

PLANTAS DESALADORAS: PROBLEMAS DE RÉGIMEN VARIABLE

*Laguna Peñuelas, Francisco V.*¹, *Sánchez Calvo, Raúl*², *Juana Sirgado, Luis*²,
*Rodríguez Sinobas, Leonor*², *Castañón Lión, Guillermo*², *Gil Rodríguez, María*²,
*Losada Villasante, Alberto*²

¹ Dr. Ingeniero de Caminos, Profesor de Ingeniería Hidráulica, Universidad Politécnica de Madrid, Grupo de investigación Hidráulica del Riego, ETSICCP.

² Dr. Ingeniero Agrónomo, Profesor de Ingeniería Hidráulica, Universidad Politécnica de Madrid, Grupo de investigación Hidráulica del Riego, ETSIA.

Resumen

Las plantas desaladoras cuentan con un circuito hidráulico con varios bombeos y en el que las maniobras de apertura y cierre de llaves para limpieza de filtros son frecuentes. En ocasiones, el régimen variable producido por maniobras de llaves o por parada de bombas ha causado daños estructurales en los filtros.

Mediante modelación matemática se ha analizado el régimen variable para diferentes hipótesis. Se concluye que los propios filtros atenúan los efectos de golpe de ariete y que, ante la parada inesperada de un bombeo, debe programarse la parada automática del resto de bombeos.

Abstract

In desalination plants are several pumping stations, and also the opening and closing maneuvers of valves are frequent for cleaning sand filters. In occasions, transient regime consequence of valve operations or sudden switch off of pumping has caused structural damage in the filters.

Unsteady regimen has been analyzed for different scenarios through mathematical modeling. As conclusions, on one hand, the filters attenuate the effects of water hammer and, on the other, it is necessary to program the automatic stop of a pumping station responding before the unexpected stop of other pumping station.

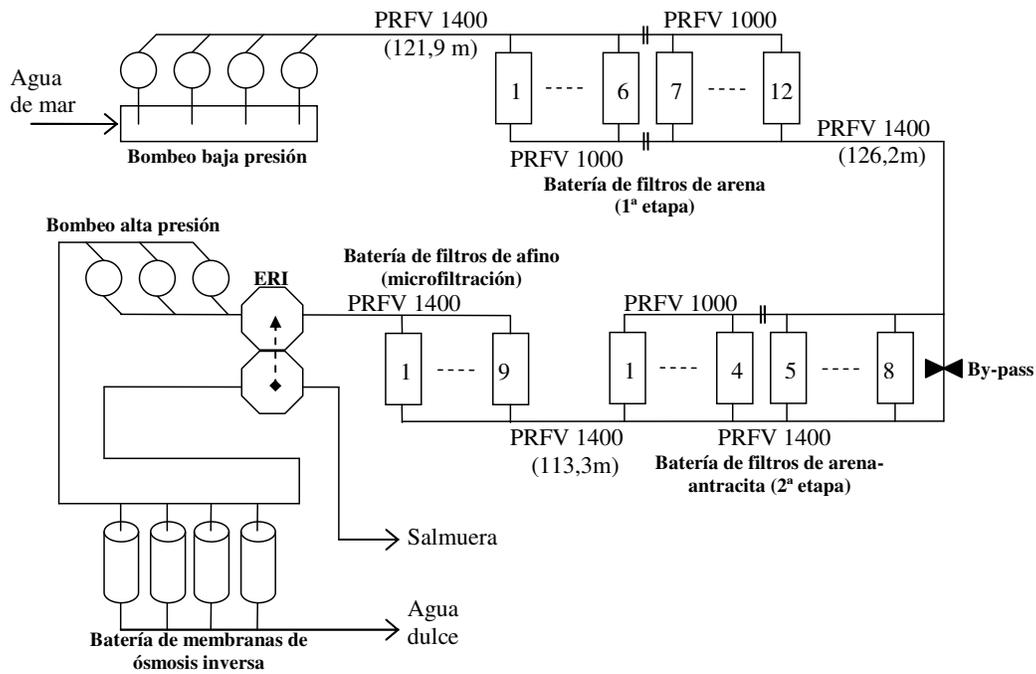
1.- Introducción, Objetivos

Los transitorios ocasionados por paradas de bombeo debidas a la caída del suministro eléctrico y a ciertas maniobras de elementos de control, en ocasiones, han derivado en la rotura de tuberías y filtros en los circuitos de baja presión de plantas desaladoras. Puede apreciarse en la Fig. 1a, como los filtros, situados en primer plano, representan una porción respetable de las infraestructuras de la planta.

En la Fig. 1b se muestra esquemáticamente el circuito hidráulico del proceso de desalación.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Representación en perspectiva de la planta desaladora de Mostaganem. (b) Esquema del circuito hidráulico del proceso de desalación.

El objetivo del trabajo consiste en determinar cuáles son los elementos claves a proteger en las plantas desaladoras, así como el establecer pautas genéricas para la

maniobra, selección y ajuste de los elementos de control y de protección activa frente al golpe de ariete.

El régimen variable en instalaciones hidráulicas complejas puede analizarse mediante la división en elementos (Chaudhry, 1987). Las relaciones entre elementos se definen mediante las ecuaciones de continuidad y energía. Laguna Peñuelas (2003 y 2004) propone criterios de simplificación de dichas relaciones.

2.- Materiales y Métodos

Se ha estudiado el régimen variable en el circuito de baja presión a través del método unidimensional y la integración numérica de las ecuaciones características. Se han modelado, detalladamente, los elementos de la red de baja presión, lo que permite el estudio de transitorios para diferentes hipótesis de variación de las condiciones de contorno y tramos operativos. Los elementos contemplados en el modelo son: la tubería de captación de agua de mar, los grupos de bombeo en paralelo, las tuberías de conducción, filtros de primera etapa, filtros de segunda etapa, filtros de afino o de microfiltración, las derivaciones y los colectores. Atendiendo a estos dos últimos, en la Fig. 2 se muestra una representación en detalle de la conexión de dos filtros a sus respectivos colectores.

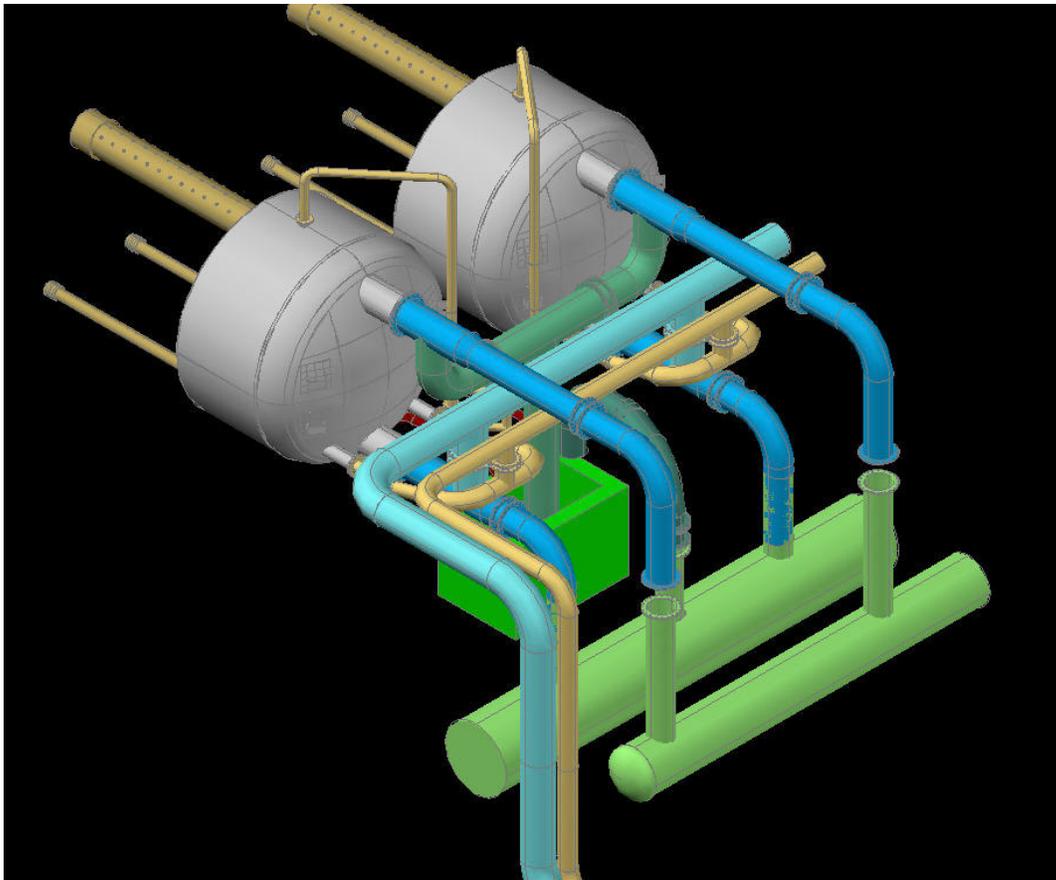


Figura 2. Representación isométrica de la conexión de una pareja de filtros a los colectores correspondientes.

El comportamiento de cada recinto con material filtrante (filtro) se ha modelado mediante la ecuación de continuidad aplicada entre la sección de entrada 1 y la de salida 2 , con:

$$Q_1 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t = Q_2 \cdot \rho_2 \cdot \Delta t + \Delta p \cdot \rho \cdot \left(\frac{Vol_n}{\varepsilon} + \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_0}{4} \cdot \frac{D \cdot (1 - 0,5 \cdot \nu)}{e \cdot E} + \frac{\pi \cdot D^3}{6} \cdot \frac{3D \cdot (1 - \nu)}{4e \cdot E} \right) \quad (1)$$

que incorpora la variación del volumen neto de agua Vol_n , la compresibilidad del fluido con módulo de elasticidad volumétrico ε y la dilatación elástica del recipiente de espesor e , y cuyo material tiene módulo de elasticidad E y módulo de Poisson ν . Dicho recipiente se ha considerado formado por un cilindro de diámetro D y longitud L_0 y dos casquetes semiesféricos en sus bases.

Asimismo, se han considerado, por un lado, los elementos activos de protección del golpe de ariete, tales como depósitos hidroneumáticos y válvulas de alivio, y, por el otro, aquellos cuyo funcionamiento ante dicho fenómeno es relevante, como las ventosas trifuncionales, el colector de aspiración de las bombas del circuito de alta presión, la inercia de giro de estas últimas, los elementos recuperadores de presión (ERI) y los propios filtros como grandes elementos de almacenamiento.

Por otra parte, se incluye la posible aparición de cavitación, y en todos elementos del modelo se consideran sus correspondientes parámetros de rigidez y almacenamiento.

Se ha elaborado un modelo propio en hoja de cálculo que integra las ecuaciones simplificadas del golpe de ariete mediante el método de las ecuaciones características. El intervalo de tiempo empleado en la integración ha sido de 0,1 s, que asegura la estabilidad de cálculo ante la reducida discretización de tramos en el modelo.

A pesar de que las pérdidas de carga en régimen variable son algo diferentes a las correspondientes al régimen permanente (Pezzinga, 2009 y Pothof, 2008), en tramos uniformes de tubería se han calculado con la ecuación de Darcy-Weisbach, donde el factor de rozamiento empleado ha sido el de la expresión de White-Colebrook. Las pérdidas de carga en puntos singulares se han considerado mediante la ecuación general de pérdidas de carga localizadas, con un factor distinto según el elemento en cuestión. Por último, en lo que a pérdidas de carga respecta en filtros se ha empleado la ley de Darcy.

La metodología empleada se ha aplicado a la planta desaladora de Mostaganem (Argelia).

3.- Resultados y Discusión

Se han simulado los regímenes variables que se producirían para un conjunto de hipótesis realistas que agrupan condiciones de contorno e iniciales.

- Hipótesis 1: Parada lineal de bombas de los circuitos de baja y alta presión en 1s sin dispositivos antiariete.

No se incorpora ningún dispositivo antiariete. Se parte de la situación calculada de régimen permanente, que supone alimentación simultánea a todos los grupos de

ósmosis utilizando los filtros de primera y segunda etapa, estando uno de los filtros de afino en limpieza.

- Hipótesis 2: Parada lineal de bombas de los circuitos de baja y alta presión en 2s sin dispositivos antiarriete.

Se repiten las condiciones e hipótesis de funcionamiento de la hipótesis anterior.

- Hipótesis 3: Parada lineal de bombas en el circuito de baja presión en 2s y parada programada en el circuito de alta a los 3s con una duración de 2s también con variación lineal, sin dispositivos antiarriete.

El sistema de control de los grupos de alta se encarga de efectuar una parada también en 2 s pero que parte la orden después de transcurrir un tiempo de 3s. Tampoco se dispone de ningún sistema antiarriete.

El hecho de estar funcionando los grupos de alta presión durante 3s ocasiona una petición de agua en la aspiración de los mismos, que ya no dispone del suministro desde el bombeo de baja.

- Hipótesis 4: Parada lineal de bombas del circuito de baja presión en 2 s y parada programada en alta a los 3 s con una duración de 2 s, con depósito hidroneumático.

Se dispone de un calderín con un volumen inicial de aire de 17 m^3 . El hecho de estar funcionando los grupos de alta presión durante 3s ocasiona una petición de agua en la aspiración de los mismos a la red, que ya no dispone del suministro desde el bombeo de baja y que en parte es cedido por el calderín.

- Hipótesis 5: Cierre lineal de bombas en el circuito de baja presión en 2s y parada programada en alta a 1 s con una duración de 2 s, sin dispositivos antiarriete.

El sistema de control de los grupos de alta se encarga de efectuar una parada también en 2 s pero que parte la orden después de transcurrir un tiempo de 1s. No se dispone de ningún sistema antiarriete como calderón.

- Hipótesis 6: Cierre llaves de aislamiento de un filtro de primera etapa en 2 s, con retardo entre maniobras de 3 s.

Se analiza el cierre de un filtro maniobrando las válvulas de entrada y salida. El tiempo de maniobra considerado es de 2 s y el retardo entre el inicio de la maniobra de cierre de la llave de entrada y la de salida es de 3 s. Se parte de la situación de régimen permanente y se procede al cierre del primer filtro de la primera etapa. No se considera existencia de calderín.

- Hipótesis 7 Cierre llaves de aislamiento de un filtro de segunda etapa en 2 s, con retardo entre maniobras de 3 s.

Se analiza el cierre de un filtro de segunda etapa maniobrando las válvulas de entrada y salida. El tiempo de maniobra considerado es de 2 s y el retardo entre el inicio de la maniobra de cierre para la válvula de salida es de 3 s. Se parte de la situación de régimen permanente y se procede al cierre del primer filtro de la segunda etapa. No se considera existencia de calderín.

En la Fig. 3 se muestran los resultados de las simulaciones efectuadas para la hipótesis 3.

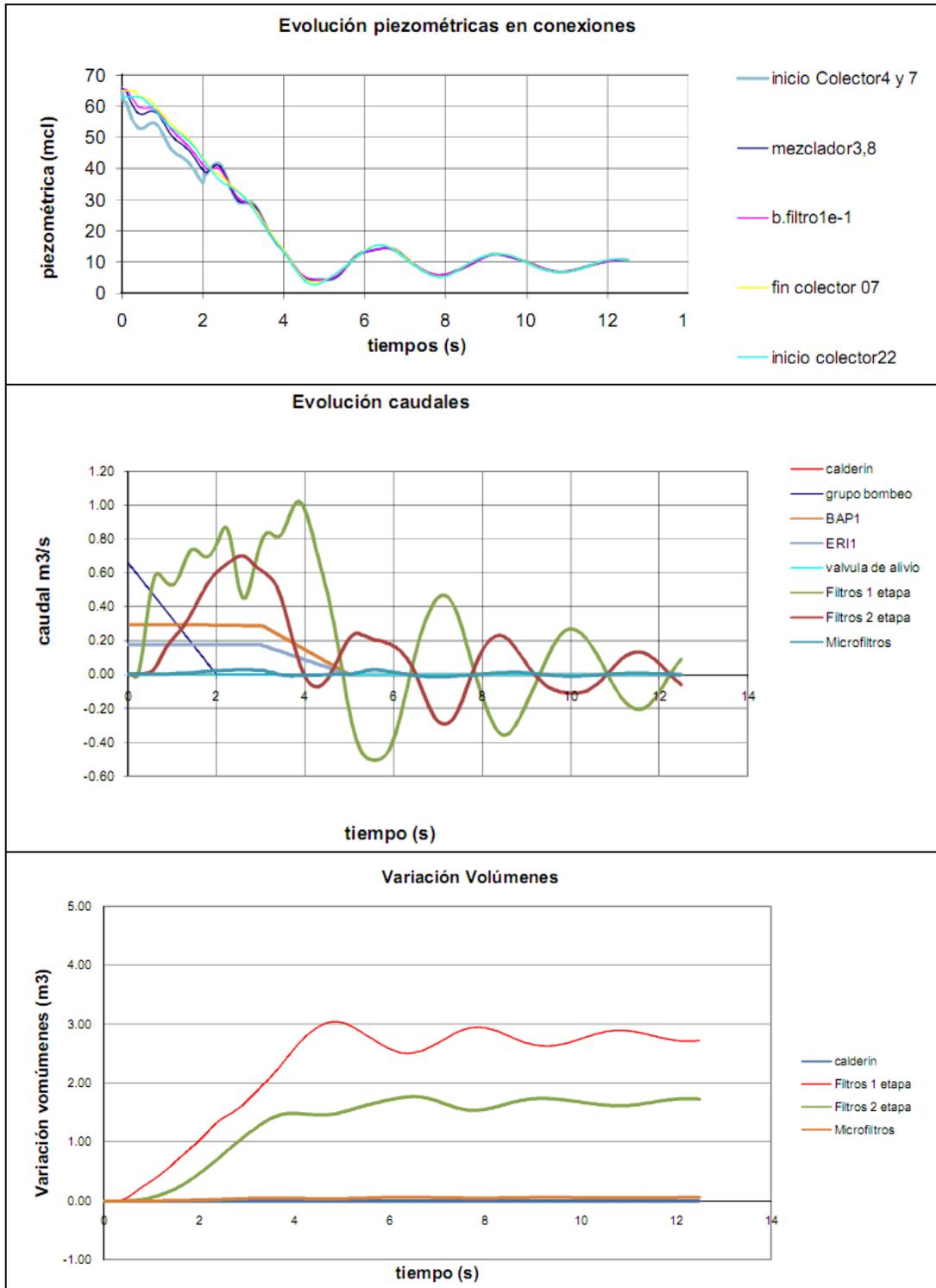


Figura 3. Resultados de la simulación efectuada para la hipótesis 3.

4.- Conclusiones y Recomendaciones

La presencia de filtros de primera y segunda etapa y, en menor medida, los microfiltros, contribuyen a eliminar los efectos del golpe de ariete, tanto el debido a parada súbita de las bombas como a maniobras de cierre de válvulas y llaves. Podría considerarse el instalar depósitos hidroneumáticos como medida redundante de seguridad en previsión del retardo injustificado de la maniobra de parada programada de los grupos de alta presión. Dichos depósitos aportarían agua sólo en los primeros instantes, no pudiendo, en ningún caso, ser considerados como alternativa al fallo de la ejecución de la orden de la parada de los grupos de bombeo de la red de alta presión.

La existencia de un sistema de control de parada en los grupos de alta presión contribuye también a eliminar las sobrepresiones ante paradas por fallo de corriente que se produzcan tanto en los grupos de baja o en los de alta. No obstante, el tiempo de parada de las bombas debe ser estudiado en cada caso particular, dado que, ante la parada simultánea de las bombas de los circuitos de alta y de baja, determinadas relaciones en los tiempos de parada podrían ocasionar grandes variaciones de presión.

5.- Agradecimientos

Los autores quisieran agradecer a Inima (Grupo OHL) - Aqualia la información sobre la planta desaladora de Mostaganem.

6.- Referencias

Chaudhry, M.H., 1987. Applied hydraulic transients. 2nd ed. Ed. Van Nostrand Reinhold Company. Nueva York.

Laguna Peñuelas, F., 2003, *Cálculo de transitorios hidráulicos por integración directa de las funciones de onda. Aplicación a la impulsión de Rialb*, IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Madrid.

Laguna Peñuelas, F., 2004, *Criterios de reducción del golpe de ariete usando la integración directa de las funciones de onda*, II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Santiago de Compostela.

Pezzinga, G., 2009, *Local balance unsteady friction model*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(1): 45-56.

Pothof, I, 2008, *A turbulent approach to unsteady friction*, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 46(5).