

Cavitación en impulsiones^(*)

Por ENRIQUE MENDILUCE ROSICH

Doctor Ingeniero Industrial.
Premio March para la investigación

En este trabajo se pone en evidencia el absurdo que se comete al interpretar literalmente las caídas de presión negativas por debajo del vacío absoluto, en las paradas de bombas de gran proporción de bombeos, circunstancia que deja sin fundamento la creencia generalizada de que en estos casos se produce la cavitación.

Basado en razonamientos físicos y experimentales, interpreta que los vacíos generados por estas caídas de presión, se situarán en curvas parabólicas, con límite asintótico al vacío absoluto.

Señala la falta absoluta de averías provocadas por la supuesta cavitación o sus consecuencias, auguradas por Bergeron y sus seguidores y denuncia la excesiva inversión en innecesarios recipientes de aire, para eliminar vacíos que no son en absoluto peligrosos, manifestación que puede ser fácilmente comprobable mediante mediciones vacuométricas en las paradas.

DEFINICIONES

Al comienzo de mis estudios sobre impulsiones, encontré reiteradas referencias marcadamente confusas sobre la cavitación, que me dejaron desorientado e intrigado, pero como durante muchos años he estado ocupado en otras cuestiones, que fueron objeto de diversas comunicaciones, dejé aparcado como ahora se dice, el interesante tema que titula este trabajo.

Creo que no habrá duda de que esta cavitación, que llamo estática, es la vaporización del agua ya parada, en una zona en la que la presión es suficientemente baja como para producir realmente su cambio de estado líquido a gaseoso, a su temperatura circunstancial, formándose bolsas de vapor, que desaparecerán por condensación de este, al producirse un aumento de la presión.

Sin embargo, es frecuente encontrar manifestaciones sobre esta situación en las que se diagnostica cavitación así como la separación del fluido, tan pronto la caída de presión supera a la presión estática, en cuya interpretación quedan confundidos y yuxtapuestos el vacío y la cavitación.

Parece muy conveniente, antes de profundi-

zar en la posibilidad de esta cavitación, aceptar claramente que en el momento en que la presión comienza a ser menor que la atmosférica, se inicia el VACIO, situación que no quiere decir que dentro de la tubería no haya agua, sino que su presión absoluta es menor que 10,33 m.c.a.

Cuando la caída de presión es suficientemente importante, el grado de vacío crece, pero el agua permanece líquida hasta que se alcanza la presión absoluta necesaria para su ebullición, vaporización o CAVITACION y a partir de ese momento se podrá aceptar la separación, tan temida por muchos especialistas. Esta presión absoluta ha de ser de 9 mm. de columna de mercurio, para agua a 10° C, temperatura normal en sus transportes.

Antes de llegar a la producción de burbujas de VAPOR, tendrá lugar la formación acelerada de otras burbujas de AIRE, que el agua siempre tiene en disolución y emulsión, en proporción creciente con la presión y que es devuelto al bajar esta.

Esta formación de burbujas o bolsas de aire, se superpone a las iniciales de vapor de agua, al acercarse la presión de cavitación y por ello puede ser difícil establecer el momento en que esta se generaliza.

Soy consciente de que algunas de estas ma-

^(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de abril de 1989.

nifestaciones pueden ser calificadas de elementales y otras pueden ser discutidas, pero con ellas estoy estableciendo los fundamentos de mis posteriores razonamientos.

ANTECEDENTES

Mi primera referencia sobre la cavitación, la obtuve en el libro de Bergeron, «Du Coup de Belier en Hydraulique...» de 1950, en el que deduce gráficamente que cuando el golpe de ariete en una impulsión, es superior a la altura geométrica H_0 , se produce una cavidad creciente que puede originar una sobrepresión $4H_0$, pero si aquel crece y se hace mucho mayor que H_0 , la sobrepresión puede llegar a $100H_0$.

Cinco años más tarde, el ponente de la comunicación I del Congreso de la IVSA en Londres, «Protección de las tuberías contra los efectos del golpe de ariete», Charles Dubin, Ingeniero Jefe de la C.^a General de aguas de París, concreta estas amenazas anunciando que la cavitación generalizada se producirá tan pronto el golpe de ariete supere a la presión estática, es decir, tan pronto la caída de presión traspase el punto A de la fig. 2. Ambos especialistas olvidan en sus especulaciones, que el golpe de ariete no siempre es el máximo de Allievi.

No he de ocultar la desorientación que estas ideas me produjeron, al conocerlas después de quince años de dedicación a la instauración de tuberías, en gran proporción de impulsiones, sin haber recogido experiencia positiva alguna sobre eventualidad de sobrepresiones de semejante consideración.

Pienso que la mayoría de los asistentes al Congreso y los lectores de tales riesgos, habrán quedado atemorizados ante semejantes peligros, temor compartido por Parmakian, cuyas secuelas vengo comprobando en sucesivas generaciones de técnicos responsables de bombeos, con independencia de su nacionalidad.

Sin embargo debería estar fuera de dudas y en aquella época también; que el agua puede soportar fuertes vacíos sin cambiar de estado y sin que se produzca la temida separación. Considero que estos especialistas olvidaron también las débiles presiones absolutas necesarias para que el agua entre en ebullición, va-

porizándose a la baja temperatura del agua bombeada.

Para conseguir la baja presión que antes hemos indicado, del orden del 98,8 por 100 del vacío absoluto, sería necesario, además de la ausencia total de ventosas o aducciones de aire, extraer el emulsionado y disuelto en el agua, que se libera al bajar la presión y el que entra por juntas ideadas para soportar presión interior y además, antes de producirse tan baja presión, el vacío alcanzado supliría el efecto aspirante de las bombas.

ANALISIS E INTERPRETACION DEL PROBLEMA

Es muy frecuente que el cálculo del golpe de ariete por parada imprevista, nos proporcione valores superiores a la presión geométrica y en la mayor parte de estos casos, el resultado negativo de su diferencia excederá de 10,33 m.c.a.

Cuando en la resolución de un problema matemático, se obtienen soluciones dudosas, estas se discuten y en su caso se rechazan por reducción al absurdo. Es claramente absurda una solución de presión inferior al vacío absoluto y lo que procede es rechazar su interpretación literal, en este caso la cavitación, meditando e indagando sobre otra posible orientación.

Razonando energéticamente, podemos pensar que una parte de la energía cinética del agua, en el instante de la parada de bombas, producirá la anulación de la presión geométrica y el resto se consumirá en la creación de un vacío, cuyo crecimiento no será lineal, puesto que la energía requerida para un mismo aumento de este vacío, será mayor conforme se acerca al absoluto.

Impulsado por esta idea, que debe ser sometida a una discusión constructiva, me permito establecer la denominación específica de m.c.a.⁺, para el metro de columna de agua por encima de la presión atmosférica y m.c.a.⁻ para los situados por debajo de ella. Pienso que bajo este aspecto energético, todos los m.c.a.⁺ son iguales, pero imagino que no ocurrirá lo mismo con los m.c.a.⁻, ya que para pasar de la presión atmosférica a un vacío del

m.c.a.-, se precisa mucha menos energía que para pasar de 9 a 10 m.c.a.-, no habiéndose conseguido, hasta ahora, una aplicación de energía suficiente para llegar a 10,33 m.c.a.-, es decir, el vacío absoluto.

Quizás haya que admitir que la energía intrínseca representada por las diferentes posiciones de cada m.c.a.-, en relación con el 0 de presión sea idéntica, pero en la práctica la energía necesaria para lograr estas posiciones es distinta.

Sin referirnos a las instalaciones industriales de vacío, en las que esta afirmación está comprobada, por el descenso del rendimiento de las máquinas para vacíos crecientes, se justifica fácilmente en nuestro caso por el desvío de energía que se ha de producir ante la devolución y expansión del aire disuelto y emulsionado en el agua, la aspiración a través de las bombas en deceleración, gases, etc.

Por lo tanto, mientras la caída de presión tiene lugar en la zona de presiones positivas, su decrecimiento será sensiblemente lineal con el tiempo, pero por debajo de la presión atmosférica la aplicación uniforme de la energía de tal caída, producirá incrementos decrecientes del vacío. Fig. 2.

Con ocasión de las pruebas de una impulsión para abastecimiento de Vitoria, de 5.500 m. y 600 mm Ø, con una caída de presión negativa de 36 m.c.a.+ según cálculo, tomé la decisión de instalar un vacuómetro con aguja de arrastre y el vacío registrado fue de 120 mm.

La realidad es que no había considerado con anterioridad la necesidad de las mediciones de vacío, por mi convicción de que eran intrascendentes, ya que no me habían causado ningún problema y las mediciones de las sobrepresiones confirmaban los valores del cálculo, como dejé específicamente reflejado en mis trabajos.

La comprobación citada, reforzó mi opinión de que los valores del vacío creado por tales caídas de presión, se sitúan en curvas parabólicas similares a la que reproduzco de mi ponencia presentada al I Congreso Nacional de Golpe de Ariete, cuya interpretación matemática puede aproximarse a la siguiente expresión empírica.

$$P^x \text{ (m.c.a. +) } \approx V(\text{cmHg}) = 0,136 V(\text{m.c.a. -})$$

El exponente que ajusta los datos de la experiencia con su resultado es 0,72, pero para generalizar aventuro el 0,8 como punto de partida de una comprobación sistemática futura, que espero y deseo que alguien realice.

Insistiendo en mi interpretación de esta evolución de presiones y tomando como símil el efecto pendular, podemos comparar las oscilaciones provocadas por la parada de un bombeo, a las de un péndulo que oscilará libremente como la presión, cuando el golpe de ariete es menor que la presión geométrica.

En caso contrario, la energía potencial del vacío creado podrá ser equiparada a la de distensión de un muelle o resorte, anclado firmemente por uno de sus extremos y que interrumpe la oscilación del péndulo. En la figura 1, el péndulo en su recorrido interrumpido, distiende el resorte en función de la energía que le resta al llegar a él y al invertirse el ciclo, la energía potencial de la distensión, devuelta por el resorte en su contracción, sumada al desequilibrio anterior, desplazará al péndulo a su posición primitiva.

De esta forma se explica que la sobrepresión que se registrará en una impulsión, carente de aducciones de aire, sea la que corresponde a la suma de la presión estática mas el golpe de ariete, con independencia de que se produzca o no depresión inicial.

En gran proporción de los fenómenos físicos

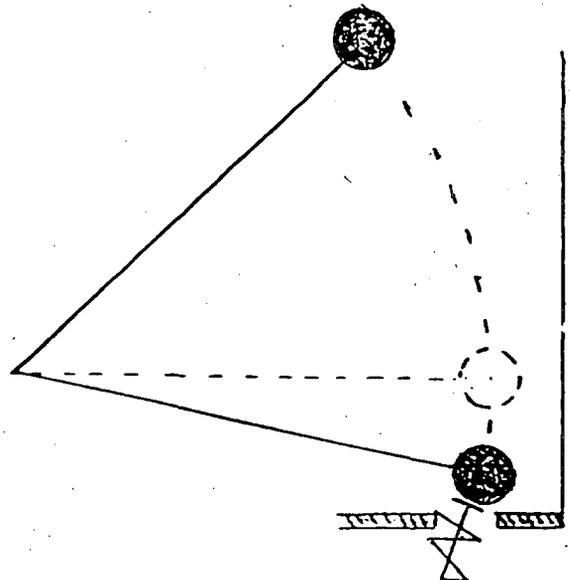


Figura 1.— Símil pendular del vacío.

que nos condicionan, se han conocido primero los efectos y después se ha tratado de establecer las causas, mediante investigaciones más o menos laboriosas y afortunadas, de lo que son buenos ejemplos hidráulicos la corrosión por cavitación (dinámica) en hélices, álabes, clapetas, las roturas de tubos por golpe de ariete en saltos de agua y las mismas roturas por las presiones explosivas originadas por el aire no evacuado debidamente.

En el caso que nos ocupa, la cavitación (estática) en impulsiones, el proceso ha sido inverso puesto que la causa se dedujo gráficamente y sus peligrosos efectos vaticinados, no se han comprobado en ningún caso, a pesar de haber transcurrido casi cincuenta años desde tan trascendente augurio, si bien el dinero invertido en la eliminación de la supuesta cavitación, mediante voluminosos recipientes de aire, ha sido fabuloso y sería suficiente el costo de uno de ellos para subvencionar los sencillísimos ensayos vacuométricos de comprobación que propugno.

Si las deducciones gráficas que rebatimos, tuviesen el menor fundamento físico, habrían menudeado las roturas espectaculares en la ingente cantidad de impulsiones con depresión inicial sin corregir, que vienen funcionando desde que se masificó la elevación de las aguas, lo mismo que ocurre, con excesiva frecuencia, como consecuencia de las sobrepresiones altísimas ocasionadas por el aire incontrolado en

el interior de las tuberías, por deficiente evacuación, realidad que, por curioso contraste con lo anterior, muchos especialistas olvidan o incluso rechazan.

Puedo enumerar de memoria más de un centenar de roturas, algunas de las cuales están localizadas en mi comunicación «Peligrosidad del aire incontrolado...» publicado en esta revista en marzo de 1984, en las que he intervenido, para eliminarlas mediante la instalación de ventosas de triple efecto, como en el caso más reciente de Pola de Labiana, Asturias, al que se refiere la fotografía de una de las 20 roturas explosivas provocadas por el aire aprisionado, con lanzamiento de trozos de tubo y tierra del relleno a distancia, en cada llenado de una conducción de nueve kilómetros de tubería de 700 mm de varios timbrajes, la cual sólo pudo ponerse en carga continuada y en servicio, después de que fueran instaladas las 10 ventosas recomendadas en mi informe.

Sin embargo, tengo que insistir que no he tenido conocimiento directo ni indirecto, de incidencia alguna en impulsiones por vacío o sobrepresiones extraordinarias, por parada de motores.

No es jactancia sino historia, recordar que durante 30 años tuve la responsabilidad, más o menos directa, de la puesta en servicio de muchos centenares de impulsiones, por mis sucesivos cargos en las empresas que fabricaron



y pusieron en servicio la mayor parte de las tuberías instaladas en España en el mismo período.

Esta actividad fue el origen de mi interés por la mecánica hidráulica, como fenómeno eminentemente físico, que quedó plasmado en más de 50 trabajos publicados y en la investigación que me llevó a comprobar sistemáticamente las oscilaciones de presión por parada de bomba y el tiempo de parada del agua.

Con este bagaje y después de numerosos intentos para conseguir el mejor enfoque y la mayor claridad de expresión a mi alcance, he desarrollado este trabajo que deseo someter a una discusión constructiva, con tres objetivos muy ligados pero diferenciados:

- a) Reconocimiento de que la interpretación literal de las caídas de presión por bajo del vacío absoluto, no tiene sentido y no es admisible por incurrir en un evidente absurdo.
- b) Reconocimiento de que es preciso investigar sobre la interpretación que se debe dar a estos resultados absurdos, fundamentalmente mediante pruebas vacuométricas sistemáticas.
- c) Reconocimiento de que los vacíos parciales originados por la parada de bombas, ni son peligrosos ni producen sobrepresiones extraordinarias muy superiores a las de cálculo, efectos sobre los que se carece totalmente de comprobaciones.

SINTESIS DE LAS IDEAS EXPUESTAS

a) Planteamiento del absurdo

1. La parada brusca de un bombeo, cuyo golpe de ariete supera a la presión estática, produce depresiones en las tuberías que preocupan a muchos especialistas hidráulicos, por haberse vaticinado sobrepresiones subsiguientes de hasta 100 veces la presión estática, deducidas gráficamente en tiempos ya lejanos, «Le coup de belier...» L. Bergeron 1950, Pag. 127.
2. El agua en estado líquido soporta elevados vacíos, sin alteración de su compor-

tamiento físico a los efectos de su deslizamiento por las tuberías, mientras no se produzca su cambio de estado por ebullición o vaporización.

3. La vaporización del agua a 10° C, que puede considerarse la temperatura media en bombeos, se produce a 9 mm de presión absoluta. Hasta no alcanzar la inmediata vecindad de esta mínima presión, que representa el 98,8 por 100 del inalcanzado vacío absoluto, no se iniciará su ebullición, separación o cavitación.
4. Cada vez es más frecuente que la diferencia numérica entre el golpe de ariete en un bombeo y su presión estática, tenga un valor negativo inferior al vacío absoluto -10,33, resultado claramente IMAGINARIO, evidentemente ABSURDO e imperiosamente RECHAZABLE, por razones físicas ineludibles.
5. Si el cálculo del golpe de ariete es correcto y nos proporciona un resultado absurdo, hemos de pensar en la probable FALSA INTERPRETACION DEL SIGNIFICADO DE TAL RESULTADO.
 - b) **Propuesta de justificación del absurdo**
6. Considerando que el vacío en las tuberías es por naturaleza inestable, por la presencia de aire disuelto y emulsionado, gases, etc., creemos que el originado por una caída de presión por bajo de la atmosférica, no se corresponderá numéricamente con el valor negativo de esta caída, sino que sufrirá una reducción por dispersión de energía en otros efectos. Queremos decir que esta transformación en vacío, tendrá un rendimiento variable como en las instalaciones industriales.
7. Podemos pensar que la unidad m.c.a. quizás sea energéticamente diferente cuando medimos presiones positivas en m.c.a. +, que cuando medimos el vacío generado en m.c.a. - y en este último caso, diferentes entre sí, de forma que aumentos uniformes de caídas de presión negativa, producen aumentos decrecientes de vacío.

8. La curva parabólica, lugar geométrico de estos vacíos, puede ser interpretada por la expresión empírica que relaciona los valores negativos de presión P , con los vacíos V generados:

$$P^* (\text{m.c.a.}^+) \approx V (\text{cm.Hg.}) = 0,136 V (\text{m.c.a.}^-)$$

y su representación gráfica, propuesta ya en 1965, será:

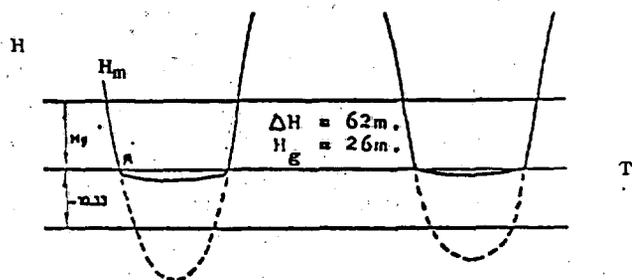


Figura 2.

9. Siguiendo este criterio sugiero el exponente 0,8, que aplicado a la expresión anterior en un caso real de 62 m. de golpe de ariete y 26 m. de altura geométrica, proporciona el siguiente vacío:

$$36^{0,8} \approx 17 \text{ cm.Hg.} = 2,3 \text{ m.c.a.}^- = -2,3 \text{ m.c.a.}$$

es decir que una notable caída de presión de 25,66 m.c.a. + por debajo del vacío absoluto, que no tiene sentido interpretada literalmente, producirá según esta orientación, un moderado vacío de -2,3 m.c.a. que elimina el absurdo planteado y explicará la ausencia de rotura de tubos por esta específica situación.

c) Argumentos negativos

10. Esta expresión admite la posibilidad teórica de que se produzca la cavitación en un bombeo, a partir de un resto negativo de más de 200 m.c.a. +, pero a tal extremo no es posible que se acerque ninguna instalación racional.
11. No hay ninguna constancia de que las instalaciones con fuerte vacío inicial, resulten más afectadas por roturas causadas por la cavitación o sobrepresiones

explosivas, como se auguran. En 40 años de experiencia personal, más o menos directa e ininterrumpida hasta el momento, no he captado indicio alguno en este sentido, que de haberse producido hubiera recogido en mi trabajo experimental, realizado sin ningún prejuicio previo.

12. Refiriéndome, para mejor comprensión, a mi experiencia sobre un resto negativo de -36 m.c.a. +, parece lógico que los que aceptan la cavitación en este caso, tendrían que aceptar por la misma razón el vacío absoluto en el interior de la tubería y aún los sobrarían -25,66 m.c.a. +, molestos pero ignorados y sin embargo mi vacuómetro se conformó con marcar un modesto vacío de 120 mm.
13. Se dice y yo he repetido que casi todos los tubos, excepto los de pared delgada, están en condiciones para soportar importantes vacíos, pero naturalmente esta prueba habría de hacerse sin otras cargas. Ahora bien, con la variada profundidad de zanja en que se encuentran enterrados los tubos, aunque sea sectorialmente, el vacío absoluto o su 98,8 por 100, combinado con la carga de aplastamiento del relleno, habrán de producir notorias roturas en tubos de timbrajes bajos.
14. Las fórmulas para el cálculo del golpe de ariete por cierre de válvula proporcionan su valor en m.c.a. positivos, es decir, m.c.a. +, como exhaustivamente demostró Camichel en los Saltos de Cauteret, «Etude theorique et experimentale des Coups de Belier», 1918 y su validez en la aplicación en los bombeos quedó también ampliamente comprobada en mi investigación, realizada en una época de manifiesta desorientación sobre el fenómeno, demostrada en el preambulo de la 2.ª edición de «El golpe de ariete en impulsiones».

Si tanto la presión atmosférica, como el golpe de aire vienen expresados en m.c.a. +, su diferencia, que puede ser negativa, vendrá expresada también en m.c.a. + que no será posible identificar con los m.c.a. -, limitados imperiosamen-

te a 10,33. En estas condiciones nuestra preocupación debe ser hallar la equivalencia entre ambas unidades, es decir: $Xm.c.a. + Ym.c.a.$ y de esta forma tendremos la solución del absurdo razonamiento que pone de manifiesto la utilidad de las notaciones ideadas.

15. La comprobación del desarrollo parabólico del vacío y la deducción del exponente más adecuado, sería fácil de realizar mediante mediciones vacuométricas sistemáticas en diversas impulsiones a su puesta en marcha, que es el momento más adecuado para solventar las incidencias que tales pruebas puedan originar, o mejor en una instalación piloto de altas velocidades regulables y mínima altura geométrica, sin ventosas, cuyo costo se vería compensado rápidamente en innecesarios y con frecuencia monstruosos dispositivos antiariete. En estas pruebas deben interesarse el Ministerio de Obras Públicas y la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos, entre otros.

PUNTUALIZACIONES

El fenómeno físico que he analizado, ha recibido hasta ahora un tratamiento confuso y en ocasiones contradictorio, presentando evidentes dificultades para su expresión clara y concreta, como ha sido mi deseo para evitar un relato farragoso, pero esto puede tener el inconveniente de dejar insuficientemente tratadas alguna de sus variadas facetas.

Por ello he creído conveniente añadir estas puntualizaciones que amplíen y concreten mi criterio sobre ellas.

Aplastamiento por vacío

Una de las reacciones de quienes conocen estas ideas, ha sido recordarme que las tuberías se aplastan realmente por vacío interior en numerosas ocasiones y en este sentido he de manifestar que yo he padecido y reparado directamente este tipo de rotura por aplastamiento, pero sin guardar en ninguna ocasión, relación alguna con la parada de bombas.

Precisamente este general y comprobado conocimiento de estos incidentes, es lo que más firmemente apoya mi tesis puesto que si por tal motivo llegase a producirse la cavitación, es decir, una presión absoluta de $-10,2$ m.c.a., raro sería el tubo que la soportase en combinación además con la carga del relleno de la zanja.

Respuesta pendular a la cavitación

Insisto en rechazar firmemente la suposición, por deducción gráfica de Bergeron, de que la parada brusca de motores pueda originar la cavitación, separación o rotura de la vena líquida, todo ello muy ampuloso aunque falso, pero estoy totalmente de acuerdo con él en que si se produjera, la sobrepresión subsiguiente habría de ser fortísima.

Conviene recordar que la presión en la Tierra puede variar entre dos límites, uno de los cuales, el superior, es el infinito y el otro no es finito, aunque esté definido, puesto que no hemos conseguido alcanzar el vacío absoluto.

No me atrevo a afirmar que si alcanzásemos este límite inferior, la respuesta pendular del agua elevaría la presión al infinito, pero estoy seguro de que todos los físicos estarán de acuerdo conmigo en que el valor de esta respuesta al vacío absoluto, en busca de la posición de equilibrio, habría de pasar por una presión súbita muy elevada, es decir, explosiva, como las que produce el aire incontrolado.

¿No será más sencillo y racional rechazar de plano semejante causa sin efecto y hacer pruebas vacuométricas, para que se quede tranquila la pléyade de creyentes en este fantasma?

Ruego me disculpen las crudas expresiones que se me escapan pero pienso que en definitiva pueden servir para que los expertos teóricos se enfrenten abierta y frontalmente, como doy ejemplo, con las situaciones físicas que he procurado plantear con claridad, presentando sus objeciones o rectificando.

Recipientes de aire

Mi alusión a estos dispositivos antiariete puede resultar interpretada de forma equivocada, por lo que debo aclarar mi opinión:

Estos antiarietes, de larga y eficaz ejecuto-

ria, están entre los mejores que se han ideado para reducir la sobrepresión, como he podido comprobar en los que he dimensionado, con fórmula propia, e instalado durante mi actividad profesional. Para presiones importantes sus volúmenes no son exagerados.

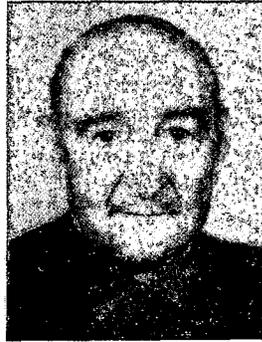
Sin embargo para eliminar el vacío no resultan ya los más eficaces y alcanzan dimensiones que económica y constructivamente son prácticamente prohibitivas, lo que ha sido causa de mi rechazo para esta finalidad específica, que puede ser conseguida de forma más racional.

COMENTARIOS FINALES

Desearía que las ideas expuestas, de forma quizás poco académica, provoquen la reflexión y exciten la experimentación en especialistas y cátedras, que sin apreciar el absurdo que se comete, aceptan con excesiva facilidad la cavitación y arrojan mentalmente a la papelera, el resto negativo de presión.

Esta actuación, que es internacional, no resulta seria ni compatible con los increíbles avances tecnológicos de nuestro tiempo y es el resultado de la visión antigua de un fantasma gráfico, que inexplicablemente se ha venido transmitiendo generacionalmente, a pesar de que nadie lo ha visto ni comprobado. ■

Enrique Mendiluce Rosich.



El autor de este artículo, con gran experiencia hidráulica en el campo de los transportes de agua por tubería, adquirida en su prolongada actividad profesional en dos importantes empresas fabricantes de tubos de amianto-cemento, tiene publicados numerosos trabajos, de marcada orientación práctica, en revistas técnicas, tanto nacionales como extranjeras, sobre pérdidas de carga, velocidades, diámetros recomendables, antiarrietes, esfuerzos combinados, etc., destacando su investigación teórico-práctica sobre los valores del golpe de ariete en impulsiones que le permitió establecer un sistema de cálculo analítico, basado en sus dos fórmulas del tiempo de parada o de maniobra, que ha alcanzado gran divulgación y aceptación por su sencillez y fiabilidad.

