

# **ESTUDIO ANALÍTICO Y EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CHIMENEA DE EQUILIBRIO PARA FLUJO DE AGUA EN ESTADOS TRANSITORIOS.**

**Lara Sánchez Rueda<sup>[\*]</sup>, Eduardo Álvarez Álvarez, Antonio José Gutiérrez  
Trashorras<sup>[\*\*]</sup>**

**[\*] Alumno; [\*\*] Tutor(es)**

[uo225828@uniovi.es](mailto:uo225828@uniovi.es)

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

## **RESUMEN**

Una solución habitualmente empleada en centrales hidroeléctricas para mejorar el aprovechamiento de salto disponible consiste en diseñar un sistema de conducción del agua desde la toma del embalse a las turbinas mediante un túnel prácticamente horizontal y una tubería forzada de gran pendiente. Estas centrales son habitualmente conocidas como presas con embalse y conducciones a presión.

Durante su funcionamiento la masa de agua en movimiento se ve sometida a distintas aceleraciones y deceleraciones debido a las variaciones en la carga por la operación de los órganos de control del caudal turbinado, generando unas oscilaciones de masa y presión (conocidas como “golpe de ariete”).

Estas oscilaciones pueden dificultar la regulación de la central o incluso producir la rotura por aplastamiento de la tubería (causado por las grandes disminuciones de presión). Por ello es muy importante contar con un dispositivo de alivio que amortigüe dichas variaciones de presión y masa. Este equipo se denomina chimenea de equilibrio y se instala generalmente en la transición entre la galería y la tubería forzada.

En este trabajo se diseña un algoritmo que permite estudiar con un reducido coste computacional de qué manera una chimenea de equilibrio amortigua las

oscilaciones de masa para unas características concretas de instalación. Podrá por tanto ser utilizado para evaluar el funcionamiento de chimeneas ya instaladas, como para proporcionar información preliminar para el diseño de nuevas instalaciones.

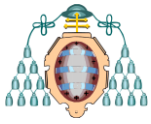
Las ecuaciones que maneja el algoritmo se han ajustado con datos de la central hidráulica de Tanes, lo cual ha permitido evaluar distintas situaciones de parada de la central.

## **ABSTRACT**

One solution that is commonly used in hydroelectric power plants to improve the available head consists of designing a piped water system from the reservoir intake to the turbines by means of a practically horizontal tunnel and a steeply sloping penstock. These power plants are usually known as dams with a reservoir and pressure piping.

While it is working, the mass of moving water is subjected to different accelerations and decelerations due to variations in the load because of the operation of the turbine flow control organs, generating oscillations both in mass and pressure (known as “water hammer”).

These oscillations may hinder the regulation of the power plant or even crush the piping (caused by the



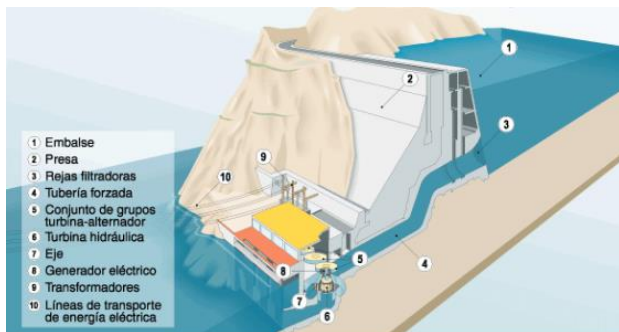
great drops in pressure). Therefore, it is very important to have a pressure relief device to buffer these variations in pressure and mass. This equipment is called a surge tank and is usually installed in the transition between the horizontal piping and the penstock.

In this work, an algorithm is designed which enables us to study with a reduced computing cost how a surge tank buffers the mass oscillations for specific installation features. It will therefore be able to be used to assess the working of surge tanks that have already been installed and to provide preliminary information for the design of new installations.

The equations dealt with by the algorithm have been adjusted with data from the Tanes hydroelectric power station, which has enabled different stop situations at the power station to be assessed.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de una central hidroeléctrica es la transformación de la energía tanto cinética como potencial de una masa de agua en energía eléctrica.

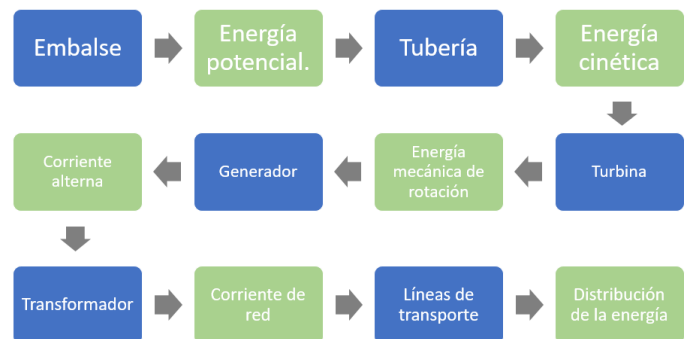


**Figura 1. Central hidroeléctrica.[1]**

Todos los elementos que intervienen desde la captación del agua hasta su devolución al cauce, así como en la transformación energética, forman parte de la central hidroeléctrica. El funcionamiento de una central con embalse y conducciones a presión consiste en una presa situada en el lecho de un río que acumula artificialmente un volumen de agua para formar un embalse, esto permite que el agua adquiera una energía potencial (masa a una cierta altura). Aguas arriba de la presa se encuentra una toma de agua con una rejilla

metálica de filtraje que cuenta con una válvula que permite controlar la entrada del agua en la galería de presión, posteriormente una tubería forzada conduce finalmente el agua hasta las turbinas (o grupos) situadas en la sala de máquinas de la central. A la entrada de cada grupo de la central se instala una válvula de regulación de caudal para variar la potencia producida por los mismos.

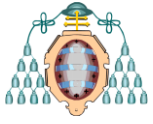
Entre la galería y la tubería forzada se coloca habitualmente una chimenea de equilibrio en función de la distancia entre el embalse y la central. El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética. Al llegar a la sala de máquinas actúa sobre los álabes de la turbina hidráulica transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación. El eje de la turbina está unido al del generador eléctrico que, al girar, convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión y alta intensidad. Una vez que ha cedido su energía, el agua es restituida al río, corriente abajo de la central, a través del canal de desagüe. (Fig. 2) [2]



**Figura 2. Diagrama de funcionamiento de una central hidroeléctrica.**

La colocación de una chimenea de equilibrio entre la tubería horizontal y la tubería forzada permite:

- Amortiguar las oscilaciones de masa de agua provocadas por las variaciones de carga, y consecuentemente de caudal turbinado, de la central. Los casos críticos son los cierres rápidos de las válvulas de regulación de caudal a los grupos que coinciden con paradas bruscas de toda la central. Asimismo, las chimeneas dada su ubicación cercana a la central, proporcionan durante los aumentos de carga, y sobre todo durante los primeros instantes de un arranque



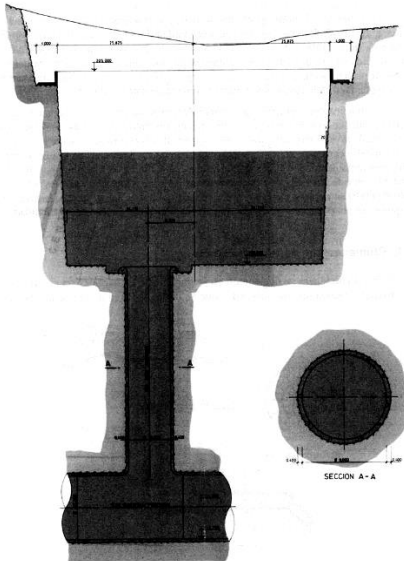
global de todos los grupos de la central, el caudal necesario para su operación.

- Evitar la rotura de las tuberías por el golpe de ariete que se genera por un cierre rápido de la válvula de regulación de caudal de la central.

En función de su geometría y características existen diversos tipos de chimeneas de equilibrio[3].

- Chimenea simple.

Este tipo de chimenea no presenta dispositivos especiales. Se trata por tanto de la chimenea más simple y de menor coste. Se utiliza cuando las dimensiones principales vienen determinadas por razones de estabilidad (Fig. 3).



**Figura 3. Tipo de chimenea utilizada para el estudio[4].**

La chimenea que se analizará en este informe es la de la central hidroeléctrica de Tanes, que cuenta con una de este tipo.

- Chimenea con cámaras.

Se trata de una chimenea la cual cuenta con un tanque con aire presurizado en la parte superior. El efecto acelerador o desacelerador provocado por la oscilación en la chimenea es proporcional al desnivel creado, por tanto, la eficiencia aumenta al crecer la diferencia de nivel.

Aunque tienen un coste elevado son interesantes para saltos grandes y caudales instalados pequeños [5].

- Chimenea con estrangulamiento.

Este tipo de chimeneas disponen de un estrangulamiento en la conexión con la galería a presión, lo que origina una elevada pérdida de carga localizada. Son apropiadas en saltos reducidos y caudales altos donde por motivos de estabilidad la sección de la chimenea debe ser grande [6].

- Chimenea diferencial.

Consta de dos tubos concéntricos; el central de sección no muy grande está abierto al conducto mientras que el exterior de gran sección se comunica mediante un orificio con el conducto.

Su principal ventaja frente a la chimenea simple es un menor tiempo de respuesta a régimen debido a la pequeña sección del tubo central junto con la posibilidad de atender a grandes demandas de flujo que son suministradas por el tubo exterior [7].

- Depósito presurizado.

Se trata de una cámara de aire comprimido que se utiliza cuando por problemas geográficos, técnicos o económicos no se puede llevar a cabo la construcción de una chimenea convencional.

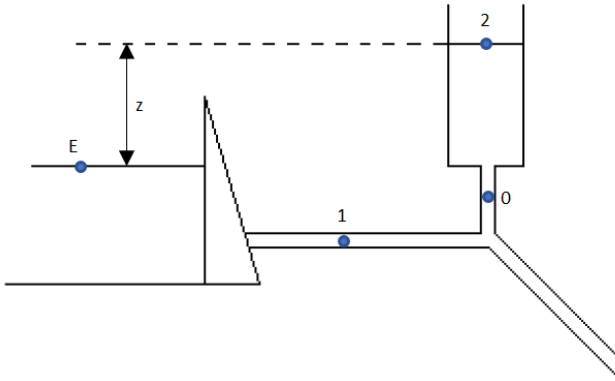
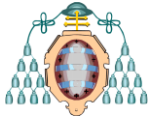
Este trabajo se centra en el desarrollo de un algoritmo de reducido coste computacional que permite el estudio analítico del comportamiento de las oscilaciones de masa que tienen lugar en una central hidroeléctrica ante una variación de agua turbinada en una chimenea de equilibrio tipo simple.

## **2. ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE OSCILACIONES DE MASA.**

Para el estudio de las oscilaciones de masa se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis [8]:

- Columna rígida de agua: el flujo es incompresible.
- Conducción indeformable: las paredes del conducto se consideran rígidas e indeformables.

Además, se utilizará la ecuación de Bernoulli en régimen no estacionario entre los puntos de la superficie del agua del embalse y de la chimenea (E, 2) (Fig. 4) [9]:



**Figura 4. Esquema del sistema de tuberías, embalse y chimenea.**

$$\frac{P_E}{\rho g} + \frac{v_E^2}{2g} + z_E = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \Delta J + \frac{1}{g} \int_0^L \frac{\partial w}{\partial t} dl \quad (1)$$

Donde  $P_E$  y  $P_2$ ,  $v_E$  y  $v_2$  y  $z_E$  y  $z_2$  son las presiones relativas, velocidades y cotas en la superficie del embalse y de la chimenea respectivamente;  $\Delta J$  son las pérdidas de carga y  $\frac{1}{g} \int_0^L \frac{\partial w}{\partial t} dl$  es el término temporal de la ecuación, donde  $g$  es la gravedad;  $w$  la velocidad en la galería;  $t$  el tiempo y  $L$  la longitud de la galería.

Puesto que los puntos están tomados en las superficies:

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} = 0 \quad (2)$$

Además, los términos de energía cinética pueden considerarse despreciables

$$\frac{v_E^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \cong 0 \quad (3)$$

La diferencia de cotas entre los dos puntos será  $z$ .

$$z_2 - z_E = z \quad (4)$$

Las pérdidas totales son la suma de todas las pérdidas que se producen:

$$\Delta J = h_f + h_0 + h_t = cw^2 + kv_0^2 + tw^2 \quad (5)$$

Donde  $h_f$ ,  $h_0$  y  $h_t$  son las pérdidas por fricción en la galería, de llenado y en el giro del flujo de  $90^\circ$  y embocamiento en una conducción de diámetro inferior para entrar en la chimenea desde la galería respectivamente. Y, por tanto,  $c$ ,  $k$  y  $t$  son los coeficientes relacionados con cada una de estas pérdidas. De la misma manera  $w$  y  $v_0$  es la velocidad en la galería y en el conducto de conexión respectivamente.

El coeficiente  $c$  se obtiene como [10]:

$$c = \frac{f \times L}{2 \times \phi_G \times g} \quad (6)$$

Dónde  $f$  es el factor de fricción de Darcy-Weisbach y  $\phi_G$  el diámetro de la galería.

Si se considera que  $w$  es constante a lo largo del túnel (sección constante) el término integral se puede resolver.

$$\int_0^L \frac{\partial w}{\partial t} dl = \frac{dw}{dt} L \quad (7)$$

Utilizando la ecuación de la continuidad entre la chimenea y el tubo de conexión (2, 0):

$$A_0 \times v_0 = A_2 \times v_2 \rightarrow v_0 = \frac{A_2}{A_0} \times v_2 = \frac{A_2}{A_0} \times \frac{dz}{dt} \quad (8)$$

Sustituyendo los términos de las ecuaciones (2), (3), (4), (5), (6), (7) y (8) en la ecuación (1) se obtiene:

$$\frac{L}{g} \times \frac{dw}{dt} + z + cw^2 + k \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 \times \left( \frac{A_2}{A_0} \right)^2 + tw^2 = 0 \quad (9)$$

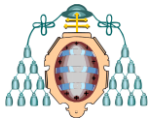
Y despejando:

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{g}{L} \times \left[ z + cw^2 + k \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 \left( \frac{A_2}{A_0} \right)^2 + tw^2 \right] \quad (10)$$

De la misma forma, utilizando la ecuación de la continuidad entre la galería y la chimenea (1, 2):

$$Q_1 = Q_2 + Q_{turb} \quad (11)$$

Donde  $Q_{turb}$  es el caudal turbinado y por tanto circulante por la tubería forzada.



Expresada de otra manera la ecuación (11) quedaría de la siguiente manera:

$$A_1 \times w = A_2 \times v_2 + Q_{turb} = A_2 \times \frac{dz}{dt} + Q_{turb} \quad (12)$$

Y, por tanto, despejando de la ecuación (12) se obtiene:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{A_2} \times (A_1 \times w - Q_{turb}) \quad (13)$$

Para conocer las condiciones iniciales se utiliza la ecuación de Bernoulli entre los puntos E y 0 obteniéndose la diferencia de cotas en el instante inicial:

$$z_0 = c \times \frac{w^2}{2g} + \frac{w^2}{2g} \quad (14)$$

De la misma manera, conociendo el caudal circulante por la galería y la sección de la misma:

$$w_0 = \frac{Q_1}{A_1} \quad (15)$$

Por otro lado, se puede definir la evolución del caudal mediante la ley de cierre [11]:

$$Q_{turb} = Q_0 \times \left(1 - \frac{t_n}{t_c}\right) \quad (16)$$

Donde  $Q_0$  y  $Q_{tn}$  son el caudal en el instante inicial y en un tiempo posterior respectivamente y  $t_n$  y  $t_c$  son un tiempo cualquiera posterior al inicial y el tiempo de cierre.

### 3. ALGORITMOS

Al analizar el funcionamiento de una chimenea de equilibrio en estados transitorios se pueden ver dos fenómenos coexistentes:

- Golpe de ariete. Consiste en la propagación de ondas de presión que se trasladan desde la turbina hasta la chimenea de equilibrio donde se amortiguan, pasando perturbaciones de baja intensidad a la galería. El periodo de este fenómeno es de unos pocos segundos.

- Oscilaciones de masa de agua entre la chimenea y la galería. En este caso los periodos son de varios minutos.

En cuanto a los efectos de cálculo, debido a la gran diferencia en la periodicidad, es posible aplicar una hipótesis simplificativa la cual consiste en estudiar estos dos fenómenos por separado sin cometer un error apreciable, lo cual genera no uno si no dos planteamientos de problema distintos [12]:

- Problema de golpe de ariete en la tubería forzada.
- Problema de oscilación de masa en el sistema galería-chimenea.

En este caso se estudiarán únicamente las oscilaciones de masa. Se deben resolver las ecuaciones (10) y (13). Se resolverán mediante el método numérico Runge Kutta de cuarto orden.

Para ello se ha desarrollado un algoritmo que permite la resolución numérica de las ecuaciones diferenciales obtenidas sin elevados requisitos computacionales. Para la ejecución de este algoritmo es necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

```
'Variación del caudal turbinado
'Ley lineal de cierre.
Qtn = Q0 * (1 - tn / tc)
If Qtn < 0 Then Qtn = 0
```

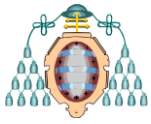
```
'Perdidas
'c perdidas de fricción

'k perdidas llenado/vaciado chimenea
```

```
If wn < 0 Then k = 1 / (2 * g)
If wn > 0 Then k = 0
```

```
't perdidas en la t

t = 2.5 / (2 * g)
```



```

'Método de Runge Kutta
'Ecuación 1
F1a = (A1 * wn - Qtn) / A2

F2a = -(g / L) * (zn + c(wn) * (wn * Abs(wn))
+ k * ((1 / A0) ^ 2) * (A1 * (wn - Qtn) * Abs(A1
* (wn - Qtn))) + t * (wn * Abs(wn)))

K1z = dt * F1a
K1w = dt * F2a
  
```

Figura 5. Fragmento del algoritmo programado en Visual Basic.

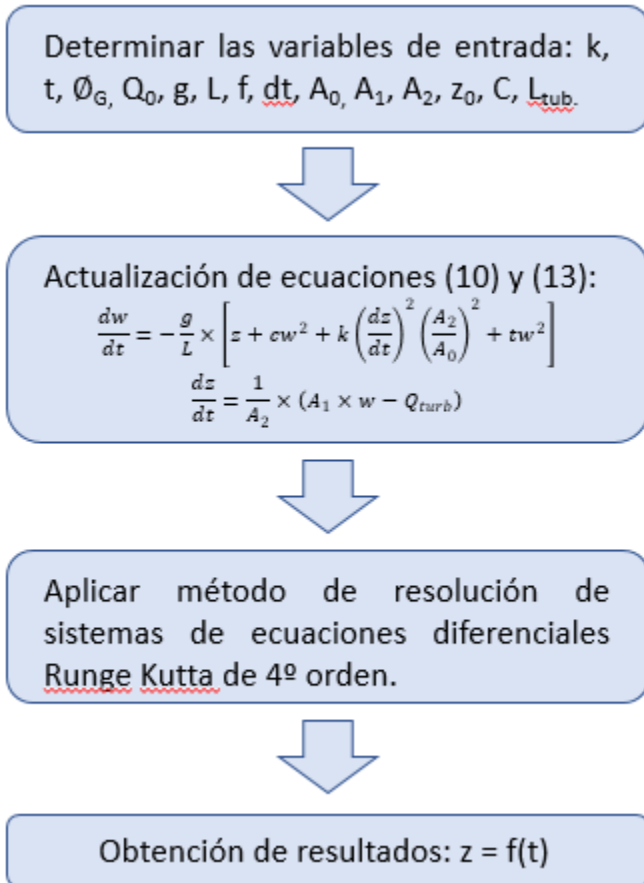


Figura 6. Diagrama de flujo del algoritmo.

#### 4. CASO DE APLICACIÓN: CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE TANES

La Central Hidroeléctrica de Tanes es una central hidráulica subterránea, reversible, del tipo de embalses y

conducciones a presión, que opera entre los embalses de la Presa de Tanes y el de Rioseco, en el municipio asturiano de Sobrescobio (Cuenca del Nalón).

Los embalses pertenecen a EDP Energía y al Consorcio para el abastecimiento de agua y saneamiento en el Principado de Asturias, mientras que la central pertenece y es explotada únicamente por EDP.

La central fue diseñada por los arquitectos y escultores Joaquín Vaquero Palacios y su hijo Joaquín Vaquero Turcios. Su construcción comenzó en 1970 y finalizó en 1978. Es una central de tipo reversible, pues aprovecha el agua de un embalse superior (Tanes) y otro inferior (Rioseco) [13].

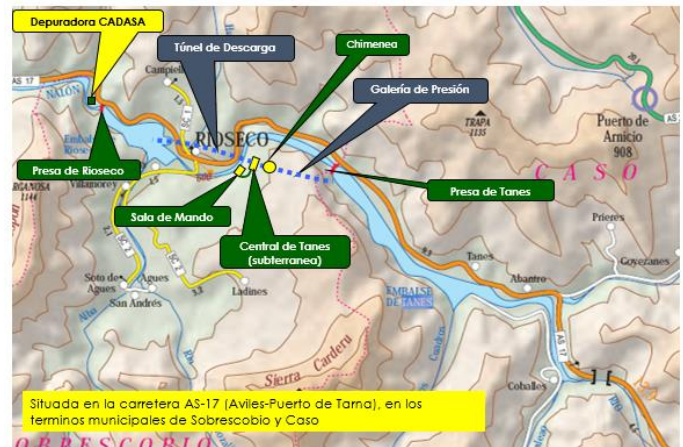
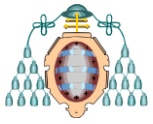


Figura 7. Situación geográfica de la central de Tanes.

Se trata de una central con las siguientes características:

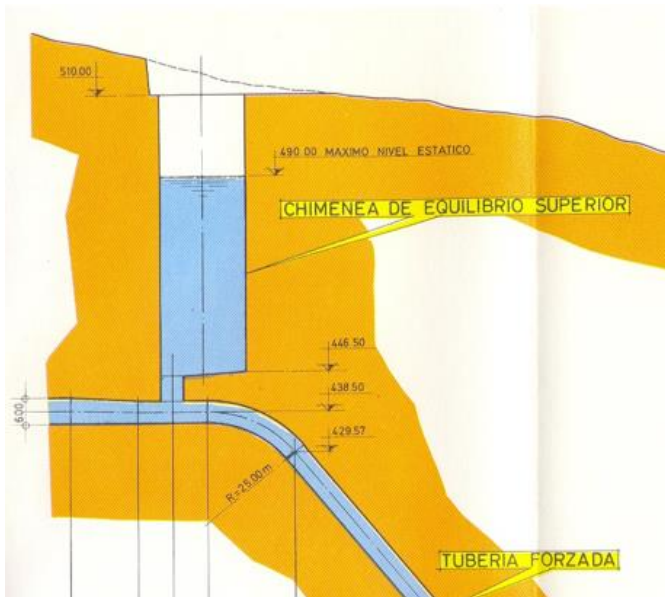
- Salto neto medio de 102 m de generación y 105 m de bombeo.
- Capacidad de 33,27 y 3,72 Hm<sup>3</sup> en los embalses de Tanes y Rioseco respectivamente.
- Potencia instalada de 123 MW de generación y 114,5 MW de bombeo.
- Longitud de la galería de 1.254 m.
- Longitud de la tubería forzada de 177 m.
- Caudal de equipamiento de 61,1 m<sup>3</sup>/s.

La central de Tanes cuenta con una chimenea de equilibrio simple con un diámetro de la cámara de 16,6 m



y un diámetro tanto en la galería como en la tubería de conexión de 6 m. Su parte superior está situada a una cota de 510 m y tiene una altura de 71,5 m [14].

Los coeficientes de pérdidas asociados a esta central (f y t) se ajustarán mediante datos experimentales.

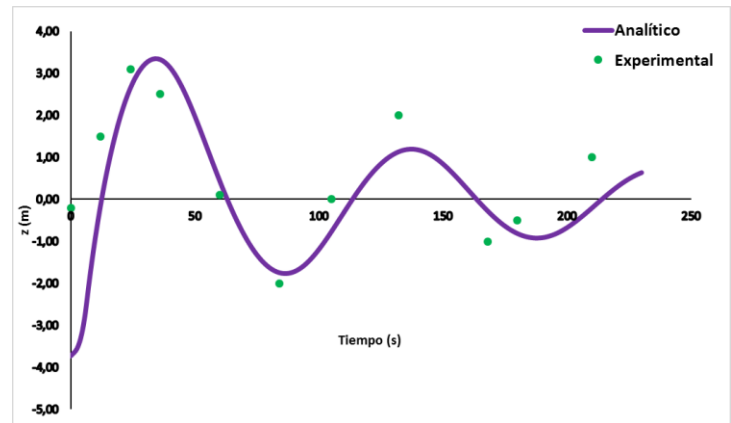


**Figura 8. Características geométricas de la chimenea de equilibrio[4].**

En este estudio se parte de un ajuste del modelo analítico con datos experimentales. A partir de ese punto, se han llevado a cabo dos tipos de análisis: variando el tiempo de cierre siempre en valores por encima del tiempo crítico para asegurarnos que las ecuaciones y las condiciones de contorno obtenidas en un principio son aplicables. Es decir, se prescinde en esos tiempos de los efectos de las oscilaciones de presión; y para distintos caudales de funcionamiento ya que se trata de una central que cuenta con 2 grupos y es habitual que trabajen de esta manera.

### 5. AJUSTE CON DATOS EXPERIMENTALES

El modelo analítico se ha ajustado con datos proporcionados por EDP para las mismas condiciones de trabajo.



**Figura 9. Comparación de datos experimentales y analíticos.**

Con  $f = 0,07$ ;  $k = 1$  y  $t = 2,5$  se obtiene un ajuste como el que se observa en la Fig. 9.

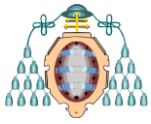
Este ajuste se ha realizado mediante sucesivas pruebas y sin duda podría mejorarse en cuanto a precisión.

### 6. RESULTADOS ANALÍTICOS

Se han obtenido resultados para dos casos distintos:

- Para distintos tiempos de cierre para un caudal de funcionamiento de  $61,1 \text{ m}^3/\text{s}$ :
  - 10 veces el tiempo crítico.
  - 15 veces el tiempo crítico.
  - 20 veces el tiempo crítico.
- Para distintos caudales de funcionamiento y un tiempo de cierre de 20 veces el tiempo crítico:
  - 100% del caudal de equipamiento.
  - 50% del caudal de equipamiento.
  - 20% del caudal de equipamiento.
- **Distintos tiempos de cierre.**  
 El tiempo crítico viene definido por:

$$t_{critico} = \frac{2 \times L_{tub}}{c} \quad (17)$$



Donde  $L_{tub}$  es la longitud de la tubería forzada y  $C$  la celeridad. Por tanto, el tiempo crítico es el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa. Si el tiempo de cierre es menor que el tiempo crítico la maniobra ya habrá concluido cuando se produzca el retorno de la onda de presión, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Sin embargo, si el tiempo de cierre es mayor que el tiempo crítico, no se alcanzará la sobrepresión máxima en ningún punto de la tubería ya que la primera onda positiva reflejada regresa antes de que se genere la última negativa [15].

Se ha estudiado el comportamiento de las oscilaciones de masa para distintos tiempos de cierre. El valor del tiempo crítico es de 0,355 s.

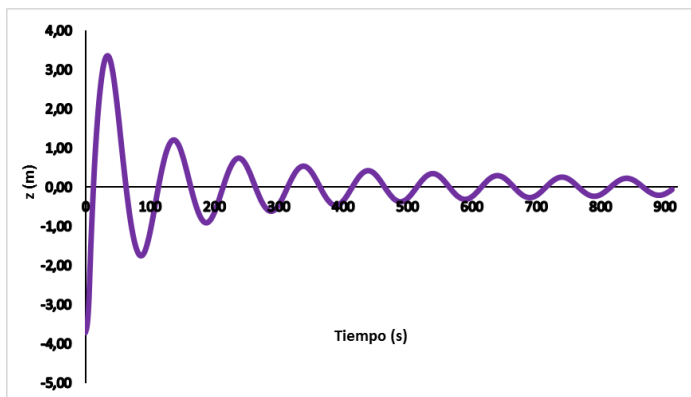


Figura 10. Variación de  $z$  para 20 veces el tiempo crítico.

De la misma manera se ha representado la oscilación de  $z$  para los distintos tiempos de cierre:

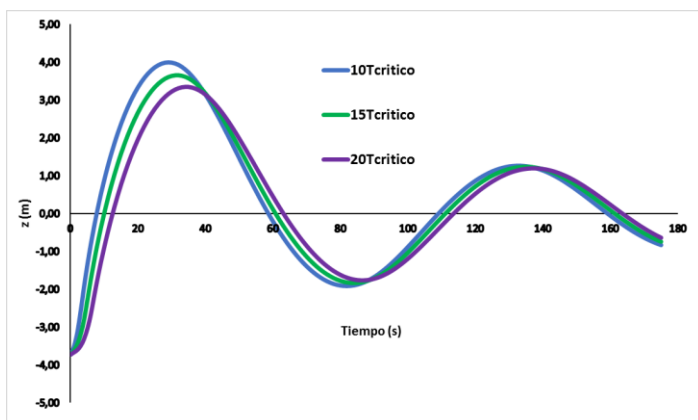


Figura 11. Comparación de la variación de la altura para cada tiempo de cierre.

Los resultados obtenidos demuestran como al aumentar el tiempo de cierre del caudal turbinado se reduce ligeramente la oscilación máxima de la cota de la chimenea. Asimismo, el período de la citada onda permanece bastante constante lo cual implica un tiempo de amortiguación total similar en todos los casos.

- **Distintos caudales de funcionamiento.**

Como ya se ha mencionado, se ha estudiado el comportamiento de las oscilaciones de masa para distintos caudales de funcionamiento.

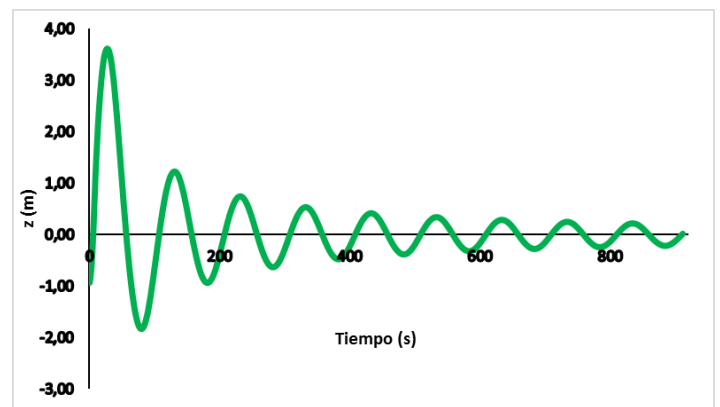


Figura 12. Variación de  $z$  para el 50% del caudal de funcionamiento.

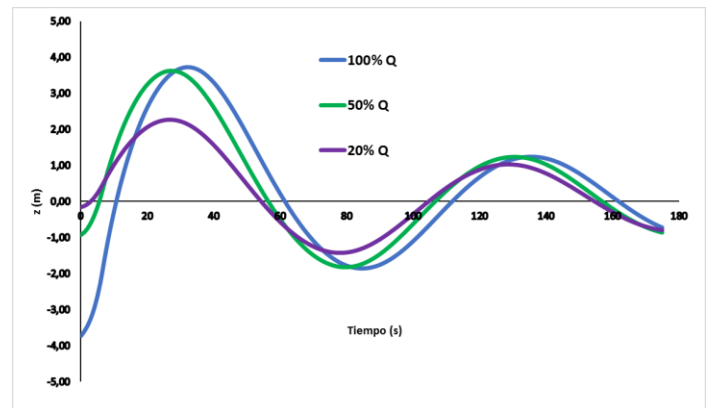
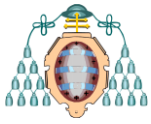


Figura 13. Comparación de la variación de la altura para cada caudal de funcionamiento.

Los resultados obtenidos demuestran como al reducir el caudal de funcionamiento en el caso de un cierre en un tiempo idéntico, se obtienen ondas de elevación de la cota del agua en la chimenea más amortiguadas. Asimismo, el período de las mismas se reduce, obteniendo un tiempo de amortiguación menor según se reduce el caudal circulante.





## 7. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un algoritmo que permite realizar la evaluación de las oscilaciones de masa que se producen en una chimenea de equilibrio de la central hidroeléctrica en casos de reducción del caudal circulante.

El diseño se ha ajustado con datos del caso real de la central hidroeléctrica de Tanes.

Se han realizado distintas pruebas que reproducen la evolución del nivel de agua en la chimenea de equilibrio en distintas situaciones de parada de la central. En concreto, se han probado distintos valores de caudal turbinado y tiempos de cierre.

La solución permite conocer de una manera rápida y aproximada la amplitud de las oscilaciones de masa y su frecuencia.

## 8. NOMENCLATURA

$H_E$	Cota de la superficie del agua en el embalse
$H_2$	Cota de la superficie del agua en la chimenea
$g$	Gravedad
$w$	Velocidad del agua en la galería
$\Delta J$	Pérdidas de carga totales
$h_f$	Pérdidas en la galería
$h_0$	Pérdidas en la conexión
$h_t$	Pérdidas en el giro de 90°
$c$	Coefficiente de pérdidas por fricción en la galería
$k$	Coefficiente de pérdidas en la conexión por entrada y salida del agua
$t$	Coefficiente de pérdidas en el giro de 90°
$v_0$	Velocidad del agua en la conexión
$A_0$	Área de la sección de conexión
$A_1$	Área de la sección de la galería
$A_2$	Área de la sección de la chimenea de equilibrio
$Q_1$	Caudal en la galería
$Q_2$	Caudal en la chimenea de equilibrio
$Q_{turb}$	Caudal en la tubería forzada
$L$	Longitud de la galería
$L_{tub}$	Longitud de la tubería forzada
$C$	Celeridad
$f$	Factor de fricción de Darcy-Weisbach
$\varnothing_G$	Diámetro de la galería
$t_n$	Instante en iteración posterior al inicial
$t_c$	Tiempo de cierre de la válvula.

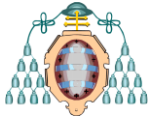
## 9. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mis tutores, Eduardo Álvarez Álvarez y Antonio José Gutiérrez Trashorras por su trabajo y dedicación a lo largo del desarrollo de este proyecto y por ejercer de guías durante todo el proceso de elaboración que tiene como resultado el trabajo expuesto.

También quisiera mostrar mi agradecimiento a EDP Energía.

## REFERENCIAS

- [1] “UNESA - Central hidroeléctrica.” [Online]. Disponible: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1347-central-hidroelectrica>.
- [2] P. K. Nag, *Power Plant Engineering, 4e*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [3] Marco Castro Ernesto Ortiz and Marcelo Hidalgo, “Análisis del flujo no permanente en chimeneas de equilibrio por medio de una simulación numérica.” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- [4] Eugenio Villarino, *Aprovechamientos hidroeléctricos.*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Garceta, 2000.
- [5] Jorge Armando Granados Robayo, “Uso de chimeneas de equilibrio con cámara de aire en instalaciones por gravedad.”
- [6] S. Palikhe and J. X. Zhou, “The effect of orificie head loss coefficient on the discharge of throttled surge tank.” *Coll. Water Conserv. Hydropower Hohai Univ. Nanjing China*.
- [7] A. V. Robles and B. Z. Parra, *Teoría de máquinas hidráulicas*. EDITUM, 1997.
- [8] M. Popescu, D. Arsenie, and P. Vlase, *Applied Hydraulic Transients: For Hydropower Plants and Pumping Stations*. CRC Press, 2003.
- [9] Gerhart Philip M., *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1992.
- [10] Glenn O. Brown, “The History of the Darcy-Weisbach Equation for Pipe Flow Resistance.”
- [11] Fernando P. Racines Jerves, Andrés A. Sánchez Cordero, and Rodrigo Zeas, “Estudio de transitorios: Golpe de ariete.”
- [12] J. M. Jordaan and A. Bell, *Hydraulic Structure, Equipment and Water Data Acquisition Systems - Volume I*. EOLSS Publications, 2009.
- [13] “Central hidroeléctrica de Tanes,” *Wikipedia, la enciclopedia libre*.



- [14] “Centrales hidráulicas - Generación - Actividades - EDPENERGIA.” [Online]. Disponible: <http://www.edpenergia.es/institucional/es/actividades/generacion/centrales-hidraulicas/>.
- [15] M. V. Méndez, *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Universidad Católica Andrés, 1995.