

Cómo evitar y solucionar problemas con las válvulas de agua de alimentación de calderas

J. Wilson

Fisher Controls International LLC

1. Introducción

Un aspecto del mantenimiento, que no ha recibido mucha publicidad hasta la fecha, tiene que ver con las válvulas del sistema de agua de alimentación de la caldera. El diseño de los sistemas de agua de alimentación de la caldera varía en cierta medida de una central a otra, pero las válvulas empleadas son sustancialmente las mismas.

El número de válvulas depende de los diseños de la turbina de vapor y del generador de vapor por recuperación de calor (HRSG – *heat recovery steam generator* o caldera de recuperación). Si la turbina o la caldera de recuperación son del tipo de presiones múltiples, el número de válvulas se incrementa. Es decir, para las calderas de recuperación de presiones múltiples, el nivel de los calderines puede ser controlado por una configuración de una o de dos válvulas. En función del diseño de la central, puede haber entre dos y seis válvulas de control de nivel en los calderines. Además, por cada bomba de alimentación de la caldera (la mayoría de las centrales tienen dos por caldera de recuperación) existe una válvula de recirculación que recicla una parte del caudal del agua de alimentación de retorno al calderín de baja presión (BP) o desaireador para impedir que la bomba de agua de alimentación de la caldera se sobrecaliente y potencialmente cavite.

Problemas similares a los de las válvulas de agua de alimenta-

ción se han experimentado en varias centrales de ciclo combinado con distintos tipos de turbinas de vapor y calderas de recuperación. El aspecto más común observado son las excesivas fugas. Con las fugas aparecen los daños en las superficies de asiento y regulación interna de las válvulas. Este daño, a menudo es atribuido incorrectamente a un diseño defectuoso o aplicación errónea. En muchos casos los daños resultantes debidos a fugas pueden deberse a los frecuentes ciclos de trabajo de la unidad. No es extraño que una central de ciclo combinado experimente más de 250 arranques al año. Lo que supera el número de arranques que las grandes centrales que utilizan carbón como combustible experimentan a lo largo de su vida útil.

Dado que existen hasta ocho válvulas de agua de alimentación de la caldera críticas por cada caldera de recuperación, el mantenimiento o sustitución de estas válvulas puede resultar muy costoso. El coste de las válvulas de agua de alimentación para una central de ciclo combinado de dos por uno puede superar los 40.000 €. Aunque muchos problemas pueden ser atribuidos a un número elevado de ciclos de trabajo, existen otras causas de daños de las válvulas, como se detalla debajo. Antes de poder aplicar la sustitución o reparación adecuadas es importante entender el tipo de daño y sus causas.

¿Qué hace que las válvulas de agua de alimentación tengan fugas?. La primera indicación de fugas de las válvulas de agua de

Las centrales de generación de ciclo combinado ofrecen una gran flexibilidad operativa, y normalmente tienen la capacidad de responder a las cambiantes demandas de carga con mucha más rapidez que las centrales de vapor de combustible fósil. Por ello no sorprende que en los competitivos mercados energéticos, las instalaciones de ciclo combinado estén experimentando más ciclos operativos de lo que los propietarios previeron durante la etapa de diseño.

*Mientras que la capacidad de operar una gran planta de ciclo combinado es ideal para la flexibilidad conjunta, los frecuentes arranques y paradas someten a grandes esfuerzos a muchos componentes críticos y limitan la efectividad de su vida útil. Ejemplo de ello son los fallos relativamente comunes de los tubos de la caldera por la aceleración de la corrosión debida al caudal (FAC, *flow-accelerated corrosion*) y el fallo prematuro de las válvulas de derivación (*bypass*) de la turbina de vapor. Tales problemas pueden producir una parada prolongada de la central, a menudo sin advertencia previa.*

Tabla I. Comparación de los niveles de fuga de las distintas clases de válvulas

ANSI/FCI clase de fuga 70-2	Valor de fuga, válvula de 3", galones/min	Valor de fuga, válvula de 4", galones/min
Clase II (0,5% de la capacidad de la válvula)	4,653	40,00
Clase IV (0,01% de la capacidad de la válvula)	0,08	1,086
Clase V (0,0005% ml/psi/mm)	0,015	0,0370

alimentación es un incremento del nivel de agua del calderín. Después de establecer qué válvulas presentan fugas, éstas deben ser abiertas para inspección con el fin de establecer la causa raíz. A continuación figuran seis causas de fugas y lo que hay que hacer para aislar el problema.

2. Información insuficiente para orientar la elección de la válvula

Las fugas en las válvulas a menudo pueden ser identificadas en la fase de ingeniería y diseño del proyecto. Es en este momento cuando se especifican los datos operativos y se eligen los equipos en función de la información preliminar del balance térmico. Normalmente solo se facilitan dos o tres condiciones operativas y éstas están previstas para englobar la gama completa de situaciones que estas válvulas van a experimentar. Muchas veces las condiciones operativas se especifican antes de la compra de las bombas de agua de alimentación, lo que hace muy difícil predecir los datos de caudal y presión de salida necesarios para la correcta elección de la válvula.

Obsérvese que en principio para una central de ciclo combinado que utiliza la tecnología de una turbina de combustión (CT) de la clase F y un quemador adicional en el conducto, las presiones del agua de alimentación pueden alcanzar los 3.000 psig (psi relativos). Si se especifican CT más recientes enfriadas por vapor, las presiones del agua de alimenta-

ción pueden llegar a los 3.500 psig. Los proyectos de mejora energética presentan un amplio abanico de presiones de agua de alimentación con unos valores que llegan a los 4.000 psig.

Es importante conocer los detalles de rendimiento de la bomba antes de elegir una válvula de control. La razón de ello es que con unas presiones de agua de alimentación tan elevadas existe la posibilidad de que se produzca cavitación en la válvula. Si no se entienden adecuadamente las características de pérdida de presión manométrica de la bomba con incremento del caudal durante la fase de selección, es probable que las válvulas de control experimenten daños debidos a cavitación, y estos se producen en las superficies de asiento y obturación de la válvula y dan lugar a las consiguientes fugas.

- *Resultado:* debido a que normalmente las características de la bomba no están disponibles durante la fase de elección de las válvulas, éstas pueden no haber sido adecuadamente dimensionadas para las condiciones de arranque u otras limitaciones impuestas por el fabricante de la bomba.

- *Solución:* antes de reparar, mejorar, o sustituir cualquier válvula de agua de alimentación existente, es preciso revisar los parámetros de diseño de la bomba y los datos de operación de la central. Para asegurarse de que la válvula se ajusta adecuadamente a las características de la bomba y tener el interno anticavitación necesario para prote-

gerla frente a las consecuencias de los daños, puede usarse la curva de la bomba. La información sobre la presión de la bomba, presión del calderín, y temperatura y caudal del agua de alimentación puede obtenerse del histórico de datos suministrado con la mayoría de los sistemas de control de centrales.

Si es precisa una mejora, normalmente no es necesario retirar las válvulas existentes. Un simple cambio de asiento a menudo soluciona el problema. Sin embargo, si sus válvulas de recirculación, no se suministraron con asiento anticavitación, es probable que se necesiten válvulas más grandes.

3. Sobredimensionamiento de las válvulas para cumplir las condiciones máximas

El diseño para las condiciones máximas puede conducir a algunos problemas operativos y de fugas en las válvulas de agua de alimentación. Las válvulas normalmente se dimensionan para admitir unas condiciones de trabajo que normalmente se producen cuando las válvulas de seguridad se abren durante un disparo de la unidad. Resulta crítico no permitir que la caldera de recuperación "se seque" lo que puede producir serios daños térmicos en los tubos y en los calderines de la misma.

Para protegerse frente a esto, las válvulas de agua de alimentación se dimensionan para una caída de presión mínima, lo que permite que fluya el máximo volumen de agua al calderín. En este punto, la presión normal de entrada del agua de alimentación a la válvula de control de nivel del calderín de alta presión (AP) es casi de 2.400 psig. La válvula está dimensionada para admitir una caída de presión de 20 a 30 psig, lo que incrementa la capacidad requerida a casi dos veces la necesaria para la operación normal. Esto significa que la válvula debe operar con aperturas

menores (30 al 40% de apertura) que la prevista durante las condiciones de operación normales, exponiendo por tanto las superficies de asiento a una erosión prematura durante el arranque.

Puesto que la presión máxima de operación de una central de ciclo combinado está en torno a 1.850 psig con quemador suplementario, y las válvulas de seguridad normalmente se elevan a unos 2.000 o 2.100 psig, las válvulas son dimensionadas para suministrar al calderín una presión de agua de alimentación mucho mayor. Si la caída de presión admisible a través de la válvula se incrementara en torno a unos 100 psig, el tamaño de la válvula de control disminuiría, y operaría con un 50 a 70% de apertura durante las situaciones normales de operación.

- *Solución:* para impedir el sobredimensionamiento de sus válvulas de agua de alimentación, es necesario entender el impacto que tiene la capacidad de la válvula para proteger la caldera de recuperación de una situación de sequedad. Como se indicó anteriormente, un ligero incremento de la caída de presión a través de la válvula impedirá que ésta se sobredimensione. Pueden suministrarse internos de válvulas adecuadas para mejorar el rendimiento de éstas. Una vez más, esto puede hacerse sin eliminar las válvulas. Si se realiza un cambio, es importante comprobar que la característica de la válvula revisada no interfiere con ninguna lógica del DCS (sistema de control distribuido).

4. No se especifica la estanqueidad del cierre

Otro problema que a menudo se presenta durante la fase de ingeniería del proyecto es que no se requiere un cierre estanco para algunas de las válvulas de agua de alimentación. ANSI (*American National Standards Institute*) y FCI (*Flow Control Institute*) han establecido crite-

rios para indicar las clases de fugas de las válvulas de control. El cierre de la clase V es la recomendación típica de las válvulas de agua de alimentación expuestas a situaciones de cavitación. Sin embargo, se han especificado muchas válvulas de nivel de calderines por contratistas de ingeniería y fabricantes de equipos originales de calderas de recuperación con cierres de la clase IV o menos. Aunque parecen no existir muchas diferencias en la superficie, debido a que sobre el papel la válvula no experimenta situaciones de cavitación, no seleccionar una válvula con un cierre de la clase V tiene un impacto significativo sobre la fuga de la válvula. La Tabla I muestra las fugas correspondientes de las válvulas de agua de alimentación de 3" y 4" con distintas clases de cierre.

La necesidad de un cierre estanco se hace evidente durante el arranque de la unidad. Mientras las CT están generando electricidad, y el sistema de vapor se está calentando, las bombas de alimentación están en funcionamiento. En este momento, el caudal está siendo recirculado alrededor de la bomba a través de las válvulas de recirculación. Puesto que las válvulas de control de nivel del calderín están situadas justo aguas abajo de las bombas de alimentación, están expuestas a las elevadas presiones de entrada que experimenta la válvula de recirculación.

Examinando la Tabla I es fácil entender lo que le sucede a las válvulas de nivel del calderín si no son de la clase V. El caudal que se fuga después de la superficie de asiento cavitará, dañando las superficies de asiento del obturador y del anillo de asiento, y exponiendo la válvula a daños adicionales. Si las válvulas de nivel del calderín son menores de la clase V, es posible protegerlas durante el arranque. Una forma consiste en instalar una válvula de aislamiento motorizada entre las válvulas de nivel del calderín y las de recir-

culación. Aunque tales válvulas se instalan en muchas centrales, a menudo no se usan.

- *Solución:* Especificar todas las válvulas de agua de alimentación con cierre de la clase V. Para las válvulas existentes, esto puede requerir un cambio de asiento y probablemente un cambio de actuador y algunos accesorios adicionales para alcanzar la carga de asiento requerida para el cierre adecuado. Si ya no está incluido, deberá añadirse al sistema un controlador digital de válvula. La información de diagnóstico disponible en este dispositivo puede determinar la carga de asiento suministrada por el actuador, lo que permite que el usuario garantice que la válvula tiene la carga de asiento adecuada para el funcionamiento correcto del cierre.

5. Operación incorrecta

No todos los problemas pueden atribuirse a la falta de información durante la fase de selección o a una falta de estanqueidad en el cierre. Algunas veces los problemas son introducidos por la forma de operar las válvulas.

Todas las válvulas de control tienen un punto o valor de operación mínimo que, si se cumple, ayuda a protegerla frente a los efectos de lo que se denomina "erosión de caudal bajo". Si la válvula se abre solo un minuto equivalente a la superficie de asiento y del obturador pueden experimentar erosión. Se trata de la regla general normalmente aplicable a la mayoría de los tipos de válvulas de control. No opere sus válvulas por debajo del 10% de apertura. Esto garantiza que la caída de presión se produce en el asiento de la válvula, y no a través de la superficie de asiento.

Las válvulas provistas de interno anticavitación pueden tener un requisito distinto de los

requisitos de caudal mínimo de regulación del 10% y pueden ser la excepción a la regla. Así son las válvulas que eliminan la formación de cavitación perjudicial mediante la regulación de la caída de presión a través del asiento de la válvula. En esencia, esto es similar a situar cierto número de placas de orificios o codos en una válvula para reducir la presión en un espacio reducido.

Para mejorar el efecto anticavitación, deberá exponerse un cierto número de conductos de caudal. De no ser así, toda la caída de presión se producirá a través de la última etapa del obturador y las superficies de asiento, creando velocidades locales elevadas que erosionarán el obturador y el anillo de asiento. Para realizar la protección frente a este efecto, el fabricante de la válvula debe proporcionar un punto de desplazamiento mínimo al usuario.

La foto 1 muestra el obturador de la válvula que ha sido accionado demasiado cerca de la superficie de asiento. El daño de la "corona dentada" en la parte inferior del obturador es el que normalmente se encuentra en las válvulas que han funcionado por debajo o justo en el punto de operación mínimo durante períodos de tiempo prolongados. Este obturador se extrajo de una válvula de nivel del calderín de AP y estuvo en funcionamiento durante seis meses. Después de revisar los datos de operación, se determinó que esta válvula había sido accionada por debajo del punto de operación mínimo durante casi una hora en cada arranque de la central.

El daño no se produjo solo durante el arranque de la central. Debido a que la superficie de asiento había sido dañada, cualquier fuga a través de la válvula solo agravaba el problema. Esto se experimenta con más frecuencia antes de que la válvula sea accionada durante el arranque, cuando la válvula de recirculación deriva el caudal de la bomba de agua de alimenta-

Foto 1.
Corona dentada
dañada
(obturador de
la válvula).



ción como se comenta en el apartado 3.

Daños similares pueden producirse en la válvula principal de nivel del calderín cuando las válvulas se usan para controlar el nivel. La causa del daño al nivel principal del calderín en una configuración de dos válvulas, es la falta de cierre estanco o una transición inadecuada de la válvula de arranque.

Los daños en forma de corona dentada de la válvula de arranque de agua de alimentación son atribuidos a la operación con caudal mínimo durante períodos prolongados. El obturador de la válvula mostrado solo tiene una antigüedad de seis meses.

- *Solución:* existen varias formas de garantizar que las válvulas de agua de alimentación no operan por debajo del punto mínimo de operación. Uno es poner un enclavamiento forzado en la lógica del DCS para impedir que las válvulas funcionen por debajo de una cierta señal de entrada. Sin embargo, esto permite todavía que el operador puentee el sistema cuando puede producirse cavitación.

La otra aproximación es utilizar un controlador digital de válvula. Este posicionador de válvula inteligente puede ser programado con una característica de corte bajo de carrera para proteger la válvula de la operación en un cierto valor de con-

signa. Si la señal suministrada a la válvula es menor de la requerida para la operación, el actuador permanecerá completamente saturado garantizando que se suministra la carga máxima de asiento a la válvula.

6. Configuración deficiente del control

Las configuraciones de dos válvulas para el control de nivel del calderín normalmente se especifican por diversas razones. Una es económica. Normalmente es menos caro comprar una válvula pequeña con interno anticavitación y una válvula grande con asiento estándar, que comprar una válvula que incorpore un interno caracterizado por una protección anticavitación para caudal mínimo, añadiendo una capacidad para caudal máximo y condiciones de diseño/seguridad para asegurar la vida de la caldera.

En las configuraciones de dos válvulas, es importante que se produzca una suave transición entre las válvulas de arranque y las de nivel principales del calderín que proteja ambas válvulas de los daños de un caudal bajo. La programación de esta transición es uno de los problemas más comunes con los que se enfrentan los operadores de las centrales de ciclo combinado en la actualidad.

Tal vez el mejor ajuste de las dos válvulas es aquel en el que la válvula pequeña, la denominada de arranque, tiene suficiente protección anticavitación para el arranque y es capaz de manejar en torno al 20% del caudal de la unidad, y la válvula principal se usa para el control de regulación normal. La transición entre las dos válvulas sigue lo que se conoce como la regla del 80/20. La capacidad de la válvula de arranque con el 80% de apertura debe coincidir con el 20% de apertura de la válvula principal. La transferencia entre las dos válvulas se produce cuando la de arranque es-

Tabla II. Lógica DCS para una transferencia adecuada entre las válvulas de control de nivel de los calderines

Control de nivel de un solo elemento		Control de nivel de tres elementos	
Control del operador			
Generador de función			
Señal de demanda			
Generador de función para la válvula B		Generador de función para la válvula A	
Señal válvula A > 0	Alianza	Señal válvula B > 0	
Sí	No	Sí	No
Válvula B = 0	La válvula B sigue al generador de función	Válvula A = 0	La válvula A sigue al generador de función

tá abierta al 80%. En este momento, la válvula más pequeña se cierra y permanece de esa forma hasta el siguiente arranque. Es importante que se produzca una transición suave entre las dos válvulas para protegerlas de los daños por caudal bajo. La programación de esta transición es un problema con el que se enfrentan muchos operadores de centrales de ciclo combinado.

A menudo las válvulas de agua de alimentación son del tamaño correcto, pero no han sido ajustadas correctamente en campo. El error más común es permitir que la válvula de arranque se abra al 100% y a continuación se abra la válvula principal para igualar la demanda de caudal. Esto expone a la válvula principal a los efectos de la erosión por caudal bajo y a las consiguientes fugas. Con el paso del tiempo, las fugas que pasan a través de la válvula principal pueden exceder la capacidad de la válvula de arranque, haciendo que el arranque de la unidad sea, en el mejor de los casos, difícil.

Otro problema puede ser que los ajustes de ganancia de las

válvulas de agua de alimentación se ajusten de forma excesivamente agresiva. Esto significa que las válvulas intentarán reaccionar ante el cambio más ligero del nivel en el calderín, lo que puede producir un ciclado repetitivo de activación/desactivación de la válvula. Por ejemplo: en una planta de ciclo combinado de configuración cuatro por uno de Oklahoma, las válvulas de nivel del calderín realizaron 35.000 ciclos de conexión/desconexión en menos de seis meses. Este reiterado ciclado provocó un desgaste prematuro de las zonas de corte y sellado de la válvula.

- *Solución:* la transición en las configuraciones de dos válvulas es crítica para la correcta operación de la válvula. Existen varias formas de abordar este problema, pero una de las que funciona mejor es definir un rango de transferencia (*crossover*) entre las dos válvulas. Los puntos de transición rígidos funcionan bien pero solo si las dos válvulas no están continuamente “oponiéndose” entre sí para efectuar el control. La experiencia muestra que durante un arranque típico usando un punto de transición

rígido, las dos válvulas pueden conmutarse entre sí hasta 20 veces. Esta repetitiva operación expone a la válvula a una potencial erosión prematura.

El diagrama de control muestra la lógica de DCS usada para resolver varios aspectos de control del agua de alimentación. Esta configuración garantiza que las dos válvulas no están continuamente regulando “hacia adelante y atrás” entre sí conforme se incrementa la carga de la central.

En este caso, la válvula B es la válvula de arranque, y la válvula A es la válvula principal. En función de la capacidad de ambas válvulas se establece el generador de función, para garantizar una transición suave entre las dos.

La Tabla II (a la derecha) muestra un ejemplo de salida del controlador y de posición de la válvula. Esta configuración impide que las válvulas se conecten adelante y atrás entre sí si la salida del controlador varía justo en el punto de transición. Después de que se produzca esta transición, la válvula de arranque permanecerá cerrada a menos que la demanda del controlador caiga significativamente.

7. Arrastre de partículas

Todos los problemas comentados anteriormente se han experimentado en toda la industria en diferentes tipos de centrales. Sin embargo, el asunto del arrastre de partículas ha estado muy relacionado con el arranque y operación de centrales de ciclo combinado: producen mucho daño en todos los tipos de válvulas, así como en otros equipos. Gran parte de los asuntos relacionados con las partículas pueden estar vinculados con las FAC o un drenado inadecuado de las tuberías durante el arranque o puesta en marcha de la central.

El soplado inadecuado de las tuberías ha producido fallos en

muchas válvulas, no solo en las válvulas de agua de alimentación. Pero las válvulas de agua de alimentación son especialmente sensibles a los daños de partículas debido a que se depositan en los conductos de flujo y reducen la capacidad. En las válvulas con conductos de paso suficientemente grandes como para permanecer abiertas, las partículas pueden depositarse entre el obturador y la jaula provocando abrasión y rayado de esas superficies. Esto puede producir un movimiento entrecortado de las válvulas, fenómeno que dificulta el control. El peor supuesto es el de la inutilización de la válvula por completo si se gripa el obturador.

La FAC se produce cuando la caldera de recuperación se opera con cargas reducidas durante períodos prolongados. Lo que sucede es que el caudal, a alta velocidad en los tubos del precalentador, elimina material de los tubos de la caldera. El material liberado tiene que ir a alguna parte y a menudo encuentra una vía directa al sistema de agua de alimentación. Una central de Texas retiró casi 50 libras de partículas finas del calderín BP durante una parada programada. Las partículas finas no son filtradas por los filtros instalados normalmente en muchas centrales nuevas y básicamente “chorrean” las superficies críticas. La erosión del obturador de la válvula puede conducir al achafanado del obturador en el anillo de asiento y a fugas y daños adicionales de la válvula.

- *Solución:* existen diversas formas de tratar el arrastre de partículas. La primera es asegurarse de

Tabla III. Salida del controlador frente a la posición de la válvula para una correcta operación de una configuración de dos válvulas

Salida Controlador A	Posición Válvula A	Salida controlador B	Posición válvula B
0,00	-5,00	0,00	-5,00
4,99	-5,00	2,99	-5,00
5,00	10,0	3,00	15,0
10,0	17,0	5,00	23,0
15,0	22,0	10,0	29,0
15,1	22,1	15,0	55,0
40,0	60,0	15,1	-5,00
100	100	40,0	-5,00
		100	-5,00

que se realiza un soplado adecuado de los tubos. Antes del soplado de los tubos es necesario retirar los internos normales de operación de la válvula e instalar internos desechables. Esto protegerá el acabado superficial de daños mientras asimismo se actúa para atrapar las partículas que pasan a través de la válvula o dejarlas pasar sin obstrucción alguna.

No resulta tan fácil retirar las partículas finas atrapadas en los tubos de la caldera. Con el paso del tiempo las partículas finas serán expulsadas mediante operaciones continuas e intermitentes de drenado, pero completar este proceso puede requerir varios años.

Para los internos de las válvulas de control hay disponibles asientos protegidos que también producen ventajas anticavitación.

Estas soluciones pasan por retirar las zonas de cierre para que las partículas pasen a través del asiento o las superficies de asiento están alejadas de cualquier zona en la que pueda tener lugar una caída de presión. Asegurándose de que no se produce una caída de presión a través de la superficie de asiento, no puede producirse el efecto de chorreado de arena a alta velocidad y los internos están protegidos frente a una erosión prematura.

Hay investigaciones en marcha para identificar materiales resistentes a la erosión que no requieren el uso de internos de válvula muy elaborados.

Nota: Versión española por revista ENERGIA, con la autorización de Combined Cycle Journal

