recoge la documentación técnica necesaria para la licitación de la instalación. Incluye la especificación, tanto de los sistemas de producción como del resto de sistemas involucrados.

OBTENCIÓN DE LICENCIAS Y PERMISOS

Uno de los puntos críticos en el proceso es la tramitación administrativa. La implantación de estas soluciones implica irremediamente la realización de una serie de procedimientos administrativos encaminados a la obtención de permisos y autorizaciones que suponen la intervención



de determinados organismos de ámbito local, regional y nacional. A continuación se expone un resumen de dichos trámites:

1. Modificación de la Concesión de Aguas por medio del Organismo de Cuenca correspondiente, de modo que incluya un segundo uso de generación hidroeléctrica complementario al uso actual.
2. Obtención de la Autorización para la instalación de equipos electromecánicos y líneas a través del Organismo Competente de la Comunidad Autónoma.
3. Solicitud de acceso y conexión tanto a red como a equipamiento eléctrico propiedad de la distribuidora, ya sea para venta o para autoconsumo, a través de la propia compañía eléctrica distribuidora.
4. Obtención de la Declaración o del Informe de Impacto Ambiental por medio de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente o del Organismo Competente de la Comunidad Autónoma.
5. Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica o en el Registro Administrativo de Autoconsumo de Energía Eléctrica, según proceda, a través de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y del Organismo Competente de la Comunidad Autónoma (Si existe convocatoria abierta para la asignación de potencia a nuevas plantas hidroeléctricas, cabría la posibilidad de realizar adicionalmente, para las instalaciones con venta a red, la inscripción en el Registro de Régimen Retributivo Específico para acceder a una mayor remuneración de la energía vertida).
6. Obtención de las Licencias de Obra y Actividad a través del Ayuntamientos del municipio en el que se realice la obra y se ejecute la actividad

La tramitación administrativa implica la modificación de la concesión de agua; la autorización para la instalación de equipos electromecánicos y líneas; la solicitud de acceso y conexión a la red eléctrica; la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental; la inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica o en el de Autoconsumo; y la obtención de las licencias de obra y actividad.



EJECUCIÓN DE OBRAS Y PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN

En lo que respecta a la fase de ejecución de las obras, éstas están altamente condicionadas por el tipo de infraestructura hidráulica y su tamaño. Con carácter general, las principales acciones a acometer son las siguientes:

1. Replanteo
2. Acondicionamiento de los accesos
3. Movimiento de tierras con excavación de zanjas para conducciones y línea eléctrica
4. Despliegue de tuberías o canales y ejecución de arquetas
5. Tendido de línea eléctrica de evacuación
6. Relleno de excavaciones y huecos
7. Construcción de edificios para albergar el equipamiento electro-mecánico
8. Adquisición, acopio y montaje del equipamiento electro-mecánico

En lo relativo a la realización de pruebas y puesta en marcha de la instalación, éstas son las mínimas a considerar:

1. Limpieza de tuberías antes de su llenado
2. Pruebas de estanqueidad en las tuberías tras su llenado
3. Puesta en marcha del equipamiento
4. Pruebas de prestaciones, calidad de la energía generada, nivel sonoro, etc.



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Una vez puesta en marcha la instalación se entra en la fase de explotación de la misma, lo que implica la creación de un plan de operación y mantenimiento en el que las prin-



Las principales acciones a tener en cuenta son las siguientes:

1. Control del funcionamiento de la instalación. En la actualidad todas las centrales de nueva construcción se encuentran totalmente automatizadas (se considera automatización total cuando incluye arranque, regulación y parada de la central). Esto permite reducir sensiblemente el personal involucrado en el control de la operación, si bien, es necesario que al menos una persona se encargue de la vigilancia de los parámetros del proceso desde un centro de control, bien en la propia planta o bien mediante equipos informáticos de acceso remoto, asegurando las condiciones óptimas de funcionamiento, comprobando los niveles de energía generados, creando actuaciones de respuesta frente a anomalías, etc.

2. Mantenimiento del equipamiento. Se centra en organizar la contratación del servicio de mantenimiento preventivo de acuerdo al Plan de Mantenimiento de la instalación. Este proceso incluye, entre otras acciones:

- Comprobación del estado general de los equipos (comportamiento operativo, estanqueidad, ausencia de corrosión, aislamiento eléctrico, nivel de ruido y vibraciones, etc.).
- Operaciones de limpieza, engrase y cambio de aceite de los equipos.
- Reposición de fungibles.
- Redacción de informe de control con los resultados de la revisión

En caso de aparición de fallos o averías se ha de recurrir al mantenimiento correctivo. Este proceso se inicia con la detección e interpretación de las averías y estableciendo la secuencia de actuaciones para su reparación. En caso de anomalías con alto nivel de riesgo se ha de proceder de inmediato, activando la alerta en su caso y coordinando las actuaciones con los servicios de emergencia.

3. Otras gestiones administrativas. Incluye el seguimiento de las retribuciones recibidas por parte de la compañía eléctrica en caso de venta a red de la energía generada, el pago de impuestos y tasas, la contratación de seguros, etc.

BUENAS PRÁCTICAS DE APROVECHAMIENTOS ENERGÉTICOS EN INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS



Además de la experiencia llevada a cabo en el marco del proyecto LIFEHYGENET existen a nivel mundial infinidad de ejemplos de este tipo de aprovechamientos en infraestructuras hidráulicas. A continuación, se citan algunas de las identificadas en España:

Mini-central en ETAP de Elordi, Guipúzcoa, España. Su potencia nominal es de 434 kW y se ubica en la tubería de captación del embalse de Endara. Produce energía eléctrica para cubrir las necesidades de consumo de la planta.



Edificio de la mini-central de la ETAP de Elordi.
Fuente: txinzer.com



Mini-central en canal de riego en León, España. La canalización ha sido empleada para la producción de energía eléctrica. El canal es de hormigón con una longitud de 72 km y con un caudal transportado de 64 m³/s. La toma principal del canal se realiza en un azud en el río Esla y en su trazado incluye infraestructuras como túneles, acueductos, sifones y balsas de regulación. En un punto clave del canal se ha realizado una derivación en by-pass donde se ubica la mini-central.



Derivación en canal de riego para aprovechamiento hidroeléctrico en la provincia de León.
Fuente: chduero.es

Complejo hidráulico del Molino de San Andrés, Navarra, España. Surge de la rehabilitación de un antiguo molino de rueda horizontal del siglo XVI dedicado a la molienda de trigo y maíz. El complejo cuenta con un azud de captación en el río Arga, un canal de toma y un canal de salida que vierte el agua al río Ultzama. El molino se adaptó para generar electricidad en 1896 y, tras una posterior restauración, se montó una turbina Francis. La central permanece activa de Noviembre a Mayo, produciendo unos 200 MWh/año.



Canal del complejo hidráulico del Molino de San Andrés.
Fuente: mcp.es



Tornillo hidrodinámico en Hotel Rural de Sucuevas, Asturias, España. El complejo hotelero, situado en Llano de Con, cuenta con un dispositivo de este tipo que aprovecha el flujo de agua circulante por un canal de un antiguo molino harinero ubicado en la misma propiedad. La potencia nominal del equipo es de 5 kW y la energía generada es empleada para el autoabastecimiento eléctrico del hotel.

Tornillo hidráulico en Hotel Rural de Sucuevas.
Fuente: faen.es



Optimización energética de la red de distribución de agua de Murcia mediante la implantación de centrales micro-hidráulicas. La potencia de las unidades varía entre los 56 kW y los 120 kW. El plan incluye igualmente la instalación de picoturbinas de menos de 1 kW para satisfacer los consumos eléctricos básicos y garantizar la operatividad autónoma de unidades de medición y control vinculadas a las redes de agua.



Sistema de micro-turbinas en la red de distribución de Murcia. Fuente: aqualogy.net



7 DIRECCIONES DE INTERÉS

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Dirección General de Política Energética y Minas)

www.minetur.gob.es

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Confederaciones Hidrográficas; Consejo Nacional del Agua)

www.magrama.gob.es

Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía (ENERAGEN)

www.eneragen.org

Plataforma Tecnológica Española del Agua

www.plataformaagua.org

Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (AEOPAS)

www.aeopas.org

Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas (AQUAEspaña)

www.aquaespana.org



Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos (AEAS)

www.aeas.es

Asociación Española de Empresas Gestoras de Servicios de Agua Urbana (AGA)

www.asoaga.es

Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE)

www.fenacore.org

European Federation of Agencies and Regions for Energy and the Environment (FEDARENE)

www.fedarene.org

European Water Association (EWA)

www.ewa-online.eu

European Federation of National Associations of Water and Wastewater Services (EUREAU)

www.eureau.org

European Technology Platform for Water (WssTP)

www.wsstp.eu

European Innovation Partnership on Water (EIP Water)

www.eip-water.eu

European Association of Public Water Operators (APE)

www.aquapublica.eu

Fundación Asturiana de la Energía (FAEN)

www.faen.es

Proyecto LIFEHYGENET

www.lifehygenet.eu