



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

## Proyecto fin de carrera

Estudio de viabilidad de micro-hidroeléctrica para  
abastecimiento de instalación deportiva

Autor

José María Sopeña Escalona

Director

Pedro Abad Martín

Especialidad Electrónica Industrial

2015

**PROPUESTA y ACEPTACIÓN DEL  
PROYECTO FIN DE CARRERA DE INGENIERÍA TÉCNICA**

**DATOS PERSONALES**

APELLIDOS, Nombre	SOPEÑA ESCALONA, José María		
Nº DNI	29134644S	Dirección	Medio 6
C.P.	22808	Localidad	Agüero
Provincia	Huesca	Teléfono	685888488
NIA: 472425			
Firma: 			

**DATOS DEL PROYECTO FIN DE CARRERA**

INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL, Especialidad	Electronica
TITULO	ESTUDIO DE VIABILIDAD DE MICRO HIDROELÉCTRICA PARA ABASTECIMIENTO DE INSTALACIÓN DEPORTIVA
(seis líneas para anotar el título)	
DEPÓSITO EN: ZAGUAN (Obligatorio) <input checked="" type="checkbox"/> y CD-ROM <input type="checkbox"/> (si PFC es tipo B aplicación informática)	
DIRECTOR <u>PEDRO ABAD MARTÍN</u>	

**VERIFICACIÓN EN SECRETARÍA**

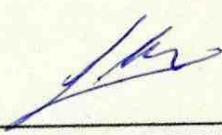
El alumno reúne los requisitos académicos (1) para la adjudicación de Proyecto Fin de Carrera

SELLO DEL CENTRO

EL FUNCIONARIO DE SECRETARIA



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

Fdo.: 

SE ACEPTE LA PROPUESTA DEL PROYECTO (2)  
En Zaragoza, a 14 de ABRIL de 2.0 15



Fdo.: PEDRO ABAD MARTÍN

DIRECTOR DEL PFC

SE ACEPTE EL DEPÓSITO DEL PROYECTO  
En Zaragoza, a 4 de SEPTIEMBRE de 2.0 15



Fdo.: PEDRO ABAD MARTÍN

DIRECTOR DEL PFC

(1) Requisitos académicos: tener pendientes un máximo de 24 créditos o dos asignaturas para finalizar la titulación.

(2) Para que la propuesta sea aceptada por el Director, es imprescindible que este impreso esté sellado por la Secretaría de la EINA una vez comprobados los requisitos académicos.

## Índice de contenido

1 OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	1
2 ANTECEDENTES: LA ANTIGUA CENTRAL DE MURILLO DE GÁLLEGO.....	3
2.1 Historia de la antigua central.....	3
2.2 Análisis del sistema instalado.....	4
2.2.1 Captación de agua.....	4
2.2.2 Canalización .....	5
2.2.3 Turbina.....	6
2.2.4 Regulador de velocidad.....	7
2.2.5 Transmisión.....	8
2.2.6 El Alternador:.....	9
2.2.7 Transformador.....	9
2.2.8 Grupo auxiliar:.....	10
2.2.9 Elementos de medida, seguridad y corte.....	10
2.2.10 El trabajo en la central.....	14
3 ESTUDIO DE VIABILIDAD MINIHIDRAULICA EN MURILLO DE GÁLLEGO.....	15
3.1 Central mini hidráulica .....	15
3.1.1 Notas sobre la energía mini hidráulica.....	15
3.1.2 Consideraciones para el estudio de un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico.....	15
3.1.3 Tipos de centrales.....	16
3.1.4 Turbinas hidráulicas.....	18
3.1.4.1 Introducción.....	18
3.1.4.2 Clasificación.....	18
3.1.4.3 Descripción de las turbinas.....	19
3.1.4.3.1 Turbinas de acción.....	19
3.1.4.3.2 Turbinas de reacción.....	21
3.1.4.3.3 Las nuevas turbinas.....	23
3.1.4.4 Las turbinas micro-hidráulicas.....	24
3.1.5 Características de los aprovechamientos y las máquinas.....	25
3.1.5.1 Altura del salto.....	25
3.1.5.2 Caudal.....	26

3.1.5.3 Rendimiento de las turbinas.....	27
3.1.5.4 Elección de la turbina.....	28
3.1.6 Infraestructura y equipos eléctricos.....	29
3.1.6.1 Generador.....	29
3.1.6.1.1 Generador síncrono.....	29
3.1.6.1.2 Generador asíncrono.....	30
3.1.6.2 Regulación .....	30
3.1.6.2.1 Regulación mecánico hidráulica de la velocidad. ....	31
3.1.6.2.2 Regulación electrónica de la carga.....	33
3.2 Estudio de viabilidad de las diferentes alternativas.....	33
3.2.1 Análisis de las necesidades. ....	33
3.2.2 Estudio viabilidad técnica de las diferentes opciones.....	34
3.2.2.1 Opción-tendido linea baja tensión.....	34
3.2.2.2 Opción-recuperación antigua central.....	35
3.2.2.3 Opción-sistema compacto de micro turbina.....	38
3.2.2.4 Opción-sistema compacto de turbina de inmersión.....	47
3.3 Estudio económico. ....	52
3.3.1 Opción-tendido linea baja tensión.....	52
3.3.1.1 Opción-recuperación de la antigua central.....	54
3.3.1.2 Opción-micro hidráulica.....	54
3.3.1.3 Opción-turbina de inmersión.....	55
3.4 Estudio de impacto ambiental. ....	58
3.4.1 Impacto ambiental. ....	58
3.4.2 Impacto sonoro.....	58
3.4.3 Impacto visual.....	58
3.5 Estudio de impacto social.....	58
4 CONCLUSIONES.....	60

## Bibliografía

Anexo 1: Plano de situación de los diferentes elementos analizados

Anexo 2: Amortización del sistema de turbina de inmersión.

## 1 OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Murillo de Gállego es un lugar ideal para la práctica del piragüismo. El río Gállego dispone de un caudal constante a lo largo del año, lo que permite la práctica del piragüismo durante el invierno. El Club *Murillo Kayak*, que desarrolla su actividad educacional con jóvenes de las localidades del entorno, se encuentra en un momento de pleno crecimiento y ampliación de su oferta de actividades. Aguas arriba del antiguo emplazamiento, donde se ubicaba el "Molino" de Murillo, encontramos una zona ideal para la práctica del piragüismo con corrientes sencillas donde los jóvenes pueden practicar.

Se proyecta la instalación de un **campo de slalom** en esta zona del río que presenta las siguientes necesidades:

- Iluminación nocturna
- Zona de vestuarios y duchas

En el presente proyecto se van a estudiar las siguientes alternativas de cara a satisfacer dichas necesidades:

- Recuperación de la antigua central
- Tendido de línea de baja tensión
- Sistema compacto de micro hidráulica
- Turbina micro hidráulica de inmersión

De las conclusiones que se extraigan de este trabajo se generará una línea de actuación que formará parte de un proyecto integral que incluirá: instalaciones de almacenaje de material, zona de vestuarios y duchas e instalaciones del campo de slalom. Este proyecto se presentará de manera conjunta con el Ayuntamiento de Murillo de Gállego para su aprobación y financiación por los organismos competentes.

# Estudio de viabilidad de micro-hidroeléctrica para abastecimiento de instalación deportiva

2

La presente memoria comienza con un repaso a la historia de la generación hidroeléctrica en Murillo de Gállego que durante todo el siglo XX fue una representación de la evolución que sufría en el mundo este tipo de generación.

En una segunda parte se establecen los fundamentos teóricos que servirán de base para el análisis posterior de las diferentes alternativas.

**Una tercera parte estudia la viabilidad técnica y económica de las alternativas planteadas y expone sus posibles afecciones. De todo esto se extraen unas conclusiones que cierran el presente trabajo.**



Antiguo Molino de Murillo de Gállego

## 2 ANTECEDENTES: LA ANTIGUA CENTRAL DE MURILLO DE GÁLLEGO

### 2.1 Historia de la antigua central

El origen de esta central deviene del molino de cereal que desde el siglo XVI hasta el siglo XIX estuvo funcionando en la localidad de Murillo de Gállego, molino de gran importancia por el gran caudal de agua y regularidad del mismo que aseguraba una molienda constante y abundante.

Con la aparición y la comercialización de la energía eléctrica, a finales del siglo XIX, se transformó el inmueble instalándose un molino harinero de tres muelas con una producción de 3000 kg/día, y también una central hidroeléctrica con un alternador de 25 Kw/h.

La energía producida, era suministrada a los municipios de Murillo de Gállego, Riglos, Agüero, Biel, Fuencalderas, Santa Eulalia, Erés, Biscarrués, Piedramorrera, Ardisa, Casas de Esper y Sierra Estronar y transportada a través de líneas de postes de madera con una tensión de 2000 voltios.

Todo ello era posible gracias al poco consumo de energía que en aquella época se

demandaba. Así, las casas (de economías) más humildes, tenían contratada una sola lámpara de 25 W conmutada en la cocina (con) y otra en la cuadra, el resto de las viviendas tenían dos lámparas, una en la cocina y otra en la cuadra. Por último, las viviendas con mayor economía, las menos, tenían contratadas tres o cuatro lámparas de 25 W.

En el año 1925, y ante el progresivo aumento en el consumo de electricidad, se suprimió el molino harinero y el alternador de 25kw dedicándose exclusivamente a salto hidroeléctrico, instalándose un alternador de 225 Kw/h. En el año 1957 se complementó la central con dos motores diésel y un alternador de 120 Kw/h.

La central estuvo en funcionamiento hasta 1975, cesando la actividad por la rotura del azud de derivación de agua en el río Gállego, por una avenida en el mismo.

El análisis de los equipos y los sistemas instalados en esta central supone un repaso a la historia de la electricidad misma, ya que los diferentes avances se fueron implementando al tiempo que eran comercializados.

Actualmente, el museo de la electricidad es privado y gestionado por la familia Gállego, antigua propietaria de la central. Éste, reúne todos los elementos que formaban parte de la planta productora.

## **2.2 Análisis del sistema instalado**

### **2.2.1 Captación de agua**

La presa de derivación o azud constituía una de las partes más significativas y que más trabajo suponían para la empresa que gestionaba el recurso hídrico.

Consistía en un muro de contención realizado en sillar de piedra arenisca de unos 4 m de altura sobre el cauce de estiaje del río. Este muro contenía 4 bocatomas cada una de 1000 l/s de admisión. El citado muro no represaba completamente el río, ya que su longitud era tan solo, de unos 15 metros.

Este azud se ubica en un meandro en el cual el río gira hacia la

izquierda. El represamiento del río se conseguía mediante una pared realizada con troncos de madera que tenía forma de semiluna. De esta manera se conseguía que el agua acentuara su tendencia a ir al exterior de la curva formada por el meandro donde se situaba el muro con las 4 bocatomas descritas.

El agua sobrante brincaba por encima del muro de derivación continuando su curso por el río.



Detalle del antiguo muro de derivación donde se pueden ver las bocatomas y el meandro que hace el río en este punto.

### 2.2.2 Canalización

Construido en mampostería y tierra, la canalización tenía una longitud de 1000 metros hasta su llegada al edificio del *Molino*. Era capaz de conducir 4000 l/s y disponía de unas compuertas manuales de alivio de caudal a lo largo de su recorrido.



Detalle del canal a su llegada a la central

### 2.2.3 Turbina

La turbina elegida para la central es del tipo Francis vertical, con un rodamiento de 17 álabes y un caudal de admisión de 3800 l/s. Estas turbinas de reacción son adecuadas para saltos de baja altura y caudales grandes. Funcionaba a una velocidad de 280 r.p.m. y fue instalada en la central en 1925. Cuando en 1975 se paralizó la producción de electricidad, esta turbina seguía en perfecto funcionamiento.



Salida de agua de la turbina



La turbina en el museo



Detalle de la compuerta de limpieza del conducto de salida de agua

#### 2.2.4 Regulador de velocidad

Tenía la misión de regular la admisión de agua a la turbina de acuerdo a las demandas energéticas del momento.

Podía actuar sobre la turbina por control manual o automático, éste último mediante poleas conectadas al eje de la turbina, por dos correas que en función del consumo de energía y por un sistema de presión de aceite, facilitaban mayor o menor caudal de agua a la turbina.

El control manual era realizado por los operarios del sistema que atendían a los aparatos de medida instalados en la central.

Fue instalado en 1925 y cuando la central dejó de trabajar en 1975 funcionaba correctamente.



Regulador de velocidad

### **2.2.5 Transmisión**

La transmisión al alternador se realizaba mediante una correa realizada con piel de camello. La piel de camello era ideal para las correas de transmisión ya que tenía una gran resistencia a la abrasión y a las altas temperaturas. El único inconveniente de éstas, era su poca resistencia a la humedad. Otras correas se construían con cáñamo. La transmisión disponía de poleas de diferente tamaño para adaptar la velocidad de salida de la turbina a la velocidad nominal del generador.



Transmisión de la turbina al alternador

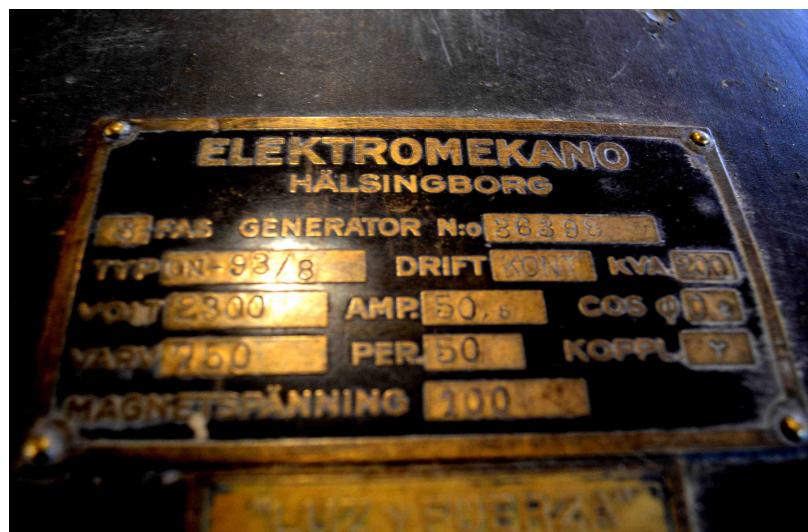


Dos tipos de correas: izquierda camello y derecha cáñamo

### 2.2.6 El alternador:

El alternador es de la marca sueca *Elektromekano*, marca que, posteriormente, fue absorbida por la hoy conocida *ABB*.

El generador síncrono generaba una potencia de 225 Kw girando a una velocidad nominal de 750 r.p.m. La tensión de salida era de 1000 V con una frecuencia de 50 Hz.



Placa del alternador

### 2.2.7 Transformador

Transformaba la tensión de salida del alternador hasta los 15000 V.



Transformador empleado en la central

#### **2.2.8 Grupo auxiliar:**

Se trataba de un grupo auxiliar que viene a suplir la, cada vez mayor, demanda eléctrica de los pueblos del entorno. Fue instalado en 1957 y se compónía de 3 motores diésel que eran capaces de generar 180 Kw. Se encendían cuando aumentaba la demanda o bien se realizaban reparaciones en el sistema hidroeléctrico.



Generadores auxiliares diésel

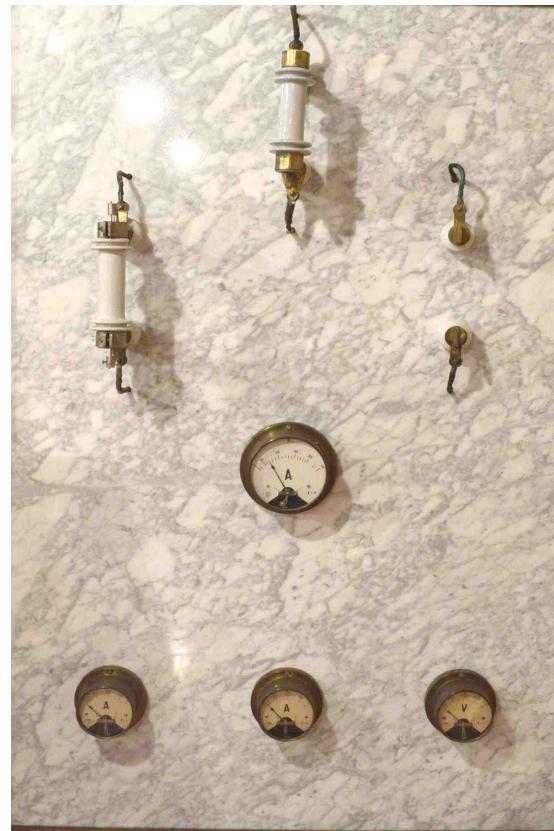
#### **2.2.9 Elementos de medida, seguridad y corte**

Los elementos básicos de medida eran un amperímetro y un voltímetro. Estos eran controlados por los operarios de la central que se encargaban del mantenimiento de la misma.

Los **instrumentos de medida** se instalaban sobre una placa de mármol aunque , cuando los voltajes eran menores, los aparatos eran instalados sobre una placa de pizarra.



Instrumentos de medida y corte sobre pizarra



Instrumentos de medida y corte sobre mármol

Los **elementos de corte** eran todos manuales. El proceso de cierre, pero sobre todo, el proceso de apertura de los diferentes elementos, era uno de los que más accidentes provocaba por electrocución. Esta acción debía hacerse rápido.

Las fotos a continuación, reseñan dos tipos de elementos de corte, los seccionadores o interruptores manuales que cortaban las tres fases al mismo tiempo y los interruptores de fase que se accionaban uno a uno por fases. Para este último se servían de una vara de madera con aislamiento e incluso algunas tenían toma de tierra.



Barra de madera utilizada para accionar los interruptores



Cuadro que contiene, en su parte superior, los interruptores de fase



Toma de tierra utilizada para derivar la corriente en reparaciones de las líneas de transmisión a los pueblos

Los **elementos de protección** presentes en la central podían ser del tipo fusible, de los que fueron apareciendo diferentes tipos, y del tipo rearmables como los que eran accionados por relé.



Dos tipos de fusibles



Protección contra sobretensiones por relé, rearmable.

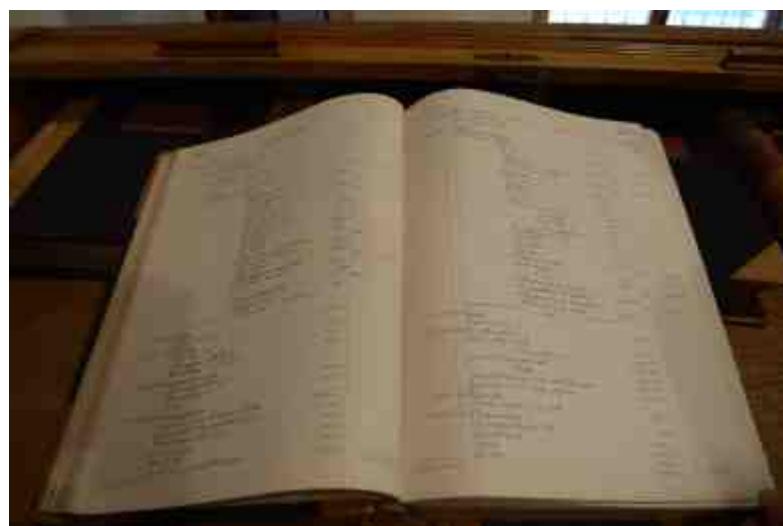
### **2.2.10 El trabajo en la central**

Durante muchos años hasta la aparición de los elementos de control telemáticos y su posterior comercialización, las centrales requerían de una presencia continua de personal que se encargara de las labores de mantenimiento, medida, control...

Anualmente se realizaban trabajos de mantenimiento en el azud de derivación que eran realizados por algunos jóvenes del pueblo en la época de septiembre cuando las aguas de río bajaban más calientes y el estiaje permitía el acceso a las partes más bajas de la misma.

Diariamente cuatro personas realizaban trabajos en la central de control de consumo, reparación de los equipos, control de sobretensiones. Además de los trabajos referentes al mantenimiento de las líneas de transmisión e instalación de nuevas líneas.

Previo a la llegada de los primeros ordenadores, todos los datos que se recogían eran registrados por el “escribiente” que se encargaba de anotarlos en unos grandes libros de contabilidad.



### **3 ESTUDIO DE VIABILIDAD MINIHIDRAULICA EN MURILLO DE GÁLLEGO.**

#### **3.1 Central mini hidráulica**

##### **3.1.1 Notas sobre la energía mini hidráulica.**

La energía hidráulica es una energía renovable, prácticamente gratuita y limpia. En la producción de electricidad sustituye a los combustibles de origen fósil y nuclear con todos los problemas de eliminación de desechos que traen consigo. Entre los argumentos que hablan a favor de la energía hidráulica en general y de los pequeños aprovechamientos en particular podemos mencionar:

- No hay forma más limpia de producir energía eléctrica que la basada en la energía hidráulica.
- El agua como «combustible» no se consume, sólo es explotada y no empeora su calidad.
- No se producen emisiones contaminantes.

Un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico puede ser realizado bien sobre un sitio tal que ya exista una presa construida o una caída de agua determinada que define perfectamente el lugar o, por contraste, en una vertiente suave donde la altura se obtendrá por medio de un canal de entrada, tubería de presión, y demás componentes.

Las nuevas tendencias tratan de aprovechar el caudal del río pasante sin un represamiento total del caudal del río.

##### **3.1.2 Consideraciones para el estudio de un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico.**

Un pequeño aprovechamiento es mucho más específico en cuanto a los requerimientos del emplazamiento, que uno eólico o uno fotovoltaico. Una cantidad suficiente de agua debe estar disponible a través de un salto.

La distancia vertical entre dos puntos de un desnivel se denomina altura generalmente medida en metros, o unidades de presión.

La cantidad de agua se denomina caudal y es medido en metros cúbicos.

cos por segundo ( $m^3/s$ ), o litros por segundo ( $l/s$ ). Ellas dos determinan la potencia instalable.

Se puede decir que los aprovechamientos en pequeña escala son una parte de los aprovechamientos hidroeléctricos tradicionales y mucha de la tecnología utilizada para los grandes aprovechamientos es aplicable en algún grado a la pequeña escala, pero se debe prestar atención a problemas especiales como lo son los asociados con la ingeniería y la justificación económica de los pequeños aprovechamientos. Debido al alto costo específico asociado a la pequeña escala, la viabilidad económica de estas plantas requiere una mínima inversión inicial para las obras civiles y el equipamiento y un mínimo costo de operación y mantenimiento. Muchas de las máquinas hidráulicas utilizadas para pequeños aprovechamientos hidráulicos son modelos estandarizados derivados de las tradicionales turbinas Pelton, Francis y Kaplan.

### **3.1.3 Tipos de centrales.**

El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en un punto - el más alto del aprovechamiento- en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicada la casa de máquinas. La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto. De acuerdo con la altura del salto, los aprovechamientos pueden clasificarse en:

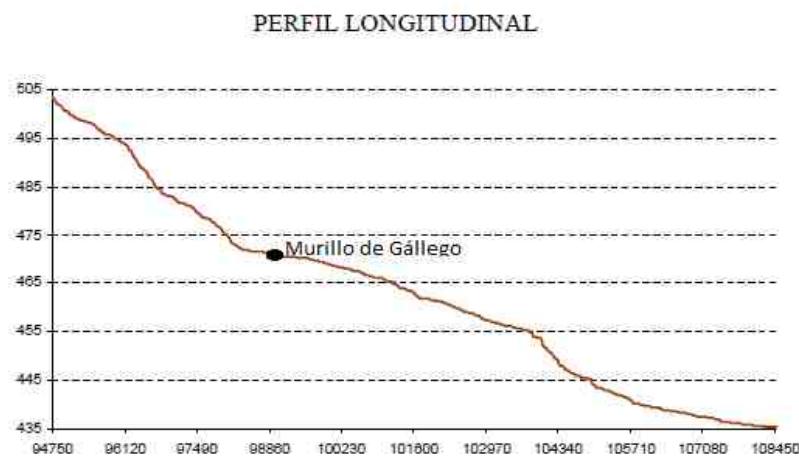
- Alta caída: salto de más de 150 m
- Media caída: salto entre 50 y 150 m
- Baja caída: salto entre 2 y 20 m

Estos límites son arbitrarios y solo constituyen un criterio de clasificación.

En nuestro caso cualquier tipo de central proyectada sería de baja caída ya que el río Gállego a su paso por la localidad de Murillo de Gállego presenta un gradiente aproximado de 0,8% que se deriva de la siguiente tabla:

4110 metros es la distancia que separa el paso del río a la altura de Riglos de la localidad de Murillo de Gállego, pueblos entre los cuales se sitúa el lugar de captación elegido.

33 metros de desnivel separan estas dos localidades.



Otra clasificación en función del tipo de central sería:

- Aprovechamientos de agua fluyente: son aquellos aprovechamientos que no disponen de embalse regulador importante, de modo que la central trabaja mientras el caudal que circula por el cauce del río es superior al mínimo técnico de las turbinas instaladas, y deja de funcionar cuando desciende por debajo de ese valor.
- Centrales a pie de presa con regulación propia: la existencia de un embalse regulador permite independizar, dentro de ciertos límites, la producción de electricidad del caudal natural del río que lo alimenta. Con un embalse se puede programar la generación para hacer frente a la demanda, o para generar en horas punta en las que la unidad de energía se revaloriza. Un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico es raramente compatible con un gran embalse, dado el elevado coste de la presa y sus instalaciones anexas. No obstante, si existen embalses construidos para otros usos - regulación de caudal, protección contra avenidas, riegos, alimentación de agua potable, etc. - se puede generar electricidad con los caudales excedentes, o con los desembalses para riegos y abducción de agua, e incluso con el caudal ecológico que está obligado a mantener el embalse.
- Centrales en canal de riego o tubería de abastecimiento de agua: es facti-

ble instalar una central hidroeléctrica aprovechando una pendiente en un canal de irrigación, ya sea ensanchando el canal, para poder instalar en él la toma de agua, la central y el canal de fuga, o construir una toma lateral, que alimente una tubería forzada instalada a lo largo del canal.

### **3.1.4 Turbinas hidráulicas.**

La turbina hidráulica tiene una rica y variada historia, y ha sido desarrollada como un proceso natural que ha evolucionado a partir de la rueda hidráulica.

El empleo de la turbina hidráulica para la generación de electricidad, utilizada originalmente para impulsar directamente la maquinaria, es una actividad relativamente reciente. Gran parte de su desarrollo ocurrió en Francia, que, al contrario que en Inglaterra, no disponía de las fuentes de hulla, abundantes y baratas, que impulsaron la revolución industrial en el siglo XVIII. La Francia del siglo XIX encontró que su recurso energético más abundante era el agua. Hasta el día de hoy, la Houille Blanche, es el término francés para la energía hidráulica.

#### **3.1.4.1 Introducción.**

Las turbinas hidráulicas tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica de rotación. Las turbinas tipo hélice pueden ser más convenientes para proyectos de baja altura (inferiores a los 5 m), utilizando tecnologías sencillas y de bajo costo. Para saltos con alturas entre 1 y 70 m, es usual desarrollar proyectos con micro turbinas del tipo Mitchell-Banki, Cross-Flow o de doble acción, debido a su fácil construcción, bajo costo y altos rendimientos (aproximadamente 70%). Es fundamental que el mantenimiento y montaje de las micro turbinas puedan realizarse mediante procedimientos sencillos, sin necesidad de calibración y ajuste de los soportes de los rodamientos.

#### **3.1.4.2 Clasificación.**

La energía potencial del agua, se convierte en energía motriz en la turbina, con arreglo a dos mecanismos básicamente diferentes:

- En el primero, la energía potencial se transforma en energía cinética, mediante un chorro de gran velocidad, que es proyectado contra unas cazoletas, fijas en la periferia de un disco. a este tipo de turbinas se las

conoce como turbinas de acción. Como el agua, después de chocar contra las cazoletas, cae al canal de descarga con muy poca energía remanente, la carcasa puede ser ligera y solo tiene por misión evitar accidentes e impedir las salpicaduras del agua.

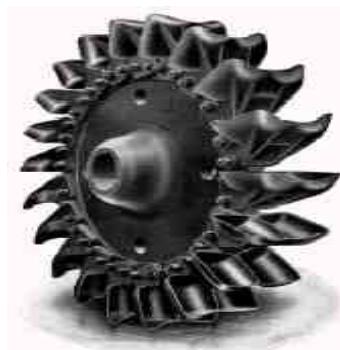
- En el segundo, la presión del agua actúa directamente sobre los álabes del rodete, disminuyendo de valor a medida que avanza en su recorrido. A este tipo de turbinas se las conoce como turbinas de reacción. Al estar el rodete completamente sumergido y sometido a la presión del agua, la carcasa que lo envuelve tiene que ser suficientemente robusta para poder resistirla.

### **3.1.4.3 Descripción de las turbinas.**

#### **3.1.4.3.1 Turbinas de acción.**

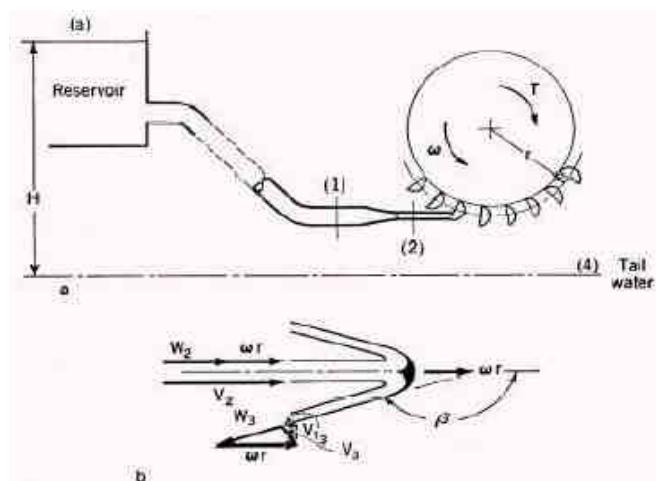
##### **Turbinas Pelton:**

La turbina más sencilla es la rueda Pelton, también llamada rueda de impulso. Son turbinas de acción en las que la tobera o toberas (una turbina de eje vertical puede tener hasta seis toberas, con uno o con dos rodetes) transforman la energía de presión del agua en energía cinética. Cada tobera produce un chorro, cuyo caudal se regula mediante una válvula de aguja. Suelen estar dotadas de un deflector, cuya misión es desviar el chorro para evitar que, al no incidir sobre las cazoletas, se embale la turbina, sin tener que cerrar bruscamente la válvula de aguja, maniobra que podría producir un golpe de ariete. Se utilizan en saltos entre 40 y 1200 m.



Turbina Pelton

El eje de las toberas está siempre situado en el plano meridiano del rodete. El agua sale de las cazoletas a velocidades muy bajas (idealmente a velocidad cero) con lo que la carcasa que rodea al rodete no tiene que resistir ninguna presión.

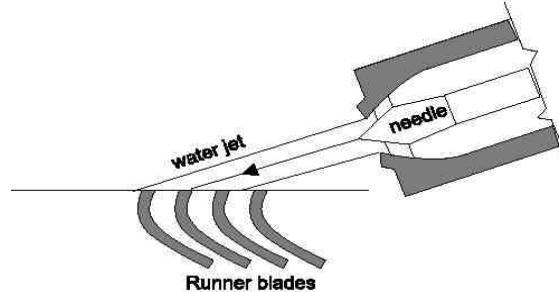


a) Esquema de la turbina y dirección del chorro de entrada.

b) Sección transversal del chorro en la cazoleta.

### Turbinas Turgo

La turbina Turgo puede trabajar en saltos con alturas comprendidas entre 15 y 300 m. Como la Pelton, se trata de una turbina de acción, pero sus álabes tienen una distinta forma y disposición. El chorro incide con un ángulo de 20° respecto al plano diametral del rodete, entrando por un lado del disco y saliendo por el otro. A diferencia de la Pelton, en la turbina Turgo el chorro incide simultáneamente sobre varios álabes, de forma semejante a como lo hace el fluido en una turbina de vapor.



Inclinación del chorro contra los álabes en una turbina Turgo.

Su menor diámetro conduce, para igual velocidad periférica, a una mayor velocidad angular, lo que facilita su acoplamiento directo al generador, con lo que al eliminar el multiplicador reduce el precio del grupo y aumenta su fiabilidad.

### Turbinas de flujo cruzado.

Esta turbina, conocida también con los nombres de Mitchell-Banki, en recuerdo de sus inventores, y de Ossberger, en el de la compañía que la fábrica desde hace más de 50 años, se utiliza con una gama muy amplia de caudales (entre 20 l/seg. y 10 m<sup>3</sup>/seg.) y una horquilla de saltos entre 1 y 200 m. su rendimiento máximo es inferior al 87%, pero se mantiene casi constante cuando el caudal desciende hasta el 16% del nominal, y tiene un mínimo técnico inferior al 10% del caudal de diseño.



Turbina Ossberger

El agua entra en la turbina a través de un distribuidor, y pasa a través de la primera etapa de álabes del rodete, que funciona casi completamente sumergido (incluso con un cierto grado de reacción). Después de pasar por esta primera etapa, el flujo cambia de sentido en el centro del rodete y vuelve a cruzarlo en una segunda etapa totalmente de acción. Ese cambio de dirección no resulta fácil y da lugar a una serie de choques que son la causa de su bajo rendimiento nominal.

El rodete consta de dos o más discos paralelos, entre los que se montan, cerca del borde, unas láminas curvadas que hacen el papel de álabes.

### 3.1.4.3.2 Turbinas de reacción

#### Turbinas Francis

Son turbinas de reacción de flujo radial y admisión total, muy utilizadas en saltos de altura media, equipadas con un distribuidor de álabes regulables y un rodete de álabes fijos. En las turbinas Francis rápidas la admisión sigue siendo radial, pero la salida tiende a ser axial. La turbina está fuertemente encastrada en el hormigón para evitar las vibraciones a bajo régimen.

En estas turbinas el agua se desplaza como encauzada en una conducción forzada, pasando del distribuidor –fijo al rodete móvil- al que cede su energía, sin entrar, en ningún momento, en contacto con la atmósfera.

En las turbinas Francis los álabes distribuidores que regulan el caudal de agua que entra al rodete giran accionados mediante bielas accionadas por un anillo exterior que sincroniza su movimiento. Destaca la importancia de la carcasa y su caracol, en contraste con la envoltura de una Pelton.

Las turbinas Francis pueden ser de cámara abierta - generalmente para saltos de poca altura - o de cámara en espiral. En las turbinas con cámara en espiral, la carcasa, dependiendo del tamaño, se construye en hormigón armado, en acero soldado o en hierro fundido. Al ser uniforme el volumen de agua que llega a cada átomo del distribuidor, el caudal que pasa por cada sección del caracol es proporcional al arco que le queda por abastecer. Los álabes del rodete, cuando son pequeños suelen fabricarse en fundición de bronce al aluminio formando un solo cuerpo con el cubo. Cuando los rodetes son grandes los álabes, generalmente en chapa de acero inoxidable, se sueldan al cubo y a la llanta, generalmente en acero fundido. En las turbinas de reacción, el agua a la salida del rodete, pasa antes de llegar al canal de descarga, por un tubo de aspiración o difusor, cuya misión es recuperar parte de la energía cinética contenida en el agua que abandona el

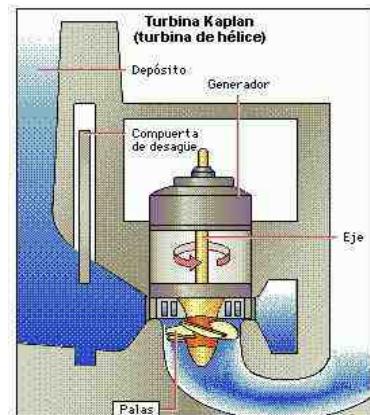


Amara en espiral turbina Francis

rodete a una velocidad elevada. Para disminuir la velocidad con que el agua llega al canal de descarga, la pérdida cinética es proporcional al cuadrado de la velocidad, se aumenta la sección de salida del difusor adoptando un perfil cónico. su función es especialmente crítica en los rodetes de alta velocidad específica porque el agua sale de estos rodetes a una velocidad especialmente elevada.

### Turbinas Kaplan y de hélice.

Son turbinas de reacción de flujo axial. Los álabes del rorete en las Kaplan son siempre regulables, mientras que los de los distribuidores, pueden ser fijos o regulables. Si ambos son regulables la turbina es una verdadera Kaplan; si solo son regulables los del rorete, la turbina es una semi Kaplan. Para su regulación, los álabes del rorete giran alrededor de su eje, accionados por unas manivelas que son solidarias de unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.



Turbina Kaplan.

Las turbinas Kaplan son de admisión radial mientras que las semi Kaplan pueden ser de admisión radial o axial. Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rorete como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes. La turbina bulbo es una derivación de las anteriores, caracterizada porque el agua pasa axialmente a través de álabes directrices fijos y porque el generador y el multiplicador (si existe) están contenidos en una carcasa estanca, con forma de bulbo, sumergida en el agua. Del bulbo salen solamente los cables eléctricos debidamente protegidos.

### **3.1.4.3.3 Las nuevas turbinas**

Las nuevas tecnologías para la generación hidroeléctrica y las restricciones cada vez mayores en materia de legislación medioambiental hacen que las grandes instalaciones que requieren de un represamiento total del río sean más difíciles de justificar.

Estos dos factores unidos a la necesidad de electrificación de zonas rurales aisladas en otros países han permitido el desarrollo de nuevos sistemas de generación.

Algunos de estos sistemas son desarrollos compactos e integrales de sistemas ya conocidos e instalados en las grandes centrales que hacen uso de las turbinas descritas en los anteriores apartados.

Otros sistemas se sustentan en el desarrollo de nuevas turbinas como las de inmersión directa. Las turbinas de inmersión directa tienen diferentes aplicaciones y modelos.

El punto común en esta tecnología es la unión en un sistema compacto de la hélice y el generador de imanes permanentes.

La base de este sistema es la misma que la utilizada en los aerogeneradores: una instalación fija que dispone de unos álabes que son movidos por un fluido y que transmiten el giro directamente al generador normalmente de imanes permanentes sistemas más robustos y compactos aptos para velocidades variables.

### **3.1.4.4 Las turbinas micro-hidráulicas**

Según la terminología utilizada en el ámbito internacional, se llaman micro centrales (micro-hidro) a las centrales eléctricas de potencia inferior a 100 Kw, que normalmente utilizan caudales y saltos reducidos.

Algunas tipologías de turbinas adecuadas para las centrales micro hidráulicas:

#### **Micro turbina Pelton o de flujo cruzado**

Muy parecida a las turbinas utilizadas en centrales más grandes, la Pel-

ton puede ser de eje horizontal o vertical y, por el número de giros relativamente bajo, es adecuada para instalaciones con saltos de agua de unos centenares de metros.

De fácil y sólida construcción, ocupa poco espacio y tiene un rendimiento óptimo, funciona a la presión atmosférica y no genera problemas de estanqueidad. Tiene palas de doble cuchara, con un numero de chorros hasta 6.

Generalmente todas las principales partes mecánicas están hechas de acero inoxidable. Las turbinas Pelton son las más utilizadas en las micro centrales, porque son las más adecuadas para aprovechar el potencial de caudales reducidos.

### **Micro turbina Turgo**

Es una turbina con una acción parecida a la Pelton y es apta para saltos de 30 a 300 m.

Los constructores la aconsejan para enclaves con importantes variaciones de flujo de agua y aguas turbias.

### **Micro turbina de flujo radial o cruzado**

Es una máquina utilizada exclusivamente para centrales de potencia pequeña; es apta para saltos de unos pocos metros hasta 100, y para caudales de 20 a 1000 l/s .

Se trata de una máquina de entrada radial del agua, caracterizada por una doble acción del fluido sobre las palas. La transmisión del movimiento al generador se debe a una correa dentada. Generalmente los componentes metálicos están hechos de acero inoxidable.

El rendimiento de las turbinas de flujo cruzado es menor que el de las turbinas Pelton, pero tienen una mayor facilidad constructiva y una mejor adaptabilidad a los pequeños saltos.

### **Mini turbina Francis**

La mini turbina Francis es una turbina de reacción valida para centrales de tamaño medio, con potencia aproximada de 100 Kw el concepto constructivo es muy parecido al de las turbinas para centrales más grandes.

La ventaja de esta máquina consiste en el aprovechamiento de todo el salto disponible, hasta el canal de desagüe.

La construcción compleja, la alta velocidad de rotación que provoca fricción y desgaste, y algunos problemas de estanqueidad, hacen problemática la instalación de estas turbinas en las centrales pequeñas.

### **3.1.5 Características de los aprovechamientos y las máquinas.**

#### **3.1.5.1 Altura del salto.**

El salto bruto constituye la altura de salto hidráulico (recordemos que era la distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la toma y en el canal de descarga, en las turbinas de reacción, o el eje de toberas en las de turbinas de acción). Habrá que restarle las diferentes pérdidas, con lo que se obtendrá el salto neto.

En la tabla siguiente se especifica, para cada tipo de turbina, el rango de valores de salto neto dentro del que puede trabajar. Se puede observar que hay evidentes solapamientos, de modo que para una determinada altura de salto pueden emplearse varios tipos de turbina.

<b>Kaplan y hélice</b>	<b><math>2 &lt; h &lt; 20</math></b>
<b>Francis</b>	<b><math>10 &lt; h &lt; 350</math></b>
<b>Pelton</b>	<b><math>50 &lt; h &lt; 1300</math></b>
<b>Mitchell-Banki</b>	<b><math>3 &lt; h &lt; 200</math></b>
<b>Turgo</b>	<b><math>50 &lt; h &lt; 250</math></b>

El problema es particularmente crítico en el caso de los aprovechamientos de baja altura que, para que sean rentables, necesitan turbinar grandes volúmenes de agua. Se trata de aprovechamientos de 2 a 5 m de altura de salto y

un caudal que puede variar entre 10 y 100 m<sup>3</sup>/seg.

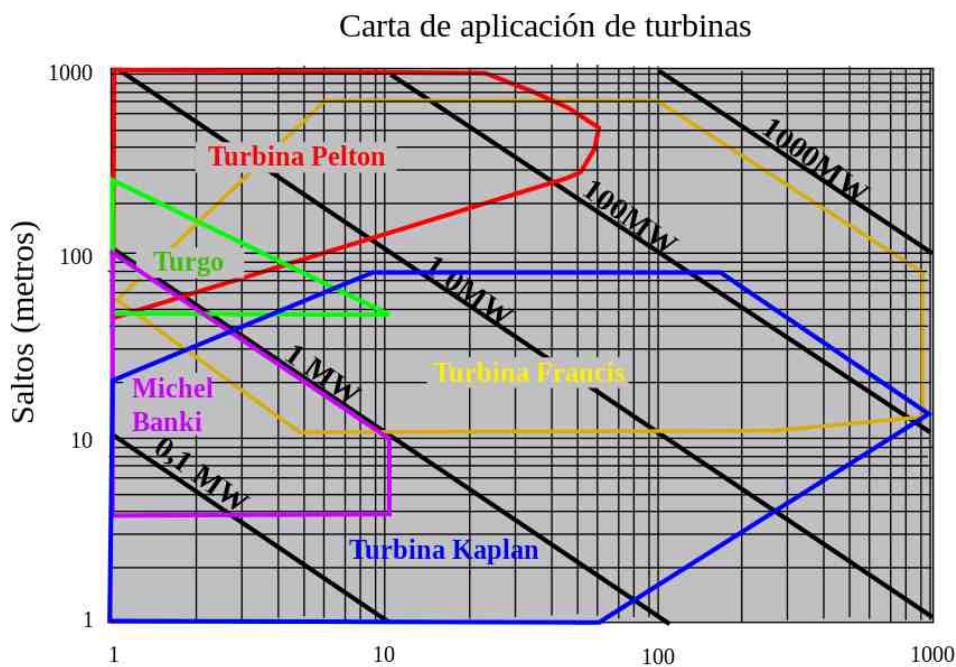
El caudal necesario se reduce actualmente con la tendencia de la micro-hidráulica y los diferentes modelos adaptados de las turbinas clásicas para mini hidráulica enunciados anteriormente.

### **3.1.5.2 Caudal.**

Un valor aislado del caudal no tiene ninguna significación. Lo que interesa es el régimen de caudales preferiblemente representado por la curva de caudales clasificados (ccc) obtenida de los datos procedentes de la estación de aforos o de los estudios hidrológicos, previos a la elección de la turbina.

No todo el caudal representado en una ccc puede utilizarse para producir energía eléctrica. En primer lugar hay que descartar el caudal ecológico que tiene que transitar todo el año por el cauce cortocircuitado. Con caudal ecológico se hace referencia a la cantidad de agua que debe discurrir por un cauce de forma que los distintos organismos vivientes que forman parte del ecosistema fluvial no sufran fuertes daños. Entre los organismos cuentan los propios peces, larvas de insecto, algas, anfibios, microorganismos...

En segundo lugar, cada tipo de turbina solo puede trabajar con caudales comprendidos entre el nominal (para el que el rendimiento es máximo) y el mínimo técnico por debajo del cual no es estable.



Un caudal y una altura de salto definen un punto en el plano. Cualquier turbina dentro de cuya envolvente caiga dicho punto, podrá ser utilizada en el aprovechamiento en cuestión.

La elección final es por lo general el resultado de un proceso iterativo, que balancee la producción anual de energía, el costo de adquisición y mantenimiento, y su fiabilidad.

### 3.1.5.3 Rendimiento de las turbinas.

El rendimiento se define como la relación entre la potencia mecánica transmitida al eje de la turbina y la potencia hidráulica correspondiente al caudal y salto nominales.

Dadas las pérdidas que tienen lugar en el conjunto de la turbina de reacción, el rodete sólo utiliza una altura  $h_u$ , inferior al salto neto  $h_n$ .

Estas pérdidas son esencialmente pérdidas de fricción y tienen lugar en la cámara espiral, en los álabes directores y del rodete, y sobre todo en el tubo de aspiración o difusor.

Para estimar el rendimiento global del grupo turbo-generador hay que multiplicar el de la turbina por el del multiplicador (si es que existe) y por el del

generador.

La turbina se diseña para trabajar con el caudal nominal, para el que, en general, el rendimiento es máximo. Cuando el caudal se aleja de ese valor, tanto hacia arriba como hacia abajo, desciende el rendimiento, hasta que el caudal es inferior al mínimo técnico y la turbina no puede seguir funcionando.

Las turbinas Kaplan de doble regulación, tienen un rendimiento aceptable a partir del 20% del caudal nominal. Las semi-Kaplan solo trabajan eficazmente a partir del 40% del nominal y las Francis con cámara espiral solo a partir del 50%. Por debajo del 40% una turbina Francis, dependiendo de su diseño y de las condiciones en que ha sido instalada, puede experimentar vibraciones que hacen inestable su funcionamiento y obligan a su parada.

Las turbinas de flujo cruzado tienen, para el caudal nominal, un rendimiento sensiblemente inferior a las Pelton, Francis o Kaplan, pero pueden trabajar con esa o parecida eficiencia en un rango de caudales mucho más amplio.

### **3.1.5.4 Elección de la turbina.**

Se pueden establecer como criterios de elección de la turbina hidráulica las siguientes características deseables:

- Rendimiento estable: que varíe en una mínima cantidad con los cambios de caudal. Se puede asociar con el hecho de que la curva de rendimiento sea lo más plana posible.
- Rango de operación: si se tiene un amplio campo de caudales y alturas a elegir será más sencillo encontrar un lugar apropiado para su instalación. Es decir, es importante que se puedan diseñar saltos de altura considerable y caudal pequeño, a la par que en el caso contrario, de saltos pequeños con un caudal mayor, o bien poder optar por una situación intermedia. Con ello, una vez estimada la potencia demandada por los beneficiarios, se tendrá más libertad en la decisión final de los parámetros del aprovechamiento:  $q$  y  $h$ .
- Robustez: se trata de que el equipo sea poco sensible al paso de arena, hierbas y otros posibles objetos, debido a que por la necesidad de diseñar

una instalación sencilla, no existirán equipos que limpien el caudal de forma exhaustiva. Así mismo no se instalarán sistemas automáticos de limpieza de rejillas.

- Velocidad de embalamiento: es interesante que la velocidad que sufre el grupo al desconectar la carga sea lo menor posible con el fin de que las posibilidades de dañar el equipo desciendan.

### **3.1.6 Infraestructura y equipos eléctricos.**

#### **3.1.6.1 Generador.**

##### **3.1.6.1.1 Generador síncrono**

Su constitución se basa en un inductor (generalmente en el rotor), a flujo constante mediante bobinas inductoras de corriente continua o imanes permanentes y un inducido (generalmente en el estator), constituido por devanados de corriente alterna sinusoidal (generalmente trifásicos). Estos alternadores están equipados con un sistema de excitación asociado a un regulador de tensión para mantener un mismo valor de voltaje y frecuencia.

La excitatriz puede ser con o sin escobillas, aunque para sistemas de micro generación, es mejor el no utilizarlas, ya que resulta más fiable y económico, puesto que nos ahorramos su reposición cada vez que se deterioren. Este sistema sin escobillas no es más que una máquina síncrona con el inductor al estator y el inducido al rotor. El inducido, los diodos rotativos y el inductor del alternador giran solidariamente con el eje, efectuando la conexión eléctrica entre las tres partes por el interior del eje. Los generadores síncronos, son muy utilizados en aquellas aplicaciones para sistemas aislados y a diferencia de los generadores asíncronos, no precisan de un sistema auxiliar (condensadores) para la arrancada, ya que se pueden arrancar en vacío.

##### **3.1.6.1.2 Generador asíncrono**

Frecuentemente están compuestos por un inductor a flujo variable, a partir de un devanado generalmente trifásico ubicado en el estator (generación de un campo magnético giratorio) y un inducido con devanado cerrado, ubicado

al rotor, donde se inducen las f.e.m y los corrientes a partir del flujo generado por el estator. La excitación de estos generadores, en el caso de que el rotor sea bobinado se realiza mediante escobillas, aunque se suelen utilizar los generadores con jaula de ardilla ya que son mucho más baratos y robustos. Para el funcionamiento de estos generadores es preciso que el deslizamiento sea negativo, es decir, que la velocidad debe ser mayor a la velocidad de sincronismo. Cuando el generador está directamente conectado a la red, no precisa de regulación de la tensión, ya que es la misma red quien le proporciona la tensión y la frecuencia.

En sistemas aislados, al no disponer de una red que proporcione de la corriente de excitación, es necesaria la conexión de baterías de condensadores. Para que este sistema funcione se debe aplicar un sistema de control ya que, una caída de velocidad determina que el generador pierda la excitación completamente y un incremento de la carga causa la reducción rápida de la tensión generada causando una sobrecarga que produce que pierda la excitación. Este sistema de control es un regulador de tensión, que mide el valor generado. Si existe una mayor tensión que la calibrada, deriva parte a una carga auxiliar llamadas cargas lastre. de ese modo, disminuye la tensión generada y viceversa.

### **3.1.6.2 Regulación.**

En sistemas autónomos como las micro centrales hidráulicas que no se interconectan a la red de energía eléctrica, los alternadores proporcionan energía para atender necesidades domésticas, iluminación pública y energía industrial, por lo cual es necesario el control de la tensión de salida que se logra manteniendo la regulación de tensión en un rango mínimo de variación.

#### **3.1.6.2.1 Regulación mecánico hidráulica de la velocidad.**

Se ha visualizado la necesidad que se tiene de actuar sobre los órganos que controlan la admisión de agua a las turbinas. Tal acción requiere un mecanismo de control el cual es el sistema de regulación de velocidad o regulador.

Una disminución de la carga eléctrica produce una tendencia a

aumentar la velocidad, debido a la disminución del par antagónico que ejerce sobre el rotor del generador.

El regulador entonces, deberá producir una orden de cierre tal que el torque creado por la turbina sea igual al ofrecido por la carga eléctrica sobre el generador, logrando así que la velocidad retorne a la velocidad sincrónica deseada.

La función del regulador es detectar cualquier error en la velocidad entre el valor de velocidad actual y el deseado, y efectuar un cambio en la salida de la turbina.

El sistema de regulación de la turbina actúa como un mecanismo de cierre, de apertura y de ajuste de los órganos de admisión de agua para la parada, arranque y sincronización, con el objeto de ajustar la salida de la turbina a la carga del sistema y mantener la frecuencia del sistema constante.

#### Características y tipos de reguladores.

Los reguladores pueden ser clasificados en cuatro tipos:

1. Mecánicos o hidráulicos
2. Electro-hidráulicos
3. Análogos PID, desarrollados en la década de los sesenta
4. Electrónicos digitales que hacen su aparición en los años ochenta.

Los tres elementos característicos de un regulador de velocidad: el sensor de velocidad, el elemento de control y el dispositivo o elemento amplificador de potencia.

#### **Elemento sensor de velocidad.**

El sensor de velocidad tiene la función de detectar los cambios que ocurran en la velocidad de la turbina y suministrar una salida proporcional a la misma, que constituirá la señal de entrada al elemento de control.

Seguidamente, se revisarán varios elementos sensores de velocidad:

- Mecanismo volante de masas giratorias: Es un elemento sensor de velocidad que puede ser manejado por medio de poleas en los ejes del rotor y del mecanismo volante acopladas a través de una banda. el movimiento centrífugo de las masas giratorias produce un desplazamiento axial de una

varilla que acciona el pistón de una válvula denominada piloto o corredera de distribución, que para el caso, constituye el elemento de control.

- Generador de imanes permanentes (PMG). Normalmente va acoplado al eje de la máquina y genera un voltaje a una frecuencia que es directamente proporcional a la velocidad de la máquina. Esta señal de voltaje alimenta un motor al cual estará acoplado el mecanismo de masas giratorias.

Señal de voltaje tomada de los transformadores de potencial.

Ésta alimenta directamente el motor. En los reguladores electrónicos modernos la señal de voltaje alimenta un transductor voltaje – frecuencia y de esa manera se capta la señal de velocidad.

#### **Elemento de control.**

El elemento de control compara el valor de la velocidad de la turbina con el valor de ajuste de velocidad deseado (referencia) y genera una señal de salida para la acción de control requerida, es decir la orden de cierre o apertura a la admisión del agua a la turbina para corregir la desviación de la velocidad de referencia.

#### **Elemento amplificador de potencia**

El elemento de amplificación de potencia produce la fuerza mecánica para posicionar el dispositivo de control del flujo de agua, en respuesta a la salida del elemento de control. Actúa directamente sobre el servomotor que acciona los órganos de admisión de la turbina.

#### **Control de flujo**

El control del flujo del agua que impacta la turbina se opera a través de los órganos de admisión, agujas para las turbinas Pelton y álabes móviles para turbinas Francis y Kaplan, los cuales actúan por el desplazamiento del eje del servomotor, que consiste en un cilindro hidráulico que recibe aceite a presión proveniente del acumulador aire aceite, después de haber pasado por la válvula piloto.

#### **Elemento estabilizador o de compensación.**

El estabilizador o elemento de compensación es la señal de retroalimentación del sistema de control del regulador y tiene por objeto prevenir la ocurrencia de la

velocidad de embalamiento y mantener el servomotor en una posición fija cuando la salida de la turbina y el generador (carga) están en equilibrio.

### **3.1.6.2.2 Regulación electrónica de la carga.**

La regulación de la entrada de caudal de agua a la turbina puede terminar siendo una tarea compleja. Por ello, se puede realizar una regulación de la carga aplicada a la red. El concepto consiste en operar la turbina de forma continua y en el punto óptimo de funcionamiento. El caudal será un parámetro fijo. Al no existir regulación de caudal, la cantidad de potencia producida es constante (y por funcionar en el punto óptimo, es la máxima). Si acontece una disminución en la carga de los beneficiarios a los que se les da soporte, la turbina tenderá a embalarse. Para evitarlo se pretende aumentar la carga eléctrica conectando baterías de resistencias, calentadores de agua, bombas para elevación de agua, etc.

## **3.2 Estudio de viabilidad de las diferentes alternativas**

### **3.2.1 Análisis de las necesidades.**

En el presente apartado vamos a calcular la necesidad energética de las instalaciones anexas al campo de slalom.

Se trata de una zona de vestuarios y duchas otra de almacenaje de los equipos y un sistema de iluminación nocturna mediante focos led.

En la siguiente tabla se indica la potencia instalada.

<b>Elemento</b>	<b>Potencia</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potencia total</b>
<b>Calentador ACS</b>	1100 W	1	1100 W
<b>Bombillas vestuarios</b>	25 W	5	125W
<b>Focos exteriores</b>	80 W	10	800 W
<b>Potencia</b>			<b>2000 W</b>

Así pues se precisan 2 Kw instalados en el caso de que todos los equipos previstos estén en uso al mismo tiempo.

Esta potencia marcará el punto de partida para la elección de la mejor opción de autoabastecimiento.

### **3.2.2 Estudio viabilidad técnica de las diferentes opciones.**

Analizamos ahora pues las diferentes opciones desde un punto de vista técnico de acuerdo a las siguientes premisas:

- Impacto ambiental mínimo
- Necesidad de no represamiento total del cauce
- Coste mínimo
- Satisfacer las necesidades de potencia instalada.

#### **3.2.2.1 Opción-tendido línea baja tensión**

Los requerimientos técnicos de la instalación de una línea de baja tensión serían los siguientes:

- Acceso a transformador de la red principal de conducción eléctrica de la población mas cercana, Murillo de Gállego. En este caso el transformador mas cercano sería el mas adecuado de cara a minimizar los costes de la instalación. En nuestro caso el transformador más cercano se encuentra situado en las instalaciones de piscina municipal del pueblo.
- Ejecución de zanja de 50 cm de ancho y 1 metro de profundidad. En dicha ejecución habrá que considerar diferentes factores, a saber:
  - La zanja atraviesa diferentes propiedades
  - El terreno es plano en su inicio los primeros 800 m por lo que la realización de la zanja no presenta problemas de acceso con maquinaria. Sin embargo los últimos 100 m el desnivel alcanza los 45 grados ya que se trata del valle correspondiente al cauce excavado por el río Gallego.

### **Viabilidad técnica y medidas correctoras**

El acceso al transformador no presenta ninguna consideración de viabilidad técnica por parte del proyectista, tan solo habrá que tener en cuenta la petición a la compañía distribuidora de conexión a red y su aprobación de acuerdo a criterios de disponibilidad.

La ejecución de la zanja presenta algunos problemas derivados de la inaccesibilidad de las laderas de acceso al río si se pretende tender una linea lo mas recto posible lo cual minimiza los costes.

La citada ladera tiene una inclinación que limita el acceso a maquinaria. Además se trata de una ladera de piedra y tierra arenisca con alto grado de desprendimiento que hacen comprometer el mantenimiento posterior de la linea.

Como medida correctora se plantea la construcción de la zanja paralela a una pista asfaltada de acceso al punto elegido para la instalación del cuadro eléctrico.

Esta medida hace que el número de metro definitivos sea de 1700. Dato a utilizar en el cálculo económico.

#### **3.2.2.2 Opción-recuperación antigua central**

Resumen de las acciones a realizar de cara a la recuperación de la antigua central:

- Realización de la presilla de elevación de caudal**

La altura a la que se encuentra el antiguo canal de captación respecto del nivel del río en época de estiaje es de unos 5.5 metros que sería la altura mínima deseable para la presa. Su longitud aproximada sería de unos 200 metros debido a que el río en este punto presenta gran anchura.

- Recuperación del antiguo canal de conducción**

Se debe reconstruir el antiguo canal lo que implica su limpieza y posterior saneamiento. Para la recuperación del citado canal se debe evaluar la posibilidad no solo de su limpieza sino de su reforma integral dotándolo de un enfoscado que lo haga impermeable para evitar las pérdidas por filtración.

- Rehabilitación del sistema compuerta+rejilla de entrada al molino**

En este caso la manera de aumentar la eficiencia técnica de la antigua cen-

tral es conducir el agua desde la llegada del canal al molino con una tubería forzada que una directamente un tanque de captación, con salida de rejilla con la admisión de agua de la turbina.

- **Turbina para minihidráulica:**

De las consideraciones teóricas anteriores podemos determinar que las turbinas mas adecuadas para la altura y caudal estimados serían la turbina de flujo cruzado tipo Ossberger o la de hélice tipo Kaplan.

Un desarrollo pormenorizado de la viabilidad de recuperación de la central nos permitiría determinar con mayor precisión la turbina adecuada para nuestro proyecto. En el caso que nos ocupa no hay ningún factor que determine la elección de una u otra de manera clara.

Las turbinas Ossberger tienen una excelente relación calidad-precio y se comportan muy bien frente a las posibles variaciones de caudal.

Las turbinas de hélice tipo Kaplan permiten aprovechar al máximo la altura del salto disponible lo que nos beneficia enormemente debido al bajo salto disponible. Los últimos avances en modelos micro de esta turbina permiten aprovechas saltos de tan solo 1 metro.

- **Determinación del potencial hidráulico.**

La potencia disponible de un recurso, dependerá de las variaciones en el caudal y de los rendimientos de los equipos instalados. El rendimiento de los equipos dependerá de la tecnología empleada en los distintos procesos de transformación, y ésta a su vez, del presupuesto disponible para la elección de alternativas.

Es conveniente realizar un cálculo aproximado del potencial energético. la siguiente fórmula permite estimar la potencia real en Kw, a obtener a la salida de la sala de máquinas:

$$\text{Potencia (Kw)} = 5 \times h \text{ (m)} \times q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Siendo, h la altura del salto expresada en metros q el caudal medio en metros cúbicos por segundo

'5' una constante de cálculo que toma en cuenta los rendimientos en los

distintos procesos de transformación de la energía. representa un 50%. está contemplado en esa constante el rendimiento de la turbina (70%), del generador (80%) y del sistema de transmisión mecánica (90%). son por lo tanto rendimientos tomados a la baja, vistas las restricciones económicas y tecnológicas en las que se va a desarrollar el proyecto. como se aprecia, frente a la fórmula de la potencia hidráulica, se podría decir que el rendimiento general podría ser del 50%.

Así pues para una altura determinada de 7 metros y un caudal aproximado de 1 m<sup>3</sup>/s la potencia entregada sería:

$$\text{Potencia} = 5 \times 7 \times 1 = 35 \text{ Kw}$$

Esta potencia cubriría la potencia deseada con un amplio margen por lo que se debería contemplar la posibilidad de ampliar el uso de la central o bien la posibilidad de conexión a red principal eléctrica.

- **Generador**

Dependiendo del nuevo uso que se le dé a esta estación se elegirá un tipo de generador u otro atendiendo a sus necesidades de regulación.

- **Regulador**

Atendiendo al tipo e generador elegido se deberá optar por un sistema de regulación que opere sobre la velocidad de entrada de agua o bien sobre la carga.

### **Viabilidad técnica y medidas correctoras**

Para la recuperación de la antigua central nos encontramos con un inconveniente que hace que se desestime técnicamente esta alternativa como es la necesidad de construcción de una presa que eleve la altura de partida de la captación.

Esta condición hace que la citada presa represe totalmente el cauce del río Gállego lo que hace inviable opción de acuerdo a las consideraciones anteriormente enunciadas.

Según la Declaración de Impacto Ambiental(DIA) del ministerio del medioambiente que evaluó la viabilidad del proyecto de represamiento del río Gállego en

Biscarrués, no se puede represar el río de una manera continua en el tiempo. Esto es debido a que, a causa de la inundación continua, se verían afectadas muchas especies animales y vegetales protegidas y que habitan el tramo de río que nos ocupa.

### **3.2.2.3 Opción-sistema compacto de micro turbina.**

Se plantea la instalación de un sistema comercial compacto que trabaje con regulación automática a potencia constante. El grupo turbina generador transforma la energía hidráulica en energía eléctrica de manera constante continua e independiente de la solicitud de los consumos. Consta de un sistema electrónico de regulación que se ocupa de controlar de forma constante las condiciones de carga de los consumos y de desviar, hacia los sistemas de disipación, la energía que no se consume directamente.

Dicha energía se puede recuperar bajo forma de calor, tanto para la calefacción directa de las instalaciones de vestuarios como para calentar el agua destinada a usos higiénico-sanitarios. De este modo se realiza un sistema de cogeneración, es decir, de producción de energía eléctrica y de energía térmica. El sistema de regulación esta compuesto por unos elementos modulares que se adaptan a nuestra instalación. Esta prevista una regulación secundaria, con accionamiento manual, que permite intervenir en el caudal de agua para adaptar la turbina a las posibles variaciones estacionales de caudal.

Se trata de un sistema de fácil instalación que no necesita de un calibrado específico por lo que la instalación, puesta en funcionamiento y mantenimiento no requieren personal técnico especializado lo que simplifica su implantación para el caso de estudio y ahorra costes.

El emplazamiento de dicho sistema se realizaría anexo a las instalaciones del campo de slalom. De esta manera la transmisión de la electricidad a las instalaciones no requiere ningún tipo de tendido eléctrico.

Se debe situar la casa de máquinas en zona no inundable para lo cual se evaluará

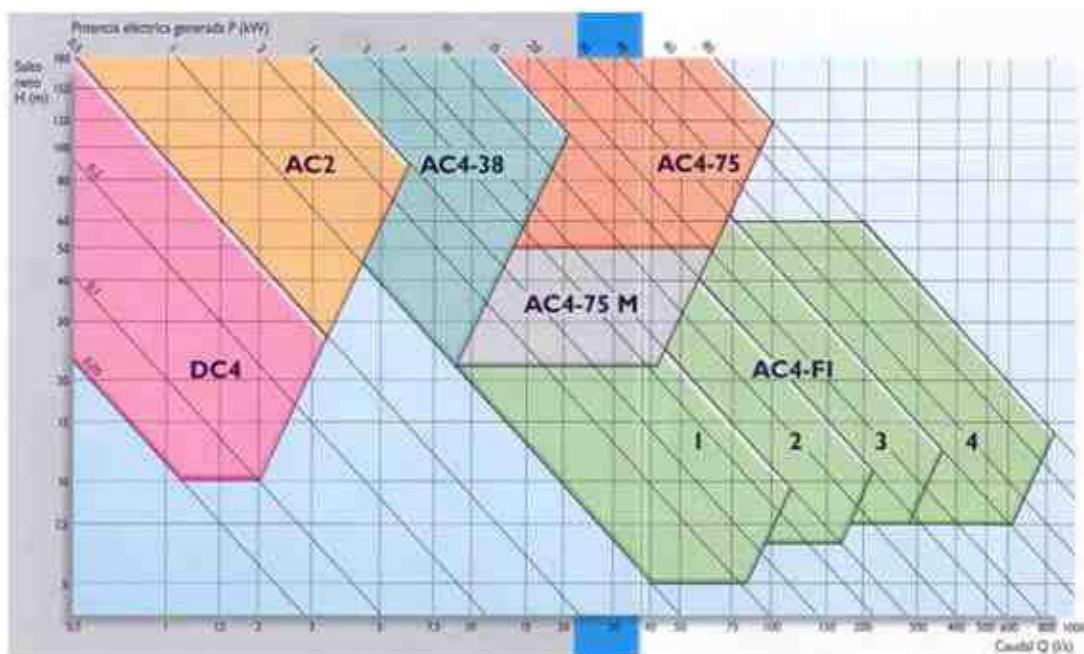
la altura del Gállego con los caudales máximos registrados en el SAIH, sistema de información hidrológica con el que la Confederación Hidrográfica del Ebro publica telemáticamente estos y otros datos.

### Cálculos de la instalación

La tabla adjunta relaciona los diferentes modelos de micro turbina disponibles de acuerdo a la altura y caudales disponibles.

De las mediciones realizadas se obtiene que la diferencia de altura entre el lugar elegido para la toma de agua y el emplazamiento para la micro central es de unos 5 metros.

En nuestro caso debemos optar por un modelo Banki AC4-F1-1 y un caudal aproximado de 110 l/s de manera que consigamos una potencia aproximada de 2 Kw



### **Grupo turbina Banki-multiplicador de correa-generador eje horizontal**

#### **Rodete Banki**

Los alabes del rodete son de acero inoxidable y están soldados directamente a los discos laterales. Los anclajes están encajados en el eje de la turbina en medio de dos pinzas cónicas. El eje de la turbina gira mediante rodamientos a bolas situados en el exterior de la turbina y transmite el movimiento del eje mediante un multiplicador de número de vueltas, constituido por una pareja de poleas con transmisión dentada, adecuadamente protegida.



#### **Bloque turbina.**

El bloque esta constituido por un conjunto de láminas de acero soldado, en el cual está ubicado el dispositivo para la regulación manual del caudal. Esta provisto de una ventanilla que nos permite acceder al interior para la inspección y limpieza del rodete.

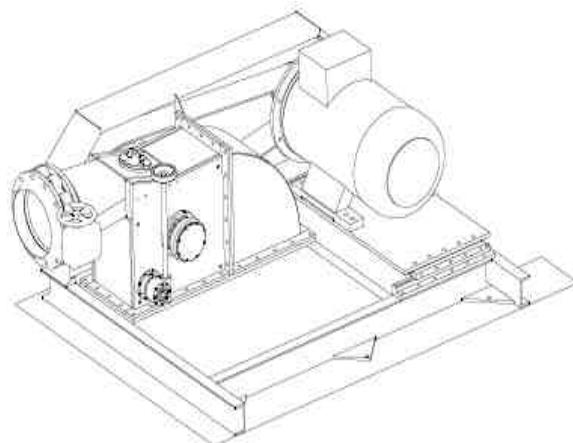
#### **Grupo alimentación**

Su función es conectar la tubería forzada al bloque turbina. está compuesto por el tubo de entrada sobre el cual está instalada la válvula manual para el mando de la micro central, la toma para el manómetro y la toma lateral para el by-pass.

### Generador

El sistema compacto planteado emplea un generador sincrónico monofásico de inductor móvil con 4 polos salientes. Estos generadores se caracterizan por la ausencia de escobillas. La corriente de excitación la suministra un generador auxiliar cuyo rotor(inducido) está montado sobre el mismo eje del generador principal. La regulación de la excitación es de tipo voltí-amperimétrica por sistema "compound". Los rodamientos a bolas de todos los generadores no necesitan lubricación.

El generador esta separado de la turbina por un broquel-escudo especial que le preserva de cualquier contacto con el agua.



### Cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico esta constituido por un armario de acero laminado con los siguientes elementos:

Los **instrumentos** del cuadro monofásico están formados por un voltímetro, un frecuencímetro digital, un amperímetro indicador de la intensidad total suministrada por el generador y un segundo amperímetro indicador de la corriente absorbida por la carga.

Las **protecciones** del cuadro monofásico son; un interruptor magnético tripolar que protege el generador contra los eventuales cortocircuitos sobre la linea de carga, y un relé electrónico de tensión que activa dos avisadores(sonoro y visual) en el caso de variaciones de tensión sobrepasando los límites fijados.

Los borneros son necesarios para la conexión de los conductores del generador, de la linea de carga y del regulador electrónico el aislamiento y las condiciones de los bornes están adaptados a la tensiones y a las secciones de los conductores

empleados normalmente.

### Reguladores electrónicos

Los reguladores electrónicos se componen de una unidad de control y de resistencias de disipación. Los reguladores velan por mantener la tensión y la frecuencia constantes, dado que la absorción de la energía producida por el grupo turbina generador es siempre constante. Este grupo trabaja siempre a plena carga y los reguladores velan por disparar, mediante resistencias ,la energía producida por la micro central y no consumida por las cargas. La disipación de la energía excedente tiene lugar en el agua o aire mediante elementos disipadores largamente dimensionados, que automáticamente se conectan o desconectan controlados por la unidad electrónica de control del regulador.

En nuestro caso la manera mas eficiente de aprovechar esta energía disipada será el calentamiento de la estancia destinada a vestuarios y duchas ya que el calentador de agua ya está previsto en el dimensionamiento de la central.

### Esquema general de la micro central:



### Captación de caudal

La captación de caudal se realiza en una zona remansada del río que presenta una anchura mayor que el resto del cauce. Esta anchura influye en el hecho de que en época de crecida el nivel del río en este punto no aumente demasiado y que por tanto no afecte a las estructuras que vamos a construir.

La opción mas sencilla contiene las siguientes partes:

- **Tanque de acumulación**

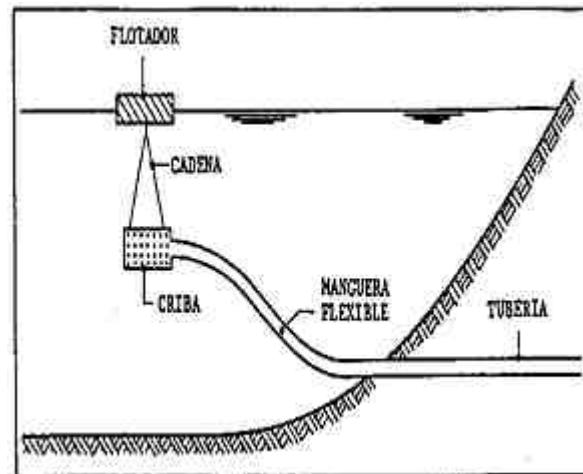
Realizado en hormigón armado y con forma de cubo presenta una tubería de entrada que viene del río y una de salida.

Ambas se sitúan en la parte superior del tanque de manera que el mismo tanque sirve de decantación de los posibles sólidos en suspensión.

- **Tubería de captación**

Tubería realizada en material flexible y suspendida en el río mediante un flotador. Tiene en su parte final un filtro que hace que no se aspiren los materiales sólidos grandes.

La toma debe estar situada en un nivel superior a la parte mas alta del tanque de captación.



### Conducción del caudal a la minicentral

El caudal necesario para el funcionamiento de nuestra central para una altura aproximada de 5 metros es de 110 l/s.

Tratamos ahora de analizar la tubería necesaria en función de la velocidad y las

perdidas de carga asociadas.

Se plantea la instalación de una tubería de pvc de 0,25 metros de diámetro.

La tubería de pvc es una de las más empleadas en las micro centrales. Es relativamente económica, se producen en diámetros que van hasta cerca de 400mm, y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 m). Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es poco pesada y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión. No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de rocas, en especial a bajas temperaturas. La principal desventaja radica en que el pvc se deteriora cuando se expone a la luz ultravioleta. Por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa, ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación, envolviéndola o pintándola.

Cálculos relativos a la instalación, velocidad y pérdida de carga:

$$\text{Velocidad en el tubo (m/s)} = \frac{Q}{\pi r^2} = 2,44 \text{ m/s}$$

$$\text{Perdida de carga} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

$$f = 0,01 \left( \frac{K}{D} \right)^{0,134}$$

Material del tubo	K
Tubo de acero (nuevo)	1,15
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2,5
Tubo de acero corroído (en operación)	5
Tubo plástico	0,5

La resultante de los cálculos es:

$$f = 0,01097$$

$$\text{Perdida de Carga} = 0,01332 L$$

Donde  $l$  es la longitud de la tubería hasta la sala de generación.

Así pues para una longitud aproximada de 500 metros las pérdidas de carga serán de 6,65 metros.

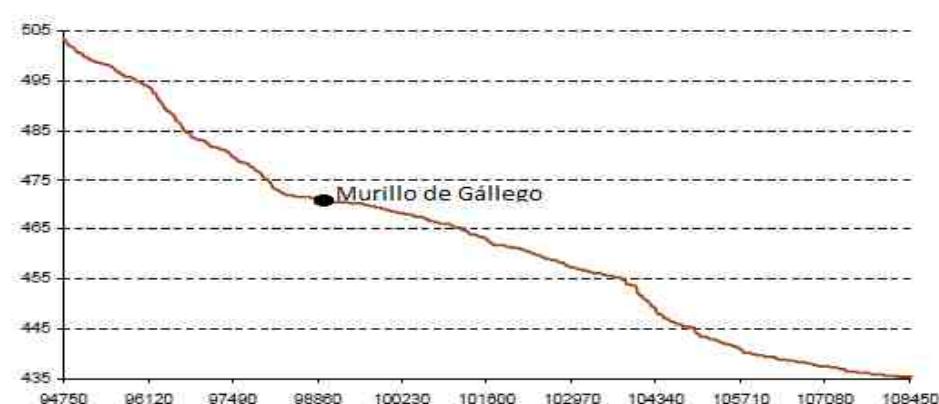
### **Viabilidad técnica y medidas correctoras**

La opción de la estación micro hidráulica pierde validez debido a la gran longitud necesaria de tubería de conducción por el bajo gradiente que presenta el río a su paso por Murillo de Gállego

Esta longitud necesaria hace que las pérdidas de carga derivadas de la conducción de agua superen a la altura conseguida para la generación hidroeléctrica.

La manera de hacer viable este proyecto sería disminuyendo la longitud necesaria de la conducción en cuestión de manera que se redujeran las pérdidas de carga disminuyéndose al mismo tiempo la altura disponible. Esta corrección implica que se debe aumentar el caudal necesario para mantener las condiciones que satisfagan las necesidades planteadas anteriormente.

PERFIL LONGITUDINAL



### **3.2.2.4 Opción-sistema compacto de turbina de inmersión.**

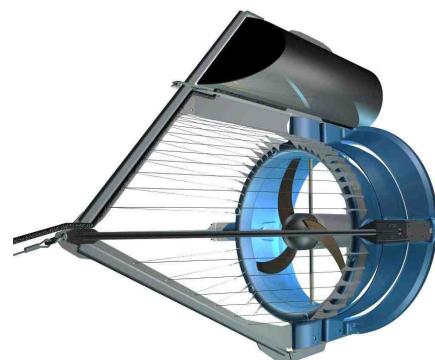
La instalación de este sistema se haría en la zona del río elegida para el emplazamiento del campo de slalom. En este caso no existe una casa de máquinas que tengamos que proyectar en zona no inundable sino que tan solo un cable une nuestro punto de generación que se haya sumergido con el cuadro eléctrico de control que se montaría anexo a las instalaciones de vestuarios y duchas. Este aspecto nos capacita para independizar la situación de las instalaciones del campo de slalom.

#### **La turbina.**

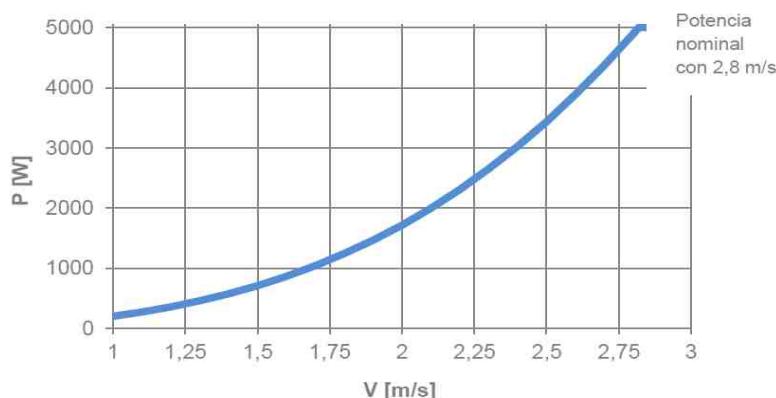
Se trata de turbinas de nueva generación que aprovechan el paso del agua fluyente del río y que integran el sistema turbina con un generador de imanes permanentes que genera una corriente alterna.

La turbina es sumergida en un lugar del río que presente una profundidad mínima de 2 metros y presenta una curva de potencia que va en función de la velocidad del río en el lugar elegido. La turbina aquí representada es el tipo Monofloat fabricada por una empresa puntera en el desarrollo de este tipo de tecnologías, Smart Hydropower Systems. se trata de una turbina que tiene en su parte superior una boya que le hace flotar parcialmente.

La instalación del sistema se lleva a cabo de una manera sencilla a través de 1 o 2 puntos de anclaje aguas arriba del lugar de inmersión. Este sistema de anclaje hace que la propia turbina se sumerja o flote de acuerdo al caudal/velocidad de agua que presente el río en las diferentes épocas del año evitando así los problemas derivados de los sólidos flotantes.



Turbina tipo Monofloat fabricada por  
Smart Hydropower Systems



Curva de potencia de la turbina Monofloat

Otra opción planteada es la de la **turbina de inmersión total**.

Esta turbina se sumerge totalmente en el río y se ancla al lecho del mismo.

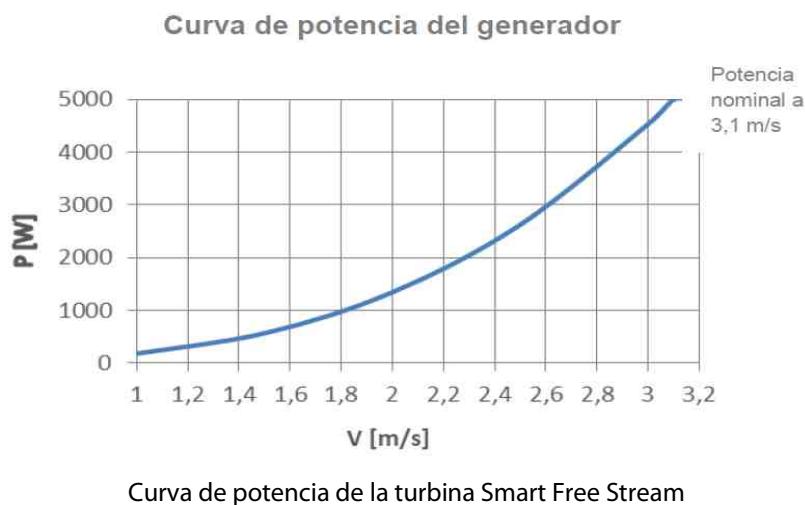
La ventaja con respecto al anterior sistema es la ausencia de cables de sujeción y de anclajes externos.

El inconveniente es que complica las labores de mantenimiento y reparación debido a dificultad de acceso para su extracción para realizar las citadas acciones.

Se trata de una turbina muy adecuada cuando el lecho del río es muy uniforme o cuando se instala en canales de riego.



Turbina tipo SMART Free Stream fabricada por Hydro-power Systems



Para analizar la viabilidad del presente producto se realizan las siguientes mediciones en el lugar elegido para su instalación:

- **Anchura del río**

Para la medición de la anchura se tiende una cuerda entre las dos orillas en los diferentes puntos propuestos para la instalación obteniéndose anchuras que oscilan entre los 10 y los 12 metros.

- **Velocidad**

Para el cálculo de la velocidad se emplea un método experimental sencillo. Entre dos puntos cuya distancia es conocida se lanza un objeto flotante a la corriente. Se realizan sucesivas mediciones del tiempo que emplea la corriente en desplazar el objeto entre los puntos dados y se estima una velocidad aproximada de 2,3 m/s.

Cabe reseñar que en el momento de la medición estamos en la época de máximo estiaje cerca del mínimo caudal medio que discurre por el Gállego cada año.

- **Profundidad estimada del río**

Se sumerge una piedra con una cuerda atada hasta el lecho del río en diferentes lugares propuestos para la instalación y se obtiene una relación de profundidades que oscila entre los 2 y los 2,5 metros de profundidad.

- **Lugar de anclaje de la instalación**

Estudio de viabilidad de micro-hidroeléctrica para abastecimiento de instalación deportiva	50
--	----

Para la elección del lugar de anclaje se cuenta con los siguientes recursos:

Naturales: árboles

Artificiales: anclaje químico sobre piedra, bloque de hormigón encofrado en el lugar elegido.

### **Generador**

El generador de imanes permanentes genera una tensión alterna monofásica de entre 60 y 600 voltios en función de la velocidad del río en cada momento.

### **Transmisión**

La transmisión de la energía generada en la turbina se hace a través de un cable eléctrico impermeable de 3 conductores de  $2,5 \text{ mm}^2$  de sección. la longitud máxima recomendada hasta el cuadro eléctrico es de unos 50 metros.

### **Cuadro eléctrico**

El cuadro es suministrado por la misma empresa fabricante de las turbinas sumergibles. Incluye un estabilizador de tensión a la tensión elegida de 220 voltios y 50 hz.

Implementa todos los sistemas de seguridad y de control necesarios para este tipo de instalaciones.

Ademas dispone de un sistema de regulación por control de la carga que disipa la energía no consumida en forma de calor de manera que el sistema funciona siempre a plena carga.

Todos los elementos presentes en el citado cuadro se adaptan a las normativas y reglamentos vigentes correspondientes.

### **Viabilidad técnica y medidas correctoras:**

La implantación de la turbina es posible en el lugar elegido atendiendo a las especificaciones técnicas del producto, a saber:

- Profundidad mín.: 2.0 m
- Ancho mín.: 2.0 m
- Rango de funcionamiento: 1.0 m/s hasta máx. 3.5 m/s
- Potencia nominal a: 2.8 m/s

- Inyección de la corriente: a máx. 500 metros de distancia de la turbina.

No obstante se debe hacer una valoración final de su viabilidad en condiciones altas de caudal de cara a determinar si los puntos de anclaje propuestos son correctos y si la velocidad del río en estas condiciones sobrepasa la velocidad máxima indicada por el fabricante.

**Medidas correctoras:**

1. Se debe señalizar correctamente el lugar elegido para la inmersión de la turbina así como el tendido de los cables ya que la zona elegida es lugar de paso de piragüistas y empresas de rafting.  
Dicha señalización se hará mediante boyas naranjas que indiquen el punto de inmersión.
2. De los dos sistemas planteados, el de la turbina que se instala en el lecho del río sería la mas adecuada de cara a eliminar los cables de anclaje y un elemento flotante en un río navegable. Para la implementación de esta turbina se debe anclar correctamente al lecho de manera que permita un funcionamiento estable del sistema. Una opción para su sujeción sería la instalación de la turbina sobre un bloque de hormigón el cual sería sumergido con la turbina anclada.
3. Se debe evaluar la capacidad de acceso hasta el lugar de la instalación de el vehículo de transporte que desplace tanto la turbina como el bloque de hormigón propuesto para esta solución.
4. El cable de transmisión eléctrico debe estar totalmente sumergido hasta su llegada al borde del río de cara a la eliminación de los elementos flotantes. Tras su llegada a la orilla del río debe soterrarse de cara a que las crecidas del río durante la primavera no provoquen daños. Estos daños pueden producirse por acumulación de vegetación la cual se fija al cable y le hacen oponer una gran resistencia al paso de la corriente lo que puede provocar la ruptura de los puntos de anclaje.

### 3.3 Estudio económico.

#### 3.3.1 Opción-tendido línea baja tensión

Ud	Descomposición	Rendimiento	Precio unitario	Precio partida
M <sup>3</sup>	Arena de 0 a 5 mm de diámetro.	0,069	12,10	0,83
M	Cable unipolar rv, no propagador de la llama, con conductor de aluminio clase 2 de 50 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (r) y cubierta de pvc (v), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kv. según une 21123-4.	4,000	3,14	12,56
Ud	Placa de protección de cables enterrados, de polietileno, de 250 mm de anchura y 1 m de longitud, color amarillo, con la inscripción "¡atención! Cables eléctricos" y triángulo de riesgo eléctrico.	1,000	2,93	2,93
M	Cinta de señalización de polietileno, de 150 mm de anchura, color amarillo, con la inscripción "¡atención! Debajo hay cables eléctricos" y triángulo de riesgo eléctrico.	2,000	0,25	0,50
Ud	Material auxiliar para instalaciones eléctricas.	0,200	1,47	0,29
H	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,007	9,38	0,07
H	Pisón vibrante de guiado manual, de 80 kg, con placa de 30x30 cm, tipo rana.	0,056	3,54	0,20
H	Camión cisterna de 8 m <sup>3</sup> de capacidad.	0,001	40,59	0,04
H	Oficial 1 <sup>a</sup> construcción.	0,037	17,24	0,64
H	Peón ordinario construcción.	0,037	15,92	0,59
H	Oficial 1 <sup>a</sup> electricista.	0,070	17,82	1,25
H	Ayudante electricista.	0,070	16,10	1,13
%	Medios auxiliares	2,000	21,03	0,42
%	Costes indirectos	3,000	21,45	0,64
			<b>Total:</b>	<b>22,09/metro</b>

**Cuadro baja tensión.**

Ud	Descomposición	Rendimiento	Precio unitario	Precio partida
Ud	Cuadro de baja tensión con sec-cionamiento en cabecera mediante pletinas deslizantes, de 440 v de tensión asignada, 1600 a de intensidad nominal, 580-x300x1810 mm, de 4 salidas con base portafusible vertical tripolar desconectable en carga de hasta 1260 a de intensidad nominal.	1,000	1.312,35	1.312,35
H	Oficial 1ª electricista.	2,154	17,82	38,38
H	Ayudante electricista.	2,154	16,10	34,68
%	Medios auxiliares	2,000	1.385,41	27
%	Costes indirectos	3,000	1.413,12	42,39
			<b>Total:</b>	<b>1.455,51</b>

**Normativa de aplicación**

Instalación:

- REBT. reglamento electrotécnico para baja tensión.
- ITC-bt-07. redes subterráneas para distribución en baja tensión.
- Normas de la compañía suministradora.

**Criterio de medición en proyecto**

Longitud medida desde el último transformador situado en la piscina municipal.

Longitud medida a lo largo de la pista accesible para escabadora.

Longitud mínima: 1700 metros.

Coste total de la obra:

$$22,09 \text{ € / metro} \times 1700 \text{ metros} = 37553 \text{ euros.}$$

**Coste total armario de baja tensión + tendido                    39.008,51 euros**

### **3.3.1.1 Opción recuperación de la antigua central.**

No se contempla en el presente proyecto la viabilidad económica de esta opción por haberse desestimado su viabilidad técnica.

No obstante después de haber analizado otros proyectos similares se puede concluir que la obra civil necesaria para la recuperación de la antigua central complicaría la viabilidad económica del proyecto debiéndose optar por una generación eléctrica elevada que hiciera que la amortización de la inversión realizada fuera viable.

### **3.3.1.2 Opción micro hidráulica**

Aunque se ha desestimado su viabilidad técnica se analiza su viabilidad económica de cara tener datos en futuras instalaciones cuyas características la hagan viable.

Al ser un sistema compacto la valoración económica es muy sencilla por tratarse de fórmulas comerciales ya ajustadas.

Se valoran diferentes presupuestos que incluyen de manera compacta todos los componentes necesarios para su implementación.

#### **Sistema compacto turbina-generador-regulador**

- Micro central hidroeléctrica Ecowatt ac4fi1-1(tb1-1)

##### **Características**

Tipo turbina Banki ac4-fi1-1

Potencia generada **de 1 a 5 Kw (aprox.)**

Tensión salida 230v AC monofásico

Frecuencia 50hz

Grado de protección ip20

##### **Presupuesto y descripción de equipos**

Grupo turbina Banki---multiplicador de correa.

Generador síncrono de eje horizontal.

Chasis de montaje y tensor de generador.

Regulador manual de caudal (15---100%)

Cuadro de control cm7000. (monofásico)

3 reguladores electrónicos RPM 2000/a de disipación en aire  
Válvula de entrada manual.

**Presupuesto equipos 26.680,00 euros**

### Conducción de agua hasta la estación generadora

Ud	Descomposición	Rendimiento	Precio unitario	Precio partida
M <sup>3</sup>	Arena de 0 a 5 mm de diámetro.	0,090	12,02	1,08
M	Tubo de policloruro de vinilo clorado (pvc-c), de 25 mm de diámetro exterior, pn=16 atm y 1,9 mm de espesor, según une-en iso 15877-2, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	9,67	9,67
H	Oficial 1 <sup>a</sup> construcción.	0,015	17,24	0,26
H	Peón ordinario construcción.	0,015	15,92	0,24
H	Oficial 1 <sup>a</sup> fontanero.	0,050	17,82	0,89
H	Ayudante fontanero.	0,050	16,10	0,81
%	Medios auxiliares	2,000	12,95	0,26
%	Costes indirectos	3,000	13,21	0,40
			Total:	<b>13,61/metro</b>

Para un total de 500 metros la tubería de captación tendría un valor total de: **6805 euros**

**Coste total de la instalación 33.485,00 euros**

#### 3.3.1.3 Opción turbina de inmersión.

##### Sistema compacto que incluye los siguientes conceptos

- Sistema Smart Free Stream

##### Características

Generador síncrono de 5 Kw con imán permanente

Revoluciones bajas (90-230 rpm)

Construcción axial (impermeable/ refrigerado por agua)

Rango de tensión 70 – 600 voltios, (depende de la velocidad fluvial)

**Presupuesto y descripción de equipos**

Generador de imán permanente 5 Kw AC

Difusor (tres partes)

Rotor con 3 alas

Difusor, rotor y generador se envían completamente montados

Cable de acero para anclaje 12mm (20m)

Cable eléctrico impermeable 3\*2,5 mm<sup>2</sup> (50m)

Inversor (tensión y frecuencia en función del cliente)

Cuadro eléctrico

**Coste total de la instalación** **12.500,00 euros**

**Amortización del sistema**

Si bien no se precisa amortizar el sistema debido a que:

- Se trata de una inversión considerada como necesaria para la consecución de los objetivos perseguidos.
- Va a ser financiada por una subvención estatal.

Se realizan los cálculos correspondientes por los siguiente motivos:

1. Para apoyar la viabilidad del presente proyecto. Demostrándose que el presupuesto se ajusta a otros proyectos de inversión privada similares
2. Para que en e caso de que el proyecto no sea apoyado por la vía pública pueda ser financiado a través del club de Murillo. De esta manera se tendrán datos mas fiables de rendimiento.

Datos de partida:

Coste de la instalación	12500	euros
Costes de mantenimiento anual	100	euros
Inflación	2,5	%
Horas de funcionamiento	8	horas/día
Consumo equivalente/día	16	Kwh
Días de funcionamiento	300	días
Total consumo anual	4800	Kwh
Precio del Kwh	0,1323	euros
Incremento del precio	4	%

Resultados obtenidos:

1. En el supuesto de que la instalación se utilice 8 horas/día un total de 300 días al año sería amortizada a los 15 años de su instalación.
2. Este tiempo de amortización se encuentra por debajo del tiempo de vida útil estimado para los equipos instalados.

### **3.4 Estudio de impacto ambiental.**

Se analizan ahora las posibles afecciones de la implantación de una **turbina de inmersión**.

#### **3.4.1 Impacto ambiental.**

Afecciones a los organismos acuáticos:

Las características de la turbina hacen que no se precise un estancamiento total del río por lo que no se limita la circulación de peces y otros organismos acuáticos. La turbina ocupa una superficie muy pequeña del cauce del río en el lugar proyectado por lo que tampoco supone un obstáculo a dicha circulación.

La velocidad de la hélice de la turbina ha sido especialmente adaptada a las mejores directrices para la protección de los peces que pasan a través de la turbina.

Se puede concluir pues que el impacto ambiental producido es muy bajo.

#### **3.4.2 Impacto sonoro.**

No se prevé la generación de ningún ruido que no derive de la propia instalación del sistema.

#### **3.4.3 Impacto visual.**

No genera ningún tipo de impacto visual ya que el sistema de turbina de inmersión queda bajo el agua.

### **3.5 Estudio de impacto social.**

Un desarrollo pormenorizado del presente proyecto se presentará en la lista de proyectos que los ayuntamientos de las zonas catalogadas como afectadas por grandes embalses de montaña presentan cada año para su licitación y posterior financiación. Esta catalogación hace referencia a los municipios que de una u otra manera han visto sacrificado parte de su entorno en pro del bien común sin obtener ningún tipo de compensación.

En las primeras décadas del siglo XX la construcción de numerosos pantanos en las zonas de montaña empujó a los habitantes de muchos pueblos del entorno de los mismos a abandonarlos. En muchos de estos casos los abandonos eran debidos a la desaparición de su principal fuente de ingreso, la tierra, que pasaban a manos del estado, el cual debía reforestar de cara a la favorecer la sujeción de las

laderas retrasando de esta manera la colmatación del vaso del pantano.

Otros fueron abandonos a consecuencia de una caída de la economía local del entorno.

La construcción de estos pantanos potenció el desarrollo de nuevas comunidades en lugares donde antes no existían. Son los llamados pueblos de colonización que se construyeron en el entorno de las nuevas zonas de regadío.

La construcción de los pantanos continuó a lo largo de todo el siglo hasta nuestros días y sustentaba dos partes importantes de la economía:

1. La irrigación de diversas nuevas zonas de regadío para empujar la agricultura aragonesa y hacer su economía competitiva
2. La generación hidroeléctrica para satisfacer la cada vez mayor demanda de las casas y la industria.

De estas dos partes es la generación hidroeléctrica la que de una manera más directa explota un recurso del entorno de los pueblos de montaña obteniendo un beneficio económico destacado. Son además, las empresas encargadas de su explotación, de carácter privado.

A razón de esta explotación de carácter privada y con el añadido de que las instalaciones, en su mayoría, están sobradamente amortizadas se define un canon de compensación.

El citado canon de compensación viene a reconocer el perjuicio ocasionado en las zonas afectadas por los grandes embalses. Este canon se debe aplicar a la cifra de negocios obtenida por las empresas hidroeléctricas y debe revertir en proyectos de desarrollo social y económico de los municipios catalogados como afectados.

Los encargados de solicitar estas compensaciones son los ayuntamientos de estos municipios los cuales deben elaborar una lista de los proyectos a financiar.

**Las conclusiones extraídas del presente proyecto junto con un desarrollo pormenorizado de la opción elegida se adjuntarán a un proyecto general que incluye las instalaciones del campo de slalom.**

Estudio de viabilidad de micro-hidroeléctrica para abastecimiento de instalación deportiva	60
--	----

## **4 CONCLUSIONES**

**Del estudio técnico previo de las diferentes opciones planteadas se puede concluir que la alternativa que mejor se ajusta a las necesidades expuestas es la de la turbina de inmersión.**

**Justificación de la decisión adoptada:**

- 1. Las opciones de recuperación de central y micro hidráulica han sido desestimadas técnicamente.**
- 2. La opción del tendido de baja tensión, que es otra de las opciones viables técnicamente, requiere una inversión mayor con el añadido de que no es una inversión amortizable.**
- 3. El sistema puede ser ampliado de acuerdo a un aumento de la demanda sin mas que añadir otra turbina al sistema.**
- 4. Se trata de un sistema que no requiere de un instalador técnico especializado en este tipo de turbinas por lo que se podrá recurrir a profesionales eléctricos del entorno. De esta manera se justifica, aún mas, su repercusión social.**
- 5. Su impacto ambiental es mínimo.**
- 6. Genera un impacto social muy positivo.**

La opción de recuperación de la antigua central podría ser contemplada en el marco de un proyecto global de abastecimiento para las necesidades de la localidad de Murillo de Gállego. Dentro de este marco se deberían adoptar las medias necesarias para eliminar la restricciones técnicas que hacen esta opción inviable que tiene como su mas destacada la de no represamiento total del río para su captación.

De la opción definida como estación micro hidráulica se deduce que las condicio-

nes que definen el lugar de la instalación, a saber: altura y caudal disponibles; imposibilitan la instalación de un sistema sencillo debido a que el bajo gradiente del río obliga a disponer de un caudal elevado para la generación o bien una larga conducción forzada del caudal. Esta última consideración, se ha visto anteriormente, viene a hacer inviable técnicamente su realización. Estas consideraciones hacen que para que el proyecto fuera viable técnicamente se debería elevar el caudal disponible, lo que hace que los costes de los equipos se incrementen considerablemente.

Además trae como consecuencia:

- Obra civil importante, debido a que es necesario un caudal mayor la conducción de este caudal hasta la turbina y su captación del cauce del río hacen que aumente el costo de la obra civil necesaria.

De esta manera el enfoque de la generación micro debe tornar a un aumento en la generación hidroeléctrica que permita una amortización de la inversión realizada.

Se puede concluir pues que las correcciones necesarias para la opción analizada aproximan las características de las opción de recuperación de la central y la opción de la micro hidráulica, siendo esta una consecuencia lógica debido a que las características del lugar lo definen perfectamente.

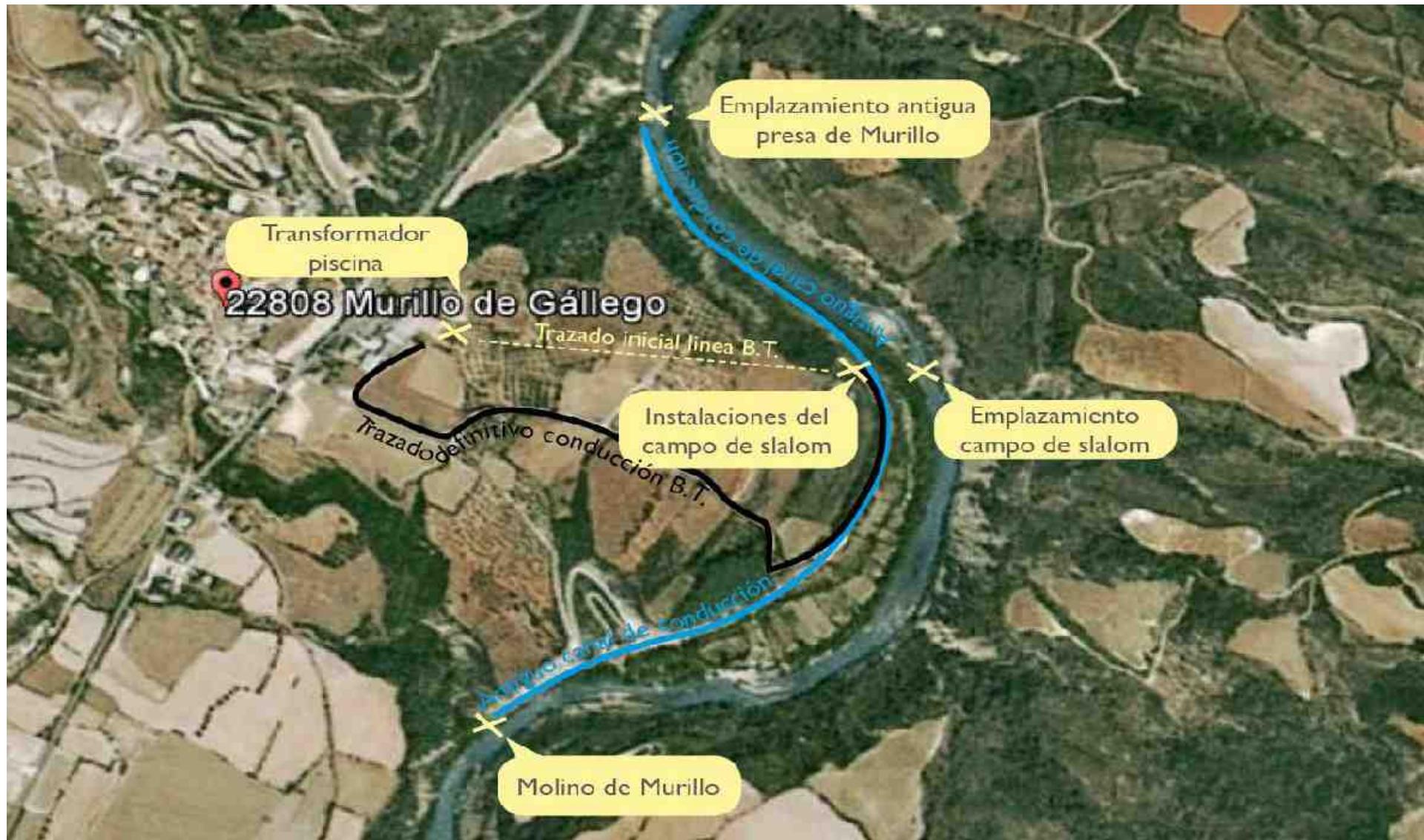
Con respecto a la opción de tendido eléctrico se debe tener en cuenta que:

- El coste de la inversión no es amortizable por lo que sería una solución necesaria en el caso de que un desarrollo pormenorizado de la opción de la turbina de inmersión hicieran inviable su implantación.
- Uno de los beneficios de esta opción es el de la capacidad de ampliación de la demanda eléctrica en el punto de consumo de una manera muy sencilla.

## BIBLIOGRAFÍA

- **GUIA PARA EL DESARROLLO DE UNA PEQUEÑA HIDROELECTRICA ESHA2006**
- [www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=2495](http://www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=2495)
- **APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE ROSGEN AL RÍO GÁLLEGO**
- <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3117/2/121857.pdf>
- <http://smart-hydro.de/es/produkt/turbina.html>
- <http://saltosdelpirineo.com/>
- **MUSEO DE LA ELECTRIDICAD DE MURILLO DE GÁLLEGO, Gestionado por la familia Gállego.**
- <http://www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Hydro/docs/MicroHydroGuide.pdf?ga=t>

**ANEXO 1 Plano de situación de los elementos objeto de análisis.**



## Estudio de viabilidad de micro-hidroeléctrica para abastecimiento de instalación deportiva

### ANEXO 2 Amortización sistema de turbina de inmersión.

#### Datos de partida

	Valor Unid
Coste de la instalación	12500 euros
Costes de mantenimiento anual	100 euros
Inflación	2,5 %
Horas de funcionamiento	8 horas
Consumo equivalente/día	16 Kwh
Días de funcionamiento	300 días
Total consumo anual	4800 kWh
Precio del Kwh	0,1323 euros
Incremento del precio	4 %

