

El Fenómeno de Golpe de Ariete en Sistemas Fluidodinámicos Confinados.

Pablo G. Provenzano

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas,

Universidad Nacional de la Matanza.

Florencio Varela 1903, San Justo, Pcia. de Buenos Aires - Argentina.

pprovenzano@ing.unlam.edu.ar, <http://www.unlam.edu.ar>

PALABRAS CLAVE: Sobrepresión – onda – transiente.

Resumen: El golpe de ariete es un fenómeno transitorio que se atenúa en el tiempo. Se produce cuando una perturbación opera sobre el fluido en movimiento. Constituye el paso intermedio de un estado de régimen de flujo equilibrado a un nuevo estado de régimen en equilibrio. Variables como la presión del fluido manifiestan un comportamiento oscilatorio repentino, con amplitud más o menos marcada, que indica un proceso brusco llegando, en ocasiones, a provocar consecuencias de distinto grado de importancia en el sistema confinante. El conocimiento de las condiciones que lo generan y su control resultan esenciales para lograr un manejo adecuado del fluido.

Las características del fenómeno dependen de un conjunto de variables, de las cuales los efectos disipativos (fricción) han sido ejes primordiales en la investigación durante las últimas décadas. El peso relativo dado a otros, como la forma de cierre del dispositivo de control y el material de la conducción ha sido marcadamente menor, sin embargo son determinantes en el desarrollo del transiente.

El Proyecto de Investigación se focalizó en estos últimos aspectos más relegados. Se analizó la dependencia de la onda de presión de golpe de ariete respecto del cierre de válvula, la injerencia del material de la conducción en la amplitud de la onda y el cambio de forma de onda de presión en los ciclos de la onda cuando el material de la tubería es polimérico. Los resultados alcanzados muestran cómo estos aspectos determinan la forma y amplitud de la onda de presión, como también contribuyen a explicar por qué la forma de la onda va cambiando cuando el material del conducto posee un índice menor de elasticidad. Algunos de estos resultados han sido presentados y expuestos en el Congreso Sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones ENIEF (2013).

a) Presentación de la problemática a investigar

El fenómeno de golpe de ariete se conoce desde hace tiempo. Se trata de un transitorio rápido que va amortiguándose hasta su extinción. Variables como la presión del fluido (que en régimen estacionario presentan un comportamiento estable, independiente del tiempo) tornan repentinamente a un comportamiento oscilatorio, con amplitud de onda más o menos marcada, que indica un proceso brusco llegando, en ocasiones, a provocar consecuencias de distinto grado de importancia en el sistema confinante. El conocimiento de las condiciones que lo generan y su control resultan esenciales para lograr un manejo adecuado del fluido a fin de prevenir los efectos negativos mencionados.

Tales consecuencias han sido el motivo principal de su estudio sistemático, que abarca los últimos ciento cincuenta años. La investigación ha avanzado por vías diferentes en función al peso relativo que, distintos en periodos de tiempo, y como resultado de sucesivos avances tecnológicos, se ha dado a los aspectos que lo componen y, que sumados constituyen el fenómeno en sí. Por ejemplo, hasta mediados del siglo XX el análisis estuvo orientado principalmente a la descripción del fenómeno desde su concepción ondulatoria. Desde las últimas cinco décadas, en cambio, los avances para su descripción se focalizaron mayoritariamente en modelar la amortiguación del fenómeno generada por la fricción. Los esfuerzos puestos en esta dirección quedan plasmados en la diversidad de líneas de trabajo actuales ((*Murga y Molina (1997)*, *Hager (2001)*, *Bergant y Tijsseling (2001, 2008)*)).

Los modelos que describen el golpe de ariete no incluyen, frecuentemente, la influencia de parámetros activos. Algunos autores, al respecto, han indicado la influencia de la perturbación operada (apertura, cierre de válvula) en el transitorio, no obstante las funciones de cierre que han sido incluidas en modelos se restringen habitualmente a unas pocas clases, y la producción científica incluyendo este aspecto es notablemente menor tanto en volumen como en continuidad respecto al estudio de los efectos atenuadores arriba citados (*Hager (2001)*).

El desarrollo asimétrico del análisis del transitorio en todas estas décadas ha sido, por lo tanto, resultado directo de la ponderación desigual que se ha dado a unos factores como la fricción en relación con la función de cierre o con la influencia del material de la conducción.

Una vía para mejorar la descripción es contemplar estos parámetros e incluirlos en el modelo. La tarea presenta dificultades relacionadas con la complejidad matemática para la obtención de la solución que supone incluir más variables, pero la formulación de un modelo más complejo resulta de mayor confiabilidad para la descripción de las características de la onda transiente.

b) Proyecto de investigación

Este Proyecto constituye una línea de investigación que continúa a trabajos previos sobre este tema. Se encuadra en el área de Mecánica de Fluidos, capítulo de la Mecánica Clásica. Su desarrollo ha sido planificado para el bienio 2012 –2013.

El objetivo del trabajo ha sido mejorar el modelado del transitorio para contribuir a una descripción más ajustada del mismo y a mejorar la predicción de condiciones de aparición del transitorio, de magnitud y duración.

Se analizó el fenómeno en un sistema simple formado por un tanque, una conducción horizontal de característica constante y una válvula en el extremo libre. Se formularon las siguientes hipótesis de trabajo: modelo unidimensional, flujo compresible, conducción llena de líquido, líquido homogéneo y conducción elástica, velocidad y presión uniformes en cualquier punto de la conducción, sin efecto de separación de columna durante el transitorio, nivel de agua constante en el reservorio, diámetro de la conducción, constante.

Se han aplicado en la resolución del modelo herramientas matemáticas adecuadas para operar en los campos temporal, de frecuencias y complejo. La solución obtenida permite describir las oscilaciones de la presión para distintas operaciones de válvula y distintos materiales de la conducción y permite realizar el análisis del cambio de la forma de onda en cada ciclo del proceso (en los casos que se da esta situación) en función del material de la tubería.

c) Marco teórico

La circulación de fluidos en tuberías es intrínsecamente un proceso transitorio que presenta cambios en los flujos de entrada y salida, ya sea por arranque y parada de bombas y compresores, variación de la sección libre de circulación, cambios de las condiciones de trabajo o restricciones a la libre circulación del fluido.

Una desaceleración del fluido generada por restricciones como el cierre de válvula, por ejemplo, produce un incremento de presión aguas arriba de la restricción. Sucede a esta primera etapa una descompresión del líquido que comienza a circular en sentido inverso, observándose la disminución rápida de la presión paralelamente con un progresivo incremento de la velocidad del fluido que circula en sentido inverso. Así, la variación de energía cinética se transforma en incremento de energía potencial de presión, seguido, posteriormente, de una disminución de la presión y aumento de la velocidad del fluido en sentido inverso. Este ciclo se repite formando de un tren de oscilaciones manifestado como una sucesión de sobrepresiones y depresiones que recorren la longitud de la conducción en forma alternada, constituyendo un fenómeno de carácter oscilatorio complejo, que se va atenuando en el tiempo. Las propiedades mecánicas del material de la pared influyen en la intensidad de las oscilaciones de presión. Aguas abajo, se produce una primer depresión de la misma magnitud que la amplitud de la sobrepresión aguas arriba.

Perturbaciones como las citadas conforman un parámetro que define las propiedades del tren de ondas, como también el módulo de elasticidad de la cañería y el módulo de compresibilidad del fluido, determinantes de la velocidad de la onda en su recorrido por la tubería.

Las características arriba indicadas muestran que un modelo útil para describir el flujo en tuberías debe ser un modelo transiente, donde se deben resolver ecuaciones de flujo dependientes del tiempo. Estos modelos, pueden ser abordados mediante aplicación de herramientas matemáticas como la *Transformada de Laplace* y la operación de antritransformada, en el *campo complejo*, para obtener la solución que describe la presión transiente.

d) Aspectos relevantes de la investigación.

La solución obtenida, que expresa las variaciones de la presión, permite describir las fluctuaciones de esta variable en el tiempo y en el espacio. Esta solución se empleó en el análisis de la función de cierre. Se aplicó, además, al análisis del estado tensional de la instalación (tema de menor ponderación en la producción científica sobre el transitorio).

Este tema ha sido tratado mediante resolución analítica del modelo para la obtención de los valores de presión instantánea y mediante aplicación de los fundamentos de cálculo de tensiones radiales en anillos delgados (*Timoshenko (1980)*), adaptando los criterios de análisis al caso de conducciones cilíndricas.

La investigación se extendió también al análisis del cambio de forma de onda en materiales poliméricos. Se encontró una analogía entre la forma de onda en relación con la función de cierre y con la forma cambiante de cada ciclo en registros de presión donde la conducción presenta bajo índice de elasticidad.

El análisis sobre la influencia del material de la conducción es otro tema que se abordó bajo los mismos fundamentos de resolución y además fue empleado un desarrollo numérico. Se obtuvieron, mediante su aplicación los valores pico de presión de la onda, que se utilizaron en la obtención de una correlación entre el primer pico de presión y un parámetro representativo del material. Se eligió la *rigidez a la flexión*, que indica la capacidad de resistencia a la flexión de un material sometido a fuerzas transversales a su eje axial.

e) Aportes alcanzados en relación con el tema de investigación.

Se encontró una relación definida, de clase logarítmica entre el material de la conducción y el primer pico de presión transiente (el más crítico). Esta correlación resulta útil y práctica para evaluar la magnitud de la presión en el golpe de ariete en función del material de la tubería, como medio para determinar qué clase de material resulta más adecuado en una instalación. El desarrollo y los resultados de este análisis han sido presentados y expuestos mediante un *paper* en el *XX Congreso Sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF 2013)* y ha sido publicado en la *Revista Mecánica Computacional - Volumen XXXII*.

En marzo del corriente año llegó una solicitud de envío de este trabajo, desde el Departamento Editorial del *Journal of Mechanics Engineering and Automation (J.M.E.A.)* de los Estados Unidos, prestigiosa editorial científica de alcance mundial.

En el mes de mayo del corriente año el autor de este trabajo recibió la invitación para el envío de un manuscrito en este área de investigación, de la Oficina Editorial del *Journal of Water Resources and Policy (J.W.A.R.P.)*, Revista norteamericana de

proyección internacional que publica trabajos científicos acerca del agua como recurso, su distribución y sobre políticas aplicadas a este recurso.