



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos a bombeo

O. Pozos-Estrada*, O.A. Fuentes, A. Sánchez, E.A. Rodal y F. de Luna

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 9 de enero de 2015
Aceptado el 25 de noviembre de 2015
On-line el xxx

Palabras clave:

Transitorios hidráulicos
Salto hidráulico
Mezcla de agua-aire
Métodos de Lax-Wendroff

Keywords:

Hydraulic transients
Hydraulic jump
Water-air mixture
Method of Lax-Wendroff

R E S U M E N

En este artículo se presenta el análisis de los efectos perjudiciales y benéficos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en conductos a presión, cuando existe aire atrapado en forma de bolsas de aire con y sin una mezcla homogénea de agua-aire generada por un salto hidráulico en el extremo aguas abajo de las bolsas. Para este fin, se sigue una metodología para identificar la posible ubicación de las bolsas de aire, posteriormente se cuantifica su volumen y el porcentaje de aire en la mezcla, para finalmente evaluar los transitorios con un modelo numérico implementado con base en los métodos de las características y de Lax-Wendroff. El procedimiento presentado se aplica a un caso de estudio de un acueducto a bombeo o impulsión para validar la metodología propuesta. Los resultados muestran que las bolsas de aire pequeñas causan un incremento importante de las presiones máximas a todo lo largo del perfil de la conducción, por otra parte los transitorios hidráulicos reducen significativamente su valor, al incrementar el volumen de aire y el porcentaje de aire en la mezcla homogénea.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Analysis on the effects of entrapped air on hydraulic transients in pumping pipelines

A B S T R A C T

This paper presents an analysis of the potential effects on pressure transients of air entrained at the downstream end of entrapped air pockets followed by a hydraulic jump in pressurized pipelines. For this purpose, a methodology is followed to identify the potential locations, where air pockets can be found along the pipeline, to compute the air-void fraction downstream of the air pockets and the volume of the pockets, respectively. Further, the calculations were carried out using a numerical model based on the methods of characteristics and the Lax-Wendroff. A case study of an existing pumping system was considered to validate the methodology proposed. The results show that small air pockets cause an important enhancement of the maximum pressures throughout the pipeline profile, conversely pressure transients are significantly reduced with increasing air-pocket volumes and bubbly flow air content.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La presencia de bolsas de aire atrapadas en conductos a presión puede reducir de forma importante el transporte de agua en este tipo de sistemas. En acueductos a bombeo o impulsiones, la presencia de aire se puede reflejar en un incremento en el consumo de energía eléctrica y la reducción del caudal. Estos problemas siguen ocurriendo hoy en día, incluso en acueductos construidos

* Autor para correspondencia. Teléfono: +525556233600, ext. 8626.
Correos electrónicos: opozose@iingen.unam.mx (O. Pozos-Estrada),
ofm@pumas.iingen.unam.mx (O.A. Fuentes), ash@pumas.iingen.unam.mx
(A. Sánchez), erc@pumas.iingen.unam.mx (E.A. Rodal), fluc@iingen.unam.mx
(F. de Luna).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2015.11.002>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

recientemente, debido a la falta de criterios de diseño que hagan que éstos funcionen eficientemente.

En los acueductos a bombeo el análisis de los transitorios hidráulicos se hace generalmente asumiendo que no hay aire atrapado en los mismos. Sin embargo, en muchos de estos sistemas el aire puede ser introducido a través de los sellos defectuosos de las juntas y las válvulas, cuando se presenta una presión menor a la atmosférica en la tubería. Además, es bien sabido que el agua contiene aproximadamente un 2% de aire disuelto, si la presión baja o la temperatura del agua aumenta el aire escapa de la solución y forma pequeñas bolsas de aire, que pueden migrar a los puntos altos o intermedios de la tubería y unirse al aire que pudo haber quedado acumulado por un mal purgado de la conducción. Asimismo, las bombas pueden introducir entre un 5% y 10% de aire por volumen de agua mediante los vórtices que se forman en la succión de éstas [1].

Varios investigadores han demostrado que la presencia de bolsas de aire en acueductos puede incrementar de forma importante las presiones máximas durante un transitorio hidráulico, lo suficiente para causar la falla de la tubería. La magnitud del daño dependerá de la cantidad y del lugar donde se encuentre localizado el aire no disuelto, de la configuración de la conducción, así como de las causas que generan el transitorio. Por ejemplo, se ha demostrado que las bolsas de aire pequeñas pueden incrementar considerablemente las presiones transitorias, lo suficiente para causar la rotura de tuberías [2-9]. Por el contrario, la formación de grandes bolsas de aire en los acueductos puede ayudar a reducir el valor de las sobrepresiones causadas por la ocurrencia de transitorios hidráulicos [10-13].

La explicación física del porqué las bolsas pequeñas generan elevadas sobrepresiones, por un lado se debe a la baja densidad del aire, es decir a su baja inercia que lo hace fácil de comprimir. Por el contrario, cuando las bolsas de aire son grandes, éstas actúan como un colchón de aire o amortiguador el cual ayuda a reducir las presiones transitorias. Gahan [14] después de realizar una revisión extensiva y detallada de las investigaciones relativas a los transitorios hidráulicos con aire atrapado resalta, que el criterio que establece si una bolsa de aire es pequeña o grande dependerá de su efecto en los transitorios.

Un ejemplo de una bolsa de aire pequeña es presentado en Koelle [15], el autor describe un accidente ocurrido en una estación de bombeo. Después de un análisis teórico concluye, que existe un volumen crítico de aire (bolsa de aire pequeña) que genera un pico de presión máximo, los resultados también revelaron que al aumentar el volumen de la bolsa el pico de presión se reduce. Este volumen crítico también fue detectado entre otros por Nakamura y Tomita [16].

En el mismo sentido, al estar el aire distribuido homogéneamente en forma de pequeñas burbujas su efecto será más difícil de predecir. Uno de los efectos más notables es una importante disminución de la celeridad, incluso con una pequeña cantidad de aire. La presencia de una mezcla homogénea de agua-aire fluyendo por un conducto a presión produce una reducción de las presiones transitorias, debido a la reflexión interna de las ondas de presión en la mezcla [17]. Sin embargo, también se ha encontrado que las presiones transitorias varían con el porcentaje de aire contenido en la mezcla, y en algunas ocasiones estas presiones son mayores a las obtenidas sin considerar aire en la conducción. Se dice que este efecto se debe al proceso de expansión y compresión de las burbujas de aire [18].

En este artículo se presenta una metodología para evaluar el efecto en transitorios hidráulicos de las bolsas de aire con una mezcla homogénea de agua-aire en el extremo final de las bolsas. Las bolsas de aire que se podrían acumular en los puntos altos e intermedios de los conductos a presión, se localizan mediante una metodología que ha sido probada con éxito en sistemas que actualmente operan adecuadamente [19]. De la misma manera, la teoría

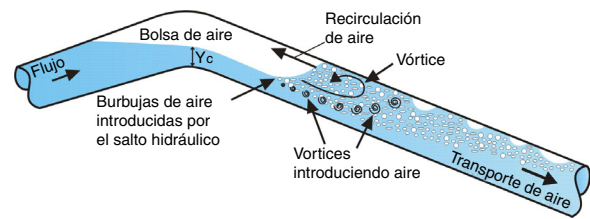


Figura 1. Bolsa de aire estacionaria en una sección de control.

del flujo gradualmente variado es utilizada para obtener los perfiles de flujo bajo las bolsas de aire y las variables necesarias para obtener el volumen de aire contenido en las mismas [9]. Además, la expresión propuesta por Ahmed et al. [20] es utilizada para conocer la relación agua-aire en la mezcla introducida por un salto hidráulico. Finalmente, al conocer la ubicación de las bolsas de aire y su volumen y el porcentaje de aire en la mezcla, se realiza la simulación de los transitorios con un modelo numérico basado en los métodos de las características y de Lax-Wendroff [21].

2. Aire en conductos a presión

2.1. Bolsas de aire

El aire atrapado en los conductos a presión puede migrar a sus puntos altos, donde no hay válvulas de aire o ventosas instaladas y formar bolsas de aire que pueden quedar estacionarias, cuando la fuerza de arrastre del flujo no es capaz de vencer la fuerza de flotación de las bolsas. En el mismo sentido, si la línea de piezométrica corta la tubería en las cimas de la conducción donde hay ventosas colocadas, el aire se va a introducir y formará bolsas de aire que estarán a presión atmosférica y el flujo debajo de éstas será a superficie libre [9,22-24].

Si una bolsa de aire se extiende hacia aguas abajo de una tubería con pendiente descendente, el tirante crítico o calado crítico puede ser mayor que el tirante en el extremo final de la bolsa, por lo tanto se va a presentar un salto hidráulico que introducirá aire en forma de pequeñas burbujas, que pueden aglutinarse y formar burbujas más grandes y pequeñas bolsas de aire, formando una mezcla de agua-aire [9].

2.2. Entrada de aire a través de un salto hidráulico

La transición de flujo a superficie libre a flujo presurizado en tubos con pendiente descendente ocurre generalmente mediante un salto hidráulico, que debido a su acción turbulenta introduce aire hacia aguas abajo del conducto. Al ser transportado el aire hacia aguas abajo por el flujo de agua, las pequeñas burbujas de aire pueden unirse y formar burbujas de mayor tamaño y pequeñas bolsas de aire. Dependiendo del caudal de agua y de la pendiente de la tubería, el aire avanzará o regresará a contra flujo a través del salto (fig. 1).

Kalinske y Robertson [25] y Walski et al. [22] observaron durante sus experimentos, que la transición de tubo parcialmente lleno a tubo lleno depende de la pendiente descendente. Cuando la pendiente es moderada ocurre una transición suave, mientras que cuando la tubería tiene una pendiente descendente pronunciada al final de la bolsa de aire ocurre un salto hidráulico que sella el conducto.

Wisner et al. [26] describieron que la remoción de grandes bolsas de aire en tuberías puede ocurrir de las siguientes maneras: 1) Generación y entrada y 2) Arrastre. Generación se refiere a la formación de burbujas de aire, debido a la acción turbulenta del salto hidráulico que se presenta en el extremo aguas abajo de la bolsa de aire; el término entrada se utiliza para describir el movimiento

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050773>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050773>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)