

### **3.10 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA. TIPOS DE CENTRALES HIDRÁULICAS Y ELEMENTOS QUE LAS CONFORMAN Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS.**

#### **ÍNDICE**

3.10 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA. TIPOS DE CENTRALES HIDRÁULICAS Y ELEMENTOS QUE LAS CONFORMAN. .... 2

3.10.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA: MINICENTRALES (POTENCIA MENOR DE 10 MW)..... 20

## SERVICIO

### 3.10 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA. TIPOS DE CENTRALES HIDRÁULICAS Y ELEMENTOS QUE LAS CONFORMAN.

#### DESCRIPCIÓN

La energía aportada por el agua ha sido aprovechada desde tiempo inmemorial. El descubrimiento del regadío en Mesopotamia hacia el año 4.000 a.C. implicaba la necesidad de transportar el agua a los campos de cultivo alejados del río, para lo cual fue obligado construir canales con presas de derivación en los ríos. Aquí aparece el primer uso de la energía del agua aprovechando el desnivel para mantener una velocidad y distribuirla a zonas de necesidad.

En el período de la dominación romana, tuvo lugar sin duda el gran despegue de la utilización de la energía del agua para usos industriales: molinos de grano, forjas, elevaciones de agua, etc. aparecen por toda la cuenca mediterránea, quedando muchos vestigios de ellos en la actualidad.

La época árabe en la Península Ibérica supone un avance muy significativo en las tecnologías hidráulicas, orientada principalmente al uso de regadíos. En la Edad Media aparecen en España multitud de aprovechamientos para molienda de grano y forjas, alimentadas por sencillas ruedas de palas de madera, pero sin duda el ejemplo más interesante del uso de la energía hidráulica son las turbinas “Pelton” utilizadas para mover las grúas durante la construcción de El Escorial.

Sobre 1825 aparecen las primeras turbinas que utilizan un circuito de agua a presión, empleándose estas máquinas en mover sistemas de poleas para dar movimiento a grandes industrias de todo tipo. En 1880 comienzan a conectarse las turbinas hidráulicas a generadores de energía eléctrica, apareciendo por lo tanto las primeras centrales hidroeléctricas con un diseño sencillo que se ha ido mejorando hasta la actualidad.

El problema en los inicios de la electrificación fue el transporte de la energía, ya que los centros de producción estaban muy separados del consumo. A principios del siglo XX, se resuelve este inconveniente con las líneas de alta tensión, y comienzan a construirse grandes aprovechamientos hidroeléctricos en todo el mundo. En España entre otros se construyen las presas de Tarn 1916 (86 metros de altura) con central de 35,2 MW, y Camarasa 1920 (103 metros de altura) con central de 60 MW, con línea directa hacia Barcelona. Estas presas fueron las dos más altas de Europa en su momento.

El desarrollo de las centrales hidroeléctricas es constante hasta finales de la década de los 60, siendo el núcleo central de la producción de la energía eléctrica en España.. A partir de entonces, se desarrollan otros tipos de centrales productoras de energía eléctrica con el uso del carbón y gas como fuente de energía, así como centrales nucleares.

La necesidad de impulsar al máximo las energías renovables, hizo que en 1985 se dictasen normativas para facilitar la construcción de minicentrales hidroeléctricas (menores de 10 MW) mediante primas o incentivos a la producción que se ha mantenido hasta 2013 como el denominado Régimen Especial, recientemente transformado en un Régimen Retributivo Específico. El gran desarrollo de la energía eólica en los últimos años, está creando distorsiones en las redes eléctricas del

sistema español que sólo pueden resolverse en combinación con la regulación aportada por las centrales hidroeléctricas. Por este motivo, se están construyendo nuevos aprovechamientos de bombeo reversibles con la doble misión de almacenar la energía sobrante del sistema, y la regulación del mismo con la generación con el agua bombeada, así como minicentrales.

Por otro lado, cada vez se hace más patente la necesidad de desvincular el crecimiento económico de la dependencia de combustibles basados en el carbono y la importancia del nexo agua-energía. El abastecimiento del agua requiere grandes cantidades de energía, para su bombeo, tratamiento o desalación, y el suministro de energía depende a su vez del agua para la generación de energía hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es una energía renovable, ya que se genera gracias al ciclo hidrológico natural, que permite un elevado nivel de eficiencia energética pudiendo alcanzar valores de rendimiento del orden del 90%, y limpia pues su producción no da lugar a contaminación alguna.. La hidroeléctrica es una energía autóctona, en el sentido de que reduce la dependencia energética del exterior. La generación de 1kWh hidroeléctrico evita la importación de 0,22/0,25 kg de fuel o, por término medio, algo más de 0.4 kg de carbón. Ello supone que, en un año medio, España ahorra la importación de unos 7 millones de toneladas equivalentes de petróleo gracias a su infraestructura de generación hidroeléctrica.

En términos generales, la producción hidroeléctrica anual en España es muy variable y depende en gran medida de la hidraulicidad. En años húmedos supera los 40.000 GWh, pero en años secos no llega a 25.000 GWh, siendo la media de los últimos años 32.500 GWh, y representando un 17% de la producción anual. De la producción hidráulica anual, el 88% viene dado por las centrales convencionales, incluidas las de bombeo, que corresponde aproximadamente a 29.000 GWh, y el 12% por las minicentrales, que corresponde a 4.000 GWh. En la actualidad hay más de 1.350 centrales hidráulicas, siendo 1200 minicentrales.

La energía hidroeléctrica posee unos valores añadidos frente a otros sistemas de generación de energía, derivados de su flexibilidad, sencillez y carencia de emisiones contaminantes. La calidad de la energía hidroeléctrica se fundamenta en:

- Energía renovable carente de emisiones contaminantes
- Almacenamiento de energía potencial como agua
- Capacidad para absorber los excedentes de producción nuclear o de renovables no gestionables.
- Regulación de potencia
- Regulación de frecuencia
- Aporta energía reactiva

Desde el punto de vista medioambiental la energía hidroeléctrica posee las siguientes ventajas:

- Es un uso no consuntivo del agua
- No produce emisiones ni contaminaciones de ningún tipo
- Regula las aportaciones fluviales con embalses
- Lamina las avenidas con embalses
- Permite la utilización conjunta de sus embalses (abastecimiento a poblaciones y regadíos)
- Permite la utilización lúdica de los embalses

## GOBERNANZA

### Antecedentes

En 1940 el 92% de la demanda eléctrica española se cubría con energía hidroeléctrica. A finales de la década de los años 70, el parque hidroeléctrico español era de los mayores de Europa, con una potencia instalada de 14.000 MW, que representaba el 50% del total. No obstante, el descenso continuo del precio de venta de la energía eléctrica, motivado, por una parte, por las mejoras tecnológicas en la producción y en la distribución (centrales térmicas, nucleares, de ciclo combinado de gas, etc) y, por otra, al bajo coste de los combustibles utilizados en las centrales térmicas, supuso el abandono de muchas pequeñas centrales hidroeléctricas, cuyos costes superaban el beneficio de la venta de la energía producida.

La primera crisis del petróleo de 1973 multiplicó el precio del combustible y trastocó profundamente esta situación, motivando que en España se promulgara la ley 82/1980 sobre la "Conservación de la Energía". Dicha ley, vigente y potenciada a través de numerosos decretos y disposiciones regulatorios, tenía el fin de aprovechar la energía autóctona y renovable del país. En los más de treinta años transcurridos se han puesto en servicio o "renovado" pequeñas centrales hidroeléctricas que actualmente totalizan una potencia mayor de 1.600 MW. En los últimos 30 años se han puesto en servicio 11 Centrales Convencionales, que suman un total de 1.086 MW.

### Marco regulatorio

La utilización del agua para producción de energía eléctrica está regulada en su faceta de recurso hidráulico por la Ley de Aguas (LA) y en su faceta de fuente de energía eléctrica por la Ley del Sector Eléctrico (LSE). De las cuestiones que afectan al medio ambiente la regulación básica es la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental.

### La solicitud de concesión de aguas superficiales para uso hidroeléctrico

La construcción de un aprovechamiento hidroeléctrico conlleva la solicitud de concesión de aguas superficiales a la administración hidráulica competente. Cuando se trata de aprovechamientos de menos de 5.000 KVA, la competencia recae en el organismo de cuenca, la unidad encargada de su tramitación es la Comisaría de Aguas y existe un procedimiento abreviado para su tramitación. Cuando se trata de aprovechamientos hidroeléctricos de potencia superior o aprovechamientos hidroeléctricos de presas del Estado, la competencia es del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, aunque la tramitación del expediente recae en el organismo de cuenca.

El solicitante de la concesión de aguas presenta una instancia al organismo de cuenca correspondiente y solicita la iniciación del trámite de competencia de proyectos si ello fuera procedente (centrales de más de 5.000 KVA). El organismo de cuenca lo publica en los Boletines Oficiales de las provincias donde se ubica y se inicia un plazo de uno a tres meses para que el peticionario presente su petición concreta y el documento técnico correspondiente, admitiéndose también, durante dicho plazo, otras peticiones que tengan el mismo objeto o sean incompatibles con la misma. Se denegará la tramitación posterior de toda petición presentada que suponga una utilización de caudal superior al doble del que figura en la petición inicial, sin perjuicio de que el peticionario que pretenda solicitar un caudal superior al límite fijado, pueda solicitar una nueva competencia que paraliza provisionalmente la inicial.

Durante el plazo señalado, el peticionario y aquellos que deseen presentar proyectos en competencia, se dirigen al organismo de cuenca concretando su petición, pudiendo solicitar en ese momento la declaración de utilidad pública y la imposición de servidumbres que se considere necesario.

En el supuesto de que se solicite la declaración de utilidad pública, a efectos de expropiación forzosa, el documento técnico deberá recoger la relación concreta e individualizada de los bienes o derechos que se considere. La Administración puede solicitar, a la vista de la importancia de las afecciones, la aportación de estudios complementarios de distinta naturaleza.

Si se ejecutara una estructura que pudiera catalogarse como gran presa, además de lo indicado se requerirá informe de la Unidad de Inspección de Presas del Ministerio de Medio Ambiente. Adicionalmente, se estará a lo dispuesto en la normativa de seguridad de presas.

A continuación, el organismo de cuenca examinará los documentos técnicos y las peticiones de concesión para apreciar su previa compatibilidad o incompatibilidad con el Plan Hidrológico de demarcación. En caso de compatibilidad previa, se proseguirá la tramitación del expediente de concesión, y en caso contrario se informa de las condiciones o circunstancias de incompatibilidad y limitaciones resultantes para que manifieste si desea, aun así, proseguir la tramitación de la concesión.

A continuación, se procede a la petición de informe a la comunidad autónoma (consejerías con competencia en medio ambiente, industria y energía y, si procede, en patrimonio histórico-artístico) y, si es necesario, a otras entidades.

En paralelo se someten las peticiones de concesión y las obras proyectadas a información pública, mediante anuncio en los Boletines Oficiales de las provincias afectadas y su exposición en los ayuntamientos. Se indica cualquier otra característica y circunstancia precisas para definir el aprovechamiento y si se ha solicitado la declaración de utilidad pública a los efectos de expropiación forzosa o la imposición de servidumbres, para que los posibles perjudicados examinen el expediente y documentos técnicos y dirijan por escrito las alegaciones pertinentes. Se dará vista al peticionario para que, en el plazo de quince días, manifieste lo que considere oportuno en defensa de sus intereses.

El organismo de cuenca, si es preciso, cita a los interesados al acto de reconocimiento sobre el terreno, para confrontar el documento o documentos técnicos presentados, de lo que se levantará acta detallada, que suscribirán los asistentes.

Previo estudio de la documentación del expediente y del resultado del reconocimiento sobre el terreno, el servicio encargado emitirá informe sobre los documentos técnicos presentados, viabilidad de su ejecución, petición que se considera preferente si hubieran concurrido varias al trámite de competencia y modificaciones que convenga introducir, tanto en lo relativo al caudal solicitado como en la ejecución de las obras. Informa sobre las reclamaciones presentadas y designará, en su caso, el peticionario a favor del cual ha de resolverse la competencia de proyectos y las condiciones en que podrá otorgarse la concesión.

Emitidos los anteriores informes, si alguno fuera negativo o modificase las características esenciales de la concesión solicitada, o si hubiera habido proyecto en competencia, o alegaciones en el trámite de información pública, el organismo de cuenca dará audiencia a los interesados, en la forma que determina la Ley de

Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, sea o no competente para otorgar la concesión.

Una vez concluido el trámite de audiencia, el organismo de cuenca, cuando le corresponda el otorgamiento de la concesión, recabará informe de los Servicios Jurídicos, decidirá sobre la competencia de peticiones si se hubiera planteado y fijarán las condiciones que regirán la concesión, que comprenderán obligatoriamente las derivadas de la Ley de Aguas.

Cuando la resolución del expediente de concesión sea competencia del Ministerio de Medio Ambiente, el organismo de cuenca emitirá su informe y elevará el expediente. El Ministerio resolverá previo Informe del Servicio Jurídico y conformidad de las condiciones por parte del solicitante, publicándose las resoluciones oportunas en el «Boletín Oficial del Estado» y notificándolas al organismo de cuenca para conocimiento, a efectos de inspección y vigilancia, del cumplimiento de condiciones y de su inscripción en el Registro de Aguas. Posteriormente se presenta para aprobación el proyecto de construcción y se solicitan el resto de permisos necesarios para hacer las obras.

El detalle del procedimiento figura en el Capítulo III del RD 849/1986 que aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico

#### Los aprovechamientos hidroeléctricos en la Ley del Sector Eléctrico

Con carácter general, la LSE indica que la construcción, explotación, modificación sustancial y cierre de una instalación de producción de energía eléctrica está sometida al régimen de autorización administrativa previa. El otorgamiento de la autorización administrativa tiene carácter reglado y se regirá por los principios de objetividad, transparencia y no discriminación.

Como requerimiento previo, estas autorizaciones no podrán ser otorgadas si su titular no ha obtenido previamente la autorización del punto de conexión a las redes de transporte o distribución correspondientes.

También se precisa en la mayor parte de los casos una declaración de impacto ambiental favorable que se tramita conjuntamente con el anteproyecto, así como informe favorable de la Comisión Nacional de Energía.

La autorización administrativa es otorgada por la administración competente, (Administración General del Estado en instalaciones de más de 50 MW y autonómica el resto), sin perjuicio de las concesiones y autorizaciones que sean necesarias y, en especial, las relativas a la ordenación del territorio y al medio ambiente. La tramitación se lleva a cabo por el Área de Industria de la Subdelegación del Gobierno correspondiente en paralelo con la tramitación de la concesión de aguas. La falta de resolución expresa tiene efectos desestimatorios. Posteriormente se requiere la aprobación del proyecto de ejecución y, una vez ejecutado, el acta de puesta en servicio y la inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica.

Otras obligaciones que se imponen en la LSE son las siguientes:

- Los titulares de las autorizaciones estarán obligados a mantener la capacidad de producción prevista en las mismas y a proporcionar a la Administración la información que se les requiera.



- En el caso concreto de los aprovechamientos hidráulicos necesarios para la producción de energía eléctrica, la LSE indica que si el establecimiento de unidades de producción eléctrica requiere autorización o concesión administrativa conforme a lo dispuesto en la Ley de Aguas, se estará a lo establecido en la citada Ley.
- Cuando, tanto en materia hidráulica como energética, sea competente la Administración General del Estado, el otorgamiento de la autorización de unidades de producción y de la concesión para el uso de las aguas podrá ser objeto de un solo expediente y de resolución única, con la participación de los departamentos ministeriales u organismos de cuenca competentes, en la forma y con la regulación que reglamentariamente determinen, sin perjuicio de las competencias propias de cada departamento.

### El procedimiento de evaluación de impacto ambiental

Además, en los casos en que así lo contempla la normativa, el proyecto será sometido al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Para ello, de forma conjunta con el proyecto, el órgano sustantivo, entendiéndose por tal el que tiene las competencias sobre la actividad a cuya finalidad se orienta el proyecto, somete a información pública el estudio de impacto ambiental. Simultáneamente al trámite de información pública, el órgano sustantivo consultará a las administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas.

Previamente a la elaboración del estudio de impacto ambiental, el promotor puede solicitar al órgano ambiental, a través del órgano sustantivo, la elaboración del “documento de alcance del EIA”, para lo cual, el órgano ambiental consultará a las administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas. Una vez remitido el proyecto, el EIA y el resultado de las consultas al órgano ambiental, da comienzo el procedimiento de evaluación como tal, que culminará con la declaración de impacto ambiental, cuyos condicionantes, caso de ser favorable, deberán ser contemplados en el proyecto.

En este sentido, hay que señalar que una declaración de impacto ambiental favorable, es requisito previo para la obtención de la concesión de aguas y de la autorización administrativa de la instalación por la Administración de Industria.

### **TECNOLOGÍAS**

La energía eléctrica que se distribuye por los grandes sistemas eléctricos tiene una característica fundamental; en cada momento se genera la misma energía que se consume, luego debe haber un equilibrio constante en este balance. Un desequilibrio se traduce en aumentos o disminuciones de tensión y de frecuencia que pueden deteriorar las instalaciones conectadas, por lo que es fundamental que este desequilibrio no se produzca en ninguna circunstancia. En situaciones extremas debe desconectarse el sistema y anular el suministro como mal menor, ya que de este modo no se producen estas averías.

Por este motivo, deben existir en el conjunto de elementos productores de energía algunos de ellos que estén continuamente vigilantes para aumentar o disminuir potencia según lo requiera el equilibrio del sistema. Esta misión la ejecutan de forma muy sencilla las centrales hidroeléctricas mediante el sistema denominado frecuencia-potencia, que consiste en mantener grandes grupos conectados a la red manteniendo la frecuencia de 50 Hz del sistema; de modo que si hay exceso de generación (disminución de demanda) se traduce en un aumento de frecuencia (al ser

generadores síncronos están acoplados a la frecuencia del sistema, por ello implica un ligero aumento de velocidad), lo que aprovechan las máquinas para reducir carga, disminuyendo el caudal y su velocidad de giro (por sincronismo) y con ello equilibrando la frecuencia; lo mismo ocurre pero en sentido contrario cuando el desequilibrio es por aumento de demanda (falta de generación).

Las centrales que efectúan esta regulación son fundamentales en el sistema eléctrico y, por lo tanto, las que aportan una energía de mayor calidad. El siguiente escalón lo aportan las centrales que pueden aumentar o disminuir su potencia con mucha rapidez para ajustarse a la curva de demanda, es decir, hacen una función similar a la anterior pero no regulando automáticamente el sistema como hacen las indicadas anteriormente, sino a demanda del regulador del sistema (REE en España). Las centrales mencionadas anteriormente, se utilizan principalmente para regular el sistema y cubrir las puntas de demanda. Son las hidráulicas con regulación en grandes redes, y pueden ser grupos diesel o turbinas de gas en sistemas pequeños aislados.

El resto de la generación de energía se cubre en dos bloques; el llano y el valle. En las horas llano entran a generar las energías que permiten cierta gestión, aumentos y disminuciones de carga con gradientes lentos. En este grupo se encuentran los grupos térmicos de carbón y fuel, así como los ciclos combinados de gas. En los valles funcionan las generaciones de energía que no deben o no pueden parar (nuclear, eólica, cogeneración, solar, e hidráulica fluyente) su energía es poco gestionable, y si dejan de funcionar la energía se pierde, por lo que en general siempre se encuentran en servicio. Cuando esta energía sobra (por falta de demanda), sólo son posibles dos alternativas; dejar de funcionar, o bien acumular la energía sobrante en centrales de bombeo reversibles. Dentro de este contexto de producción eléctrica, las centrales que regulan el sistema funcionan a todas horas.

Como resumen, en el contexto hidroeléctrico se tienen tres tipos de centrales:

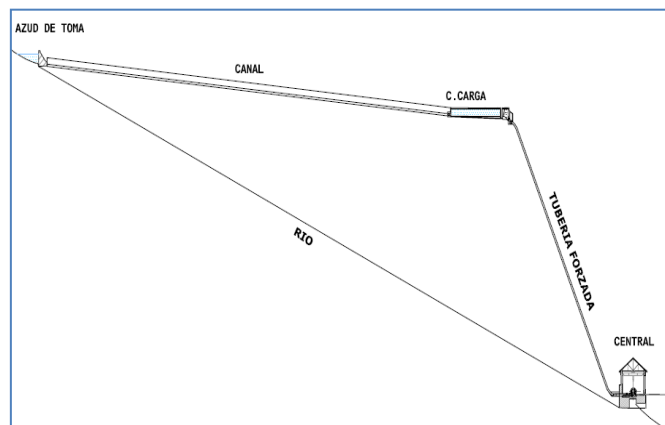
- C.H. fluyente que generan energía de base a todas horas.
- C.H. de regulación que generan la energía eléctrica de mayor calidad por su flexibilidad, en horas punta y cuando el sistema lo demande.
- C.H. de bombeo reversible que consumen energía valle y generan energía punta.

### Centrales de agua fluyente

Utilizan directamente el agua que circula por el río desviándola por un circuito hidráulico hasta la central donde se genera la energía, restituyéndola de nuevo al cauce. Se trata simplemente de un “by pass” del río que aprovecha el desnivel del cauce principal para generar directamente la energía potencial del tramo. Consta de un azud de derivación para remansar el agua del río antes de derivarla hacia la toma donde se capta el agua para trasportarla por el canal hasta la cámara de carga. Ésta consiste en un depósito construido con el fin de encauzar el agua hacia la tubería forzada, que la conduce a presión hasta las turbinas hidráulicas situadas en la central hidráulica. La central consta de un edificio donde se disponen los grupos de generación, los sistemas de regulación y control, los elementos de seguridad, las oficinas, etc. A la salida de las turbinas el agua es devuelta al río por una conducción. Entre la toma y la cámara de carga están las compuertas de regulación, que sirven para controlar el agua de entrada en el circuito hidráulico, y permitir dejarlo en seco cuando se precise una revisión o reparación.



Los transformadores y la subestación de conexión a la red suelen disponerse anexas a la central. En este tipo de aprovechamientos no existe ningún tipo de almacenamiento de energía ni de regulación de caudales. El caudal de agua que excede a la capacidad del circuito hidráulico continúa por el cauce natural del río, regenerándose el caudal total en el desagüe de la central. Por lo tanto no se aprovecha toda la energía posible, perdiéndose la que produciría el agua que no puede derivarse y circula por el río. La característica de estos aprovechamientos hidroeléctricos es que la energía que producen no es gestionable, es decir, que no se puede elegir la potencia producida, ya que ella depende exclusivamente del caudal que se deriva por el circuito hidráulico en el punto de la toma. Como es natural, se deriva todo el caudal posible después de mantener en el río el caudal ecológico. La central funciona a todas horas generando energía de base.



**Ilustración 1: Central hidráulica fluyente.**

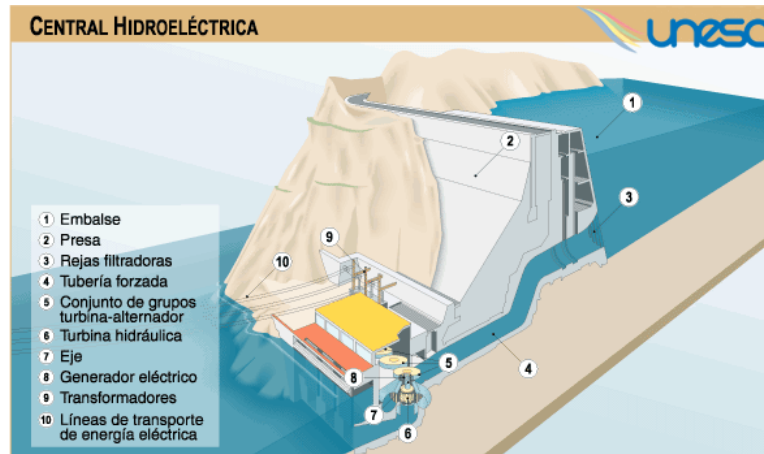
### Central de regulación

Consta de una presa y su embalse, elemento fundamental en este tipo de aprovechamiento hidroeléctrico, ya que gracias a él se facilita la gestión del agua, y con ello de la energía generada. En ellos se encuentra la toma y, a continuación, las compuertas de regulación, para encauzar el agua hasta la conducción a presión que es una galería excavada en roca con un pozo o torre vertical llamado chimenea de equilibrio que sirve para amortiguar las ondas de presión que se originan en las maniobras de arranque o parada rápida, y está situada antes de la tubería forzada que lleva el agua hasta las turbinas. A la salida de las turbinas el agua es devuelta por una conducción al río. En muchas ocasiones la central se dispone al pie de la presa. En ese caso, el circuito hidráulico es mucho más simple, ya que carece de galería de presión y de chimenea de equilibrio, integrándose todo el circuito hidráulico en el cuerpo de la presa. El elemento fundamental de este tipo de aprovechamientos es el embalse constituido por la presa. Su utilidad es múltiple:

- Regula la aportación del río, aprovechando al máximo el recurso desde el punto de vista energético.
- Almacena energía en forma de agua para utilizarla cuando el sistema de distribución de energía lo requiera.
- Constituye un desnivel de agua entre la superficie del embalse y el punto de descarga de la central susceptible de ser utilizado energéticamente.

Una de las características fundamentales de este tipo de saltos es la facilidad de su puesta en servicio. En escasos 90 segundos se puede generar la potencia máxima partiendo de una situación de parada total. En este tiempo, se produce la apertura de las válvulas de protección del grupo, se acelera la máquina hasta alcanzar la velocidad

sincronismo de la red, se acopla al sistema, y se abre el distribuidor del caudal hasta el máximo admisible. Ningún otro elemento de producción de energía con estas potencias arranca con esta facilidad y rapidez, siendo muy útil para resolver situaciones de desacople o desenganche de la red de los sistemas de producción en masa de energía; centrales térmicas, ciclos combinados, nucleares, eólica etc.



**Ilustración 2: Central hidráulica de regulación.**

### Central de Bombeo reversible

Debido al excedente de energía que puede darse en el sistema eléctrico en las horas valle, se crean este tipo de centrales que aprovechan la energía sobrante para elevar el agua de un depósito inferior a uno superior. En las horas de mayor demanda eléctrica, el agua del depósito superior se aprovecha para turbinar produciendo energía eléctrica y volviendo nuevamente el agua al depósito inferior.

Las centrales de bombeo son como las centrales de regulación hasta la restitución del agua al río. En lo que se diferencian estructuralmente es que aguas abajo de la central se sitúa el depósito inferior que suele estar constituido por una presa y su embalse, de capacidad igual o superior al depósito superior. Conviene indicar que las tomas de un aprovechamiento reversible funcionan en los dos sentidos, captando agua en unas ocasiones, y aportando agua en otras, según sea el sentido de circulación del agua a causa de la generación o el bombeo.

Este tipo de centrales, además de posibilitar el funcionamiento óptimo del parque nuclear, son imprescindibles si se quiere implantar una potencia significativa de tecnologías renovables no gestionables, principalmente la eólica. En efecto, permiten absorber los excedentes de energía ocasionados por el desfase entre la producción y la demanda, garantizando así la estabilidad del sistema.



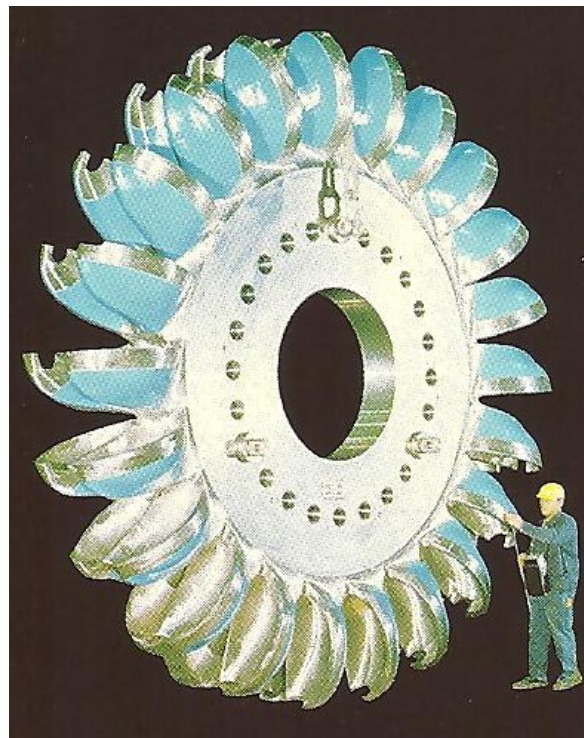
**Ilustración 3: Central hidráulica de bombeo.**

Los tipos de turbinas más significativos que generalmente se instalan en una central, responden a tres tipos:

- Pelton

Las turbinas Pelton se utilizan para saltos de gran altura y saltos medios, con caudales pequeños y medios. No se comporta tan bien con las variaciones del salto, pero si se implantan para grandes alturas de salto, su variación frente al salto total es proporcionalmente pequeña, por lo que su influencia en el rendimiento es reducida.

Fundamentalmente está constituida por una rueda con canchales, sobre los que choca uno o varios chorros de agua.



**Ilustración 4: Turbina Pelton.**

- Francis

En 1849, el ingeniero americano Francis, desarrolló la turbina que lleva su nombre, con un rendimiento del 90%. Sus métodos analíticos de cálculo permitieron diseños seguros y con gran rendimiento. Esta turbina es de admisión radial y de salida axial. En la siguiente figura puede verse una sección de este tipo de turbina y como circula el agua a través de sus álabes.



**Ilustración 5: Turbina Francis.**

Sus ventajas principales son:

- Reducidas pérdidas hidráulicas, lo que implica buen rendimiento
- Diseño robusto, con poco mantenimiento
- Reducidas dimensiones

Sus desventajas son:

- Salto máximo alrededor de 800 m
- Cavitan, lo que obliga a cuidar el diseño y sumergirlas, lo que implica más excavación
- Admiten mal las variaciones de caudal, implica pérdida de rendimiento

- Kaplan

El Dr. Kaplan, de la Escuela Politécnica de Brün, diseñó una turbina hélice con las palas giratorias que, mediante una ley de conjugación entre la posición de los álabes del distribuidor móvil y las palas del rodete, se consigue que la curva de rendimientos de la turbina Kaplan sea la envolvente de las múltiples turbinas hélices que se obtienen al variar la posición de los álabes del distribuidor para distintas posiciones de las palas de la turbina.





**Ilustración 6: Turbina Kaplan.**

El inconveniente de las turbinas Kaplan es su elevado coste y su complejidad mecánica, lo que encarece su mantenimiento.

### Generador

El equipo eléctrico principal de una C.H. es el generador que, arrastrado por una turbina, es el encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica que se entrega a la red de distribución o transporte para su consumo.

Atendiendo a la configuración física de la máquina, ésta puede ser de eje vertical u horizontal dependiendo del tipo de turbina y configuración del salto. Su velocidad suele estar comprendida entre las 100 y las 750 rpm.

Atendiendo a la tecnología de la máquina, éstas pueden ser asíncronas o síncronas. Las asíncronas son simples motores de inducción que funcionan arrastrados por una turbina. Este tipo de máquina no tiene buen rendimiento pero, a cambio, es más barata que una síncrona, más robusta y fiable. En el caso de generadores síncronos, al ser las turbinas hidráulicas máquinas lentas, son de polos salientes y, por tanto, cuanto menor velocidad mayor diámetro y nº de polos. Este tipo de generadores proporciona mayor rendimiento a costa de mayor inversión y complejidad.

Para centrales minihidráulicas de pequeña potencia se suelen emplear generadores asíncronos. El límite de potencia para pasar a máquina síncrona es fruto del estudio particular de cada salto; estudio económico que debe ligar el rendimiento y la inversión (ambos más bajos en una máquina asíncrona). Orientativamente, el límite se puede establecer en 1 o 1,5 MW. Los grupos de potencia inferior a este límite serán asíncronos y los de potencia superior generalmente serán síncronos



**Ilustración 7: Generador.**

La experiencia adquirida en España en el diseño de obras hidráulicas y la incorporación de criterios para la reducción de posibles efectos ambientales son elementos que garantizan la realización de obras y su posterior explotación con criterios de sostenibilidad.

## **INFRAESTRUCTURA**

Las infraestructuras que constituyen una central hidroeléctrica constan, normalmente, de las siguientes obras y equipos:

- Obras civiles, destacando los azudes de toma en el río (en centrales de agua fluyentes), las presas de regulación (provistas de las tomas necesarias en centrales de pie de presa), los caminos de acceso y los edificios de la central para alojamiento de los equipos.
- Obras civiles hidráulicas, como el canal de la derivación (en centrales de agua fluyentes), las cámaras de carga (en centrales de agua fluyente), las tuberías forzadas (que unen la cámara de carga o embalse con los equipos mecánicos de la central) y los canales de descarga que restituyen los caudales turbinados al río.
- Equipos electromecánicos, como turbinas con su válvula de guarda y generador, equipos eléctricos, celdas, cuadros, protecciones, transformadores, contadores y líneas eléctricas de conexión.
- Equipos de control, mando y comunicación, como sensores de medida para el control, microprocesadores y grupos oleohidráulicos para accionamiento de la regulación y transmisores o receptores de la comunicación.

En relación al estudio económico, la distribución porcentual del coste de una central hidroeléctrica corresponde en un 40% a obras civiles e hidráulicas, en un 30% a



equipos electromecánicos, en un 22% a equipos eléctricos y de control, y en el 8% restante a la Ingeniería y Dirección de Obra.

### MÁS INFORMACIÓN:

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Situación y desarrollo de las presas en España	<a href="http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/desarrollo/">http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/desarrollo/</a>
Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa)	<a href="http://www.unesa.es">www.unesa.es</a>
Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD)	<a href="http://www.spancold.es">www.spancold.es</a>
Endesa Generación SA	<a href="http://www.endesa.es">www.endesa.es</a>
Iberdrola Generación SA	<a href="http://www.iberdrola.es">www.iberdrola.es</a>
Gas Natural Fenosa	<a href="http://www.gasnaturalfenosa.es">www.gasnaturalfenosa.es</a>
EDP Energía	<a href="http://www.edpenergia.es">www.edpenergia.es</a>
E.ON España	<a href="http://www.eonespana.com">www.eonespana.com</a>

### ALGUNOS EJEMPLOS DE CASOS DE ÉXITO:

La central hidroeléctrica española de mayor potencia es la instalada en el pie de la presa de Aldeadávila, en el río Duero (tramo internacional entre España y Portugal) en la provincia de Salamanca, con una potencia instalada de 1140 MW, seguida por la del pie de la presa de Alcántara, en el río Tajo, en la provincia de Cáceres, con una potencia instalada de 925 MW. Ambas, de titularidad de Iberdrola.

En minicentrales, una experiencia muy interesante es la desarrollada en el sistema de abastecimiento de Madrid, gestionada por el Canal de Isabel II Gestión S.A. y su filial Hidráulica Santillana.



Ilustración 8: Presa de Puentes Viejas. Río Lozoya (Madrid).



Ilustración 9: Presa de El Villar. Río Lozoya (Madrid).



**Ilustración 10: Central de Bombeo de la Central Hidroeléctrica Reversible de Sallente (Endesa). Río Flamisell (Lleida).**

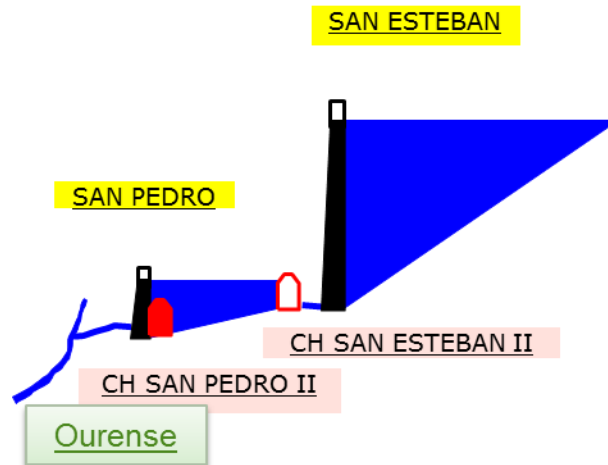
### Central San Esteban II y Central San Pedro II

Un buen ejemplo de desarrollo de aprovechamientos hidroeléctricos en los últimos años es la ampliación del aprovechamiento hidroeléctrico de San Esteban y de su contraembalse, San Pedro.

Estos aprovechamientos entraron en servicio en 1957. El fuerte incremento de la necesidad de energía con capacidad de regulación en Galicia llevó a Iberdrola a diseñar y licenciar desde el año 2006 una solución técnica, con el criterio de aprovechar las infraestructuras existentes (presa, accesos y línea de evacuación), turbinar parte de los vertidos que se producen año a año en época de aguas altas, y posibilitar concentrar la generación en los momentos en que el Sistema Eléctrico Nacional más lo demanda, contribuyendo de esta forma a aumentar la garantía de suministro y la seguridad del Sistema.

La ampliación consiste en la construcción de una nueva central en caverna en el Salto de San Esteban para alojar un nuevo grupo de 175 MW y una nueva central en pozo en el Salto de San Pedro para incorporar un nuevo grupo de 24 MW. La construcción de la Central de San Esteban II finalizó en 2012 y la Central de San Pedro II se encuentra actualmente en construcción.

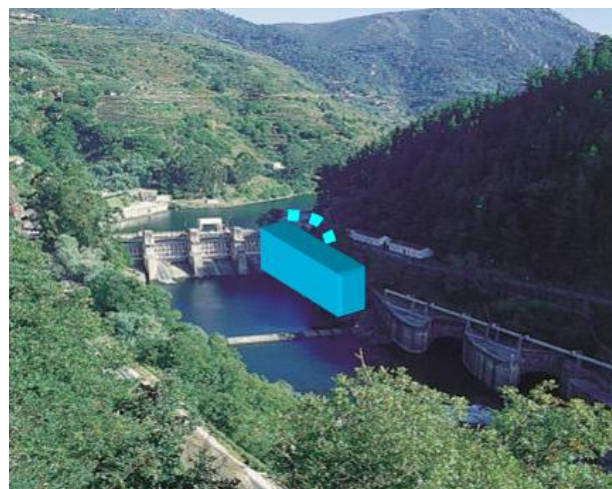
En línea con el respeto de Iberdrola al medio ambiente, el proyecto contempla importantes mejoras ambientales, entre las que cabe destacar la restauración de la antigua cantera de la presa de San Esteban, donde se depositarán los inertes procedentes de la excavación para su posterior revegetación, así como la retirada de antiguas infraestructuras asociadas a la construcción de San Esteban.



**Ilustración 11: Esquema del aprovechamiento.**



**Ilustración 12: Foto del aprovechamiento de San Esteban y croquis del proyecto (San Esteban II).**



**Ilustración 13: Foto del aprovechamiento de San Pedro y croquis del proyecto (San Pedro II).**



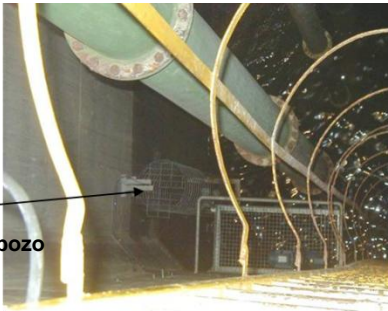
En lo relativo a la gestión de las instalaciones existentes, en Iberdrola se han desarrollado procedimientos para identificar y valorar la influencia de las instalaciones en el medioambiente, con el objetivo de tener un mayor control de los posibles riesgos de afecciones. Además del mayor control del riesgo, se ha tratado de minimizarlo. Para ello, Iberdrola puso en marcha en 2005 el proyecto PRIMA (Plan de minimización de Riesgos Medioambientales) que ha alcanzado a todas las instalaciones relacionadas con la generación de energía hidroeléctrica, como presas, canales, centrales, parques de generación, etc.

A continuación se señalan a modo de ejemplo, algunos de los riesgos a minimizar y de las medidas adoptadas para ello:

- Frente al riesgo de fugas de aceite al terreno o al río, la construcción de separadores agua/aceite, la instalación o ampliación de fosos o cubetos de recogida de fugas de aceites, la recogida selectiva de residuos, la sustitución de engrases externos por elementos autolubricados, etc.,
- Para minimizar el riesgo de incendio en almacenes de materiales o de residuos, se han instalado sistemas de detección y extinción, reduciendo además, en lo posible, el volumen de productos inflamables.
- Para evitar daños a la fauna piscícola, se ha implantado una red de medida medioambiental, se han estudiado tramos críticos de ríos, y se han elaborado unas Instrucciones Medioambientales (IMAS) de operación en estas situaciones.



**Ilustración 14: Foso de recogida de aceite de transformador. Central Hidroeléctrica de Ricobayo.**



Detector de aceite en pozo de achique



Separador de aceites en pozo de achique



Recogida de posibles fugas en bidones almacenados



Grasas biodegradables en compuertas aliviaderos



Bandejas para recogida de pequeñas fugas

Detector de aceite en pozo de achique



Sonda del detector de aceite



## SERVICIO

### 3.10.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA: MINICENTRALES (POTENCIA MENOR DE 10 MW)

#### DESCRIPCIÓN

Cada vez se hace más patente la necesidad de desvincular el crecimiento económico de la dependencia de combustibles basados en el carbono y la importancia del nexo agua-energía. El abastecimiento del agua requiere grandes cantidades de energía, para su bombeo, tratamiento o desalación, y el suministro de energía depende a su vez del agua para la generación de energía hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es una energía renovable (ya que se genera gracias al ciclo hidrológico natural), que permite un elevado nivel de eficiencia energética (pudiendo alcanzar valores de rendimiento del orden del 90%) y limpia (su uso no produce contaminación alguna). La hidroeléctrica es una energía autóctona, en el sentido de que reduce la dependencia energética del exterior. La generación de 1kWh hidroeléctrico evita la importación de 0,22/0,25 kg de fuel o, por término medio, algo más de 0.4 kg de carbón. Ello supone que en un año medio, España ahorra la importación de unos 7 millones de toneladas equivalentes de petróleo gracias a su infraestructura de generación hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas constituyen una fuente de suministro eléctrico de elevada calidad y garantía al consumo, pudiendo cubrirse con ellas puntas de consumo (como es el caso de las hidroeléctricas con regulación a través de embalse) y permitiendo la absorción de producciones de centrales base en horas de bajo consumo de difícil parada, mediante bombeo de volúmenes de agua a depósito elevado que son turbinados en horas punta (en el caso de las centrales reversibles)

En términos generales, la producción hidroeléctrica anual en España es muy variable y depende en gran medida de la hidraulicidad. En años húmedos supera los 40.000 GWh, pero en años secos no llega a 25.000 GWh, siendo la media de los últimos años 32.500 GWh y representando un 17% de la producción anual.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según su potencia en minicentrales (<10 MW) o grandes centrales (>10 MW). La producción en minicentrales es del orden de 4.000 GWh, representado un 12% de la producción hidroeléctrica anual total. Existen unas 1200 instalaciones de este tipo (minihidráulico) en el país.

#### GOBERNANZA

##### Antecedentes

En 1940 el 92% de la demanda eléctrica española se cubría con energía hidroeléctrica. A finales de la década de los años 70, el parque hidroeléctrico español era de los mayores de Europa, con una potencia instalada de 14.000 MW que representaba el 50% del total. No obstante, el descenso continuo del precio de venta de la energía eléctrica, motivado, por una parte, por las mejoras tecnológicas en la producción y en la distribución (centrales térmicas, nucleares, de ciclo combinado de gas, etc) y, por otra, al bajo coste de los combustibles utilizados en las centrales térmicas, supuso el abandono de muchas pequeñas centrales hidroeléctricas, cuyos costes superaban el beneficio de la venta de la energía producida.



La primera crisis del petróleo de 1973 multiplicó el precio del combustible y trastocó profundamente esta situación, motivando que en España se promulgara la ley 82/1980 sobre la “Conservación de la Energía”. Dicha ley, vigente y potenciada a través de numerosos decretos y disposiciones regulatorios, tenía el fin de aprovechar la energía autóctona y renovable del país. En los más de treinta años transcurridos, se han puesto en servicio o “renovado” pequeñas centrales hidroeléctricas que actualmente totalizan una potencia mayor de 1.600 MW.

### Marco regulatorio

La construcción de una minicentral hidroeléctrica está sujeta a la obtención de autorización y permisos públicos. Los permisos y autorizaciones que se deben obtener son:

- La concesión hidráulica. Emitida por la autoridad de cuenca, en general una Confederación Hidrográfica. En esta concesión se fija, entre otros parámetros, el caudal de aprovechamiento hidroeléctrico en un determinado punto de cauce o a través de una captación en un embalse, y el peticionario debe entregar un Proyecto de Concesión. La concesión es pública y temporal. Se otorga previa tramitación de un expediente administrativo, basado en la transparencia, la competencia entre solicitantes y la información pública.
- La aprobación medioambiental. El solicitante, en paralelo a la presentación del Proyecto de Concesión, ha de entregar en la Agencia de Medio Ambiente, (dependiendo de la comunidad autónoma correspondiente) un estudio de impacto ambiental de la obra de aprovechamiento hidroeléctrico al entorno (paisaje, fauna, flora, etc.) La aprobación de los medios aportados por el solicitante en el referido estudio siempre comporta una serie de actuaciones y salvaguardas que fija la Agencia para ser tenidas en cuenta durante el periodo de las obras y el plazo de explotación.
- La aprobación de la instalación electromecánica. El peticionario del aprovechamiento hidroeléctrico ha de recabarla del Servicio Eléctrico de cada comunidad autónoma. En esta aprobación se recibe la autorización de conexión a la red eléctrica nacional, habiendo emitido previamente la compañía eléctrica correspondiente un informe con las condiciones técnicas y económicas que ha de reunir la conexión.

Se procede a la puesta en marcha del aprovechamiento hidroeléctrico conectado a la red eléctrica nacional e instalado, en ocasiones, un sistema automático de comunicación con REE (Red Eléctrica Española), aprobadas las obras hidráulicas y electro-mecánicas por la autoridad de cuenca y las eléctricas por el Servicio Eléctrico respectivo y obtenido el título de instalación acogida al “Régimen Especial” (actualmente Régimen Retributivo Específico). Éste último da derecho al cobro de la energía mediante un precio “primado” o incentivado cuyos importes son públicos.

### **TECNOLOGÍAS**

Refiriéndonos a una minicentral, se clasifican en:

- Central de agua fluyente: El agua a turbinar se deriva del cauce de un río a través de una conducción en lámina libre, generalmente en canal descubierto, hasta una cámara de carga que conecta con una tubería forzada que lleva el agua hasta la central para ser turbinada. Una vez turbinada el agua retorna al río.
- Central de pie de presa: Debido a la compatibilidad del uso hidroeléctrico del agua con otros usos (abastecimientos, regadíos, medioambientales, etc.) se

aprovechan embalses ya construidos para instalar centrales situadas a pie de presa que turbinan el caudal desembalsado para esos otros usos.

- Central con presa de embalse y conducción a presión: Existen centrales que, además de aprovechar el salto generado por la presa de embalse, se incrementa con el desnivel que puede proporcionar el tendido en pendiente de la tubería forzada que alimenta el o los grupos electromecánico/s instalados en la central.

Las turbinas que generalmente se instalan en una central, responden a tres tipos:

- Pelton: turbinas de acción, para grandes saltos y reducidos caudales
- Francis: turbinas de reacción, para medianos saltos y una gran gama de caudales
- Kaplan: turbinas de reacción, para pequeños saltos y una gran gama de caudales, pudiendo ser de simple o doble regulación de caudal, ésta última con ajuste de caudal y salto.

Los generadores son de dos tipos: síncronos, permitiendo la operación en “isla” y asíncronos, normalmente con potencias inferiores a 1 MW y debiendo operar con tensión en línea.

La experiencia adquirida en España en el diseño de obras hidráulicas y la incorporación de criterios para la reducción de posibles efectos ambientales son elementos que garantizan la realización de obras y su posterior explotación con criterios de sostenibilidad.

## **INFRAESTRUCTURA**

Las infraestructuras que constituyen una minicentral hidroeléctrica, similares a las de una gran central, constan, normalmente, de las siguientes obras y equipos:

- Obras civiles, destacando los azudes de toma en el río (en centrales de agua fluyentes), las presas de regulación (provistas de las tomas necesarias en centrales de pie de presa), los caminos de acceso y los edificios de la central para alojamiento de los equipos.
- Obras civiles hidráulicas, como los canales de derivación (en centrales de agua fluyentes), las cámaras de carga (en centrales de agua fluyente), las tuberías forzadas (que unen la cámara de carga o embalse con los equipos mecánicos de la central) y los canales de descarga que restituyen los caudales turbinados.
- Equipos electromecánicos, como turbinas con su válvula de guarda y generador de la excitatriz, equipos eléctricos, celdas, cuadros, protecciones, transformadores, contadores y líneas eléctricas de conexión.
- Equipos de control, mando y comunicación, como sensores de medida para el control, microprocesadores y grupos oleohidráulicos para accionamiento de la regulación y transmisores o receptores de la comunicación.

En relación al estudio económico, la distribución porcentual del coste de una minicentral corresponde en un 40% a obras civiles e hidráulicas, en un 30% a equipos electromecánicos, en un 22% a equipos eléctricos y de control y en el 8% restante a la Ingeniería y Dirección de Obra.

### MÁS INFORMACIÓN:

Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa)	<a href="http://www.unesa.es">www.unesa.es</a>
Endesa Generación SA	<a href="http://www.endesa.es">www.endesa.es</a>
Iberdrola Generación SA	<a href="http://www.iberdrola.es">www.iberdrola.es</a>
Gas Natural Fenosa	<a href="http://www.gasnaturalfenosa.es">www.gasnaturalfenosa.es</a>
EDP Energía	<a href="http://www.edpenergia.es">www.edpenergia.es</a>
E.ON España	<a href="http://www.eonespana.com">www.eonespana.com</a>
Asociación de Empresas Gestoras de Servicios de Agua a poblaciones (AGA)	<a href="http://www.asoaga.com">www.asoaga.com</a>

### ALGUNOS EJEMPLOS DE CASOS DE ÉXITO:

#### Minicentrales desarrolladas por Gas Natural Fenosa

Un claro ejemplo del desarrollo de la energía hidroeléctrica basado en minicentrales es la apuesta realizada por Gas Natural Fenosa, que con el fin de mejorar las características ambientales de los cauces en los que se ubican sus infraestructuras ha implantado una serie de centrales a pie de presa que posibilitan el liberar el caudal ecológico al río y realizar el aprovechamiento energético de estos caudales, que de otra forma no sería conseguido.

Como muestra de estos proyectos pueden citarse las centrales de Tambre III, Portodemouros CE, Frieira CE, Belesar 2, Peares 2 y Los Molinos que han supuesto una producción durante el año 2013 de 257 GWh, el equivalente a 128.500 toneladas de CO<sub>2</sub> en caso de que dicha energía fuese producida mediante centrales térmicas convencionales.



**Ilustración 15: Minicentral Tambre III. Río Tambre (La Coruña).**



**Ilustración 16: Minicentral en la presa de Belesar. Río Miño (Lugo).**

Otro factor importante es la mejora de la eficiencia en minicentrales existentes, aumentando la flexibilidad de las instalaciones para adaptarse a nuevos condicionantes del mercado eléctrico y la variable hidraulicidad. Con tal objetivo, Gas Natural Fenosa ha desarrollado un programa piloto en la central de Buenamesón, adaptando 2 de los 3 grupos bulbo (sin capacidad de regulación) de la central para

que puedan trabajar a velocidad variable mediante un convertidor de frecuencia y maximizando los rendimientos de la operación.



**Ilustración 17: Central de Buenamesón. Río Tajo (Madrid).**



**Ilustración 18: Turbina tipo bulbo.**

### Minicentrales desarrolladas por Iberdrola

#### 1. CH Santa Eulalia de Tábara (río Esla).

El aprovechamiento hidroeléctrico de Santa Eulalia de Tábara se encuentra situado en el río Esla, afluente del río Duero por su margen izquierda, más concretamente en la cola del embalse de Ricobayo, en el término municipal de Moreruela de Tábara, provincia de Zamora.

En el invierno de 2005 finalizó la construcción del mencionado aprovechamiento, comenzando su puesta en marcha y operación, con 10 MW de potencia instalada y un producible de 33,5GWh.

La Central Hidroeléctrica de Ricobayo aprovecha el desnivel de la cola del embalse de regulación de Ricobayo en los periodos en que dicho embalse está en cotas bajas quedando el aprovechamiento sumergido en las épocas de cota alta. De forma paralela a la construcción del aprovechamiento hidroeléctrico, se llevó a cabo la construcción de una esclusa para peces en el mismo para favorecer los procesos migratorios aguas arriba de las especies presentes en el embalse de Ricobayo.





**Ilustración 19: Aprovechamiento de Santa Eulalia de Tábara. Río Esla (Zamora)**



**Ilustración 20: Embalse de Ricobayo. Río Esla (Zamora)**

## 2. CH Almendra (río Duero)

Con 4,3 MW de potencia y un producible de 24GWh es un ejemplo de central a pie de presa que permite entrega de los caudales ecológicos fijados por los Planes Hidrológicos de Cuenca, realizando al mismo tiempo un aprovechamiento energético de los mismos y mejorando, en este caso, las características ambientales del tramo aguas abajo de la presa de Almendra.



**Ilustración 21: Esquema del aprovechamiento de la presa de Almendra. Río Tormes (Zamora y Salamanca).**