



# MICROTURBINAS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE CATALUÑA

## MEMORIA

Autor: Víctor Sanz Noguera

Director: Miguel Villarrubia

Convocatoria: Octubre 2013



Máster Interuniversitario UB-UPC

de Ingeniería en Energía



## Máster Interuniversitario UB-UPC de Ingeniería en Energía

Aceptación de presentación del Trabajo Final de Máster y defensa pública.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Miguel Villarubia

Fdo.

Fecha:

---

Alumno: Víctor Sanz Noguera

DNI: 53033553-S

Título: Microturbinas para generación eléctrica en redes de abastecimiento de agua potable en Cataluña.

Fdo.

## **RESUMEN**

La búsqueda de energías alternativas, renovables, no contaminantes e inagotables está en la orden del día. En esta memoria se da una idea de cómo obtener energía de este tipo a partir de microturbinas instaladas en las redes de abastecimiento de agua potable.

Aunque de una única microturbina no se obtienen grandes potencias, la implantación de forma distribuida y masiva puede ser interesante. Por tanto se realiza un estudio de los lugares susceptibles de implantación dentro de la provincia de Barcelona y de la potencia eléctrica que se obtendría.

Los estudios realizados en esta memoria son extrapolables a otras zonas geográficas.

## INDICE

1.- Introducción.....	3
2.- Objetivos.....	4
3.- Fundamentos de la hidráulica.....	5
3.1.- Definiciones y nomenclatura.....	5
3.2.- Cálculo del recurso disponible.....	7
4.- Descripción general y metodología de diseño.....	11
5.- Recursos y redes de abastecimiento.....	13
6.- Definición técnica del problema.....	16
7.- Diseño de la instalación.....	19
7.1.- Instalación hidráulica.....	19
7.1.1.- Turbina hidráulica.....	20
<b>Cálculo y elección de la turbina.....</b>	<b>25</b>
<b>Calculo número específico de revoluciones de la turbina.....</b>	<b>27</b>
7.1.2.-Válvula reductora.....	29
7.1.3.- Válvula de mariposa.....	35
7.1.4.- Filtro.....	36
7.1.5.- Válvula de llenado.....	37
7.1.6.- Electro válvulas.....	39
7.1.7.- Turbina escogida.....	40
7.2.- Instalación Eléctrica.....	42
7.2.1.- Calculo potencia eléctrica estimada.....	43
7.2.2.- Generador Asíncrono.....	43
7.2.3.- Batería de condensadores.....	44
7.2.4.- Centro de transformación.....	45
7.3.- Sistema de control de la instalación.....	46
7.3.1.- Regulación y control de la instalación hidráulica.....	46
<b>Fase en reposo con válvula de llenado cerrada.....</b>	<b>48</b>
<b>Fase de proceso de apertura y estabilización.....</b>	<b>48</b>
<b>Fase en estado constante con válvula de llenado abierta.....</b>	<b>49</b>
<b>Fase transitoria de cerrado de la válvula de llenado.....</b>	<b>50</b>
7.3.2.- Regulación automática de la velocidad del generador.....	52

8.- Tipología general de selección para instalación viable técnicamente.....	54
9.- Viabilidad económica.....	55
9.1.- Ingresos previstos anuales.....	55
9.2.- Calculo de la inversión y gastos de explotación.....	56
9.3.- Pay-Back o periodo de retorno.....	57
9.4.- Índice de Energía (IE).....	57
9.5.- Índice de Potencia (IP).....	57
10.- Implantación a gran escala.....	58
11.- Conclusiones.....	60
12.- Anexos.....	61
<b>ANEXO 6</b> .....	69
Direcciones y teléfonos centros ATLL.....	69
12.- Bibliografía.....	74

## **1.- Introducción.**

La necesidad de la obtención de energía a partir de recursos renovables, junto con la necesidad de instalar válvulas reductoras de presión en las redes de suministro de agua potable para reducir la presión de estas, me ha conducido a la idea de utilizar microturbinas en la redes de suministro para que a la vez que se reduce la presión se aproveche dicho trabajo para la generación de energía eléctrica.

Basando el proyecto en un estudio tipo de la redes de suministro de la provincia de Barcelona es extrapolable a diferentes instalaciones, donde las variables a tener en cuenta se definen en capítulos posteriores.

A lo largo del proyecto se estudiarán las diferentes turbinas a implantar en función del recurso disponible, los recursos disponibles en una zona concreta (provincia de Barcelona y alrededores), y un ejemplo concreto de implantación, incluido su viabilidad técnica y económica.

## **2.- Objetivos.**

El objetivo de este estudio es averiguar la viabilidad técnica y económica de generación de electricidad a partir de microturbinas instaladas en las tuberías de agua potable. Concretamente de las tuberías que abastecen la provincia de Barcelona.

Se pretende localizar el recurso disponible, y de todos ellos, averiguar cuáles son susceptibles para la implantación de microturbinas. Esto se pretende tanto en los casos donde ya existe una válvula reductora de presión instalada, como en los que no. Además se entrará en detalle en la implantación de la microturbina en paralelo o en serie a la reductora, en los casos donde concierna.

Aunque la potencia de una microturbina no es comparable a las que pueden llegar a dar las centrales hidroeléctricas, se pretende estimar que potencia se podría obtener de forma distribuida y global en una zona geográfica mediante este tipo de microturbinas.

Se realiza el estudio concreto de un recurso disponible y viable, el cual se puede tomar como plantilla ejemplo para el estudio de resto de recursos disponibles.

### 3.- Fundamentos de la hidráulica.

En este capítulo se muestran los conceptos básicos de hidráulica necesarios para el estudio de centrales minihidráulicas, concretamente para minicentrales en redes de abastecimiento a poblaciones, incluyendo la teoría de cómo realizar el cálculo del recurso disponible. Por tanto se contemplan todos los conceptos y ecuaciones necesarios para el desarrollo técnico del proyecto.

#### 3.1.- Definiciones y nomenclatura

A continuación se definen las magnitudes a utilizar.

**Presión:** Definida como fuerza por unidad de superficie, la presión  $p$  que ejerce una columna de líquido de altura  $z$  viene dada por:

$$p = \rho \cdot g \cdot z$$

Donde:

$\rho$ : densidad del líquido, en el caso de agua 1000 kg/m<sup>3</sup>.

$g$ : aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$z$ : altura de la columna de líquido (m).

En hidráulica es común referirse a la presión a través de la altura equivalente de columna de líquido ( $z$ ). La equivalencia se establece a partir de la siguiente fórmula:

$$z = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

Con esto, por ejemplo una presión de 10bar equivale a 102mca.

Unidades de medida	bar	atmósferas	Pa = N/m <sup>2</sup> .	m.c.a
bar	1 bar	1bar = 0,987 atm.	1 bar = 100 KPa.	10,2 mca.

Figura 1: Tabla de equivalencias de unidades de medida para medir la presión.

**Caudal:** El caudal a través de una sección es la cantidad de fluido que circula por unidad de tiempo a través de dicha sección. En hidráulica normalmente se utiliza el Caudal volumétrico ( $Q$ ), referido al volumen y medido en m<sup>3</sup>/s.

$$Q = v \cdot A$$

En las tuberías objeto de estudio en este proyecto el área siempre será,

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Siendo  $D$  el diámetro interior de la tubería.



**Altura neta ( $H_n$ ):** Es la altura teóricamente aprovechable en la turbina, sin tener en cuenta los rendimientos. Coincide con la caída de presión entre la entrada y salida de la turbina (entre los puntos E y S del dibujo). De esta altura neta, una parte es  $H_E$  y la otra se pierde en rozamientos internos entre el fluido y la máquina.

**Altura útil ( $H_E$ ):** También llamada altura de Euler. Es la altura aprovechable por el rodete de la turbina y que se convierte en trabajo.

**Altura bruta ( $H_b$ ):** Es la altura total del salto en metros. En la figura 2, desde el nivel superior del embalse hasta el canal de desagüe.

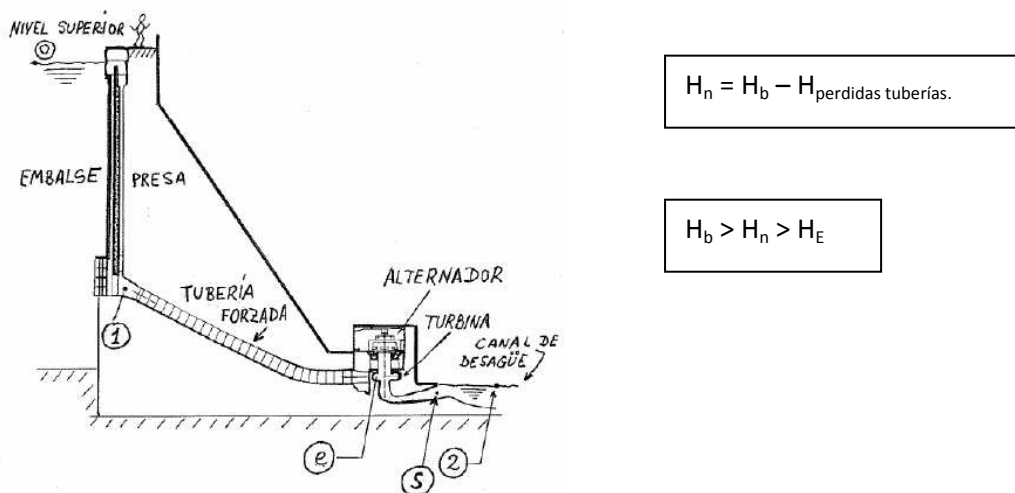


Figura 2: Esquema típico de un embalse

**Potencia útil ( $P_u$ ):** Es la potencia en Vatios (W) que genera la turbina debido al salto de presión.

$$P_u = \eta \cdot (\rho \cdot g \cdot \Delta h) Q$$

$Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ): Caudal de agua que atraviesa la tubería y por tanto la turbina.

$\Delta h$  (m.c.a): Metros columna de agua, es el salto de presión determinado en la turbina, o altura neta ( $H_n$ ). También puede ser la caída de presión de una válvula reductora de presión, en caso que se sustituya esta por una turbina.

$\eta$ : Rendimiento de la instalación.

$\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ): Densidad, en este caso al de agua es  $1000$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$g$  ( $\text{m}/\text{s}^2$ ): gravedad,  $9,81$   $\text{m}/\text{s}^2$ .

Para el cálculo de la potencia útil también es habitual utilizar la siguiente ecuación, donde en este caso se tienen en cuenta las características de la turbina.

$$P_u = \frac{2\pi \cdot n \cdot C_u}{60}$$

Donde,

$$\frac{2\pi}{60} = \text{cambio de unidades rad/s.}$$

n = rpm.

C<sub>u</sub> = par útil o par al freno.

### 3.2.- Cálculo del recurso disponible

La potencia eléctrica a instalar y la energía que se obtendrá dependen de:

- La altura del salto.
- El caudal turbinable y de su evolución a lo largo del año.

Para obtener los parámetros indicados arriba es necesario evaluar el recurso hidráulico. En este capítulo se estudiará el recurso hidráulico disponible asemejando los depósitos a embalses.

La evaluación del recurso hidráulico comprende de dos etapas:

- **Prospección:** En este punto en lugar identificar lugares para construir embalses buscaremos los depósitos existentes con mayor capacidad, los ubicados a más o menos altura y los que se llenan y vacían un mayor número de veces.
- **Evaluación:** Una vez encontrados todos los depósitos se evaluarán los que no se llenan mediante bombeo para saber la presión y caudal de agua que entra en cada uno de ellos, obteniendo de esta forma el salto neto y el caudal disponible para turbinar.

A partir de los datos del salto, el caudal disponible y sus variaciones a lo largo del año se puede generar un hidrograma. Con este gráfico se observa la curva de caudales diarios a lo largo del año.

En los casos donde no es posible obtener la presión de entrada al depósito, ni el recorrido de la tubería que llega a este con el propósito de estimar una caída de presión, se estimará que el salto neto será un 65% del salto bruto, el cual es más sencillo de calcular a partir de las alturas de los depósitos y el sentido de los caudales.

Puesto que estamos hablando de tuberías de agua potable y no de ríos, no existe ningún caudal residual o ecológico, todo el caudal disponible en la tubería será el de equipamiento, y por tanto, turbinable. A este caudal se le denomina caudal garantizado.

El caudal garantizado corresponde al caudal que se da como mínimo durante el 95% de horas del año, y se obtiene a partir de la curva de caudales clasificados (CCC).

En el caso de los depósitos el caudal no es continuo, sino pulsante, ya que existen regímenes de llenado y vaciado de los depósitos, los cuales pueden ser diarios, semanales, etc. Por tanto al trazar la CCC se observa una curva totalmente diferente a la que se puede obtener de un río o embalse de agua fluyente. En el caso de llenado de un depósito hay momentos en los que no pasa nada de agua por la tubería (momento en el que el depósito está lleno) y momentos en los que pasa el máximo caudal (mientras se está llenando).

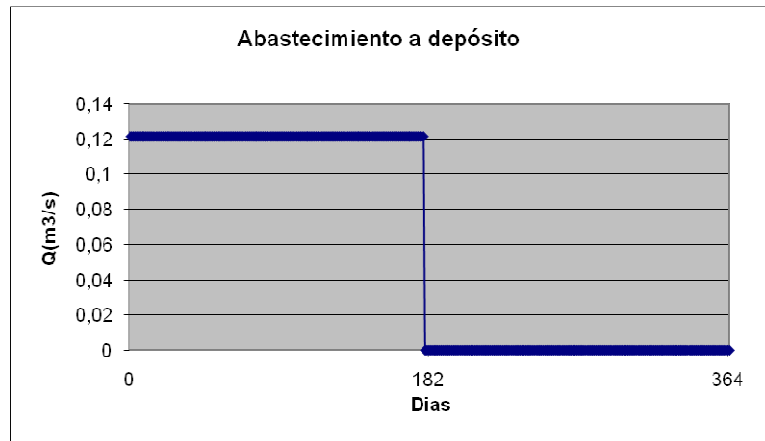


Figura 3: Curva de caudales clasificados (CCC) de abastecimiento a un depósito.

En el ejemplo de CCC de la figura 3 se ha establecido que el depósito se llena cada 2 días, y tarda un día en llenarse y otro en vaciarse.

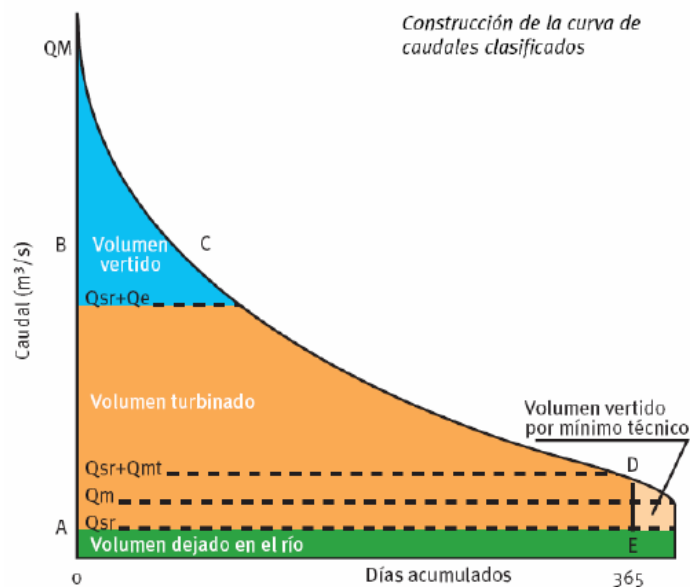
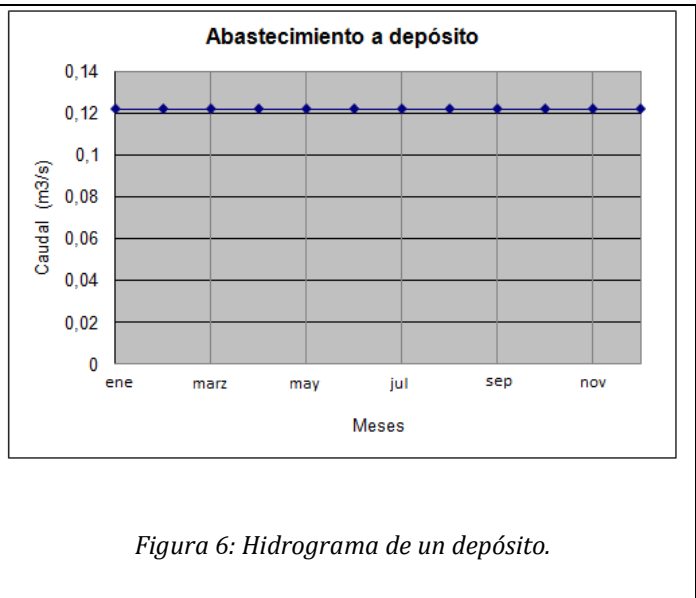
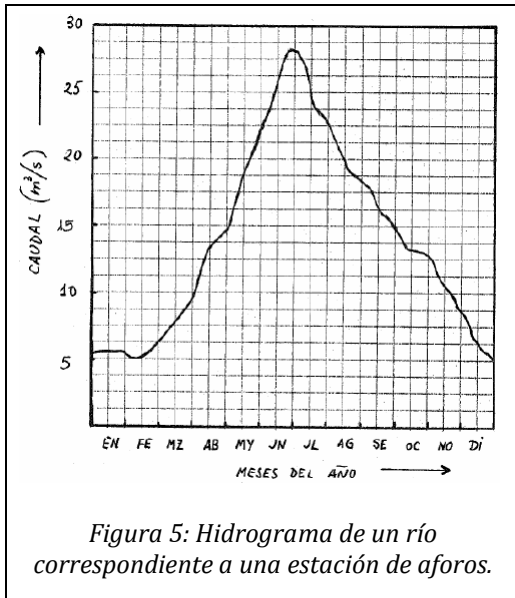


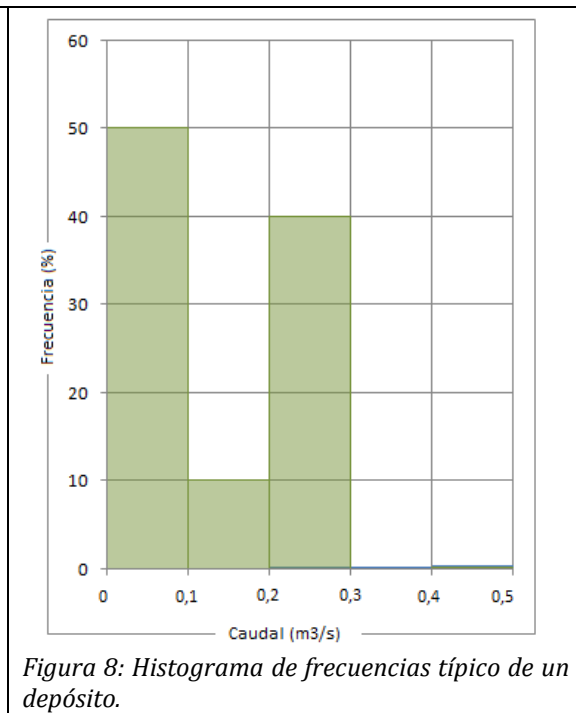
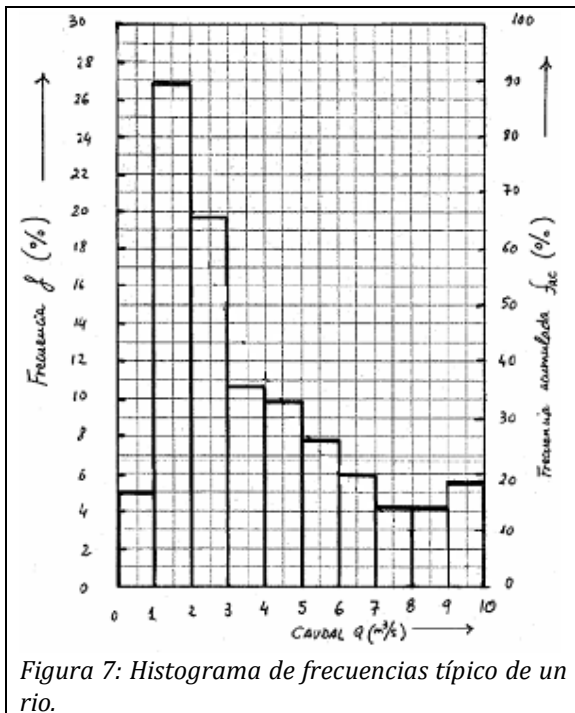
Figura 4: Curva de caudales clasificados (CCC) convencional para ríos y embalses.

Se puede observar la diferencia entre una curva convencional (figura 4) y la específica para los casos de llenado de depósitos. Por tanto el caudal nominal para abastecimiento a depósito corresponde con el caudal máximo, aunque la mitad del tiempo estará parada la turbina porque el caudal será nulo.

En el estudio de la evolución de los caudales diarios a lo largo del año también se observan grandes diferencias. En el caso de los embalses el caudal depende de las diferentes épocas de lluvias y sequía durante el año, cosa que no sucede en los depósitos, los cuales se llenan y vacían en función de las necesidades del consumo, independientemente si llueve o no, y dicho consumo suele ser constante a lo largo del año. Dicha diferencia se observa de forma gráfica en los dos hidrogramas mostrados a continuación.



Si se quiere comprobar que caudal es el más frecuente a lo largo del año con un histograma de frecuencias, nos encontraremos en el mismo caso que con el hidrograma. En el caso de un río sí que habrá variaciones, sin embargo, en el depósito habrá únicamente dos caudales diferenciados, el máximo y el nulo.



Para estudiar más a fondo el comportamiento de un depósito se ha de tener en cuenta su régimen de llenado y vaciado, el cual puede ser diario, semanal, etc. Como se observa en la figura siguiente, un depósito puede tener una evolución diaria, la cual normalmente se repetirá cada día independientemente de la estación del año, sea o no época de lluvias o deshielo.

No se ha plasmado en ningún gráfico la evolución del caudal de un río a lo largo del día, puesto que esta evolución es inapreciable, para encontrar algún cambio habría que comparar una semana con la siguiente, pero aun i así son pocos los cambios en el caudal. Donde realmente se ven los cambios del caudal en el aforo de un río es a lo largo de los meses durante el año, algo que ya se observa en el histograma de la *figura 7*.

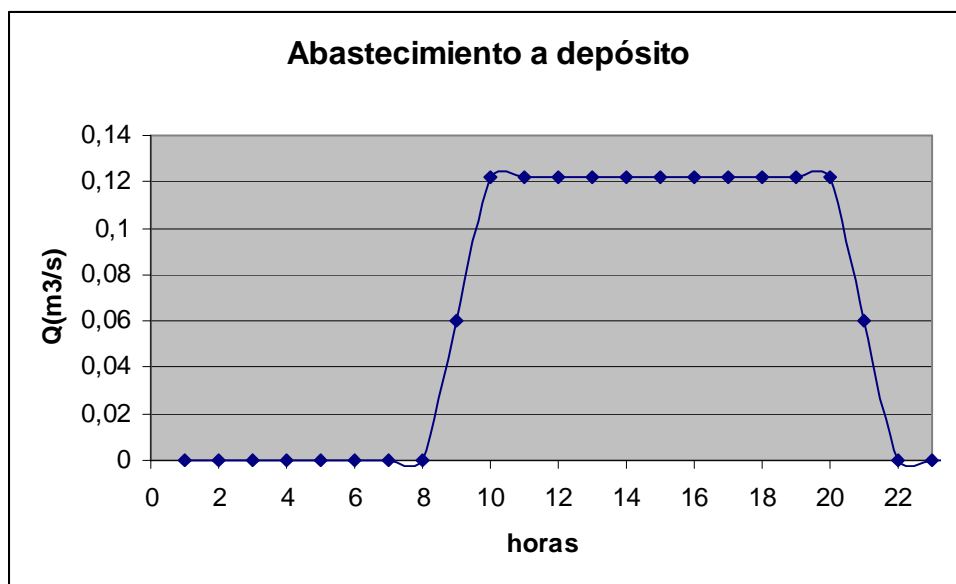


Figura 9: Variación diaria del caudal para llenado de depósito.

Con dos depósitos de características semejantes en capacidad y altura o salto neto, contra más veces se llene y vacíe el depósito más energía se podrá generar.

Como se verá en capítulos posteriores, debido a la imposibilidad de encontrar datos reales de los depósitos y del trazado de las tuberías que abastecen a estos, se ha debido de aproximar el caudal circulante por la tubería que sale del depósito mediante la fórmula de Manning.

En este capítulo se ha pretendido hacer una idea de las premisas a tomar para encontrar el recurso disponible. Depósitos con una altura neta y caudal suficientes, regímenes de llenado y vaciado, etc. En capítulos posteriores se entra en detalle en la búsqueda de estos depósitos y en el diseño concreto para la obtención de energía eléctrica de uno de ellos.

#### 4.- Descripción general y metodología de diseño.

Para poder llevar a cabo el estudio objeto de este proyecto se ha de definir correctamente la instalación tipo de base.

En este capítulo se resume brevemente el funcionamiento de los elementos que constituyen actualmente las instalaciones de abastecimiento de agua potable y los cambios que se pretenden realizar en estas para llegar al objetivo del proyecto. Para ello se explicará en detalle los elementos de mayor relevancia, tales como la válvula reductora, y la microturbina que la sustituirá.

La sustitución de la válvula reductora de presión por una microturbina no es directa, sino que es necesario estudiar la energía que absorbe la válvula reductora y la que podrá ser aprovechada por la turbina. Además la cantidad de agua que pasa por la tubería puede ser más o menos constante dependiendo del consumo de agua potable. Por tanto para cada instalación es necesario realizar un estudio independiente, aunque en este proyecto vamos a intentar establecer unas pautas para los casos más genéricos. En cualquier caso las dos principales tipologías de instalación es la colocación de la turbina en paralelo, o en serie a la válvula reductora.

##### Conexión serie.

En este caso el salto total se produce entre la entrada de la turbina y la salida de la válvula reductora, diseñando la instalación para que la mayor parte de la energía la absorba la turbina y la válvula reductora se limite únicamente a regular la presión sobrante.

La válvula reductora en este caso puede ser inferior a la instalada en los casos donde no hay turbina, ya que la presión que ha de absorber es inferior.

A priori, la conexión serie parece una solución sencilla y viable, pero con esta configuración se desperdicia gran parte de la energía disponible, ya que aunque estando la válvula reductora totalmente abierta, esta produce una gran caída de presión.

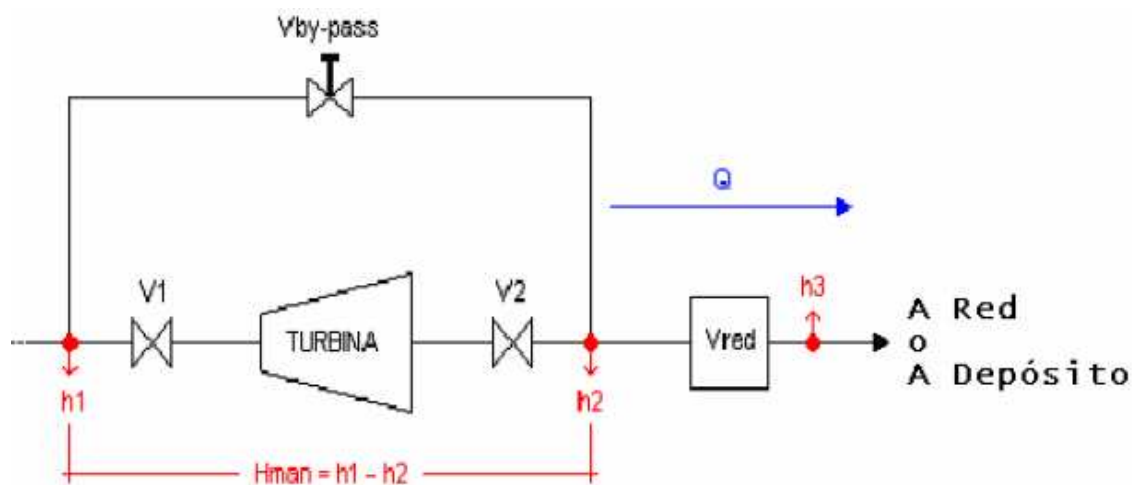


Figura 10: Esquema conexión serie entre turbina y válvula reductora de presión.

### Conexión paralelo.

En este caso la turbina se coloca en paralelo a la válvula reductora. Esta configuración resulta más complicada a la hora de realizar el control automático de la instalación, pero se aprovecha una mayor parte del salto disponible. La microturbina realiza la función de la válvula reductora de presión dentro de lo disponible, y en los casos donde la microturbina no puede mantener una presión correcta a la salida, se realizará el control mediante la válvula de 3 vías colocada en la primera "T" aguas arriba.

Esta configuración es la seleccionada para realizar el estudio de viabilidad, al ser más eficiente en el aprovechamiento del salto disponible.

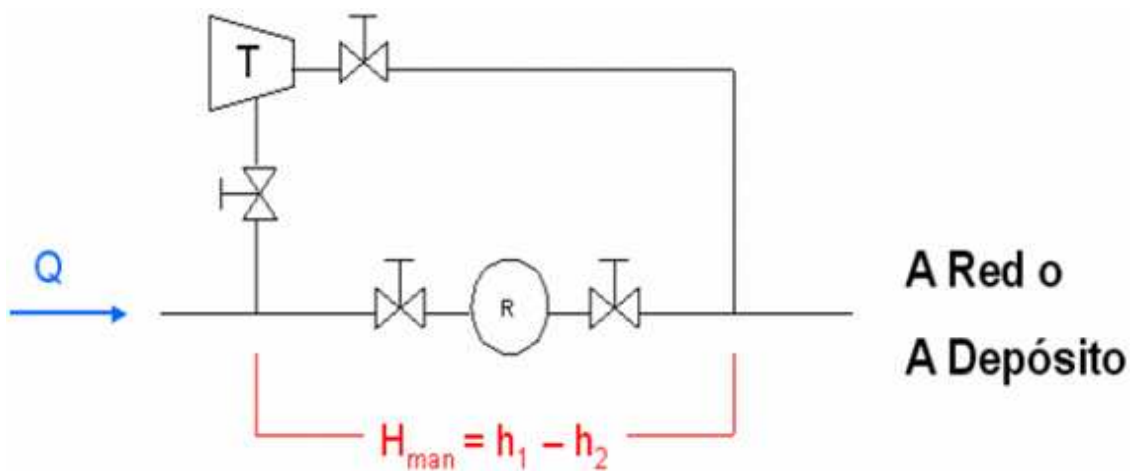


Figura 11: Esquema conexión paralelo entre turbina y válvula reductora de presión.

Por último, una vez decidido que el esquema más apropiado, por lo que a energéticamente se refiere, es el paralelo, se dispondrá a elegir entre las microturbina comerciales disponibles, se elegirá la más apropiada para el salto disponible y se realizará una tabla para la elección de la microturbina más adecuada en función del salto, indicando además la energía eléctrica que se obtiene en cada caso.

## 5.- Recursos y redes de abastecimiento

En este capítulo se realiza un estudio del recurso existente. Se busca información en las diferentes compañías de agua para obtener los diámetros, caudales y presiones de la red de abastecimiento que llega a Barcelona.

La red de distribución de Aguas - Ter Llobregat (ATLL) recibe el agua de los ríos de los cuales toma su nombre, Llobregat y Ter, y de la planta desalinizadora de la cuenca del Llobregat. La captación de agua proveniente del río Llobregat se realiza en la planta de tratamiento (ETAP) ubicada en el término municipal de Abrera. El agua proveniente del río Ter se capta en el embalse del Pasteral, aguas abajo de los embalses de Sau y Susqueda. Desde esta captación llega a la ETAP del Ter, situada en los términos municipales de Llinars del Vallès, Cardedeu y La Roca del Vallès. Una vez potabilizada el agua se almacena en los depósitos generales de ambas plantas para ser distribuida, a través de la red, hasta los puntos de entrega de los municipios que forman parte del abastecimiento de ATLL.

La desalinizadora de la cuenca del Llobregat aporta hasta un máximo de 60 Hm<sup>3</sup>/any de agua, que una vez producida se bombea hasta el depósito de Font Santa en Sant Joan Despí.

Esta red de distribución la constituyen diferentes arterias y derivaciones:

1. Las arterias generales de distribución.
2. Los depósitos de regulación supramunicipal.
3. Las tuberías comarcales.
4. Las tuberías de derivación municipales.
5. Los depósitos de cabecera municipal.
6. Las estaciones de bombeo.

En general, el abastecimiento en alta realizado por ATLL se organiza de la siguiente manera:

- Las arterias generales de distribución son tuberías principales que estructuran el ámbito de abastecimiento de ATLL. Se utilizan para transportar el agua desde las plantas de tratamiento hasta los centros generales de distribución, donde se almacena en los depósitos de regulación supramunicipales. Por otra parte, estas mismas arterias generales son el origen de muchas de las tuberías comarcales, así como también de algunas de las derivaciones municipales del sistema ATLL.
- Las tuberías comarcales se originan tanto en los depósitos de regulación como en las arterias generales, y conectan diferentes municipios correspondientes a una zona geográfica muy concreta, definida por una o dos comarcas adyacentes.
- Finalmente, las tuberías de derivación municipales, que pueden originarse tanto en arterias generales como comarcales, conducen el agua hasta los depósitos de cabecera municipal de nuestros clientes, punto donde ATLL finaliza su tarea y a partir del cual se inicia, a través de las redes propias de cada municipio, el abastecimiento domiciliario en baja.

La bipolaridad marcada por las infraestructuras de captación en dos zonas, Ter y Llobregat, se transmite asimismo en la estructura de toda la red de distribución, existiendo también en la actualidad dos zonas básicas de distribución, la formada por las arterias de la zona Ter y la de las arterias de la zona Llobregat.

De todos modos, así como antes esta división correspondía directamente con el ámbito de procedencia exclusiva del agua (agua del Ter o agua del Llobregat), hoy día y en el futuro



de una manera más significativa, esta división tiene solamente un objetivo territorial, ya que actualmente se dispone de una arteria general de interconexión de ambas zonas.

La red de distribución ATLL tiene en la actualidad 535 Km. de tuberías de diversos diámetros, 141 depósitos gestionados total o parcialmente por ATLL, 56 estaciones de bombeo y 219 puntos de suministro donde finaliza el abastecimiento en alta gestionado por ATLL.

En conjunto el sistema abastece agua potabilizada directamente a 88 municipios, agua pre-tratada a 5 municipios, e indirectamente a 15 municipios más, que son los que forman parte de la red metropolitana de Barcelona. Estos municipios se distribuyen en 8 comarcas: Barcelonès, Vallès Oriental, Vallès Occidental, Maresme, Baix Llobregat, Anoia, Alt Penedès y Garraf.

Finalmente, la población total abastecida por ATLL, teniendo en cuenta tanto la fija como la estacional, es de unos 4,5 millones de habitantes.

En el mapa del *anexo 1* está representada la red regional con las obras construidas hasta 1990, las ampliaciones y sustituciones entre 1990 y 2007, y la red en construcción y la que está en proyecto, así como el emplazamiento de las diferentes instalaciones de ATLL.

A partir de lo explicado en este capítulo y de la documentación bibliográfica consultada, se resume a continuación los recursos que abastecen la provincia de Barcelona. Los cuales también se puede observar en el plano *anexo 2*.

#### **Aguas Ter - Llobregat (ATLL).**

Dispone de dos estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAP), una situada en Abrera, que toma agua del río Llobregat, y otra situada en los términos municipales de La Roca del Vallès, Cardedeu y Llinars del Vallès, que trata los caudales procedentes del río Ter.

La **ETAP Llobregat** situada en Abrera tiene una capacidad de tratamiento de 4 m<sup>3</sup>/s. Almacena el agua clorada en 4 depósitos de 263.000 m<sup>3</sup> que permiten garantizar el suministro del caudal de las diferentes redes con independencia de la calidad del agua del río. Datos técnicos en *anexo 3*.

- Situación: Ctra. Martorell a Olesa, km. 4.6. 08630 Abrera
- Altitud sobre nivel del mar: 110 m

La **ETAP del Ter** se sitúa en los términos municipales de Cardedeu, Llinars y La Roca del Vallès. La planta tiene una capacidad de tratamiento de 8 m<sup>3</sup>/s y puede almacenar hasta 617.000 m<sup>3</sup>.

Datos técnicos en *anexo 4*.

- Situación: c/ Afores s/n. 08440 Cardedeu.
- Altitud sobre nivel del mar: 200m

La **ETAP de Font Santa**. El agua tratada aquí proviene de la planta desalinizadora de la cuenca del Llobregat. Por tanto se impulsa a través de unas bombas para hacerla llegar. De igual forma debido a su poca altitud sobre el nivel del mar también son necesarios dos centrales de bombeo para impulsar el agua hasta la cota 10 (Cornellá), 3300 l/s, cota 50 (Relleu), 2600 l/s, y cota 70 (zona Gavá), 400 l/s.

- Situación: Sant Martí de l'Erm, 30. 08970 Sant Joan Despí
- Altitud sobre nivel del mar: 70m

La **ETAP del Besos** (Trinidad). El agua que distribuye la ETAP de la trinidad viene de la ETAP del Ter. Datos Técnicos de la ETAP del Besos en *anexo 5*.

- Situación: Prolongación c/Tamariu, s/n. 08033 Barcelona.
- Altitud sobre nivel del mar: 70m.

## 6.- Definición técnica del problema.

La red de abastecimiento que cuegla de las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (en adelante ETAP) del Llobregat y del Ter, cuenta con:

- Arterias generales de distribución que transportan el agua desde las ETAP hasta los centros generales de distribución, donde se almacena en los depósitos de regulación supramunicipales. Por otra parte, estas mismas arterias generales son el origen de muchas de las tuberías comarcales, así como también de algunas de las derivaciones municipales.
- Las tuberías comarcales se originan tanto en los depósitos de regulación como en las arterias generales, y conectan diferentes municipios correspondientes a una zona geográfica muy concreta, definida por una o dos comarcas adyacentes.
- Finalmente, las tuberías de derivación municipales, que pueden originarse tanto en arterias generales como comarcales, conducen el agua hasta los depósitos de cabecera municipal, a partir del cual se inicia el abastecimiento domiciliario.

Todos los casos donde se produzca una entrada de agua a un depósito es objeto de estudio. Para seleccionar los que pueden ser interesantes a la hora de obtención de energía o son totalmente inviables se siguen los siguientes criterios:

- Capacidad del depósito.
- El llenado del depósito debe ser por gravedad y no por bomba.
- Presión de entrada al depósito superior a 20mca.
- Nº de veces que se llena y vacía el depósito.

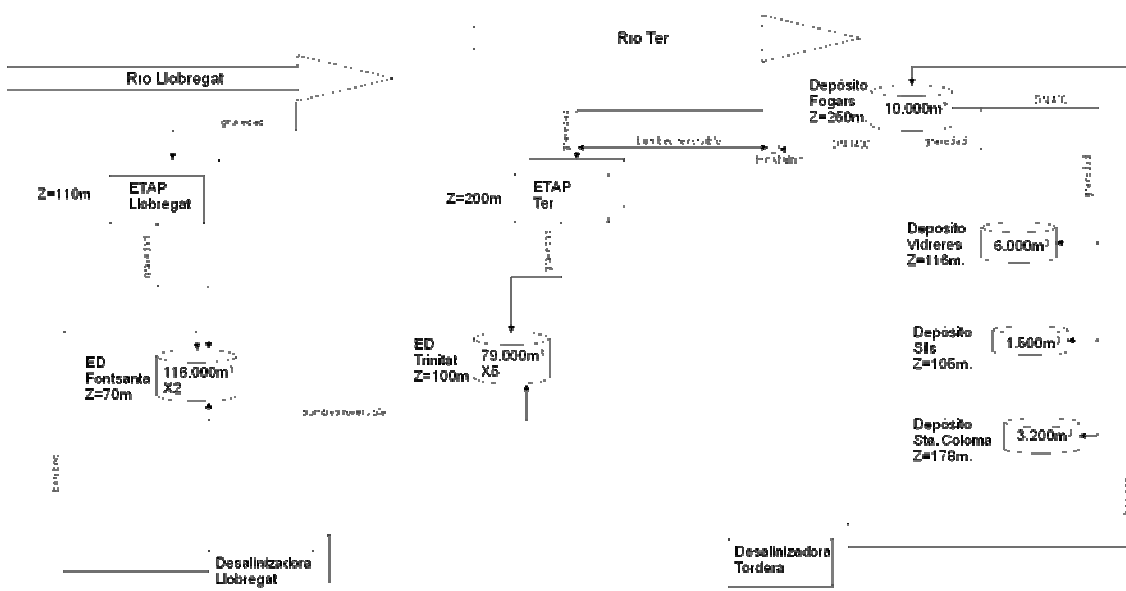


Figura 12: Esquema direcciones de caudales y depósitos.

La posibilidad de colocar microturbinas directamente en la redes de abastecimiento que van directas al consumo no se contempla, por la imposibilidad de prever los caudales. Cosa que no pasa en los depósitos.

El abastecimiento a depósito se realiza de forma más periódica, controlable y estable (ver figura 13) que el de red y, como consecuencia, es fácilmente regulable y más fijo y predecible que el de red.

Cuando se procede al llenado del depósito, el caudal, que tiene un cierto grado de libertad de oscilación en torno a un valor medio, se puede considerar casi constante, y con él el salto a controlar por la válvula reductora y, en su caso por la turbina. Por tanto, la potencia que puede ser generada es constante.

Una vez se llena el depósito se cierra la válvula de llenado y no se vuelve a abrir hasta que el nivel no ha disminuido por debajo de un umbral predefinido. Debido a la regulación que supone el depósito, existe un grado de libertad en la elección del caudal nominal de la turbina siempre que éste sea superior al caudal medio de consumo del depósito para que no se vacíe el mismo. En los momentos en que el depósito está con la válvula de llenado cerrada la turbina se desconectaría de la red eléctrica.

Por todo lo dicho en los párrafos anteriores, la velocidad de rotación de la turbina se puede considerar fija o constante sin que el acoplamiento a red se vea alterado. Ya que se considera que la red es infinita respecto a la instalación de estudio, porque la potencia generada será pequeña en comparación a la de la red.

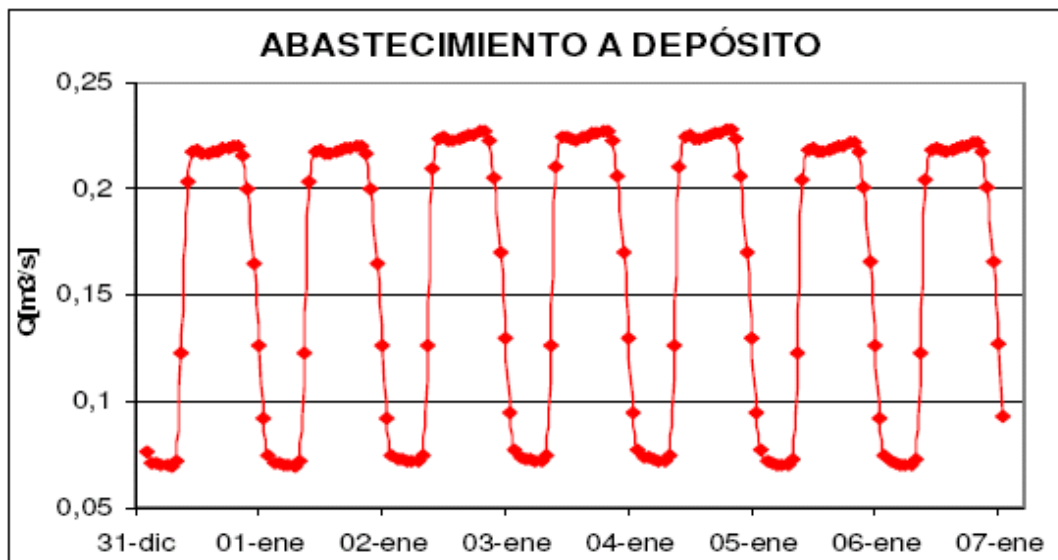


Figura 13: Ejemplo de suministro de agua a un depósito.

En resumen, en el abastecimiento a depósito la función principal de la válvula reductora es mantener una presión lo más constante posible en la tubería de entrada al depósito independientemente de la presión que haya aguas arriba de la válvula. Mantener una presión constante en la entrada a un depósito implica mantener un caudal constante.

El régimen de la válvula es, por consiguiente, pulsatorio, en función de los ciclos de llenado y vaciado del depósito. Estos ciclos de llenado y vaciado son controlados por unas válvulas automáticas de llenado de depósitos de las que se comentarán algunos aspectos posteriormente y que, como cabe esperar, ya están instaladas en la red actual.

Sin embargo, en el caso de abastecimiento a red de suministro, el consumo urbano directo es variable e imprevisible, los ciudadanos requieren agua en buenas condiciones de caudal y de presión a cualquier hora del día y/o de la noche, con grandes variaciones en el consumo. Es decir, en estas circunstancias el caudal que circula por la válvula reductora no es constante, sino que viene siempre determinado por los consumidores y su demanda instantánea y variable. Por esta razón, en este caso se debe dotar al sistema de un grado de libertad adicional al sistema de generación de energía eléctrica, vinculado a la velocidad de rotación de la turbina, para que la adaptación a la gran variación de caudales susceptibles de generar energía sea factible, fiable y sobre todo aprovechable.

Las válvulas reductoras que abastecen directamente la Red urbana tienen como función principal la de mantener una presión lo más constante posible independientemente del caudal de consumo que demande la misma y de la presión que haya aguas arriba de la válvula. Su régimen es continuo, es decir, en todo momento ha de estar en servicio regulando, puesto que el abastecimiento al consumidor así lo requiere. Los caudales que circulan por ella presentan valores muy variables a lo largo del día que dependen, fundamentalmente, del consumo en cada momento. Este funcionamiento es el que tiene que conseguir igualar la turbina.

Como nota adicional, cabe destacar que la manipulación del salto existente es imposible. La red de aducción determina la presión a la entrada de la instalación. La presión de salida de la instalación en el caso de abastecimiento a red está fijada por la consigna de presión a mantener para los consumidores. Como conclusión general se deduce que la turbina tendrá que adaptarse continuamente al caudal solicitado, manteniendo la presión aguas abajo aún a pesar de las posibles oscilaciones de presión que pueda haber aguas arriba en la red de aducción, tal y como lo hace, hoy por hoy, la válvula reductora que desempeña esta función.

## 7.- Diseño de la instalación.

En este apartado se definen las características de funcionamiento y propiedades fundamentales que constituyen la instalación, una vez realizada la colocación de la válvula reductora en paralelo con la turbina, y para el caso de abastecimiento a depósito.

Distinguiremos entre los elementos de la parte hidráulica y los de la parte eléctrica.

### 7.1.- Instalación hidráulica

En la figura 14, se observan todos los elementos, destacar que después de la reductora se sitúa la válvula de llenado del depósito, encargada de dar paso al agua cuando el depósito está vacío, siendo esta válvula la que regula el caudal que circula por la instalación.

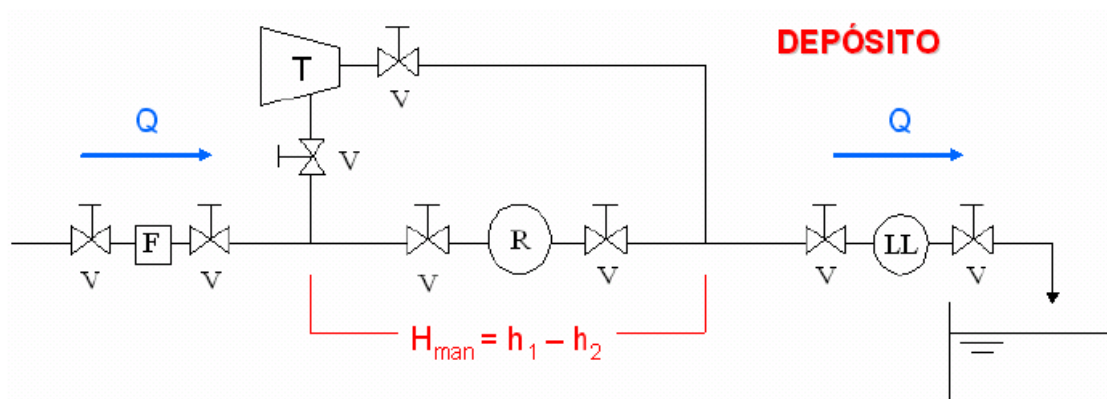


Figura 14: Esquema conexión de turbina en paralelo con válvula reductora.

- Turbina hidráulica (T).
- Válvula reductora (R).
- Válvula de mariposa (V).
- Filtro (F).
- Válvula de llenado (LL).
- Electro válvulas.

A continuación se entra en el detalle de cada uno de los elementos, enumerando sus características, tipos, y modo de selección.

### 7.1.1.- Turbina hidráulica

La turbina es la máquina rotativa que convierte la energía potencial y cinética del agua en energía de rotación para accionar otro elemento rotativo y obtener un trabajo aprovechable, en este caso acciona un alternador.

La turbina hidráulica consta de:

- Distribuidor o corona directriz, que transforma la altura de presión en altura cinética, actuando a modo de tobera y dirigiendo el flujo de agua hacia los álabes del rodete.
- Rodete, donde se convierte la energía del fluido (altura de presión más altura cinética) en energía cinética de rotación a un eje, el cual se encarga de transmitir la energía de rotación al alternador.

Según el modo de transferencia de la energía del agua al rodete de la turbina, se distingue entre turbina de acción o de reacción.

- Turbinas de acción: La presión del agua se convierte primero en energía cinética. La transformación de energía potencial en cinética se produce al pasar a través de una aguja que provoca un estrechamiento del diámetro del conducto forzado. Las turbinas Pelton y Turgo son de acción.

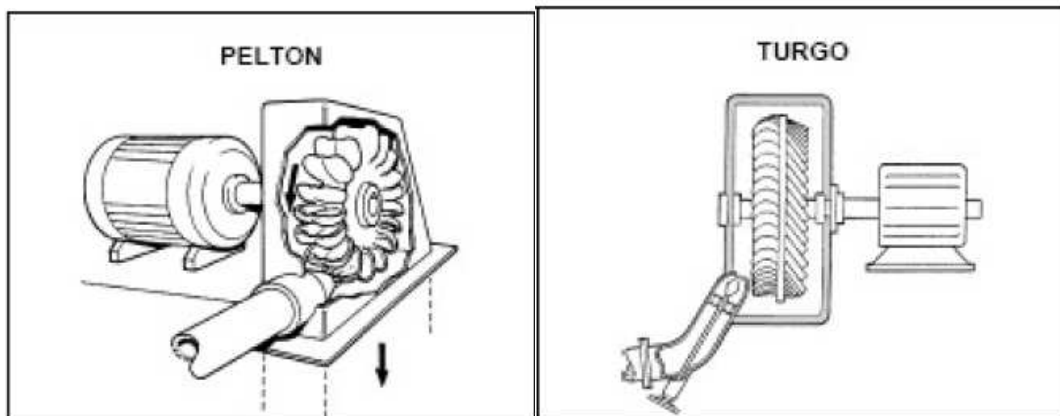


Figura 15: Turbina Pelton

Figura 16: Turbina Turgo

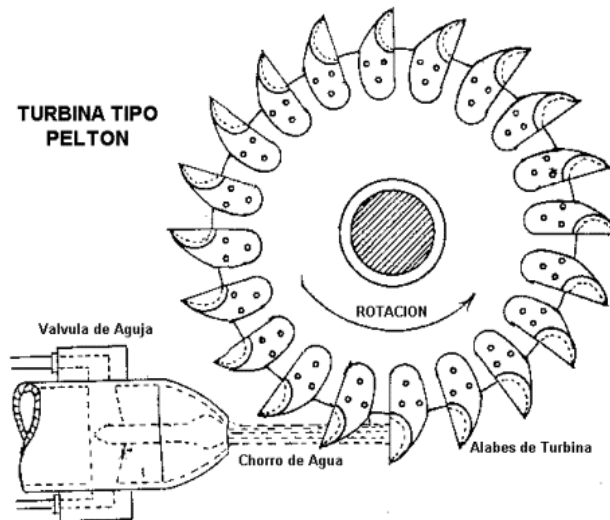


Figura 17: Turbina Pelton

- Turbina de reacción: La presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida. Por tanto parte de la energía es potencial y parte cinética. Las turbinas de reacción a su vez se pueden distinguir entre las de flujo radial o axial, en función de la trayectoria del agua por su interior.
  - o Turbina axial: Hélice y Kaplan.
  - o Turbina radial: Francis.

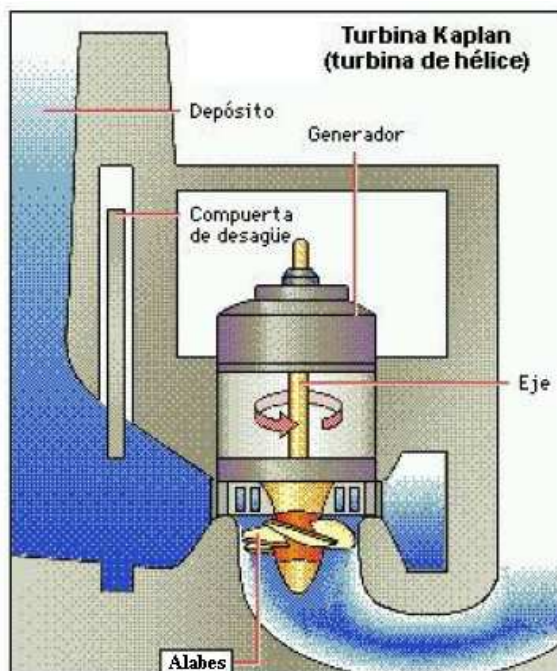


Figura 18: Turbina Kaplan

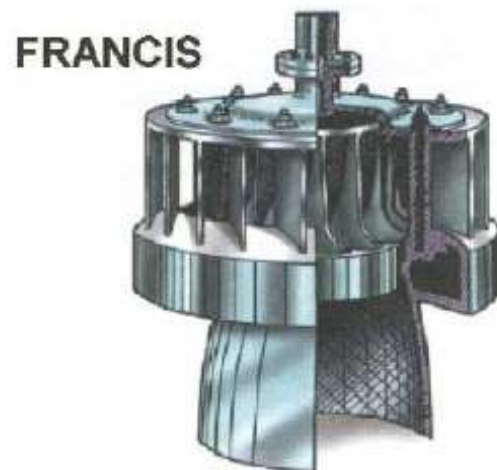


Figura 19: Turbina Francis



### **Resumen de las características y funcionamiento de las turbinas**

A continuación, como resumen de los apartados anteriores se relacionan las características y funcionamiento de las turbinas hidráulicas, según la referencia: "Centrales hidroeléctricas" de J.M. Arroyo. UCLM

#### *a) Turbina hidráulica:*

- Convierte la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación.
- Según la forma de actuar el agua en los álabes: turbinas de acción (Pelton) y de reacción (Francis y Kaplan).

#### *b) Turbinas de acción:*

- Efecto único de velocidad.
- Coinciden los sentidos de proyección del chorro de agua y el del giro del rodete.
- La presión del agua no varía en los álabes, es la atmosférica.
- El rodete no está inundado.

#### *c) Turbinas de reacción:*

- Efecto conjunto de velocidad y de presión.
- Los sentidos del chorro de agua y de giro del rodete no coinciden.
- La presión del agua decrece desde la entrada a la salida del rodete.
- Rodete no inundado.

#### *d) Elementos de la turbina Pelton:*

- Inyector: transforma la energía de presión en cinética. Consta de tobera o boquilla con orificio de sección circular y válvula de aguja con carrera variable para regulación del caudal.
- Cámara de distribución: es la prolongación de la tubería forzada y conduce el agua hasta los inyectores.
- Distribuidor, en general con 1 a 6 inyectores de agua.
- Rodete: con rueda y álabes, junto a carcasa, eje, cámara de descarga y sistema hidráulico de frenado.

#### *e) Funcionamiento de la turbina Pelton:*

- Transformación de la energía cinética del chorro en energía de rotación.
- Los inyectores dirigen el chorro de agua a los álabes o cucharas del rodete.
- El chorro incide sobre la arista o nervio central de los álabes. Se forman dos chorros que salen despedidos lateralmente. Hay cambio de cantidad de movimiento del chorro fluido y aparece una fuerza que actúa sobre el álabe produciendo un par o un momento respecto del eje de giro del rodete (par motor).
- Los chorros resultantes caen por gravedad al canal de fuga.
- La regulación es por medio de la válvula de aguja por obturación del inyector.
- Para caudales elevados se usan varias toberas inyectoras.

#### *f) Elementos de la turbina Francis:*

- Caja o carcasa espiral en forma de caracol.
- Antedistribuido de álabes fijos.

- Anillo distribuidor de álabes móviles. Su giro es alrededor de un eje paralelo al de la máquina y presenta un movimiento de cierre solidario.
- Rodete.

*g) Funcionamiento de la turbina Francis:*

- El agua a presión entra en la cámara espiral y se reparte por toda la periferia del rodete.
- Los álabes fijos canalizan las líneas de flujo del agua.
- El distribuidor regula el caudal sin que las venas líquidas sufran desviaciones bruscas o contracciones. Por ello se puede alcanzar un elevado rendimiento incluso con cargas reducidas.
- Parte de la energía potencial del agua se convierte en cinética.
- La energía cinética aumenta al pasar por los álabes fijos del antedistribuidor y por los móviles del distribuidor provocando el giro del rodete.

*h) Elementos de la turbina Kaplan:*

- Cámara espiral con distribuidor regulable análogo al de las turbinas Francis, pero los álabes están a una altura menor.
- Rodete: hélice de eje vertical con pocos álabes y gran sección de paso entre ellos. Similar a la hélice de un barco (aleaciones especiales).
- Palas: libertad de movimiento (pueden girar sobre sus asientos situados en el núcleo del rodete). El número de palas aumenta con la altura del salto neto.
- Estas turbinas también se denominan “de doble regulación” pues la misma se puede realizar por las palas del rodete y del distribuidor.

*i) Funcionamiento de la turbina Kaplan:*

- El agua entra al rodete desde la cámara espiral con flujo prácticamente axial.
- El ángulo de incidencia óptimo para el flujo de agua sobre los álabes del rodete se alcanza mediante el giro de los mismos, cambiando su inclinación.
- Se crea un movimiento simultáneo de todas las palas a través de un complejo sistema de bielas dentro del rodete.

	<b>Turbina</b>	<b>Salto (m)</b>
<i>Acción</i>	Pelton	50 – 1300
	Turgo (inyección lateral)	50 - 250
	Michell -Banki (flujo cruzado)	3 – 200
<i>Reacción</i>	Francis	10 – 350
	Kaplan y hélice	2 - 20

Figura 20: Tabla del tipo de turbina utilizado en función del salto.

Para seleccionar correctamente una turbina también se ha de tener en cuenta su número específico de revoluciones ( $n_s$ ). Este parámetro permite establecer la semejanza entre turbinas, ya que dos turbinas geoméricamente semejantes poseen el mismo valor de  $n_s$ .

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}}$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}}$$

$$\frac{P'}{P} = \frac{\sqrt{H'}^3}{\sqrt{H}^3}$$

El número específico de revoluciones ( $n_s$ ) se define como la velocidad a la que debería girar una turbina para que con una altura neta de 1m generase una potencia útil de 1CV (0,735 kW).

$$n_s = n \cdot P_u^{\frac{1}{2}} \cdot H_n^{\frac{5}{4}} \text{ en donde: } \quad n = \text{velocidad de giro del rodete (rpm).}$$

$P_u$  = Potencia útil (CV).

$H_n$  = Altura neta.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación general de las turbinas en función de  $n_s$

Turbina	Clasificación	$n_s$
Pelton	Un inyector	5 – 30
	Varios inyectores	30 – 60
Francis	Lenta	60 – 100
	Normal	100 – 200
	Rápida	200 - 400
	Extrarápida, rueda hélice	400 – 700
Kaplan		500 - 1200

Figura 21: Tabla de clasificación de turbina en función de  $n_s$

Turbina	$n_s$	$H_n$ (máxima) (m)
Pelton	20 – 30	550 –
Francis	Lenta	55 – 125
	Normal	125 – 175
		175 – 225
	Rápida	225 - 350
Kaplan	350 - 450	80 – 35
	350 – 600	35 - 18
	600 – 800	18 – 12
	800 – 1000	12 – 5

Figura 22: Tabla que relaciona  $n_s$  con la altura neta máxima del salto.

### **Cálculo y elección de la turbina.**

En un principio se pretendía utilizar una turbina de reacción, estando el rodete de la turbina totalmente sumergido, pero a partir de las clasificaciones realizadas en capítulos anteriores se desprende que dependiendo del salto y caudal disponible, las turbinas podrán ser tanto de acción como de reacción.

Para escoger la turbina idónea se necesita conocer los parámetros característicos de esta, que son:

- Salto neto,  $H_n$  (m).
- Caudal,  $Q$  (l/s).
- Velocidad específica,  $n_s$  (rpm).

A partir de los datos disponibles, los cuales están plasmados en el capítulo 5 “Recursos y redes de abastecimiento”, es posible centrar el estudio en un depósito en concreto, y posteriormente extrapolarlo al resto de depósitos, únicamente cambiando los datos en las formulas.

Datos disponibles:

- Altura Neta.
- Diámetro tuberías.
- Capacidad depósitos.
- Material tuberías.

A partir de estos datos es posible calcular el caudal, dato necesario para la elección de la turbina, a partir de las siguientes expresiones:

Formula de Manning, la cual utilizaremos para encontrar la velocidad del fluido, ya que no se han podido encontrar datos reales medidos. Con esta fórmula podemos aproximar la velocidad y en caso que la implantación teórica sea viable, posteriormente ya se tomarían medidas de velocidades y caudales reales.

Manning, propuso el siguiente valor del coeficiente de Chezy:

$$C = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{1/6}$$

Sustituyendo la velocidad es:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

Aunque, sustituyendo en  $Q = V \cdot A$ , también se puede utilizar directamente la siguiente expresión que proporciona el caudal que circula por una tubería o canal.

$$Q = A \left( \frac{1}{n} \right) R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

Donde,

$Q$  = Caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A$  = Área, superficie transversal [ $\text{m}^2$ ]

$R_h$  = Radio hidráulico [ $\text{m}$ ]

$J$  = Pérdida de carga por unidad de longitud [ $\text{mcl}/\text{m}$ ]

$n$  = coeficiente de rugosidad de la paredes, tiene dimensiones de  $\text{TL}^{-1/3}$  y viene dado en la Figura 16.

Material del revestimiento	$n$
Metal liso	0,010
Hormigón	0,013
Revestimiento bituminoso	-
Terreno natural en roca lisa	0,035
Terreno natural en tierra con poca vegetación	0,027
Terreno natural en tierra con vegetación abundante	0,080
Plástico (PVC)	0.0067

Figura 23: Tabla del coeficiente de rugosidad "n" de Manning.

Tomamos para este caso concreto el llenado del depósito de Vidreres de cota +116 con una tubería DN 250 PVC y el cual se llena del agua que proviene del depósito de Fogars de cota +250. Se supone lo siguiente:

- Factor  $(1/n)$  en la fórmula de Manning vale 100.
- Presión atmosférica en la superficie de los dos depósitos.
- Lamina de agua constante.

Se aplica el principio de Bernoulli,  $H_1 - H_2 = 250 - 116 = \mathbf{134m}$ .

En las tuberías objeto de estudio en este proyecto el área siempre será,

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Siendo  $D$  el diámetro interior de la tubería.

El Radio hidráulico tomado en este caso es  $= R/2$ .

La pérdida por rozamiento  $J$ , valdrá:  $J=50/2000 = 0,025$  Aplicando Manning al conducto:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J} \rightarrow V = 100 \cdot (0,125 \cdot 0,5)^{2/3} \cdot \sqrt{0,025} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q = V \cdot A \rightarrow Q = 2,49 \cdot \frac{\pi}{4} 0,25^2 = 0,122 \text{ m}^3/\text{s} = 122 \text{ l/s}.$$

**El caudal que atraviesa la tubería y por tanto la turbina es de 122 l/s.**

### Calculo número específico de revoluciones de la turbina

En el capítulo de cálculo de la potencia eléctrica se podrá comprobar el procedimiento para la obtención de dicha potencia a partir del caudal y el salto disponible. A continuación únicamente se utilizan los datos de potencia obtenidos en dicho capítulo para poder elegir la turbina necesaria.

Los pasos a seguir para escoger la turbina son los siguientes:

- Datos de partida necesarios: altura neta ( $H_n$ ), caudal ( $Q$ ) y potencia ( $P$ ).
- A partir de la gráfica de la *figura 24* se determina el tipo de turbina y el valor de velocidad específica ( $n_s$ )
- Una vez conocidos  $H$ ,  $Q$ ,  $P$  y  $n_s$  se determina el régimen de giro de la turbina ( $n$ ).
- El valor final de  $n$  es la velocidad de sincronismo.
- Con dicho valor de  $n$  se recalcula el valor de  $n_s$

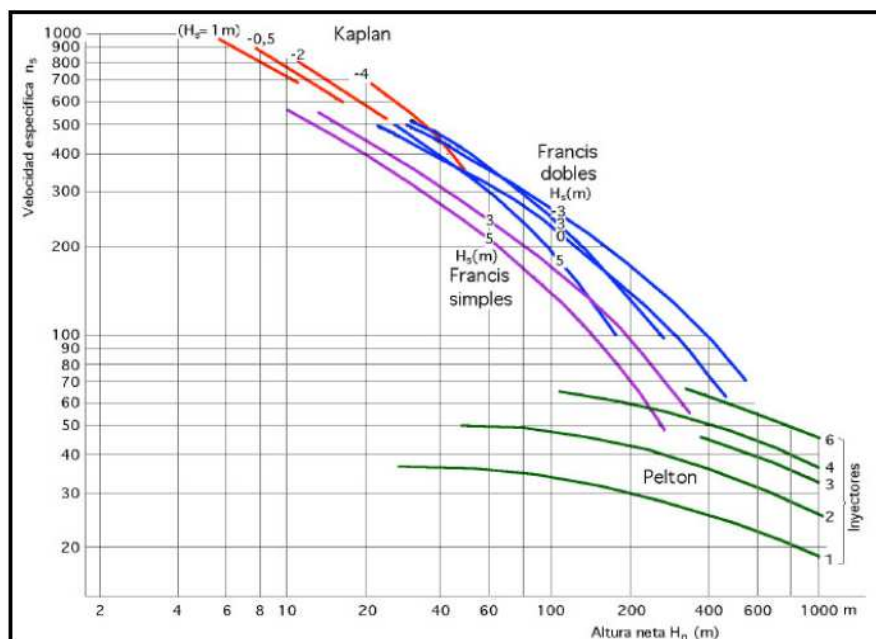


Figura 24: Velocidad específica ( $n_s$ ) en función del modelo de turbina y altura neta.

Se toma como  $H_n$  el 65% de  $H_b$ . Quedando como  $H_n = 134 \cdot 0,65 = \mathbf{87,1m}$ .

Se toma como Potencia útil los 88,5kW obtenidos en el capítulo 7.2.1, que pasado a CV son **120,4CV**.

Y con una turbina Pelton de 2 inyectores, observando en la página anterior se obtiene  $n_s = 50$ .

Para obtener el régimen de giro de la turbina se utiliza la siguiente expresión:

$$n_s = n \cdot \sqrt{\frac{P_u}{H_n^{5/2}}}$$

Aunque también se puede expresar mediante la expresión:

$$n_s = n \cdot P_u^{\frac{1}{2}} \cdot H_n^{-\frac{5}{4}} \quad \text{en donde:} \quad n = \text{velocidad de giro del rodete (rpm).}$$

$P_u =$  Potencia útil (CV).

$H_n =$  Altura neta.

Sustituyendo queda lo siguiente:

$$n = \frac{n_s}{P_u^{\frac{1}{2}} \cdot H_n^{-\frac{5}{4}}} = \frac{50}{120,4^{\frac{1}{2}} \cdot 87,1^{\frac{5}{4}}} = 12125 \text{ rpm}$$

Como norma general los fabricantes de microturbinas utilizan generadores asíncronos de 3 pares de polos, para los que la velocidad de sincronismo suele ser 1000rpm.

$$N_s = 60 \frac{f}{p} \Rightarrow 60 \frac{50}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

Y con esto recalculando el valor de la velocidad específica queda:

$$n_s = 1000 \cdot 120,4^{\frac{1}{2}} \cdot 87,1^{\frac{5}{4}} = 41 \text{ aprox.}$$

Con los datos del caudal y el número específico de revoluciones obtenido en los cálculos indicados arriba se concluye que:

- Turbina a utilizar: de acción, tipo Pelton con 2 inyectores (según las tablas de clasificación de turbinas indicadas en el capítulo 7.1.1)
- Generados asíncrono de 3 pares de polos.

### 7.1.2.-Válvula reductora

Es importante entender la función y el funcionamiento de una válvula reductora para poder sustituirla con éxito por una microturbina. Ésta es la razón por la que se pasa a describir con detalle todo lo referente a las válvulas reductoras de presión:

Las válvulas reductoras de presión son un tipo particular de válvulas de regulación de presión. Al regular el salto, estos dispositivos permiten, imposibilitan o modulan el paso del fluido en la conducción en que se hallan instalados, según sea la función prioritaria de su instalación. Las válvulas reguladoras pretenden, por tanto, mantener la instalación en unas condiciones de presión, caudal y capacidad predeterminadas.

#### Las válvulas reductoras pueden clasificarse en:

a) Válvulas de reducción proporcional, que son aquellas en las que la presión a su salida es una proporción fija de la de su entrada.

b) Válvulas reductoras de presión de salida constante, que son las que, independientemente de la presión a su entrada, del caudal circulante y de sus respectivas variaciones, fijan a su salida un valor absoluto de presión constante y lo estabilizan.

Es importante señalar también, que, para ambos casos, la relación de presiones aguas arriba/aguas abajo debe estar controlada para evitar la cavitación del émbolo.

Una característica poco alentadora de este tipo de válvulas es que son de acción relativamente lenta, lo que supone un problema en el diseño de la instalación que se estudia en este proyecto, ya que implica una respuesta lenta frente a la aparición de transitorios poco deseable para el correcto funcionamiento de la microcentral y para su óptimo aprovechamiento.

Atendiendo al tipo de accionamiento, las válvulas reductoras se clasifican según el siguiente esquema.

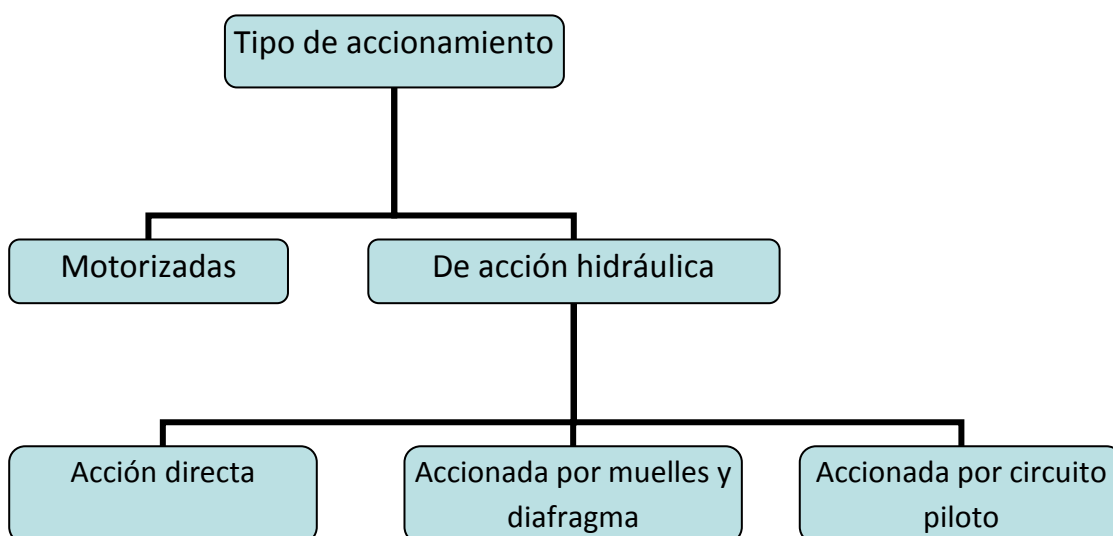


Figura 25: Esquema de clasificación de válvula reductora



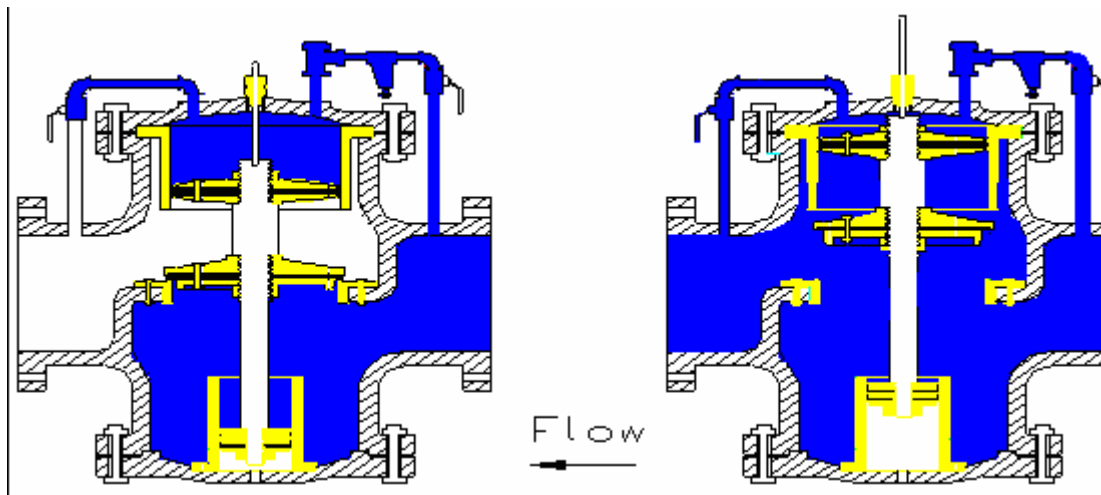
Las válvulas que se pretende de un uso más habitual son las válvulas reductoras de presión de salida constante, automáticas y accionadas por circuito piloto. Ya que son aptas para elevados caudales.

### **Funcionamiento de las válvulas reductoras con salida constante, automáticas y accionadas por circuito piloto.**

Dichas válvulas constan fundamentalmente de una válvula base encargada de todas las funciones de regulación, a través de la cual pasa el flujo de agua, y de un mecanismo de control, hidráulico o eléctrico, según sea el tipo de accionamiento.

En el caso que ocupa, el mecanismo es hidráulico y el accionamiento se hace por medio de válvulas piloto, que comunican los diferentes circuitos o zonas de fluido en el interior de la válvula. Estos circuitos son: circuito de "aguas arriba", circuito de "aguas abajo" y "cámara de válvula" o "válvula principal". El circuito piloto se encarga de controlar gradualmente la presión aguas abajo.

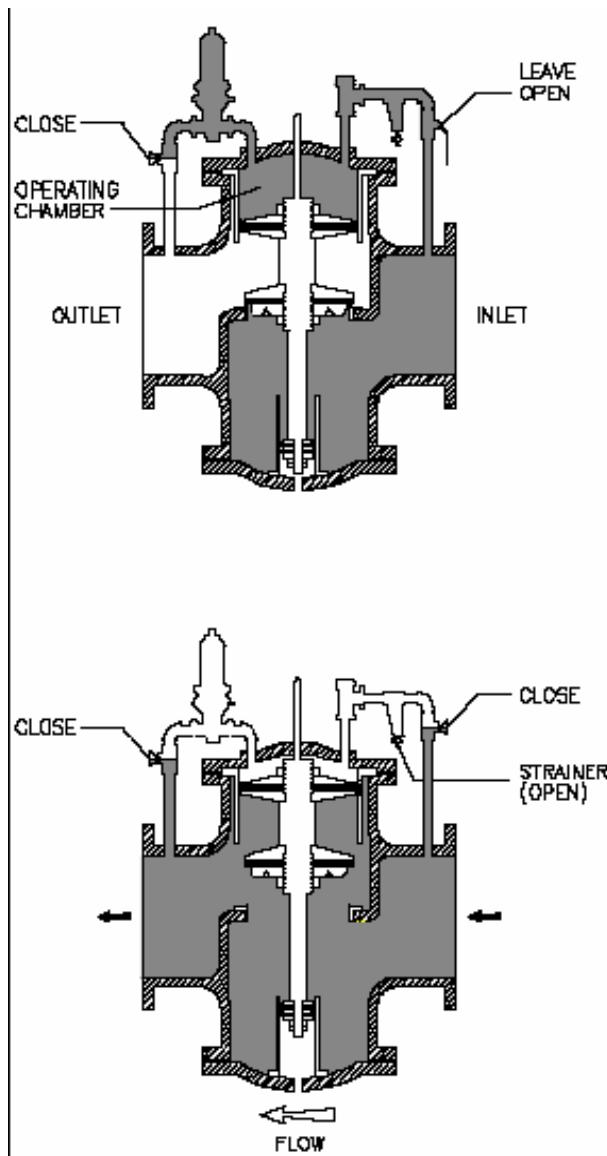
El diseño clásico de la válvula principal consiste en un eje que lleva un disco de asiento entre dos pistones, uno más grande que el otro y que se mueven libremente a lo largo del eje.



*Figura 26: Visión interna de la válvula reductora de presión.*

Si la válvula base o principal permite el paso de más agua que el piloto, una presión elevada quedará "aprisionada" encima del pistón, iniciándose el cierre de la válvula. Ésta se abrirá sólo cuando el piloto permita mayor paso de agua que la válvula base, produciéndose una disminución de presión encima del pistón lo que ocasionará la apertura de la válvula.

En concreto, las fases que atraviesa la reductora para completar un ciclo en su funcionamiento son:

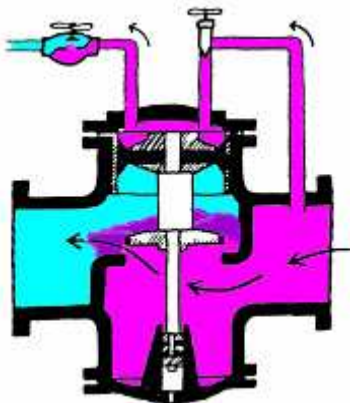


El circuito piloto conecta la cámara superior de la válvula (operating chamber) con la presión de entrada (inlet) mediante una válvula de estrangulamiento y con la presión de salida (outlet) mediante una llave de paso, tal y como muestra la figura de la izquierda.

**CIERRE:** El agua a alta presión se introduce a través de la válvula de estrangulamiento en la cámara superior y al cerrar la llave de paso, la presión sube y el eje del pistón baja, cerrando la válvula.

**APERTURA:** Si al abrir la llave de paso, sale más agua de la cámara superior, atravesando dicha llave, que la que entra por la válvula de estrangulamiento, la presión sobre el pistón superior se reduce, lo que obliga a éste a elevarse, abriendo la válvula principal.

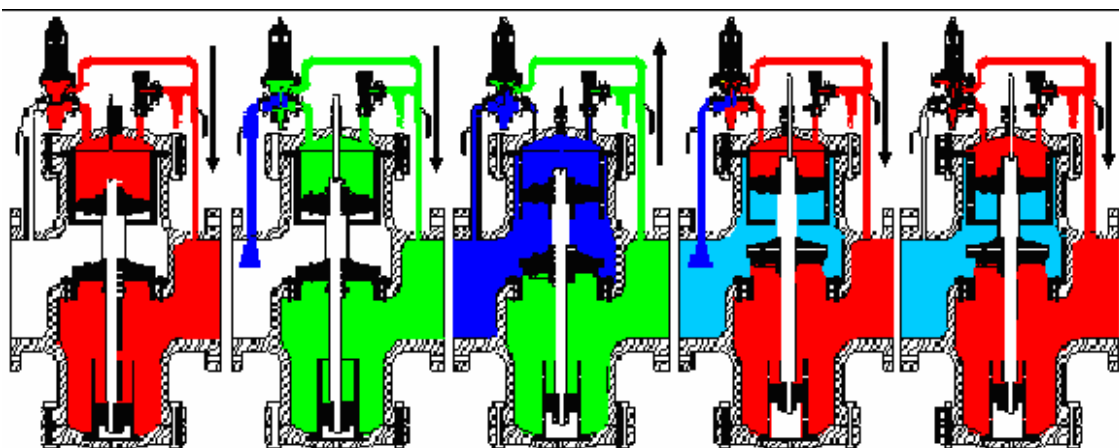
Figura 27: Elementos de la válvula reductora de presión y esquema de funcionamiento.



**REDUCCIÓN DE PRESIÓN:** Si se desea colocar el eje en una posición intermedia entre totalmente abierta y totalmente cerrada, simplemente se debe equilibrar el caudal que entra con el que sale de la cámara superior. Esto genera una presión que pone en equilibrio las fuerzas actuantes sobre el pistón y se consigue la reducción de presión que se perseguía.

*Figura 28: Válvula reductora en el momento de reducción de presión.*

La siguiente ilustración (*Figura 29*) ilustra el proceso, de izquierda a derecha, desde el momento en que la válvula está cerrada hasta su máxima apertura.



*Figura 29: Ilustración de izquierda a derecha del proceso de apertura de la válvula.*

### **Perdidas en abierto**

La válvula reductora completamente abierta supone unas pérdidas tabuladas en el gráfico de la *figura 30*.

Estas pérdidas son superiores si circula mayor caudal por la instalación pero también crecen según decrece el diámetro de la propia válvula, lo que quiere decir, como cabía esperar, que si, por ejemplo, la tubería tiene un diámetro de 300mm y la válvula posee un diámetro inferior, las pérdidas crecerán no sólo por la propia válvula sino también por el cambio, en este caso reducción, de la sección en la tubería.

Dado que la función primitiva de las válvulas era reducir grandes saltos de presión, el hecho es que todas ellas fueron dimensionadas a la baja para acentuar el efecto que perseguían y por tanto, las válvulas instaladas en las redes de abastecimiento generalmente poseen un diámetro algo inferior al de la tubería que regulan.

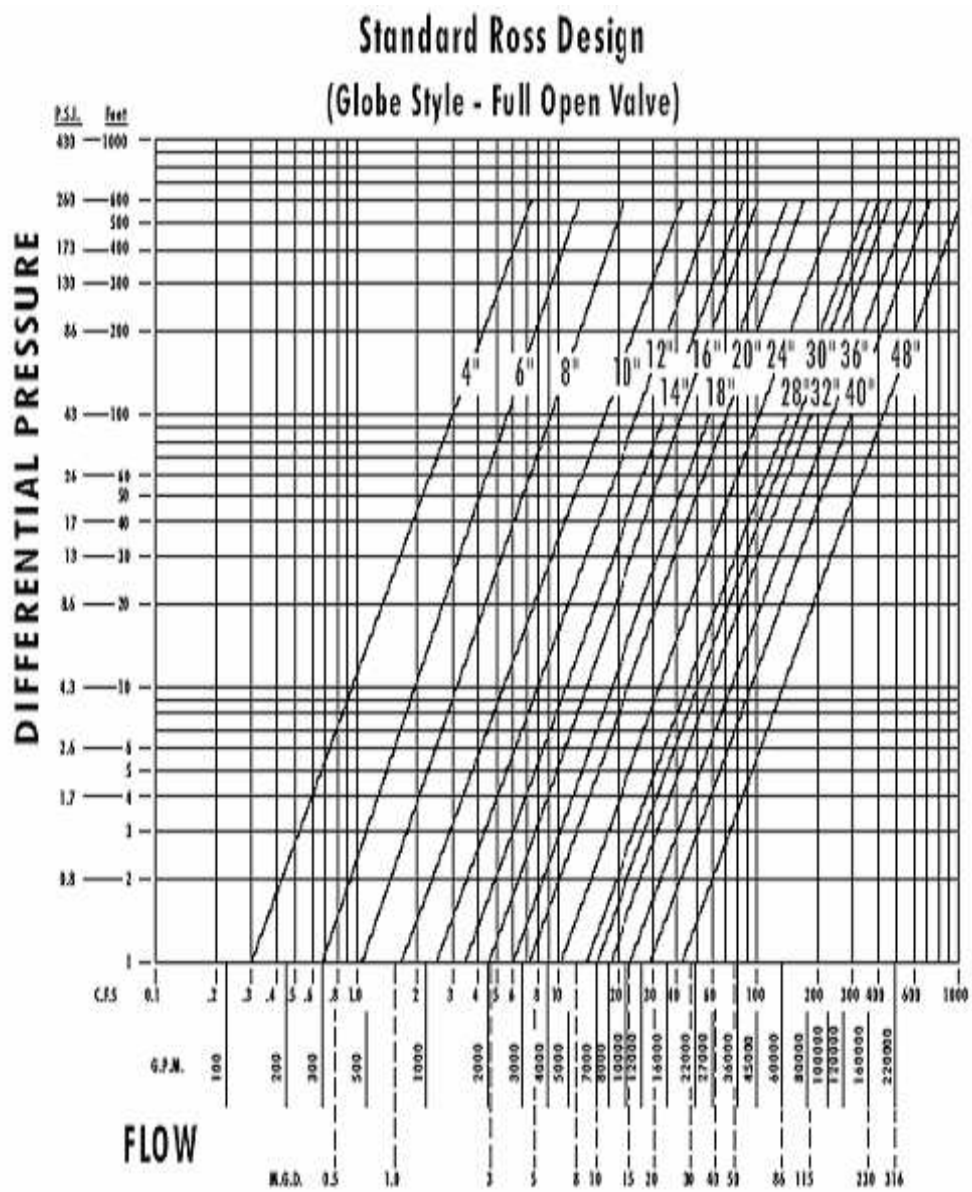


Figura 30: Perdidas de la válvula reductora en función del caudal para una válvula Ross.

Por último es preciso resaltar que la colocación de válvulas reductoras en las redes de distribución de agua no se lleva a cabo con la implantación de una única válvula, sino con la conexión de un grupo reductor formado por varias válvulas conectadas entre sí, siguiendo diferentes configuraciones con el objetivo de dotar al sistema de la seguridad de que precisa.

Las diferentes disposiciones permiten, de esta forma, por ejemplo, realizar el mantenimiento de cada válvula por separado sin que la instalación se vea privada de la reducción necesaria, que en este caso será realizada por las demás válvulas.

Durante el estudio que se realizará a lo largo de este proyecto se adoptarán las hipótesis de que no hay válvula reductora, o en el caso de haber, será de una única válvula, puesto que el hecho de que exista un grupo reductor no es determinante en el resultado a efectos de cálculo en el diseño de la instalación.

Algunas configuraciones típicas son:

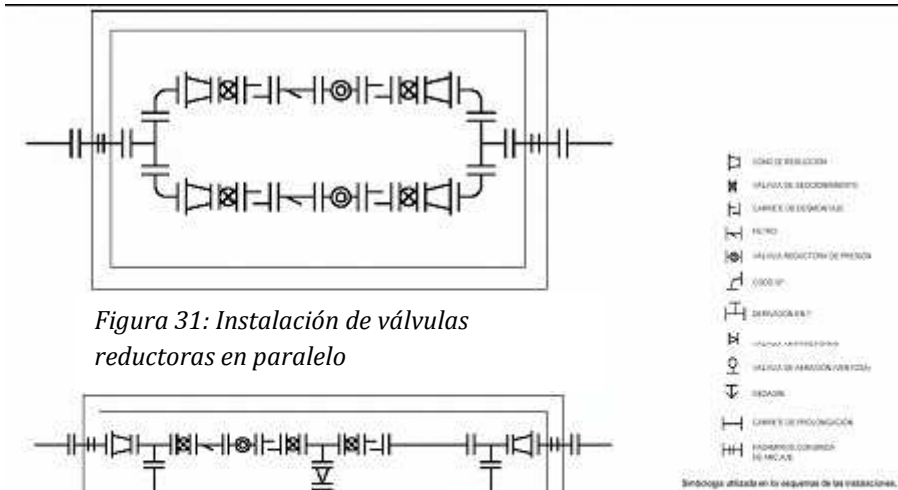


Figura 31: Instalación de válvulas reductoras en paralelo

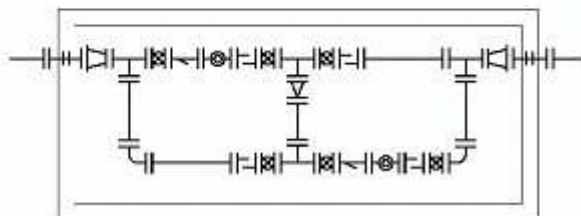


Figura 32: Instalación de válvulas reductoras en conexión mixta serie/paralelo

### 7.1.3.- Válvula de mariposa

Las válvulas de mariposa son elementos hidromecánicos destinados al seccionamiento de conducciones de fluidos a presión mediante un obturador en forma de disco a lenteja que gira diametralmente gracias a un eje o a muñones solidarios con el obturador.

Constan fundamentalmente, por tanto, de un cuerpo, un obturador y un mecanismo de maniobra.

Los requisitos de funcionamiento que deben cumplir estas válvulas figuran en la norma UNE-EN 1074-2:2000.



Figura 33: Válvula de mariposa

Habitualmente su funcionamiento será de apertura o cierre total, de tal forma que las posiciones intermedias corresponden a situaciones provisionales y excepcionales, en cuyo caso el diseño de la tubería debe prever posibles cavitaciones y evitarlas en la medida de lo posible.

Este tipo de válvulas siempre produce una pérdida de carga localizada, aún en su posición de máxima apertura. Esta pérdida, como las del resto de los elementos de la instalación, deberá ser tomada en cuenta a la hora de dimensionar la turbina.

#### 7.1.4.- Filtro

La función del filtro es reducir las partículas, tales como arena o piedras que pueda llevar el agua. Para los caudales y medidas de tuberías que se contemplan los filtros a utilizar son los de tipo H, con paso recto de gran capacidad recomendados para grandes conducciones, interesante sobre todo a partir de 250mm. Este tipo de filtro tiene una caída de presión menor que los de tipo Y.

En el *anexo 6* se muestran las características técnicas y medidas disponibles de los filtros tipo H.



*Figura 34: A la izquierda de color azul, filtro tipo H, seguido a la derecha de color rojo la válvula reductora de presión pilotada.*



*Figura 35: Filtro tipo Y.*

### 7.1.5.- Válvula de llenado

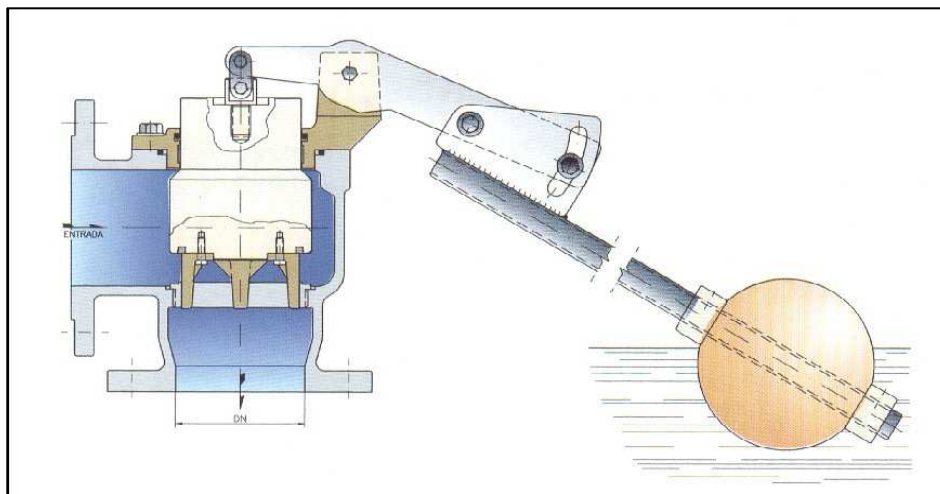
#### Clasificación y funcionamiento

Para controlar el llenado de los depósitos se utilizan, fundamentalmente, dos tipos de válvulas:

**De acción directa o de flotador**, que son válvulas que regulan el llenado de los depósitos estrangulando el paso del agua según el nivel del depósito se va acercando al máximo.

El mecanismo de estrangulamiento suele estar accionado por un brazo en cuyo extremo se coloca un flotador. El cierre de la válvula es progresivo según sube el nivel del agua en el depósito, quedándose la posición de la misma estabilizada cuando se aporta el caudal de consumo necesario en cada instante.

Cuando los consumos son elevados con respecto al aporte de la tubería de aducción la válvula abre completamente y de esta forma el depósito permanece lleno siempre y el caudal por la aducción no es nulo excepto cuando no existe consumo aguas debajo de la tubería.



*Figura 36: Válvula de llenado de acción directa (tipo flotador).*

**De cierre diferido o de altura**, que son válvulas de pistón, cuyo cierre y apertura se controla con los niveles del depósito máximo y mínimo, respectivamente. Las maniobras se inician cuando la válvula detecta la condición de cierre, y el pistón realiza la carrera completa, es decir, abre del todo, sin quedarse en posiciones intermedias. Éste tipo de válvulas requiere una presión mínima de servicio de 0,5 bar para su funcionamiento.



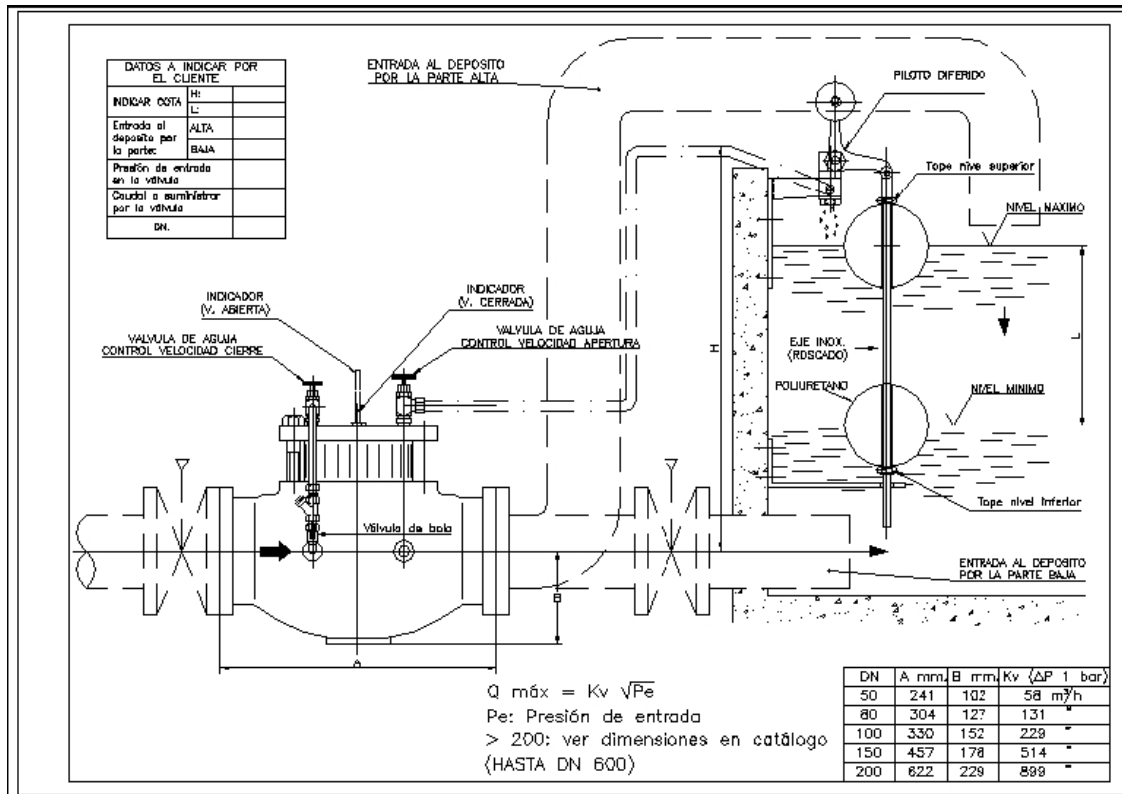


Figura 37: Válvula de llenado de cierre diferido.

La ventaja que presenta el tener una válvula de cierre diferido reside en que cuando circulan caudales intermedios se tiene disponible la máxima sección de paso, mientras que la válvula de acción directa estrangularía el flujo, con la consiguiente pérdida de carga adicional que ello supone y, por tanto, se desaprovecharía una mayor cantidad de energía.

Por lo tanto, se debe resaltar como conclusión que, en el caso de instalar un sistema de aprovechamiento energético del salto hidráulico que se produce en una válvula reductora que alimenta a un depósito, la válvula de llenado de dicho depósito debe ser del tipo de cierre diferido, para lograr un óptimo aprovechamiento energético.

Esta conclusión servirá para la realización de futuras instalaciones, puesto que en las actuales que no posean válvula de llenado de depósito de altura, y por no incurrir en gastos adicionales de sustitución de válvulas, la pérdida de energía debida a la válvula de llenado, de tipo flotador, es ya irre recuperable y deberá tenerse en cuenta para llevar a cabo el correcto diseño de la instalación.

### 7.1.6.- Electro válvulas.

Las electroválvulas son válvulas de alta precisión. Manipulan, en corto espacio de tiempo, variaciones de presión grandes, debidas a fallos en el sistema o a sollicitaciones de presión bruscas e inesperadas, para que el caudal en la instalación no sufra cambios sustanciales y para que la presión vuelva a valores de consigna más fácil y rápidamente, es decir, aceleran el proceso de estabilización de una instalación.

La utilización de electroválvulas en este estudio se justifica para casos en los que la válvula reductora, actuando conjuntamente con la turbina, detecte cambios bruscos de presión y/o caudal, situaciones ante las que el conjunto reductor reacciona lentamente debido a su histéresis propia, que ralentiza su acción, efecto que, según el caso, puede llegar a ser muy perjudicial para la instalación en general, puesto que puede ocasionar procesos de cavitación en distintos elementos o incluso golpes de ariete, positivos y negativos, que perjudicarían a toda la tubería, puesto que se trata de un fenómeno global, no local como es el caso de la cavitación. El golpe de ariete transporta la fuerza del agua a lo largo de la tubería y puede ocasionar graves problemas.

Por ello, se utilizarán dos electroválvulas que, a su vez, se colocarán en el circuito piloto de la reductora, una a cada lado, conectada una aguas arriba y la otra aguas abajo, ambas para controlar la apertura y cierre de la válvula reductora en coordinación con la operación de la turbina.

Como ejemplo ilustrativo, en el caso de que se produzca un embalamiento en la turbina, debido a una caída o a una falta de conexión con la red eléctrica, sería la reductora la que debería empezar a abrir para derivar caudal por ella hasta que pueda absorber el salto íntegro que hasta ese momento regulaba la turbina y que ésta, a su vez, quede fuera de servicio mediante el cierre de una de sus válvulas para evitar posibles daños estructurales en la máquina.

Si la válvula de la turbina cerrara inmediatamente el golpe de presión que recibiría la reductora sería muy grande y, además, con el circuito automático pilotado, tardaría un tiempo "t" muy elevado en adaptarse a la nueva situación y reducir la presión a su valor estipulado. Con la acción de las electroválvulas el tiempo de reacción de la reductora frente a este incremento brusco de presión disminuiría ( $t^* < t$ ) y por ello la regulación de presión y de caudal tendría lugar durante un intervalo de tiempo menor. Todo ello junto con la coordinación con el cierre de la válvula de entrada a la turbina, limitaría la magnitud del golpe de ariete anteriormente mencionado.

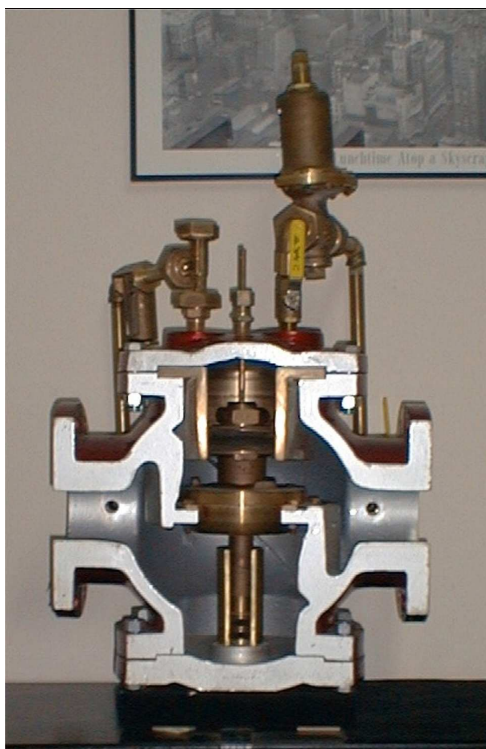


Figura 38: Electroválvula.

Las electroválvulas son dispositivos electrónicos, accionados por señales eléctricas, que en ese caso recibirán del control monitorizado de la instalación (ver "Control de la Instalación"). La respuesta de las electroválvulas accionará el mecanismo de la reductora, mediante las instrucciones adecuadas, para acelerar o decelerar su apertura o cierre en cada caso.

### 7.1.7.- Turbina escogida.

En este capítulo se resumen todos los datos y cálculos obtenidos en los diferentes apartados del capítulo 7, obteniendo como conclusión la turbina a utilizar por el ejemplo tomado del depósito de Vidreres.

En general hay depósitos que disponen de válvulas reductora y otros que no. En ningún caso se dispone información real de ello, ni de las características técnicas de las válvulas reductoras existentes en los depósitos que si disponen de ella, pero en cualquier caso tampoco es relevante para un estudio aproximado, aunque sí que aportan información fidedigna de la presión de una instalación.

A continuación se realiza el estudio para los casos donde la colocación de la microturbina es viable, a partir de la altura neta y del caudal disponible.

En los casos donde el suministro de agua disponga de una válvula reductora se realizará el estudio para tal caso con la alternativa de la microturbina en paralelo. Y en los casos donde no exista una válvula reductora de presión se realizará el estudio y esquema de la implantación directa de la microturbina.

En función del salto neto, caudal, potencia y diámetro de la turbina se diferencian los tipos de turbina expuestos en la siguiente tabla.

<u>TIPO DE TURBINA</u>	KAPLAN (Reacción/Axial)	FRANCIS (Reacción/Diagonal)	PELTON (Acción)
Salto neto H [m]	2 a 30	2 a 150	20 a 500
Caudal Q [l/s]	500 a 25000	50 a 10000	20 a 2000
Diámetro exterior del rodete [m]	1,0 a 10,5	0,35 a 7,65	0,36 a 5,2
Potencia en el eje [kW]	hasta 2000	hasta 2000	hasta 2000

Figura 39: Rangos de funcionamiento de diferentes tipos de turbina. Ref. "Mecánica de fluidos y máquinas" (C. Mataix, modificada)

<i>Velocidad específica <math>N_s</math></i>	Tipo de Turbina
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice

Figura 40: Tipo de turbina en función de la velocidad específica.

Según los resultados de caudal obtenido y las tablas correspondientes, la turbina idónea a implantar con los datos de la instalación se resume a continuación:

- **Turbina de acción tipo Pelton con varios inyectores, concretamente 2 inyectores.**
- **Salto bruto ( $H_b$ ) = 134m**
- **Salto neto ( $H_n$ ): 87,1m**
- **Caudal (Q): 0,122 m<sup>3</sup>/s.**
- **Velocidad específica de la turbina ( $N_s$ ): 41**
- **Potencia: 88,5 kW.**
- **Horas estimadas de funcionamiento: la mitad del tiempo, 4380 horas.**
- **Energía: 88,5 kW x 4380 h. = 387,63 MWh anuales.**
- **Generador Asíncrono de 3 Pares de polos. 1000 rpm.**

Nota: Puede que para otros casos se deba utilizar otro tipo de turbina en función del número específico de revoluciones ( $n_s$ ) y del salto disponible.

A falta de datos del recorrido de las tuberías y por tanto por la imposibilidad de determinar la caída de presión de la instalación, para poder determinar el salto neto se ha tenido en cuenta el 65% del salto bruto.

## 7.2.- Instalación Eléctrica.

No se va a entrar en el detalle de todos los cálculos de diseño en los componentes que componen la instalación eléctrica, sino que se buscará la información estrictamente necesaria para poder realizar el estudio técnico económico, lo cual es el objeto de este proyecto.

Para empezar existen dos posibles configuraciones para la explotación de la instalación en función de si será una instalación aislada o irá conectada a la red eléctrica.

**Instalación aislada:** Caso desestimado porque su rentabilidad a corto plazo sería baja y la inversión inicial muy alta, fundamentalmente porque el generador idóneo es, para este caso, síncrono y por tanto más caro. Además no podemos permitir ni un margen de error en el cálculo, ya que la instalación ha de funcionar siempre independientemente de las condiciones meteorológicas.

Otro punto que también hace descartar el autoabastecimiento es que todos los depósitos disponen de corriente eléctrica, por tanto en todos los casos existe la posibilidad de conectar la instalación a la red y vender la energía generada.

**Instalación conectada a la red:** En este caso se venderá la producción de energía a la empresa distribuidora correspondiente. Se opta por este sistema por las mismas razones que se ha descartado el sistema aislado.

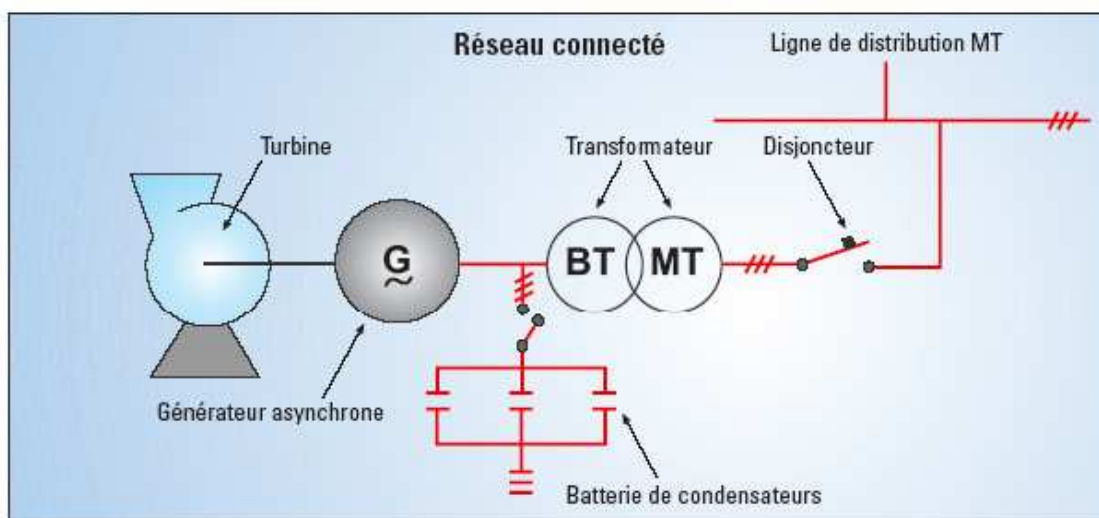


Figura 41: Esquema instalación eléctrica conectada a red aguas debajo de la turbina.

En los capítulos siguientes se va a estudiar en detalle los elementos que componen la instalación eléctrica aguas debajo de la turbina y la potencia eléctrica que se puede extraer de ella.

### 7.2.1.- Cálculo potencia eléctrica estimada.

Los datos importantes a utilizar del ejemplo tomado (depósito de Vidreres de cota +116 con una tubería DN 250 PVC y el cual se llena del agua que proviene del depósito de Fogars de cota +250) son los siguientes:

$$Q = 122 \text{ l/s} = 0,122 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 87,1 \text{ mca.}$$

Se estima un rendimiento de  $\eta = 85\%$ .

Con dicho rendimiento estimado y los datos arriba mencionados del depósito que hemos tomado ejemplo de estudio se obtiene la siguiente potencia eléctrica estimada.

$$P = \eta \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \rho = 0,85 \cdot 0,122 \cdot 9,81 \cdot 87,1 \cdot 1000 = \mathbf{88,5 \text{ kW aprox.}}$$

### 7.2.2.- Generador Asíncrono.

Un generador asíncrono es una máquina rotativa con capacidad de arranque, cuyo estator está alimentado por la red trifásica. Con esta tensión se induce en el rotor un campo que lo hace girar y permite su arranque. El generador asíncrono, por el contrario, debe estar siempre conectado a la red eléctrica, de la que toma la energía necesaria para producir su magnetización.

Se ha optado por colocar un generador asíncrono, porque los generadores síncronos suelen emplearse en centrales con potencia superior a 2.000 kW conectados a la red, o en centrales de pequeña potencia que funcionan en isla, que no es el caso de estudio en este proyecto.

El generador está conectado mecánicamente, mediante un eje, a la turbina de la que recibe potencia mecánica y la transforma en eléctrica.

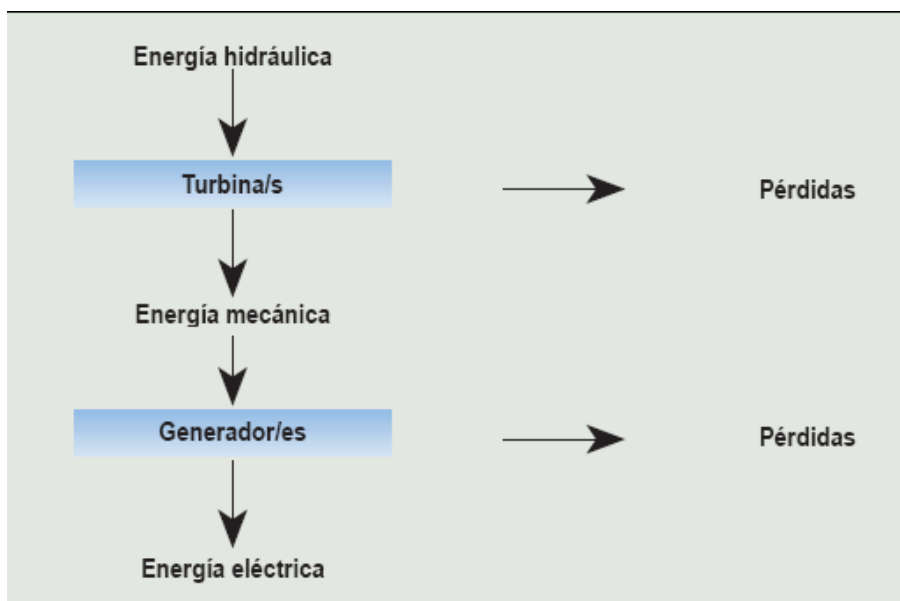


Figura 42: Esquema transformación de energía hidráulica en eléctrica.

Para centrales microhidráulicas los fabricantes de turbinas ya venden en bloque el grupo turbogenerador, de tal forma que se abaratan los costes.

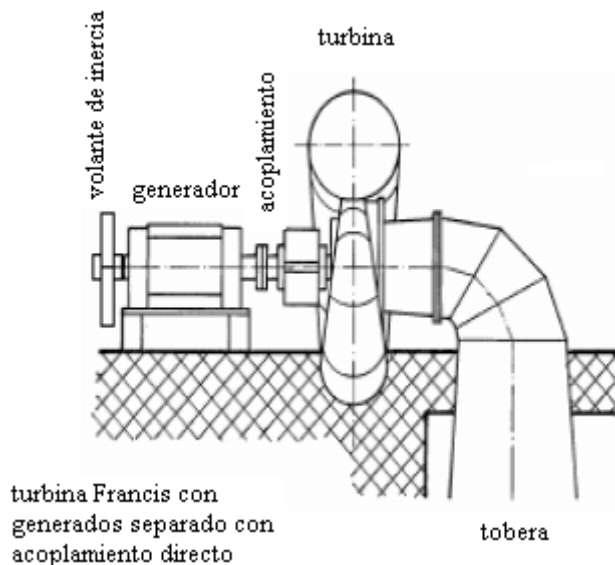


Figura 43: Turbina Francis acoplada con generador.

### 7.2.3.- Batería de condensadores.

Las baterías de condensadores son equipos que, por su naturaleza capacitiva, permiten reducir considerablemente la demanda de energía reactiva de la red. Facilitan la estabilización y la calidad del suministro, optimizando el dimensionado y el rendimiento de la instalación y, por ende, eliminando los costos superfluos.



Se colocan en paralelo a la salida del transformador antes de la conexión con la empresa distribuidora.

La corrección del factor de potencia es una necesidad común a todas las actividades que utilizan energía eléctrica. De hecho, cada usuario requiere a red no sólo la energía activa para realizar su actividad sino también cierta cantidad de energía reactiva (dependiendo del tipo de equipo presente en la instalación), la cual, aún sin ser productiva, es facturada por la entidad suministradora bajo forma de penalización si supera los valores contractuales.

Figura 44: Batería de condensadores.

#### 7.2.4.- Centro de transformación

Un centro de transformación consta principalmente de los siguientes componentes: transformador, elevador en este caso, celdas y cuadros eléctricos y líneas de interconexión

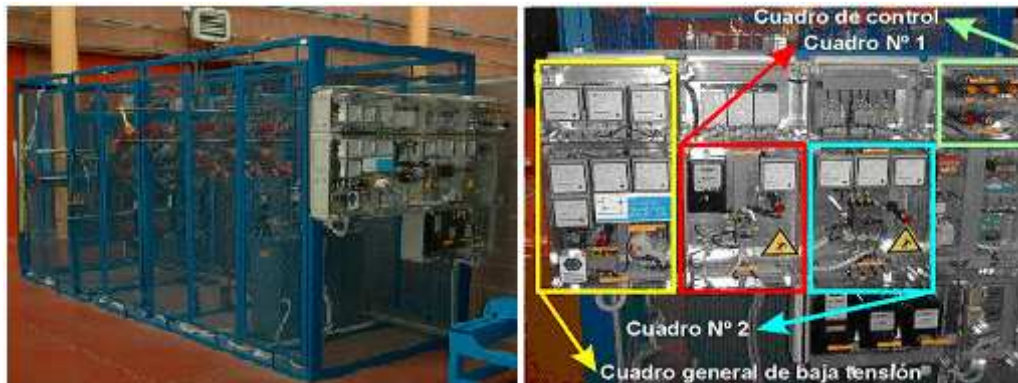


Figura 45: Centro de transformación

**Transformadores:** Son máquinas destinadas a convertir una tensión de entrada en otra distinta a la salida. El objeto del transformador es elevar la tensión de generación eléctrica para poder conectar la instalación generadora en baja tensión a la distribuidora en media tensión.

**Celdas y cuadros eléctricos:** Suelen instalarse generalmente en el interior de la microcentral y están constituidos por diversos componentes eléctricos de regulación, control, protección y medida.

**Línea eléctrica de interconexión:** La línea eléctrica transporta la energía eléctrica desde la microcentral hasta el punto de conexión con la compañía eléctrica.

Nota: La compra de todos estos componentes corre a cargo de la empresa generadora aunque sea la empresa distribuidora la que, en última instancia, controle y haga uso de estas instalaciones eléctricas.



### 7.3.- Sistema de control de la instalación

A continuación se detalla el sistema a utilizar para el control de la instalación en el caso de abastecimiento a depósito. Para ello se han de tener en cuenta tanto consideraciones para la regulación hidráulica, tales como el caudal que atraviesa la turbina, y los diferentes escenarios a los que se puede ver sometida la instalación hidráulica, como la regulación de la parte eléctrica, donde se deberá tener en cuenta la velocidad de giro del generador para que este tenga una producción de energía con un rendimiento óptimo.

#### 7.3.1.- Regulación y control de la instalación hidráulica

Aunque se hayan realizado los cálculos para unos saltos y caudales determinados, estos pueden variar ya que la red hidráulica de Cataluña tiene una configuración mallada, por tanto la instalación tiene que estar preparada para ello.

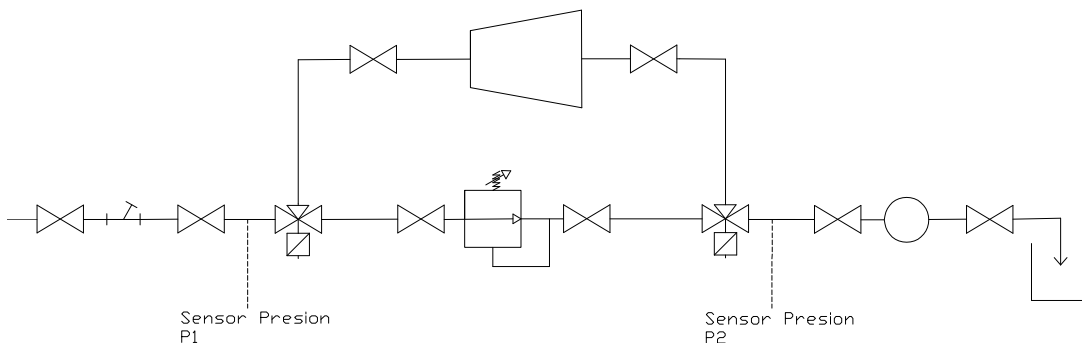


Figura 46: Esquema de la instalación hidráulica.

	Válvula de mariposa: Necesarias para cerrar el paso del agua, por ejemplo cuando se necesite realizar el mantenimiento de la turbina.
	Filtro: Necesario en todas las instalaciones para evitar impurezas en el agua que puedan dañar la turbina.
	Válvula motorizada 3 vías: Realiza el control de la instalación, haciendo que pase más o menos caudal por la turbina.
	Válvula reductora de presión: Limita la entrada de presión al depósito cuando el agua no pasa por la turbina.
	Turbina: Transmite la energía del agua al generador.
	Válvula de llenado: Cierra el caudal del agua cuando el depósito está lleno y lo abre cuando se vacía.

Figura 47: Leyenda del esquema de la instalación hidráulica.

En la *figura 46* y *47* se muestra el esquema de la instalación y se comenta brevemente la función de los elementos sobre los que es necesario actuar para el control de la misma.

Se han de tener en cuenta las siguientes variables de entrada para poder llevar a cabo la regulación de la instalación:

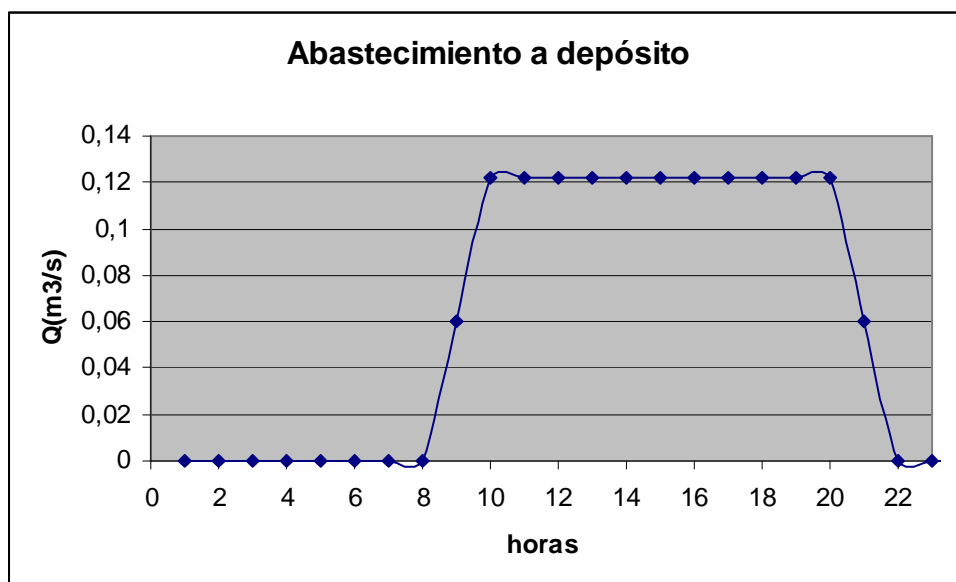
- H1 (m.c.a): Presión de entrada de la turbina.
- H2 (m.c.a): Presión de salida de la turbina.
- Q (m<sup>3</sup>/s): Caudal que atraviesa la instalación.

Las medidas de presión se toman mediante transductores que habrá que instalar en la instalación, y el caudal mediante un caudalímetro, también a instalar.

El objetivo principal de la regulación es conseguir que la turbina opere el máximo de tiempo posible dentro de los límites de trabajo calculados. Puesto que existen unas variables de entrada será la turbina la que se adaptará para optimizar su producción de energía al máximo.

Todo el control de la instalación, tanto la hidráulica como la eléctrica se realizará mediante un PLC, el cual leerá las variables de entrada y actuará en función de ellas.

En el caso del depósito de Vallvidrera tenemos una presión de entrada aproximada de 134mca, y puesto que la compañía de aguas no ha querido facilitar ningún dato del régimen de llenado y vaciado se toma como criterio que el depósito se llena y vacía diariamente tal como muestra la siguiente figura.



*Figura 48: Variación diaria del caudal para llenado de depósito.*

En la *figura 48* se observa que el caudal diario que abastece al depósito pasa por 4 fases a lo largo del día:

### **Fase en reposo con válvula de llenado cerrada.**

En este estado el depósito está lleno, pero vaciándose. El tiempo de vaciado puede variar en función del consumo de los usuarios. Mientras la instalación se encuentre en este estado no se produce energía ya que no circula agua a través de la turbina.

Cuando el nivel del depósito llegue a un nivel mínimo predefinido la válvula de llenado se abrirá y dará paso al caudal.

El estado de los elementos que intervienen en la regulación de la instalación se encuentran de la siguiente forma:

- Válvula de llenado completamente cerrada.
- Depósito lleno y/o vaciándose.
- Caudal que circula por la instalación nulo.
- Válvula reductora de presión completamente abierta.
- Turbina parada. No se genera energía.

### **Fase de proceso de apertura y estabilización.**

Se produce después de haber estado la instalación en estado de reposo sin que circule agua y cuando la válvula de llenado empieza a abrirse al estar el depósito en un nivel mínimo. Este proceso dura hasta que la válvula de llenado se abre por completo y el caudal de entrada al depósito se estabiliza.

La instalación sufre los siguientes cambios en el orden que se indica a continuación

- Se detecta que el nivel del depósito ha llegado a su mínimo predefinido para empezar a llenarse.
- Se empieza a abrir la válvula de llenado y el depósito empieza a llenarse.
- Empieza a circular agua por la instalación por los dos ramales con un caudal inversamente proporcional a la caída de presión que hay en cada ramal. Concretamente, puesto que la válvula reductora se encuentra completamente abierta y la turbina ejerce mayor dificultad al paso del caudal pasará más agua por el ramal de la reductora.
- La instalación empieza a regularse cerrando la válvula reductora para regular el salto y haciendo mediante la válvula de 3 vías que circule más caudal por el ramal de la turbina.
- Cada vez circulará más caudal por el ramal de la turbina y esta empieza a moverse. En el momento en que la turbina gire lo suficiente para generar energía, esta se conectará a la red.
- Finalmente mediante la regulación de la válvula de 3 vías y la válvula reductora, todo el caudal que circula por la instalación lo debería de hacer a través de la turbina.

Las ordenes que el autómata debe enviar a la instalación serías las siguientes y por el orden indicado.

- 1) Abrir la válvula de llenado al detectar el nivel mínimo en el depósito.
- 2) Regular la presión en la reductora gracias a las electroválvulas y la válvula de tres vías.
- 3) Conexión de la turbina a la red una vez haya alcanzado el caudal mínimo para generar energía.
- 4) Cerrar por completo la válvula reductora para que todo el caudal circule por la turbina.

### **Fase en estado constante con válvula de llenado abierta.**

En esta fase del proceso la instalación se encuentra en estado constante de llenado del depósito con el siguiente estado de los elementos de regulación:

- Válvula de llenado completamente abierta.
- Válvula reductora cerrada por completo.
- Todo el caudal de la instalación circulando por la turbina.
- Turbina conectada a la red eléctrica y generando energía.

En esta fase la turbina está generando energía según la expresión:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H_{man} \cdot Q [kW]$$

Durante esta fase hay que tener en cuenta cualquier tipo de imprevisto. En la figura siguiente se definen algunas situaciones problemáticas y sus soluciones.

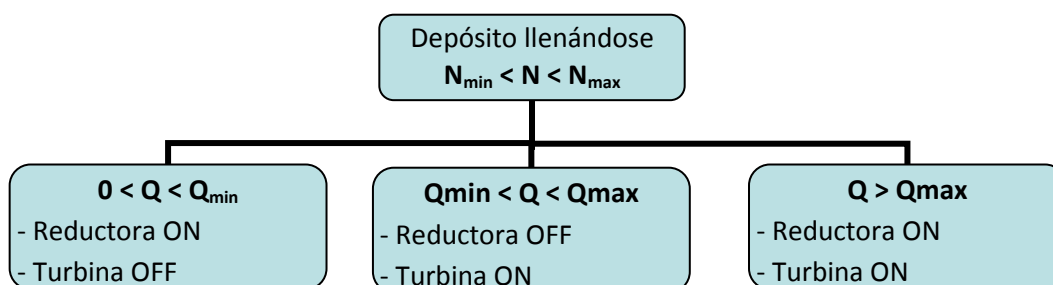


Figura 49: Control de la instalación dentro y fuera de los rangos de diseño.

### **Fase transitoria de cerrado de la válvula de llenado.**

En esta fase la instalación pasa del estado constante en el que se está generando energía al estado de reposo con el depósito lleno, la válvula de llenado cerrada y por tanto sin circulación del caudal por la instalación y sin generación de energía.

La instalación sufre los siguientes cambios en el orden que se indica a continuación

- Se detecta que el nivel del depósito ha llegado a su máximo predefinido y se debe parar el llenado.
- La válvula de llenado se empieza a cerrar y el caudal por la instalación empieza a disminuir hasta llegar a cero.

Las ordenes que el autómatas debe enviar a la instalación serían las siguientes y por el orden indicado.

- 1) Abrir la reductora lentamente
- 2) Cuando el caudal sea el mínimo requerido por la turbina para generar, desconectarla de la red.
- 3) Cerrar la válvula de aislamiento de la turbina y colocar la válvula de 3 vías con salida hacia la reductora.
- 4) La reductora continuará fijando su presión a la salida.
- 5) Se para completamente la turbina.

Después de esto vuelve a darse el caso inicial de reposo con válvula de llenado cerrada.

Es importante destacar que todos los sensores a utilizar en este tipo de instalaciones deben dar una salida de señal para la lectura del autómatas del tipo (4-20mA), para asegurarnos de su correcto funcionamiento. Si la señal leída fuera de 0mA se trataría de un error. De esta forma es posible localizar el mal funcionamiento o avería de los sensores.

### **Conclusiones de regulación y control**

En régimen permanente la presión aguas abajo de la válvula reductora se mantiene en los valores de diseño previos a la instalación de la turbina. La válvula detecta que la presión en su entrada ha aumentado por el efecto de la turbina y con el control descrito anteriormente comienza a cerrarse.

Por el contrario, la reductora regula por completo el salto si existe alguna incidencia en la turbina o a falta de caudal para que comience la generación de energía.

La reductora quedará en su posición de apertura máxima cuando por la instalación no circule caudal alguno. En esta posición la válvula presenta unas pérdidas de carga que no se pueden evitar y que dependen del caudal que esté circulando por ella y de la presión del conjunto.

El paralelo de la instalación permite a su vez, por una parte, derivar todo el caudal por la reductora cuando la turbina esté fuera de servicio (por ejemplo por incapacidad para evacuar la energía eléctrica producida) y, por otra parte, regular la presión manométrica a la que está sometida la turbina y, por tanto, el caudal que circula por ella.

La turbina debe tener válvulas de aislamiento aguas arriba y aguas abajo para permitir el mantenimiento o sustitución de la misma.

Se deben disponer de transductores de presión en la entrada y en la salida de la turbina para permitir el control de la misma. También se debe disponer un caudalímetro en serie con el conjunto. El control de la instalación se realizará con un autómata programable (a desarrollar en proyectos futuros. Aunque un posible control de procesos podría ser el proyecto final de carrera “Control y supervisión de un proceso de laboratorio mediante SCADA, PLC y Matlab” desarrollado por Víctor Sanz Noguera, donde uno de los procesos a controlar son el nivel de un depósito y el caudal).

### 7.3.2.- Regulación automática de la velocidad del generador.

Aunque por norma general la regulación de generadores acoplados a red es algo indispensable, en el caso de microgeneración no es tan importante, ya que por aportar poca potencia a la red eléctrica en comparación con la que mueve dicha red, el generador se adaptará sin esfuerzo a la frecuencia de la red. Por tanto la frecuencia de giro del generador será constante y la turbina tendrá que adaptarse a ella de la mejor forma posible.

En el caso de microcentrales una turbina con regulación de velocidad obtendrá un mayor rendimiento, ya que como se ha dicho, la velocidad ya está impuesta por la red.

En el caso de abastecimiento a depósito la única preocupación es la obtención del máximo rendimiento, ya que en este caso no se influye en el suministro directo de la red de agua potable, asegurando en cualquier caso una calidad del suministro igual a la anterior de realizar la instalación.

Para la turbina Pelton elegida en el caso de estudio concreto de este proyecto, la forma de regular la velocidad es mediante la aguja del inyector, que hace que incida más o menos caudal sobre los alabes haciendo que el rodete gire a más o menos revoluciones.

Las turbina Pelton también pueden ser de doble regulación. En dicho caso, la acción del regulador se realiza sobre la válvula de aguja del inyector, y también en el deflector.

En caso de disminuir la carga proporcionada por el grupo, bruscamente o por un disparo, el deflector interviene rápidamente en primer lugar, desviando parte del chorro hacia el exterior del rodete, posteriormente, y de forma lenta, se realiza el acercamiento de la aguja hacia la tobera, con lo que se evitan efectos perjudiciales ocasionados por la posible presencia del golpe de ariete, especialmente si la tubería forzada es de gran longitud, caso más probable, por tratarse de la alimentación de turbinas Pelton.

Al aumentar la potencia solicitada al grupo, el deflector se aleja del chorro agua y, al mismo tiempo, la aguja se separa del orificio de la tobera, permitiendo el paso de mayor caudal de agua hacia los cangilones. El deflector queda, nuevamente, lo más cercano al chorro, dispuesto para intervenir.

Todo el conjunto, regulador y equipo de regulación, se encuentra instalado generalmente sobre la cámara de distribución.

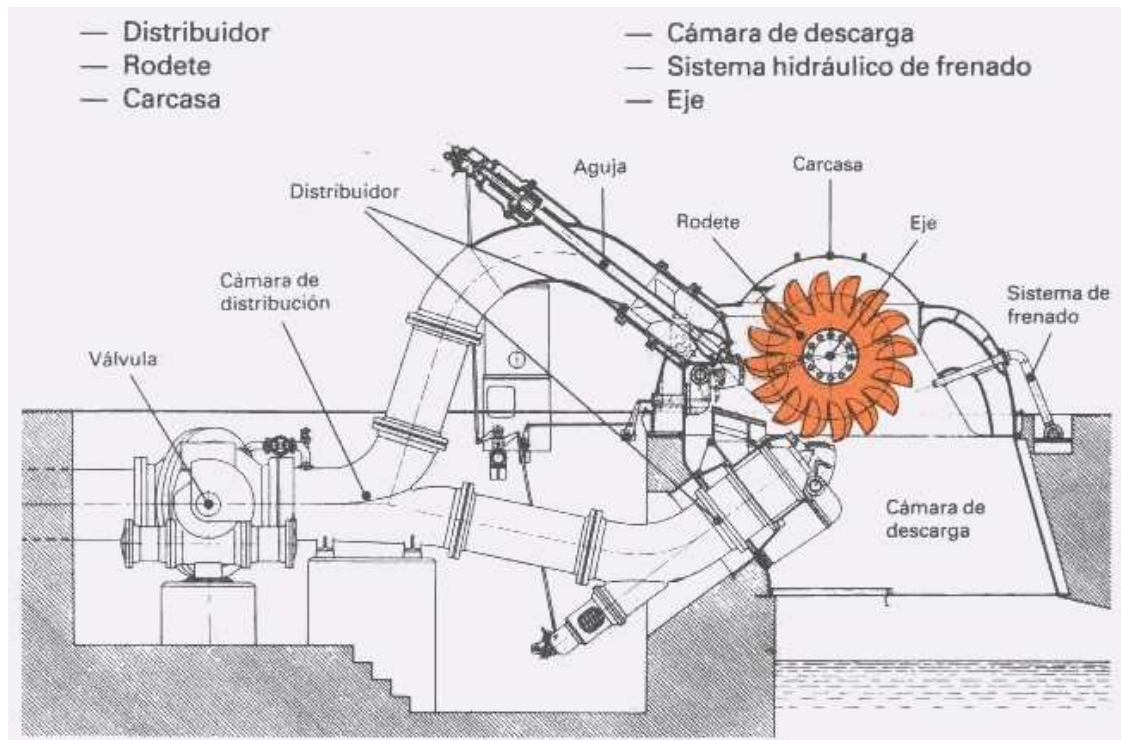


Figura 50: Turbina Pelton con una aguja para la regulación .

### Regulador de Frecuencia

Además de la regulación de caudal en la turbina, para la regulación de la instalación también es posible utilizar un regulador de frecuencia acoplado al generador asincrono. De esta manera es posible hacer trabajar la turbina para velocidades no constantes, produciendo más energía.

El regulador de frecuencia tiene la ventaja de poder hacer que la instalación trabaje en un rango más amplio de caudales, pero también tienen la desventaja del incremento del coste y reducción del rendimiento global de la instalación.

Cuando se prevea que en el lugar donde se vaya a implantar la turbina esté sujeto a continuos cambios del caudal o presión, la instalación del regulador será prácticamente obligada. En el caso de este proyecto no existe previsión de ello, por tanto no se contempla la instalación del regulador de frecuencia.



## 8.- Tipología general de selección para instalación viable técnicamente.

No todas las tuberías de agua potable ni depósitos de la red son viables técnicamente para generación de energía. Son necesarios unos saltos y caudales mínimos para que la turbina se empiece a mover.

A partir de los resultados obtenidos en este proyecto se destacan 3 puntos a tener en cuenta para la viabilidad de la instalación.

- Salto neto ( $H_n$ )
- Caudal ( $Q$ )
- Tiempo estimado de funcionamiento.

El salto y el caudal lo tomaremos como parámetros totalmente excluyentes, en cambio las horas que se prevé que estará en funcionamiento la turbina no será excluyente para la viabilidad técnica, pero sí que influirá directamente en la producción de energía y por tanto en la amortización de la instalación.

En el siguiente cuadro se resume la viabilidad de la instalación en función de la altura bruta y del caudal. Donde se toma lo siguiente:

- No viable = 0
- Muy Viable = 5

$H_B(m)$ $Q(m^3/s)$	Bajo 0 – 25	Medio 25-50	Alto 50-100	Muy Alto Más de 100m.
Bajo (0 – 0,1)	0	0	1	2
Medio (0,1 – 0,3)	1	2	3	4
Alto. Más de 0,3	2	2	4	5

Para que una instalación de agua potable sea objeto de estudio para la implantación de microturbinas, sea tanto en redes de abastecimiento urbano, como de abastecimiento a depósito deberá estar como mínimo dentro de los rangos que marca el nivel 3 de viabilidad.

El nivel de viabilidad para el ejemplo concreto del depósito de Vidreres que se ha estudiado en este proyecto es **nivel 4**.

## 9.- Viabilidad económica.

Para llevar a cabo el estudio de viabilidad económica se respetarán los siguientes pasos:

- Determinar las horas de funcionamiento y la producción de energía.
- Comparar la inversión a realizar con los beneficios que se obtendrían gracias a la generación de energía.
- Determinar los índices económicos más significativos (Pay-Back, IE, IP). El VAN y el TIR se utilizarían si se necesita perfilar más los conceptos de retorno e inversión, incluyendo intereses y el cambio del valor del dinero. Pero en este proyecto con los índices indicados es suficiente.

El proyecto se considerará rentable si:

- Periodo de retorno simple (PR) no supera los 12 años.
- Índice de energía (IE): 40 – 70c€/kWh.
- Índice de potencia (IP): 1500 – 2000 €/kW.

### 9.1.- Ingresos previstos anuales.

Para prever los ingresos brutos anuales se utilizan los siguientes datos:

- Precio venta del kWh hidroeléctrica = 8,25 c€/kWh.
- Horas estimadas de funcionamiento = 4380 horas.

A partir de la potencia del generador (88,5 kW) y de las horas de funcionamiento se calcula la energía anual producida:

$$\text{Energía producida} = (\text{Potencia}) \times (\text{Horas de funcionamiento})$$

- Generación anual de energía = 387,63 MWh.

Sabiendo la generación anual de energía y el precio de venta de esta energía se estiman unos ingresos anuales de **31.980€**

$$\text{Ingresos} = (\text{Energía anual generada}) \times (\text{Precio energía})$$

$$\text{Ingreso} = (387630 \text{ kW}) \times (0,0825\text{€/kW}) = \mathbf{31979,48\text{€}}$$

## 9.2.- Calculo de la inversión y gastos de explotación.

Los gastos de inversión se producirán únicamente en el momento de la compra de los equipos y de la construcción de la instalación. En concepto de:

- Equipo electromecánico: Turbina, generador, equipos auxiliares, sistema de control, cables...
- Obra civil.
- Elementos de maniobra hidráulicos: válvulas de mariposa, filtro, calderería (tubos, codos...).
- Instalación eléctrica: Elementos de potencia y de control (C.T., sistemas de tarificación...), conexión a red, etc.

Resumen presupuesto general de implantación de la instalación (llaves en mano).

Concepto	Importe (€)
Turbina	123500
Válvulas de mariposa y paramenta varia	2310
Sistema de control	7900
Generador asíncrono	12300
Tubería forzada	10000
Tornillería	800
Transporte	850
Sistema eléctrico	12000
Ingeniería	5000
Montaje	15000
Puesta en Servicio	2000
Obra Civil	7500
Conexión a red y elementos de medida (contadores)	4500
<b>TOTAL</b>	<b>203.660,00 €</b>
IVA 21%	42.768,60 €
<b>TOTAL IVA INCLUIDO</b>	<b>246.428,60 €</b>

Los gastos de explotación se prevén mínimos, al ser un punto de microgeneración puede estar conectada a red constantemente independientemente de la demanda de energía. Por tanto los gastos de explotación se resumen únicamente al mantenimiento necesario de la instalación para comprobar su correcto funcionamiento y las paradas técnicas necesarias para el mantenimiento preventivo o correctivo. El precio de dicho mantenimiento se estima en unos 6000€ anuales.

### 9.3.- Pay-Back o periodo de retorno.

El Pay-Back o periodo de retorno, es el tiempo que se tarda en recuperar la inversión.

$$\text{Payback} = \frac{\text{inversión(€)}}{(\text{ingresos} - \text{gastos})\text{anuales (€/año)}}$$

$$\text{Payback} = \frac{246428,6(€)}{(31980 - 6000)\text{anuales (€/año)}} = 9,5$$

El tiempo para recuperar la inversión es de unos **9 años y 6 meses**.

### 9.4.- Índice de Energía (IE).

Índice de Energía (IE), es la relación entre la inversión y la energía anual producida.

$$IE = \frac{\text{inversión( €)}}{\text{energía anual producida (kWh/año)}}$$

$$IE = \frac{246428,6(€)}{387630(\text{kWh/año})} = 0,6357€$$

El índice de energía son **63,5 c€**. Estando dentro de la viabilidad.

### 9.5.- Índice de Potencia (IP).

Índice de Potencia (IP), es la relación entre la inversión y la potencia instalada.

$$IP = \frac{\text{inversión(€)}}{\text{Potencia instalada(kW)}}$$

$$IP = \frac{246428,6(€)}{88,5(\text{kW})} = 2784,5$$

El Índice de Potencia es **2785**. Supera los límites establecidos para la viabilidad, pero puesto que los otros 2 parámetros están dentro de los márgenes se considera que el proyecto es viable.

## 10.- Implantación a gran escala.

A partir del plano de la provincia de Barcelona del Anexo 1, donde están marcados los depósitos existentes, se desprende que hay más de 50 depósitos de ATLL, y más de 50 depósitos municipales. Y aunque no se ha podido obtener información en detalle de todos ellos se puede hacer una estimación en función del consumo.

Según la Agencia Catalana de l'Aigua (ACA), el consumo medio de agua por habitante, según las regiones, es el que se muestra en la siguiente tabla.

Región	Consumo de agua por habitante al día leído en contadores. (en litros)
España	148 l/hab/día.
Cataluña	130 l/hab/día.
Área metropolitana de Barcelona	110 l/hab/día.

Tomando los datos del área metropolitana de Barcelona y teniendo en cuenta que hay unos 5 millones de habitantes en la provincia de Barcelona, se obtienen los siguientes datos:

- Consumo de agua diario en la Provincia de Barcelona:  
5.000.000 hab. x 110 l/hab/día. = **550.000 m<sup>3</sup>/día.**

Se estima que la mitad provienen de depósitos y el resto va directo a suministro desde las diferentes ETAP, incluida la ETAP de la Trinidad de Barcelona, la cual se lleva gran parte del consumo. Por tanto quedan unos 275.000m<sup>3</sup> de agua en depósitos que podrían ser objetos de estudio.

Puesto que se estiman unos 100 depósitos, en caso que cada uno se vaciara cada día el volumen medio de los depósitos sería de unos 2750m<sup>3</sup> cada depósito. Está claro que habrá depósitos más grandes, de hasta 3000m<sup>3</sup> o más, y de más pequeños, incluso de 500m<sup>3</sup>. Pero con los datos que tenemos, estas suposiciones pueden ser totalmente factibles.

A falta de estudiar cada depósito en concreto para saber si tiene las características (altura neta y caudal) necesarias para aprovecharlo para generar energía, se supone que la mitad de ellos son viables. Por tanto tenemos 50 depósitos de unos 2750m<sup>3</sup> que se vacían y llenan cada día.

Si los equiparamos a la potencia y generación del depósito calculado en el proyecto se obtiene que:

- Potencia instalada = 88KW x 50 = 4400KW = **4,4MW.**
- Generación anual= 4,4MW x 4380 horas = 19272MWh = **19,27GWh anual.**

Es una potencia significativa, teniendo en cuenta que solo se ha calculado aprovechando 50 depósitos existentes de agua potable.

No es equiparable a una central de Ciclo Combinado en su configuración típica de 2 x 400MW, pero en cambio ya es más de lo que se genera mediante energía solar.

## 11.- Conclusiones.

Los resultados obtenidos en este proyecto son aproximados. Debido a la negativa por parte de las compañías de agua ha proporcionar información se han tenido que realizar más aproximaciones de las que en un inicio se pretendía.

Inicialmente se pretendía la sustitución directa de las válvulas reductoras de presión por generadores, pero a falta de información de las válvulas reductoras se ha realizado el estudio partiendo del salto bruto disponible, indistintamente si en la tubería existe una válvula reductora o no. En caso que haya válvula reductora, se implanta una turbina en paralelo, y en caso de no haber, se incorpora una turbina directamente (con un by-pass de previsión en caso de avería o mantenimientos).

Tampoco se ha podido calcular la caída de presión exacta debido a la falta de información del trazado y elementos que compone la tubería. Así que se ha tomado como salto neto el 65% del salto bruto disponible.

Teniendo en cuenta las mismas premisas que para el ejemplo del proyecto se presuponen que habría unas 50 instalaciones viables en la provincia de Barcelona, y la suma de todas ellas supondrían una generación anual de casi 20GWh, aunque un estudio más exhaustivo abriría un abanico aún de más instalaciones.

Finalmente se concluye que es viable el aprovechamiento de los saltos disponibles en las tuberías de agua potable para la generación de energía. Aunque existen complicaciones a tener en cuenta, tanto técnicas como políticas.

- Complicaciones técnicas, como por ejemplo la red de abastecimiento de agua es una red mallada, donde en determinados momentos el agua puede circular en un sentido o en otro.
- Complicaciones políticas, ya que las tuberías son de las compañías suministradoras, bien sea por miedo o para ahorrarse posibles problemas en muchos casos no están dispuestos a colaborar.

## **12.- Anexos.**



## ANEXO 1



## ANEXO 2



ETAP del Llobregat  
Situació: Abrera  
Z=110m.

E.D. Fontsa  
Situació: Sant Joan D'espí  
Z=70m.  
2 Dipòsits de 116.000m<sup>3</sup>

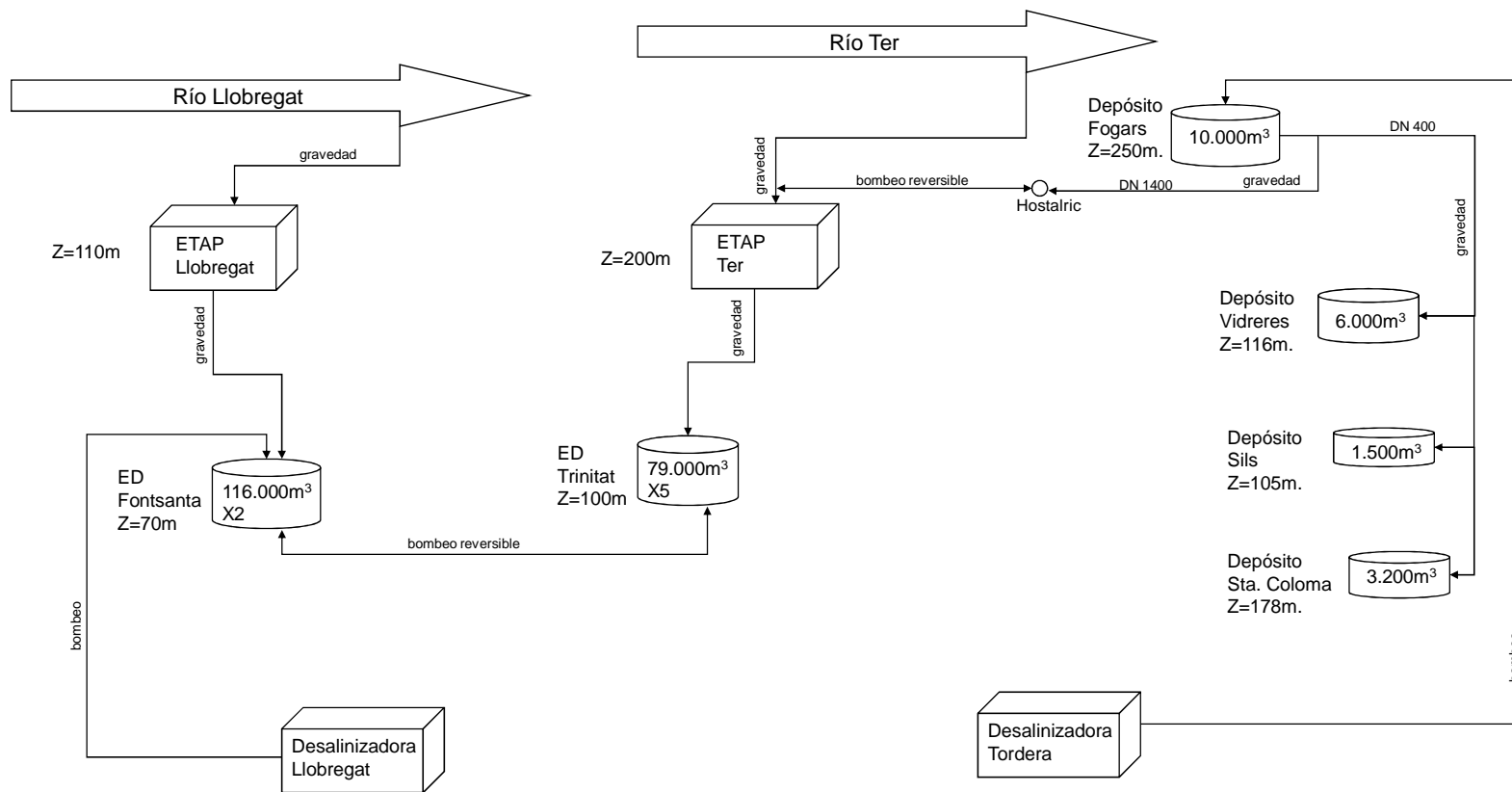
E.D. Trinitat  
Situació: La Trinitat (Barcelona)  
Z=100m.  
5 dipòsits de 79.000m<sup>3</sup>

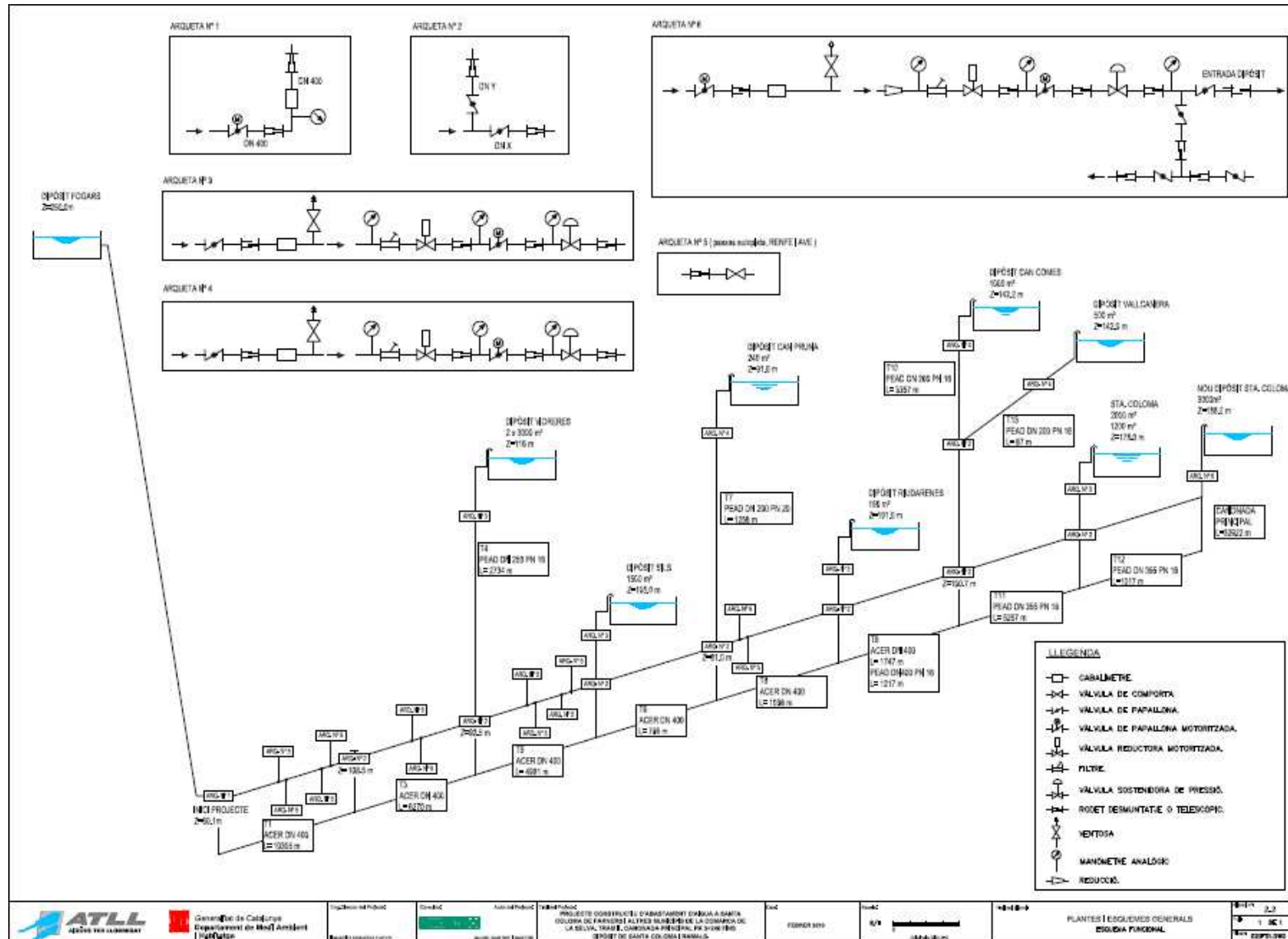
ETAP del TER  
Situació: Cardedu, Llinars del Valles, La Roca.  
Z=200m.

Dipòsit Fogars  
Situació: Fogars de la Selva.  
Z=250m.  
Dipòsit 10.000m<sup>3</sup>.

Desalinitzadora Llobregat.  
Situació: Desembocadura del Llobregat.

Desalinitzadora Tordera  
Situació: Desembocadura de la Tordera.





## ANEXO 3

### Características técnicas

Capacidad de tratamiento	4 m <sup>3</sup> /s
<b>Captación</b>	
Longitud azud	100 m
Ancho de paso rejas desbaste	30 mm
Longitud desarenadores	30 mm
<b>Decantación</b>	
Número de decantadores	8 unidades
Tipo	Accelerator
Diámetro	28 m
Caudal nominal	0,5 m <sup>3</sup>
<b>Filtración</b>	
<b>Filtros de arena</b>	
Número de filtros	12 unidades
Superficie unitaria	137 m <sup>2</sup>
Espesor capa de arena	70 cm
Caudal nominal	3 m <sup>3</sup> /s
<b>Filtros de carbón</b>	
Número de filtros	15 unidades
Superficie unitaria	100 m <sup>2</sup>
Espesor capa de carbón	1,5 m
Volumen del lecho de carbón	150 m <sup>3</sup>
Volumen total de carbón	2.250 m <sup>3</sup>
Caudal nominal	3 m <sup>3</sup> /s
Tiempo de contacto superior a	7 minutos
<b>Electrodialisis reversible</b>	
<b>EDR</b>	
Caudal de tratamiento de la EDR	2,4 m <sup>3</sup> /s
Rendimiento de recuperación de caudales	85-90%
Rendimiento de eliminación de sales (conductividad)	60-80%
Volumen medio de sales eliminadas por el proceso EDR	154 Tn/dia
<b>Almacenaje de agua tratada</b>	
Número de depósitos	4
Capacidad total	263.000 m <sup>3</sup>

## ANEXO 4

# Características técnicas

### Capacidad de tratamiento

Capacidad de tratamiento de la ETAP	8 m <sup>3</sup> /s
Longitud galería (entre el Pasteral y la ETAP)	56 km
Diámetro	3 m (sección equivalente)
Longitud conducción (entre la ETAP y la estación distribuidora de la Trinitat)	22,4 km
Diámetro	3 m

### Decantación

Número de decantadores	8 unidades
Tipos	Pulsator
Dimensiones de cada decantador	36,75 x 36,50 m
Superficie total	10.731 m <sup>2</sup>
Altura agua	5 metros
Volumen total del agua	53.655 m <sup>3</sup>
Tiempo medio de retención	111 minutos
Velocidad ascensional	2,68 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hora

### Filtración

Número de filtros	48 unidades
Dimensiones de cada filtro	14,95 x 7,6 m
Espesor capa de carbón activo	0,80 m
Superficie filtrante unitaria	4.449 m <sup>2</sup>
Velocidad de filtración	7,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hora
Capacidad máxima de filtración	9,27 m <sup>3</sup>

### Almacenaje

Número de depósitos	4
Capacidad total	617.000 m <sup>3</sup>

## ANEXO 5

### Características técnicas

Estación Distribuidora Trinidad. <http://www.atll.cat/es/page.asp?id=85>

Caudal de distribución	6,5 m <sup>3</sup> /s
Capacidad máxima de distribución	11 m <sup>3</sup> /s

#### Depósitos

Cota 70/1	21.000 m <sup>3</sup>
Cota 70/2	15.000 m <sup>3</sup>
Cota 100/1	17.000 m <sup>3</sup>
Cota 100/2	20.000 m <sup>3</sup>
Cota 200	6.500 m <sup>3</sup>

#### Central superior

Salto limpio	42 m
Turbinas	2 de 492 CV
Alternadores	2 de 718 kVA

#### Central inferior

Salto limpio	72 m
Turbinas	2 de 825 CV
Alternadores	2 de 718 kVA

#### Impulsión

Impulsión	3 grupos motobomba de 350 CV
-----------	------------------------------

#### Transformación

Transformación 25 / 6kV	3.500 kW
-------------------------	----------

## ANEXO 6

### Direcciones y teléfonos centros ATLL

- Oficinas Centrales Font Santa  
Sant Martí de l'Erm, 30  
08970 Sant Joan Despí  
Teléfono: 93 602 96 00  
Fax: 93 373 23 22  
[registre@atll.cat](mailto:registre@atll.cat)
- ETAP Llobregat. Estación de tratamiento de aguas potables del Llobregat  
Ctra. Martorell a Olesa, km. 4.6  
08630 Abrera  
Teléfono: 93 770 26 61  
Fax: 93 770 29 51  
[registre@atll.cat](mailto:registre@atll.cat)
- ETAP Ter. Estación de tratamiento de aguas potables del Ter  
Afores s/n  
08440 Cardedeu  
Teléfono: 93 846 18 26  
Fax: 93 846 17 76  
[registre@atll.cat](mailto:registre@atll.cat)
- Estación Distribuidora Trinitat  
Prolongació c/Tamariu, s/n.  
08033 Barcelona  
Teléfono: 93 359 80 66  
Fax: 93 359 80 66  
[registre@atll.net](mailto:registre@atll.net)
- Desalinizadora de la cuenca del Llobregat  
Av. de l'Estany de Port, 4  
08820 El Prat de Llobregat  
Teléfono: 93 370 74 26  
Fax: 93 478 85 08  
[registre@atll.cat](mailto:registre@atll.cat)



ANEXO 7

TIPO FILTRAM H

**Descripción**

Este filtro es una protección eficaz e imprescindible para válvulas automáticas instaladas en conducciones de agua. El colador intercepta cualquier sólido que circula por la conducción, impidiendo que llegue a la válvula en funcionamiento.

**Diámetros:** Desde 50 mm hasta 1000 mm

**Localización:** En la tubería antes de la válvula

**Conexiones:** Bridas PN 16 y PN 25



**Componentes:**

- **Cuerpo y tapa:** Acero mecano-soldado.
- **Cesta:** Camisa de chapa de acero inoxidable AISI 304 de al menos 1,5mm de espesor, con luz de orificios de 5mm. Según los diámetros y presiones, puede venir reforzada con listones laterales y en cruz para mayor resistencia estructural y facilidad de extracción.
- **Junta:** NBR
- **Orificio de purga de finos con válvula de bola de 1" en la tapa inferior:** para limpieza de las pequeñas partículas acumuladas en el fondo del filtro. (ver fig. 1)
- **Orificio en tapa superior:** con purgador automático de aire en presión. (ver fig.2)
- **Toma de presión en la entrada y en la salida:** Un aumento de la presión diferencial entre la entrada y la salida medida en los manómetros es un indicativo de la necesidad de limpieza del filtro. No se recomienda que la presión diferencial entre la entrada y la salida supere 10 m.c.a. (ver fig.3)
- **Pintura:** Granallado grado Sa2 1/2  
 Interior: pintura Epoxi alimentaria color rojo inglés espesor mínimo de 200 micras.  
 Exterior: Epoxi azul RAL 5015 con espesor mínimo 200 micras



Fig.3 Toma de Manómetros

DIAM mm	CLASE	A	B	C
50	PN 10	300	450	165
	PN 16			165
80	PN 10	330	475	200
	PN 16			200
100	PN 10	350	525	220
	PN 16			220
125	PN 10	375	525	250
	PN 16			250
150	PN 10	400	575	285
	PN 16			285
200	PN 10	470	625	340
	PN 16			340
250	PN 10	520	650	395
	PN 16			405
300	PN 10	572	700	445
	PN 16			460
350	PN 10	600	760	505
	PN 16			520
400	PN 10	650	800	565
	PN 16			580
450	PN 10	700	800	615
	PN 16			640
500	PN 10	750	900	670
	PN 16			715
600	PN 10	900	1000	780
	PN 16			840
700	PN 10	950	1100	895
	PN 16			910
800	PN 10	1050	1200	1015
	PN 16			1025
900	PN 10	1150	1300	1115
	PN 16			1125
1000	PN 10	1250	1450	1230
	PN 16			1255

**Opciones y dimensiones:**

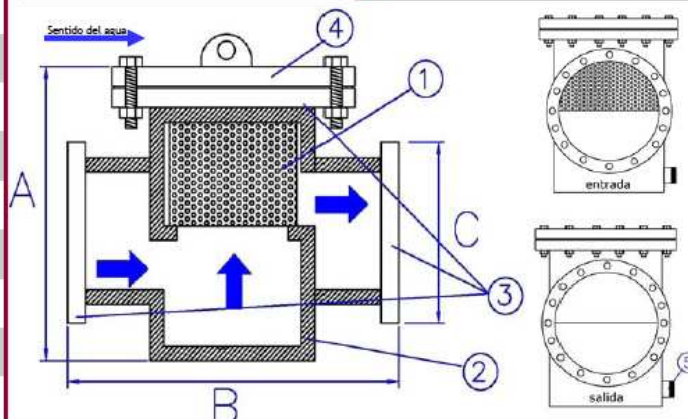
- **Diseños a medida:** longitudes especiales, timbrajes superiores, etc.
- **Purgador:** Multiplex Modelo AR 1"
- **Manómetros:** toma de presiones en la entrada y salida.
- **Pruebas:** Radiografía de soldadura, prueba de líquidos penetrantes, prueba hidrostática en fábrica.



Fig.4 Vista interior de la cesta inoxidable con orificio de luz de 5 mm

Muchas instalaciones avalan la calidad de este modelo. Las mejoras que hemos introducido en el mismo son fruto de nuestra experiencia.

- 1 Malla acero inoxidable perforada
- 2 Cuerpo filtro
- 3 Bridas acero al carbono
- 4 Brida ciega acero al carbono
- 5 Tapón de vaciado



Hoja de calculo en Excel. Resultados a partir de los datos de altura y caudal disponible

### VIDRERES

Manning	Datos
Factor 1/n	100
Diametro Nominal tubería	0,25 m.
Radio tubería	0,125 m.
Perdidas por Rozamiento (J)	0,025

Calculado	
Radio hidraulico	0,0625 m.
Velocidad	2,4901 m3/s.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

Caudal (Q)	
A	0,04908739 m.

Calculado	
Caudal	0,1222 m3/s.
Litros	122,23 l/s.

$$Q = V \cdot A$$

Potencia Electrica (P)	
Altura (H)	134 m.
rendimiento	0,85
gravedad (g)	9,81 m/s2.
densidad (ρ)	1000 kg/m3.

Calculado	
Potencia (P)	136580 W
Potencia (P)	136,58 kW

$$P = \eta \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \rho$$

Numero especifico de revoluciones (ns)	
velocidad de sincronismo (n)	1000

Calculado	
ns	25,634

$$n_s = n \cdot P_u^{\frac{1}{2}} \cdot H_n^{-\frac{5}{4}}$$

Hoja de calculo en Excel. Resultados a partir de los datos de altura y caudal disponible

### SILS

#### Manning

Datos	
Factor 1/n	100
Diametro Nominal tubería	0,2 m. *comprovar
Radio tubería	0,1 m.
Perdidas por Rozamiento (J)	0,025

#### Calculado

Radio hidraulico	0,05 m.
Velocidad	2,1459 m3/s.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

#### Caudal (Q)

A	0,03141593 m.
---	---------------

#### Calculado

Caudal	0,0674 m3/s.
Litros	67,417 l/s.

$$Q = V \cdot A$$

#### Potencia Electrica (P)

Altura (H)	145 m.
rendimiento	0,85
gravedad (g)	9,81 m/s2.
densidad (ρ)	1000 kg/m3.

#### Calculado

Potencia (P)	81512 W
Potencia (P)	81,512 kW

$$P = \eta \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \rho$$

#### Numero especifico de revoluciones (ns)

velocidad de sincronismo (n)	1000
------------------------------	------

#### Calculado

ns	17,943
----	--------

$$n_s = n \cdot P_u^{1/2} \cdot H_n^{-5/4}$$

Hoja de calculo en Excel. Resultados a partir de los datos de altura y caudal disponible

### ST. COLOMA

#### Manning

Datos	
1/n	100
Diametro Nominal tubería	0,2 m. *comprovar
Radio tubería	0,1 m.
J	0,025

#### Calculado

Radio hidraulico	0,05 m.
Velocidad	2,1459 m3/s.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

#### Caudal (Q)

A	0,03141593 m.
---	---------------

#### Calculado

Caudal	0,0674 m3/s.
Litros	67,417 l/s.

$$Q = V \cdot A$$

#### Potencia Electrica (P)

Altura (H)	72 m.
rendimiento	0,85
gravedad (g)	9,81 m/s2.
densidad (ρ)	1000 kg/m3.

#### Calculado

Potencia (P)	40475 W
Potencia (P)	40,475 kW

$$P = \eta \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \rho$$

#### Numero especifico de revoluciones (ns)

velocidad de sincronismo (n)	1000
------------------------------	------

#### Calculado

ns	30,334
----	--------

$$n_s = n \cdot P_u^{\frac{1}{2}} \cdot H_n^{\frac{5}{4}}$$

## 12.- Bibliografía.

- Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica General. Editorial Limusa. 1974.
- Caludio Mataix. Mecánica de fluidos y máquinas. Oxford University Press. 2004.
- Santos Sabrás, F. Machimbarrena Minchero L.A. Flujo en conductos cerrados y abiertos. Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Navarra. San Sebastián. 1980.
- Franzini J B. Finnemore E.J. Mecánica de fluidos con aplicaciones en Ingeniería. Mc Graw-Hill. 2000.
- Engel y Cimbala. Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones. Mc Graw-Hill. 2006.
- Sánchez, F. J. Formula de Manning. Universidad de Salamanca. 2011. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es>
- Aguas Del Ter y Llobregat (ATLL). Disponible en: <http://www.atll.cat>
- Agencia Catalana de L'Aigua. Disponible en: <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/>
- Aguas de Barcelona (Agbar). Disponible en: <http://www.agbar.es> y <http://www.aiguesdebarcelona.cat>
- Compañía de aguas Sorea. Disponible en: <http://www.sorea.es/CAT/home.asp>
- Empresa de gestión técnica y comercial en hidráulica. ATChidráulica,S.L. disponible en: <http://www.atchidraulica.es>
- Fabricante de válvulas hidráulicas Valvulas Ross. Disponible en: <http://www.valvulasross.es/>
- Minihidráulica de la Trinitat en Barcelona. Disponible en: <http://www.barcelonaenergia.cat/cas/actualidad/buenapract/bp0405.htm>
- Distribuidor de Turbina hidráulicas para microcentrales hidroeléctricas. Disponible en: <http://www.turbinas3hc.com/turbinas.html>
- Lina María Álvarez Santamaría. Selección de turbinas. Octubre 2002. Disponible en: [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/selected\\_turbinas/fondos/](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/selected_turbinas/fondos/)
- Hacker. Empresa de generación de energía y fabricación de turbinas hidráulicas. Disponible en: [http://www.hacker.ind.br/esp/producao\\_turbinas\\_hidraulicas.php](http://www.hacker.ind.br/esp/producao_turbinas_hidraulicas.php)
- Miniturbinas hidráulicas con generador. Disponible en: <http://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/mini-turbina-hidraulica-con-generador>

- Luis Muñoz Mato. Física e ingeniería. Disponible en:  
<http://www.fisicaeingenieria.es>
- Jabier Almandoz Berrondo, M<sup>a</sup> Belen Mongelos Oquiñena, Idoia Pallejero Salaberria. Fluidomecánica. Departamento ingeniería nuclear y mecánica de fluidos. Ingeniería Mecánica. Universidad Politecnica Donostia-Sant Sebastian.
- Miquel Villarrubia. Energia minihidráulica. Departamento de electrónica. Master en Energia. Universidad de Barcelona. 2007.
- Jose A. Carta, Roque Calero, Antonio Colmenar y Manuel A. Castro. Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables. Editorial Pearson. 2009.
- Manual de mini y microcentrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos  
Autor: Federico Coz  
Soluciones Prácticas-ITDG  
<http://www.itdg.org.pe/publicaciones/pdf/manualdeminiymicrocentraleshidraulicas.pdf>
- Picoturbinas Pelton  
Autor: Programa de Energía, infraestructura y servicios básicos.  
ENISER  
Soluciones Prácticas-ITDG  
<http://www.itdg.org.pe/td/pdf/picoturbinaspelton.pdf>
- Miniturbinas Pelton  
Autor: Programa de Energía, infraestructura y servicios básicos.  
ENISER  
Soluciones Prácticas-ITDG  
<http://www.itdg.org.pe/td/pdf/miniturbinaspelton.pdf>
- Microturbinas Pelton  
Autor: Programa de Energía, infraestructura y servicios básicos.  
ENISER  
Soluciones Prácticas-ITDG  
<http://www.itdg.org.pe/td/pdf/microturbinaspelton.pdf>

## Màster Interuniversitari UB-UPC d'Enginyeria en Energia

### Acta d'Avaluació de Projecte

Curs:  
Codi UPC: **33563**

Data defensa:

Qualificació:

---

Alumne: Víctor Sanz Noguera

DNI: 53033553-S

Títol: MICROTURBINAS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN REDES DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE CATALUÑA.

Director:

Director:

Ponent:

---

### Tribunal

President:

Vocals:

Suplents:

---

Observacions

### Signatura

Convocatòria Ordinària,	Convocatòria Extraordinària,
Cognoms, nom (President)	Cognoms, nom (President)
Cognoms, nom (Vocal)	Cognoms, nom (Vocal)
Cognoms, nom (Vocal)	Cognoms, nom (Vocal)