

El Estado actual de los transitorios hidráulicos en España. Aportaciones más necesarias para tratar de elevar el nivel tecnolójico del país en este área.^(*)

Por E. CABRERA, H. SANCHO, M. ROLDAN
y J. GARCIA-SERRA

Departamento de Ingeniería Hidráulica.
Universidad Politécnica. Valencia. España.

En este trabajo se analiza, desde la perspectiva de los autores, la situación general en España de la Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de fluidos a presión, y de los transitorios hidráulicos en particular. Se abordan, asimismo, las posibles causas que ha generado una tan escasa contribución al tema, así como algunas de las medidas que deberían adoptarse para tratar de mejorar esta situación.

Finalmente se indican cuáles son las aportaciones más necesarias para cubrir las actuales necesidades tecnológicas del país, teniendo presente en todo momento, tanto la excelente bibliografía internacional que sobre el tema existe, como el abundante software desarrollado al respecto.

1. INTRODUCCION

Ciertamente el desconocimiento total que por parte de la comunidad hidráulica internacional se tiene de España, en el área que nos ocupa, es plenamente justificado. La presencia en foros internacionales de nivel ha sido bien escasa y, por lo tanto, las aportaciones de un cierto relieve prácticamente nulas.

Consecuencia directa de ello es, de una parte, que el nivel técnico de los profesionales de la hidráulica no es todo lo bueno que sería de desear y, de otra, que cuando el problema adquiere una cierta relevancia éste debe resolverse fuera de nuestro país, o bien estudiarse con metodologías adquiridas más allá de nuestras fronteras.

Las razones que explican este retraso son, en nuestra opinión, muy claras y tienen todas su origen en la escasa tradición investigadora de las Universidades Tecnológicas Españolas, y el área hidráulica que nos ocupa no escapa de este contexto. Sin embargo, justo es reconocerlo, el nivel de formación teórico que tienen quienes concluyen sus estudios en estas Escuelas, sobre todo en las más consolidadas, es

bueno y ello es una consecuencia directa del elevado nivel que presentan los programas que deben aprobar, si bien no puede decirse lo mismo del importante aspecto experimental. Pero una vez han conseguido su titulación, la desconexión del Ingeniero con su centro de formación es, por lo general, absoluta y total, al no encontrar en la Universidad el marco adecuado para la resolución de los problemas más complejos que se presentan, ni los cursos de reciclaje específicos adaptados al perfil de su puesto de trabajo en la Sociedad.

A nuestro juicio esta situación es consecuencia del escaso poder de atracción que, generalmente, ha presentado la Universidad Tecnológica Española para retener a los titulados de mayor valía, con una dedicación suficiente. Ello es, sin ninguna duda, consecuencia directa de los bajos salarios ofrecidos sobre todo cuando se les compara con los de la industria privada. En justa correspondencia, se ejerce un escaso control sobre la calidad de la docencia, de la investigación y, en general, del nivel de dedicación. En resumen, no se ha podido soportar la cada vez mayor presión del mundo industrial, circunstancia ésta que no afecta tanto a los científicos puros con una vocación mucho más definida y concreta, lo que les permite aislarse

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de Agosto de 1989.



2. APORTACIONES MAS RELEVANTES HABIDAS EN ESPAÑA EN LAS ULTIMAS DECADAS EN EL CAMPO DE LOS TRANSITORIOS HIDRAULICOS

Los trabajos generados en el propio país en los últimos cuarenta años, que hayan gozado de un cierta difusión entre los profesionales preocupados por esta temática, son ciertamente escasos. El total, entre artículos, tesis, libros, etc, no debe ir más allá de las 40 publicaciones. Como aportaciones más significativas destacaremos, en primer lugar, la obra de Pastor, ref. 1, que básicamente es una divulgación de la teoría general que desarrolló Allievi y en la que se incluye asimismo la resolución por el método gráfico de Schneyder-Bergerón de la aplicación más sencilla: las tuberías forzadas. De hecho, el profesor Pastor era consultor de una de las empresas eléctricas con mayor penetración en el mercado español. En dicha obra se ignoraba por completo las tuberías de impulsión que resulta ser la aplicación más frecuente en nuestro país. Lamentablemente Pastor no continuó divulgando el avance de los conocimientos que sobre el tema se iban produciendo en los países de mayor tradición investigadora, y ello dió lugar a un enorme vacío que ha durado varias décadas. Afortunadamente, en el momento presente, la masiva importación de libros tecnológicos procedentes del exterior, ha aliviado notablemente esta carencia.

En 1965, y coincidiendo en el tiempo, con la celebración en Chicago del «International Symposium in pumped storage projects», publica Mendiluce, ref. 2, una expresión de carácter semiempírico que permite abordar, con notables restricciones y simplificaciones, el dimensionado de las tuberías de impulsión. Otros trabajos (refs. 3, 4, 5) tendentes a conseguir un rápido predimensionado de tuberías, elementos de protección, etc., y que tienen un rigor y precisión superior han pasado aquí prácticamente desapercibidos.

El trabajo de Mendiluce, de una enorme difusión en España y Portugal, cremos sinceramente, que no ha contribuido a facilitar el estudio de los transitorios y, en cierto modo, ha impedido un conocimiento físico más profun-

con mayor facilidad. El resultado final es que en la Universidad Tecnológica Española no se quedan los mejores profesionales y con ello la entidad que, por excelencia, debe crear tecnología queda absolutamente debilitada.

La ley de Reforma Universitaria (LRU), promulgada en 1983, contempla en su artículo 11 la posibilidad de incentivar económicamente a los profesores con los ingresos generados de los convenios de investigación y desarrollo suscritos con la Administración y/o industria privada. Ello, aún siendo importante, creemos resulta insuficiente toda vez que la plantilla de profesorado la fijan las necesidades docentes y, en consecuencia, se encuentra fuertemente limitada. La figura de investigador mediante la que los becarios de contrastada valía y dedicación encontraran la posibilidad de permanecer en la Universidad con las garantías necesarias, es algo que continúa echándose de menos. Con ello se podría consolidar grupos de trabajo suficientemente amplios como para abordar con intensidad suficiente importantes proyectos. En las circunstancias actuales pensamos que ello es prácticamente imposible, si bien con imaginación e ilusión se puede intentar combatir este problema.

do del fenómeno por parte de los profesionales implicados.

Finalmente, ref. 6 hemos publicado recientemente un Curso sobre Transitorios Hidráulicos, que incluye una colección de problemas y una biblioteca de programas. Esperamos que, con el tiempo contribuya a rellenar el enorme hueco que actualmente se tiene en castellano en tan importante materia. El Curso aborda el problema de los transitorios hidráulicos desde una perspectiva general para posteriormente enfatizar en los problemas ingenieriles que con mayor frecuencia se presentan en nuestro país. En el perfeccionamiento, puesta al día y difusión del mismo, vamos a trabajar con máxima ilusión en los próximos años.

Muy poco bagaje, como se ve, para un país como España que no quiere perder de vista a los países tecnológicamente más avanzados, y cuya actual situación económica presenta excelentes perspectivas.

3. ESTRATEGIAS Y MEDIDAS A ADOPTAR PARA TRATAR DE ELEVAR NUESTRO NIVEL TECNOLÓGICO EN ESTE CAMPO

En primer lugar debemos preguntarnos quiénes están interesados en que exista una clara progresión en el estudio de los transitorios en nuestro país. La respuesta lógica es, de una parte, la Administración a través de sus ministerios implicados (Educación y Ciencia, Obras Públicas, Industria y Agricultura, fundamentalmente), y de otra el conjunto de profesionales que sienten la necesidad de estos conocimientos. Estos últimos puede ser agrupados en cuatro bloques:

a) Los ingenieros proyectistas adscritos a la Administración o los profesionales libres que en su trabajo diario abordan el diseño y cálculo de estaciones de bombeo, con sus correspondientes impulsiones. La necesidad de un estudio dinámico de las redes de distribución de fluidos así como el análisis de transitorios en sistemas complejos preocupa, por el momento, bien poco. Pero es indudable que con el tiempo, cada vez cabrá exigir cálculos más precisos que justifiquen adecuadamente cuantiosas inversiones.

Lamentablemente, al menos por el momento, ello no suele ser así ya que si hubiera o se exigiera un mayor rigor, el tema se revitalizaría automáticamente.

b) Las grandes empresas de ingeniería del país son las que abordan los proyectos de mayor envergadura. En general no están en absoluto motivadas por la investigación o el desarrollo, acuciadas, sin duda, por poder obtener resultados concretos con rapidez. Las más potentes y las que están mejor equipadas han comprado, por lo general, sus programas de cálculo fuera del país.

c) Las Compañías Eléctricas, que necesitan de esta tecnología para sus proyectos hidroeléctricos, acostumbran a delegar sus cálculos, cuando estos tienen una dimensiones considerables, en las empresas extranjeras que les suministran la maquinaria hidráulica.

d) Finalmente hay que pensar en las multinacionales instaladas en España, que distribuyen maquinaria hidráulica. Los cálculos de envergadura se realizan en el país de origen y la delegación española no pasa de ser una simple Comercial.

Como vemos cada uno resuelve su problema, con mayor o menor acierto, a su manera. Pero, sin embargo, hay un denominador común: muy pocas investigaciones y desarrollos se llevan a cabo en España. Queremos citar al respecto un hecho, ciertamente curioso, que avala cuanto decimos: cuando Streeter (ref. 21) describe los casos de resonancia más notorios que se han presentado en las diversas plantas hidroeléctricas del mundo, cita a la central de Villarino. Pero si alguien está interesado en saber qué es lo que allí ocurrió debe ir a una publicación extranjera (ref. 8). El profesor Thorley nos indicó que su información procedía de una consultora extranjera.

A la vista de cuanto antecede nos preguntamos quienes deberían o podrían asumir un cierto liderazgo en el desarrollo e investigación de estos sistemas. La respuesta, si nos comparamos con nuestro entorno europeo, la podemos encontrar en la lectura de la ref. 9. En ella, C.S. Martín se refiere al estado de los transitorios en Europa Occidental y aunque el trabajo con el paso del tiempo ha perdido un poco



de actualidad, es indudable que los centros de Investigación punteros allí destacados continúan siendo básicamente los mismos. Dichos centros pueden agruparse en tres grupos:

a) Universidades Tecnológicas y en particular Institutos o Departamentos de Hidráulica: Lieja, Toulouse, Milán Gothenburg, Karlsruhe, London-City University, etc.

b) Centros de Investigación adscritos a las Compañías hidroeléctrica, por lo general nacionalizadas. Como ejemplos podemos destacar el Laboratorio Nacional de Hidráulica en Chatou (Francia), dependiente de la EDF, el laboratorio análogo de ENEL en Milán o el North of Scotland Hydroelectric Board dependiente de la Scotland National Power Agency.

c) Grandes oficinas consultoras especializadas, como por ejemplo SOGREAH en Grenoble o NOHAB en Trollhättan (Suecia), dedicada a la fabricación de turbinas.

Ciertamente en un país con las posibilidades económicas de España y con las necesidades que tiene planteadas algo debería comenzar a cambiar para incentivar la investigación en este campo. La Universidad, que no es usuaria directa de la tecnología que genera, debe estar lo más abierta posible a colaborar en desarrollos bien con Ingenierías (lo que resulta particularmente frecuente en USA como lo prueban las refs. 10, 11 ó 12 que dan cuenta de investi-

gaciones llevadas a cabo conjuntamente) o bien con Centros oficiales dependientes de otros Ministerios (como por ejemplo el Laboratorio Nacional de Engenharia Civil y la Universidad Técnica de Lisboa). En resumen: con cualquier entidad pública o privada que lo solicite, por cuanto si lleva a cabo su función de una manera aislada no podrá ser todo lo eficaz que debiera toda vez que le falta el contacto directo con los problemas reales y al mismo tiempo perderá buena parte de su capacidad de autofinanciación.

En cualquier caso, con nuestra integración en Europa, se han creado unas enormes posibilidades de cooperación con Centros Universitarios extranjeros y ello, a nosotros en particular, nos está abriendo grandes perspectivas que debemos ser capaces de aprovechar. Esa es nuestra responsabilidad, como la de los políticos es el favorecer la labor de quienes intentan trabajar bien fomentando el desarrollo tecnológico del país.

4. LINEAS ACTUALES DE INVESTIGACION EN EL ESTUDIO DE TRANSITORIOS

Si queremos conocer en qué direcciones se encuentran los desarrollos de los investigadores más prestigiosos del momento lo más práctico resulta recurrir a los Simposiums y Conferencias que convocan ASME y BHRA, por entender que son los más significativos. Podríamos destacar, entre otros, los siguientes:

- Transitorios en flujos bifásicos.
- Flujos de carácter pulsátil y resonancia.
- Modelación de condiciones de contorno: Análisis del comportamiento dinámico de diversos componentes.
- Control de transitorios.
- Algoritmos matemáticos de cálculo.
- Cavitación.

Los diversos temas planteados están, desde una perspectiva teórica, sustancialmente resueltos si bien es indudable que continúan abiertos y continúan experimentando notables mejoras y contribuciones.

Sin embargo, y al menos en lo que a nuestro país se refiere, los esfuerzos de los investigadores en mejorar modelos y algoritmos de cálculo que nos proporcionen unos resultados altamente fiables, contrasta con las pocas garantías que, en ocasiones, presentan, los datos de partida de los distintos elementos de protección que se utilizan para controlar transitorios. Los fabricantes creemos que no son conscientes de que deben tratar de esforzarse al máximo en caracterizar estos dispositivos y en analizar su comportamiento dinámico si ello fuera preciso.

En España, probablemente debido a un conocimiento poco profundo del problema físico, la caracterización de componentes deja mucho que desear. Veamos seguidamente algunas de las consecuencias que se pueden derivar de datos erróneos y la problemática que plantea la caracterización de los elementos de protección más ampliamente utilizados.

5. LA CARACTERIZACION DE LOS DIVERSOS ELEMENTOS PROTECTORES EN EL CONTROL DE TRANSITORIOS

Los elementos protectores que usualmente se utilizan el control de transitorios son:

- Volantes de inercia.
- Válvulas de retención.
- Calderín de aire.
- Ventosas.
- Tanques unidireccionales.
- Válvulas de alivio.
- Válvulas reguladoras de presión.

Pasemos, seguidamente, a comentar los problemas que presenta la modelización de cada uno de ellos.

5.1. Volantes de inercia

Son muchos los fabricantes de bombas que no proporcionan el momento de inercia del conjunto rodete-fluido, así como del motor eléctrico de arrastre si es una bomba monobloc. De otra parte las expresiones que en la práctica aparecen en la bibliografía técnica para subsanar tales deficiencias presentan el inconveniente

de que están basadas en una gama de productos fabricados en un determinado momento y que la evolución tecnológica las hace perder actualidad. La mejor prueba de ello la proporciona una comparación entre dos de las expresiones más usuales de la literatura técnica. Por ejemplo la ref. 13 propone:

$$\begin{aligned} I &= 0.00450 P^{1.38} \text{ con } N = 1200 \text{ rpm} \\ I &= 0.00193 P^{1.38} \text{ con } N = 1800 \text{ rpm} \end{aligned} \quad \left| \quad 7.5 \text{ kw} \leq P \leq 375 \text{ kw} \right.$$

con I en kg.m^2 , P en Kw. El valor obtenido de I no incluye la inercia de la bomba, por lo que se recomienda aumentar su valor en un 10 por ciento.

De otra parte, en la ref. (14), nos encontramos la expresión:

$$I = 150 (P/N)^{1.435}$$

con P en CV, N en rpm e I en kg.m^2 , expresión esta que incluye el conjunto motor-bomba.

Para un motor de 100 CV (73.6 Kw) y $N = 1.800 \text{ rpm}$ las expresiones antedichas proporcionan:

$$I_T = 1.1 \times 0.000193 (73.6)^{1.38} = 0.800 \text{ kg.m}^2$$

$$I_T = 150 (100/1800)^{1.435} = 2.370 \text{ kg.m}^2$$

y obviamente, aunque ambas estén recomendadas para la fase de anteproyecto y pese a que la de Linton tiene mayor antigüedad, correspondiéndose con motores de arrastre más robustos, no parece justificable que exista una diferencia tan notable. Por ello es muy importante que los fabricantes suministren este dato que después tiene una influencia decisiva en el desarrollo del transitorio.

5.2. Válvulas de retención

El modelo simplificado consiste en admitir, utilizando la nomenclatura convencional (ver ref. 6), las relaciones

$$\begin{aligned} H_{i,n+1} &= H_{i+1,1} \\ Q_{i,n+1} &= Q_{i+1,1} \end{aligned} \quad \left| \quad \text{Válvula abierta} \right.$$

$$Q_{i,n+1} = Q_{i+1,n} = 0, \text{ Válvula cerrada}$$

Esta idealización no permite predecir determinados picos de presión que aparecen en al-

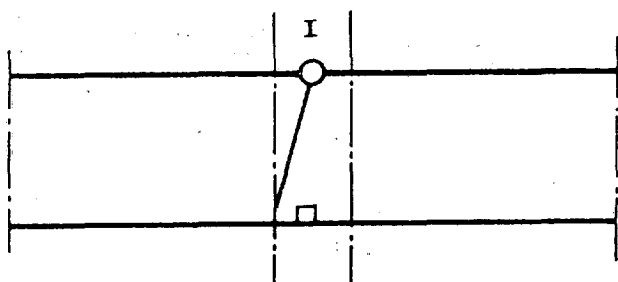


Fig. 1.—Condición de contorno de una válvula de retención simple.

gunos sistemas, debido al comportamiento dinámico de las válvulas de retención. Las ref. (15), (16) y (31) entre otras muchas, tratan el problema de una modelización más ajustada a la realidad en función del tipo de válvula o de los problemas que pueden derivarse de un tratamiento incorrecto. Es obligación de los fabricantes trabajar en la modelización, y posterior parametrización, del comportamiento de sus válvulas, de modo que la predicción de transitorios pueda llevarse a cabo con un rigor mayor. En este campo queda mucho trabajo teórico-práctico por desarrollar.

5.3. Calderín de aire

Cuando nos referimos a este elemento protector debemos destacar las importantes aportaciones de Graze que por vez primera (ref. 18) presenta la teoría de la transferencia racional de calor (RHT) en un esfuerzo por predecir el comportamiento de estos elementos. La teoría tiene su punto débil en el establecimiento de una ecuación que describa adecuadamente el transporte de calor entre el aire confinado en el recipiente, sometido a cambios dinámicos, y el medio ambiente exterior. Conocido ello ya no debemos recurrir al exponente politrópico $\gamma = 1.2$, solución de compromiso a la que nos conduce el desconocimiento real del comportamiento del calderín.

Y cuando hablamos de optimizar el tamaño de estos recipientes resulta destacable, asimismo, la ref. 19. En cualquier caso hay que contrastar que el estrechamiento que estrangula la entrada del agua en el calderín, o bien los orificios practicados en la válvula de retención que se instala en la derivación y controla la entrada y salida de agua, dan lugar a las pérdidas

de carga inicialmente supuesta y a partir de las cuales se simuló el transitorio. La ref. 20 es una buena muestra de los problemas a que pueda dar lugar una discrepancia entre las pérdidas supuestas en el cálculo y las pérdidas reales de la instalación.

5.4. Ventosas

Tienen una amplísima utilización en España por cuanto nuestra topografía es realmente accidentada.

Una excelente caracterización analítica de estos componentes se encuentra en la ref 21. Sin embargo las dificultades aparecen cuando tratamos de averiguar los coeficientes de descarga C_{in} , C_{out} así como las secciones de entrada y salida A_{in} , A_{out} de un determinado componente. Ningún fabricante, al menos en España, los proporciona.

Otra modelización, la que aparece en la ref. 22, resulta excesivamente simple para el estudio de un transitorio. Consiste en admitir un nivel de presión constante, igual a la presión atmosférica, cuando se alcanzan depresiones en el punto de ubicación de la ventosa. Ello equivale a suponer que la capacidad de admisión y expulsión de aire, por parte de este elemento, es muy grande al tiempo que su inercia es despreciable.

Parece más razonable pensar en un comportamiento como el detallado en la ref. 23, y cuya característica se representa en la fig. 2.

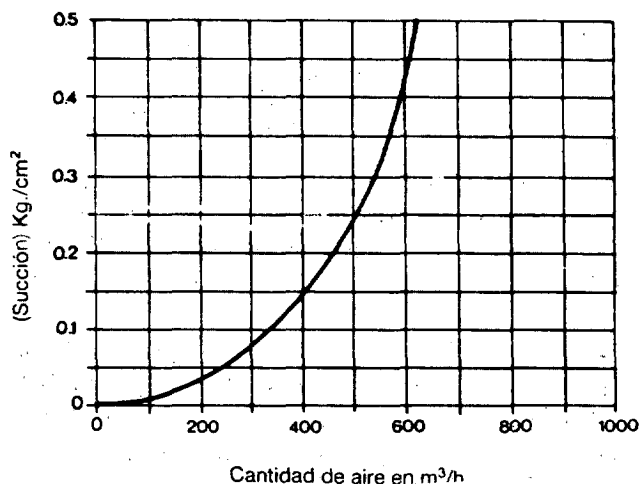


Fig. 2.—Caracterización del comportamiento de una ventosa (según la ref. 23).

En cualquier caso parece indudable la necesidad de hacer un gran esfuerzo por parte de investigadores y fabricantes de componentes de una manera coordinada y conjunta.

5.5. Tanques unidireccionales y chimeneas de equilibrio

Son los que tienen una modelización más definida y simple. Tan sólo requieren el conocimiento exacto de los coeficientes de pérdidas correspondientes a los orificios que pudieran disponerse.

5.6. Válvulas de alivio

Lógicamente no basta con aportar los coeficientes descarga y las secciones de paso de los orificios para definir el comportamiento dinámico completo de una válvula de alivio. Resulta, además, imprescindible conocer la respuesta apertura/cierre en función del tiempo. En USA, desde 1985, han entrado en vigor unas estrictas reglas dictadas por ASME Section VIII destacando la importancia de una adecuada caracterización y regulando los test a realizar. En la ref. (24) se destacan estos aspectos y su influencia en una correcta evaluación de los transitorios hidráulicos.

El camino a recorrer en España es tan largo que apenas se ha tomado conciencia de la existencia del problema.

5.7. Válvulas reguladoras de presión (PRV)

Sin entrar en el análisis de las exigencias que de los cambios de presión se derivan en la maniobrabilidad de las válvulas (ver ref. 28) si queremos enfatizar que la caracterización de estas válvulas es bien conocida en lo que respecta a la relación $\tau = \tau(x)$, sección útil de paso, desplazamiento del eje de la válvula, ref. (26). Además resulta imprescindible conocer el comportamiento de las mismas, a través de su coeficiente de caudal C_v , cuyo valor deben proporcionar los fabricantes. Para su determinación puede seguirse lo indicado en la ref. 27.

Las condiciones de contorno de la instalación detallada en la fig. 3, suponiendo que la bomba está decelerándose al tiempo que se acciona la válvula reguladora (PRV), puede seguirse con todo detalle en la ref. 28, siendo su obje-

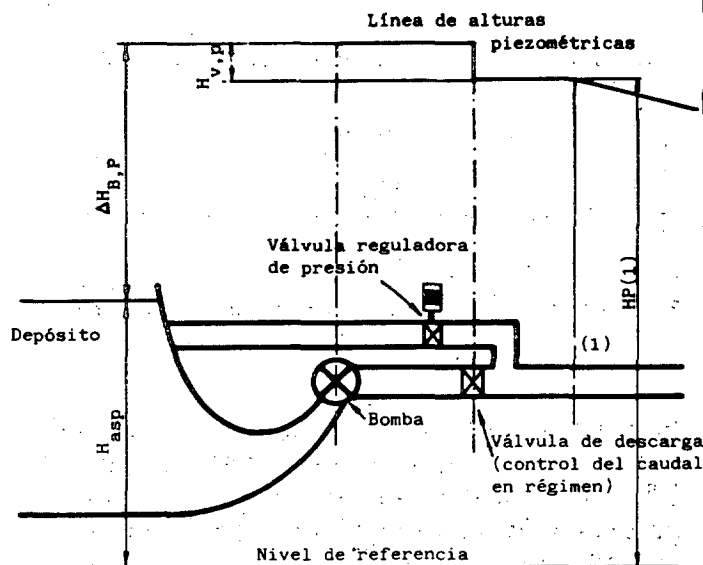


Fig. 3.—Válvula reguladora (PRV).

tivo final la determinación del tiempo óptimo de accionamiento de esta válvula, cuya apertura se inicia cuando se interrumpe el suministro de la bomba para, posteriormente, cerrarse de un modo progresivo pero lento. La ley de cierre óptimo será, finalmente, la que de lugar a una menor sobrepresión.

5.8. Válvula motorizada

En España es muy frecuente instalar la válvula reguladora en serie con la tubería de impulsión (fig. 4) en vez de disponerla en paralelo (fig. 3) lo que da lugar a sobrepresiones mayores a las obtenidas con el concurso de válvulas PRV como consecuencia de iniciar el cierre de la válvula sin interrumpir el suministro energético a la bomba, que inicia su deceleración una vez aquella ha sido cerrada. El planteamiento de estas condiciones de contorno, conocida

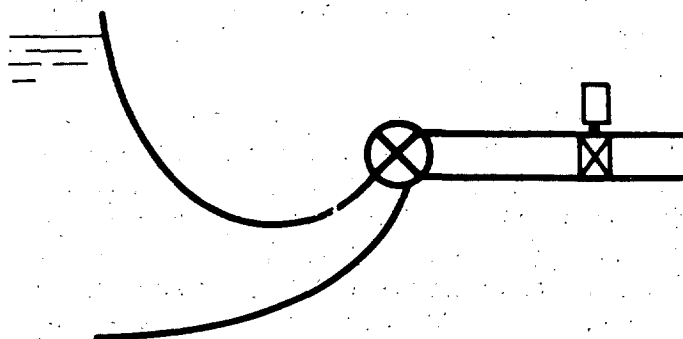


Fig. 4.—Válvula motorizada.



la ley que rige el fenómeno y por supuesto el valor del coeficiente C_v , es particularmente sencillo al mantenerse las curvas características de las bombas durante el transitorio.

En cualquier caso, debe contemplarse la posibilidad de un fallo de corriente que pudiera dar lugar a un transitorio diferente al inicialmente previsto, al encontrarnos con una parada de bomba y fallar el accionamiento de la válvula. En consecuencia se requiere el conocimiento de las curvas características completas de la bomba que, por cierto, muy pocos fabricantes y sólo para turbomáquinas grandes son capaces de proporcionar. Una vez más deberemos recurrir a la utilización de las funciones F_h y F_β introducidas en la ref. 29 y a los datos de las mismas que aparecen en nuestro conocimiento, sólo para cuatro velocidades específicas (referencias 21 y 28) y que pueden asimismo encontrarse en la ref. 30. En cualquier caso sería deseable que

los fabricantes de bombas proporcionaran mucha más información y que, sobre todo, fuera difundida. De hecho, hemos efectuado en ocasiones la comparación entre los valores de la ref. 28 con bombas reales, en el cuadrante donde siempre se dispone de datos concretos (zona de funcionamiento normal de la bomba), y por lo que respecta a la función F_β hemos encontrado notables desviaciones, aunque no tanto en F_h , lo que es en cierto modo lógico debido a las variaciones del rendimiento con la escala de la máquina.

6. CONCLUSION

Se ha efectuado un breve repaso de la evolución de los transitorios hidráulicos en España y se ha enfatizado en la prácticamente nula aportación que hasta la fecha en dicho tema ha habido. Al mismo tiempo se han esbozado las vías de actuación que deberían adoptarse para que la situación vaya progresivamente mejorando.

También se ha insistido en la importancia vital que tiene la adecuada caracterización de los distintos elementos protectores que intervienen en la instalación, al objeto de poder modelizar adecuadamente los fenómenos transitorios. el papel que la Administración puede jugar en este campo, no se nos escapa, resulta fundamental.

En cualquier caso, la excelente bibliografía disponible, así como el software desarrollado por algunas Universidades e Ingenierías de los países más desarrollados permite, a cualquier estudioso que lo desee, adquirir una excelente formación y unas potentes herramientas para resolver cualquier problema que se le presente, por complejo que sea, si cuenta con unos datos de partida fiables.

Finalmente, el tratar de difundir las fuentes de información, así como las técnicas que permiten abordar con rigor estos problemas es algo que nos compete y a lo que nos hemos obligado desde nuestra perspectiva de universitarios. en cualquier caso nadie que tenga bajo su responsabilidad la realización de cálculos queda exento de tener un conocimiento profundo del fenómeno físico y poder de este modo interpretar adecuadamente los resultados que se obtienen.

REFERENCIAS

1. «Régimen Variable en Tuberías». Patronato de Publicaciones de la Escuela Especial de Ingenieros Industriales. Madrid 1948.
2. Mendiluce E.: «Investigación teórico-práctica de los valores reales del golpe de ariete por parada del grupo motor bomba en impulsiones». Dyna n.º 3 y 4 1965.
3. Kinno H. and Kennedy, I.F.: «Water-hammer charts for centrifugal pump systems» Journal of Hyd. Div., ASCE, May 1965.
4. Parmakian J. «Waterhammer analysis». Dover Publications, Inc., New York 1963.
5. Evans, W.E. and Crawford C.C.: «Design charts for Air chambers on Pump Lines. Trans. ASCE. 119.
6. Curso de Análisis y Cálculo de Transitorios Hidráulicos. Cátedra de Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica. Valencia. Octubre 1988.
7. Jeger: «Fluid Transients in Hydro-Electric Engineering Practice». Ed. Blackie. Glasgow 1977.
8. Thorley A.R.D. «Influence of variations of transient velocity on resonating frequencies». Paper n.º 71 WA/FE-20, ASME, Washington, D.C., Nov. 1971.
9. C.S. Martín «Status of fluid transients in Western Europe and the United Kingdom. Report on Laboratory visits by freeman scholar» Journal of Fluids Engineering., ASME, June 1973.
10. M.B. Holloway, M.H. Chaudry, B.W. Karney «Modeling of unsteady flow in pipe networks» International Symposium on Computer Modeling of Water Distribution Systems. University of Kentucky, May 1988.
11. L.E. Ormsbee, and D.V. Chase «Hydraulic Network Calibration using nonlinear programming». International Symposium on Computer Modeling of Water Distribution systems. University of Kentucky, May 1988.
12. «Waterhammer Analisis for Piping Systems (WATHAM)». Stone & Webster Engineering Corporation proprietary Computer program, December, 1986.
13. «Pumps and Drivers», Report of the Design Team on Pumps and Drivers, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, Feb. 1975.
14. Linton P. «Note on Pressure Surge Calculations by the Graphical Method. Pump Stoppage After Power Failure». in K.J. Enever (ed.), BHRA Fluid Eng., TN 447, (May. 1953).
15. T.D. Brown: «Waterhammer Formulation for Pipe networks with Check Valves». Forum on Unsteady Flow. ASME 1987.
16. Thorley, A.R.D.: «Dynamic Response of Check Valves», 4th Int. Conf. on Pressure Surges, BHRA Fluid Engineering 1983.
17. Parmley, L.J.: «The Behaviour of Check Valves During Closure.» Research Report, Glenfield and Kennedy Ltd., Kilmarnock, England, Oct. 1965.
18. Graze H.R. «A Rational Approach to the Thermodynamic Behaviour of Air Chambers». PhD thesis. University of Melbourne, 1967.
19. H.R. Graze and H.B. Horlacher: «Design charts for Throttled (by-pass) Air Chambers.» Proceedings of the 5th International Conference on Pressure Surges. Hannover. F.R.G. September 1986.
20. Carron A. «Un diagnostic de coup de Bélier établi par modèle numérique». La Houille Blanche, n.º 1/2 1986.
21. E.B.Willie, V.L. Streeter «Fluid Transients» Ed. Ann Arbor, Michigan 1982.
22. G.A. Loesch, S. Sarikelle «Computer Model Applications to Distribution Systems with Vacuum-Breaking Valves». International Symposium on Computer Modeling of Water Distribution Systems. University of Kentucky, May 1988.
23. Uriago: «Guía para el cálculo de ventosas». Sevilla 1987.
24. I.S. Ksieh, D.A. Van Duyne, C.G. Morell, J.R. Zahorsky: «Effect of Pressure-Relief Valve Characteristics on Systems Operation and Waterhammer Loads». Forum on Unsteady Flow. ASME. 1987.
25. T. Wang, J.S. Msieh, and D.A. Van Duyne: «Effect of Flow Transient on Valve Operability»: Forum on Unsteady Flow. ASME. 1987.
26. Wood, D.J. and Jones S.E.: «Waterhammer charts for various types of valves». Journal of Hydraulic Division, ASCE, January 1973.
27. J.L. Lyons «Lyons Valve Designer's Handbook» Ed. Van Nostrand Reinhold Company New York 1982.
28. M.H. Chaury «Applied Hydraulic Transients» Ed. Van Nostrand Reinhold Company. New York 1987.
29. Marchal-M., G. Flesh, and P. Suter: «The Calculation of Waterhammer Problems by Means of the Digital Computer». Proc. Int. Symp. Waterhammer Pumped Storage Projects, ASME, Chicago 1965.
30. Brown R.J., and Rogers D.C.: «Development of Pump Characteristics from Field Tests.» Jour. of Mech Design, ASME, October 1980.
31. Bastida A., Cabrera E., Roldán M.: «Panel experimental para la simulación de flujos hidráulicos en régimen estacionario como en transitorio». VIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Valencia 1988.