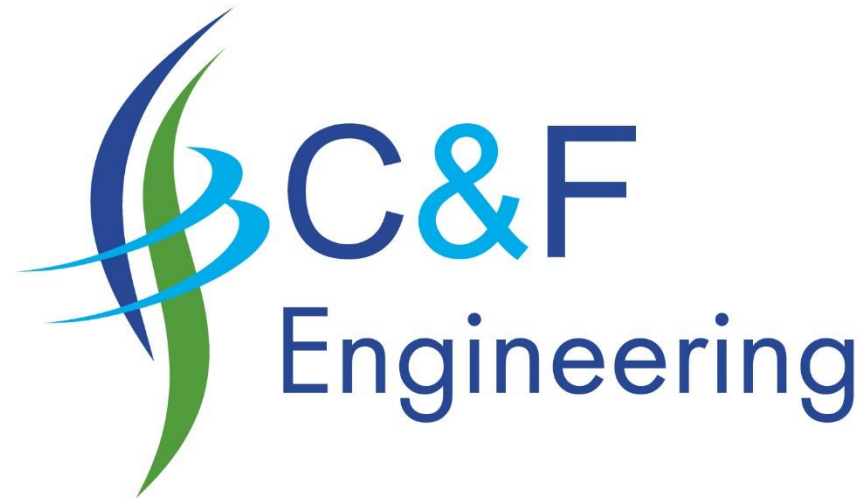


WATER HAMMER TOP TEN

Diez casos de estudio
típicos (Parte 1)

Por: Mariby Figuera



CREAMOS SOLUCIONES...

...SU PROYECTO ES NUESTRO COMPROMISO

El 90% de los libros de Mecánica de Fluidos e Hidráulica cuando se refieren al término “WATER HAMMER” citan el típico ejemplo de apertura y/o cierre de un grifo de agua...



...Y ciertamente es la mejor forma de ilustrar el fenómeno

¿Quién no ha escuchado alguna vez un fuerte sonido parecido a un martillo cuando abre o cierra rápidamente la ducha?



y seguro está pensando...

...el “martillazo” es más fuerte si hemos estado algunos días fuera de casa y se ha mantenido cerrado el sistema de suministro de agua...

...Efectivamente

Cuando se **cierra** rápidamente un grifo, el golpe de ariete se genera por los cambios súbitos en la velocidad del flujo de agua. Cuando se interrumpe repentinamente el avance del líquido se producen altas presiones que generan tensiones y “ruidos” en las tuberías.

El mismo fenómeno puede aparecer cuando se **abre** rápidamente un grifo en un sistema que ha permanecido cerrado y se produce un desplazamiento brusco del aire contenido en el sistema. El agua tiende a desplazarse en el espacio que antes ocupaba y que ahora se encuentra lleno de aire, y pueden generarse altas vibraciones y “ruidos” en las tuberías.

Este es el clásico ejemplo de golpe de ariete.

...No tuvo que salir de casa para identificarlo!

...En este clásico ejemplo

Las **Causas** son:

- ❑ Interrupción abrupta de flujo en un sistema de circulación de agua.
- ❑ Desplazamiento brusco de aire contenido en el sistema.

Este fenómeno **en casa** se puede evitar instalando una válvula antirretorno (check) aguas abajo de la llave de paso (después del contador), y por supuesto el problema se minoriza si se estrangula gradualmente la corriente de agua para lo cual puede instalar grifería de cierre lento o controlado y realizar periódicamente purgas del sistema de tuberías.



Pero seguramente Ud. está pensando...

Este es un ejemplo muy doméstico!!...y esperaba algo más “especializado”

De acuerdo!!

Este ejemplo no cuenta dentro de nuestro Water Hammer Top Ten. Pero no pierda de vista el fondo del asunto de la ducha o el grifo del lavabo. El golpe de ariete en sistemas de transporte de fluidos en su concepto no difiere del caso del grifo.

Recuerde...

- Fenómeno hidráulico transitorio generado por variaciones en la velocidad del fluido transportado.
- Propagación de onda de presión por la transformación de energía cinética en energía de presión y elástica.

ANTES DE EMPEZAR...

Es importante que tenga presente 3 aspectos fundamentales:

- No existe una regla simple (e infalible!) para detectar un potencial golpe de ariete.
- El golpe de ariete no es “obvio” la mayoría de las veces, hasta que llega a ser lo suficientemente grande en sus consecuencias.
- Frecuentemente entonces es importante apoyarse en un experto para identificarlos y luego encontrar la mejor solución a este fenómeno.

Ahora sí, disponga unos 15-20 min para revisar 5 de los más relevantes ejemplos de golpe de ariete...

WATER HAMMER TOP TEN

Diez casos de estudio típicos

En este Boletín

- CASO 1**
Bloqueo en sistemas de transporte de fluidos – Cierre de válvula
- CASO 2**
Parada de Bombas – Pump Trip
- CASO 3**
Steam Hammer – Inducido por Condensación rápida del vapor
- CASO 4**
Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado
- CASO 5**
Golpe de ariete – En equipos



- CASO 6**
Arranque de Bombas – Cierre de columna
- CASO 7**
Water Induction en Turbinas de Vapor
- CASO 8**
Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio (Sistemas de rociadores)
- CASO 9**
Steam Hammer – Detención de flujo de vapor
- CASO 10**
Ondas de choque por orificios de restricción



CASO 1

Bloqueo en sistemas de transporte de fluidos – Cierre de válvula

CASO 1: Bloqueo en sistemas de transporte de fluidos – Cierre de Válvula

LOCACIONES TÍPICAS:

- Redes de distribución de agua doméstica o Acueductos.
- Sistemas de transporte de hidrocarburos y derivados:
 - Oleoductos
 - Líneas troncales desde pozos de producción hasta centros de procesamiento.
 - Líneas de crudo y/o derivados desde plantas de proceso hasta Patios de almacenamiento.
 - Muelles de carga - Líneas de carga desde buques a tanques de almacenamiento o viceversa.
- Sistemas de enfriamiento industrial.
- Sistemas de recirculación de agua.

Nota: Este caso se puede producir tanto en impulsiones como en sistemas de transporte (o abastecimientos) por gravedad.

CAUSAS DEL BLOQUEO:

- Cierre de válvulas:
 - Por activación del sistema de parada de emergencia (ESD).
 - Por cierre de válvulas de operación (válvulas motorizadas MOV, MX, ZYV, válvulas actuadas On/Off).
 - Por desconexión de válvulas integradas (tipo Breakaway) en mangueras de carga a buques, barcasas, etc.

CASO 1: Bloqueo en sistemas de transporte de fluidos – Cierre de Válvula

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Inicialmente el fluido se mueve por el sistema a una velocidad determinada y supondremos que ocurre un paro abrupto que corta el paso totalmente (**cierre de una válvula en este caso**); el fluido más próximo a la válvula se detiene y es empujado por el fluido que viene detrás.

Debido a la compresibilidad del fluido (recuerde que ni siquiera el agua es totalmente incompresible), éste empieza a comprimirse en las proximidades de la válvula cerrada y el resto del líquido comprimirá al que le precede hasta que se anula la velocidad de flujo.

Esta compresión se va trasladando hasta el origen (fuente de impulsión del sistema). Entonces se forma una onda de máxima compresión que se inicia en las proximidades de la válvula cerrada y se traslada al origen.

Cuando el fluido se detiene “físicamente” ha agotado su energía cinética y se inicia una descompresión en el origen que se traslada nuevamente hasta la válvula que se cerró para volver a transformarse en compresión, repitiendo el ciclo.

Se producen transformaciones sucesivas (ley pendular) de energía cinética en energía de compresión y viceversa. El fluido se comporta como un resorte.



Fotografía de Peter Thorpes

¿Y por qué esa fotografía del tren?

El fenómeno descrito en este primer Caso es similar a lo que ocurre cuando una máquina de tren es detenida instantáneamente. El cierre de la válvula es como bloquear el paso del tren con una pared de rocas.

Imagínese que las uniones elásticas entre los vagones cumplen el mismo rol que la compresibilidad del fluido.

Cuando el tren golpee en el extremo bloqueado ocurrirá un desplome sucesivo por la colisión de los vagones uno tras otro.

...Además considere que..

Cuanto más rápido se esté moviendo el tren, peor será el accidente. En efecto:

- ✓ Cuando mayor es la velocidad del fluido en el sistema, mayor será la propagación de onda de presión cuando la válvula se cierre.

Cuanto más vagones estén unidos al tren, mayor será la colisión y desplome. En efecto:

- ✓ La fuerza del golpe de ariete se amplifica cuanto más largo es el sistema de transporte en cuestión.

...Y recuerde esto puede suceder en:

Los sistemas de distribución de agua o acueductos, en los oleoductos, líneas de distribución de derivados de hidrocarburos, líneas de carga a muelles, sistemas de enfriamiento, circuitos de recirculación de agua, entre otros...

CASO 1: Bloqueo en sistemas de transporte de fluidos – Cierre de Válvula

Si el Golpe de ariete en estos sistemas no se controla, puede derivar en resultados indeseables como daños de equipos y del sistema de tubería, válvulas y accesorios; generación de fugas y/o derrames, potenciales accidentes y reducción de la vida útil del sistema. Algunas consecuencias específicas son:

- Fugas en oleoductos y/o sistemas de transporte de hidrocarburos o derivados (incluyendo derrames).
- Daños en equipos de impulsión (bombeo) y/o control de procesos.
- Desplazamientos de tuberías fuera de sus soportes y/o vibraciones del sistema.
- Incidentes y/o accidentes con personal involucrado.
- Daños parciales y/o permanentes de los sistemas de procesos o servicio involucrados.

Nota complementaria – Golpe de ariete en Acueductos ¿por qué debemos evitarlo (o controlarlo) a toda costa?

El golpe de ariete puede tener consecuencias específicas sobre la salud si consideramos sus posibles efectos sobre la calidad del agua cuando se trata de redes domésticas de distribución de agua o acueductos.

- En estos sistemas de distribución de agua es normal que en el interior de las tuberías se forme una película delgada de microorganismos o biofilm. Cuando se genera un golpe de ariete y se producen sobrepresiones considerables, esta película microbiana puede ser desprendida de la pared de la tubería y los microorganismos quedarán suspendidos en el agua, afectando directamente su calidad.
- Cuando por efectos del golpe de ariete se genera una depresión (presiones negativas) en la tubería, puede ocurrir intrusión de contaminantes, especialmente cuando las uniones de tubería son del tipo anillo con aros de goma. Estos son diseñados básicamente para soportar presiones positivas y cuando ocurre la depresión pierden estanqueidad y pueden ingresar por estas uniones agentes contaminantes además de agua subterránea según el nivel freático de la instalación que como es típico, son sistemas de tubería enterrada.



CASO 2

Parada de Bombas – Pump Trip

CASO 2: Parada de Bombas – Pump Trip

LOCACIONES TÍPICAS:

- Redes de distribución de agua doméstica o Acueductos.
- Sistemas de transporte de hidrocarburos y derivados:
 - Oleoductos.
 - Líneas troncales desde pozos de producción hasta centros de procesamiento.
 - Líneas de crudo y/o derivados desde plantas de proceso hasta Patios de almacenamiento.
 - Muelles de carga - Líneas de carga desde buques a tanques de almacenamiento o viceversa.
- Sistemas de enfriamiento industrial.
- Sistemas de recirculación de agua.
- Sistemas de inyección de agua.
- Centrales hidroeléctricas.

CAUSAS DEL FENÓMENO:

- Por cortes de energía eléctrica.
- Por activación del sistema de parada de emergencia (ESD).
- Por caída parcial o total de la demanda (caso típico en centrales hidroeléctricas y acueductos).

CASO 2: Paradas de Bombas – Pump Trip

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Debido a la inercia de las bombas, inmediatamente después de la falta de corriente su velocidad comienza a disminuir, reduciendo rápidamente el caudal. Las bombas pueden detenerse en menos de un segundo o tras varios segundos, dependiendo precisamente de su inercia y fricción interna. En promedio la mayor parte de los equipos comerciales logran reducir su velocidad a menos del 50% de su valor inicial en 2-3 segundos.

La parada de los motores produce inicialmente un fenómeno de **depresión** aguas abajo de las bombas, que trata de trasladarse hacia el final del sistema, que puede ser por ejemplo, una válvula que operacionalmente se cierra tras el evento de pump trip, o bien la columna líquida continúa fluyendo por la tubería de descarga hasta el momento en que la inercia es vencida por la acción de la gravedad.

La **depresión** a la salida de los equipos es ocasionada por la ausencia de líquido (el que avanza no es repuesto), lo que provoca su detención. En estas condiciones, una onda depresiva se genera en la tubería de descarga de las bombas.

La presión en un punto inmediatamente aguas arriba del extremo final del sistema (por ejemplo la válvula que operacionalmente se manda a cierre después del pump trip, o el punto del sistema donde la inercia es vencida por la acción de la gravedad), es mayor a la de la tubería que se encuentra bajo los efectos de la depresión, de manera que se inicia un retroceso del fluido hacia la bomba. Es decir, durante el evento, la onda de **depresión** se transforma en **compresión**, que retrocede hacia dichas bombas.

La secuencia de este fenómeno se muestra a continuación (imágenes de Young Engineering & Manufacturing Inc.)

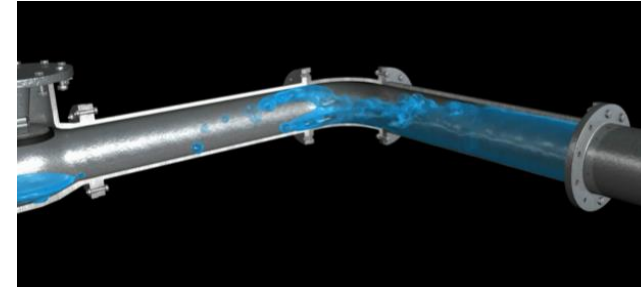
CASO 2: Paradas de Bombas – Pump Trip



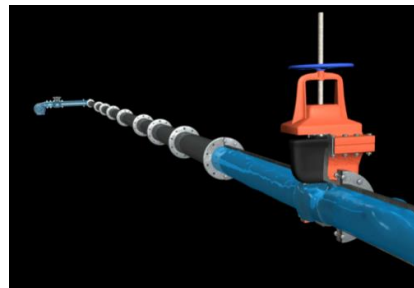
(1) Inicio paro de la bomba



(2) Reducción rápida del caudal



(3) Depresión a la salida del equipo por ausencia de líquido



(4) Onda de depresión viaja a extremo final del sistema



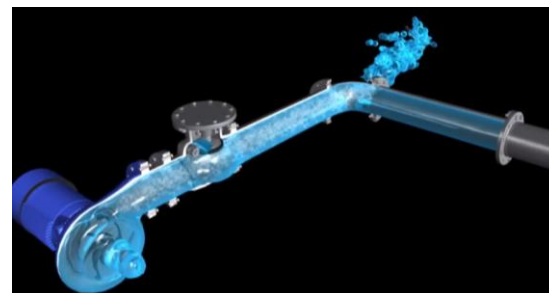
(5) Válvula que se cierra tras el evento de pump trip (Ver Nota)



(6) Retroceso de fluido hacia la bomba. La onda de depresión se transforma en compresión

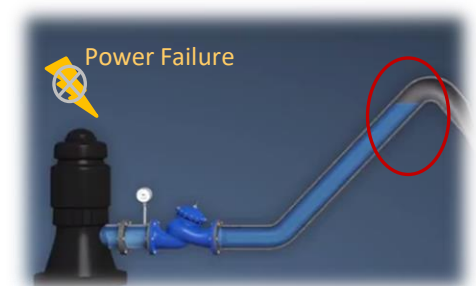


(7) Cierre de la válvula check



(8) Tubería potencialmente sometida a sobrepresión

Nota: Recuérdese que el extremo final del sistema puede referirse a una válvula que operacionalmente se cierra tras el evento de pump trip, o bien hasta que ocurre separación de la columna de líquido (momento en que la inercia es vencida por la acción de la gravedad).



CASO 2: Paradas de Bombas – Pump Trip

ALERTAS DURANTE EL FENÓMENO:

Hay dos aspectos importantes de acotar:

- ❑ Si existe una válvula de retención (check) en la línea de descarga (como tradicionalmente se define en el diseño), el fluido que circula en sentido contrario chocará contra esta válvula de retención - que se cierra por el flujo en reversa- y el resultado es un rápido aumento de presión y una detención progresiva del fluido. Al cabo de un tiempo todo el líquido de la tubería está en reposo y ésta resulta sometida a una sobrepresión de la misma magnitud que la depresión inicial.
- ❑ Si el sistema no tiene válvula de retención en la descarga (muy común en sistemas de recirculación y enfriamiento de agua), se generará flujo inverso a través de la bomba. Esta condición deberá ser cuidadosamente analizada. Aunque hay equipos donde efectivamente motor y bomba están diseñados para rotación inversa, normalmente se permite una velocidad máxima de giro en reversa de 120% - 130% de la velocidad especificada. Si el equipo no tiene esta especificación (rotación inversa) o durante el evento transitorio la velocidad de giro que potencialmente se puede alcanzar es mayor al valor nominal especificado, deberá implantarse un mecanismo antigiro.

...Además considere que..

Durante el fenómeno la tubería de descarga queda bajo condición de vacío y puede generarse un colapso por efecto de la presión externa o incluso puede haber cavitación. Veamos a continuación...

CASO 2: Paradas de Bombas – Pump Trip

Condición de Vacío & Cavitación

- ❑ La cavitación se produce cuando la presión del fluido es inferior a la **presión de vapor** del mismo.
- ❑ Hay formación de cavidades llenas de vapor (o gas) en el seno del fluido en movimiento. Se dice que hay una **descompresión** del fluido.
- ❑ Estas cavidades debido a la conservación de la constante de Bernoulli tienden a viajar a zonas de mayor presión e **implosionan**.
- ❑ Se generan ondas de presión que viajan a velocidades muy cercanas a la **velocidad del sonido**.
- ❑ Aunque estas ondas pueden disiparse en la corriente del fluido, generalmente impactan contra la pared interna y las discontinuidades de la tubería (tee, reducciones, codos, etc.) generando erosión, picaduras, altas vibraciones y molestos “ruidos” en el sistema.

Nota complementaria – Puentes de tubería y cavitación

Los cambios de elevación son críticos!!, en especial los puentes de tubería (incluyendo los lazos de expansión vertical). En ellos el cabezal estático puede ser muy bajo una vez que ocurre el golpe de ariete, lo que facilita la cavitación (la presión cae por debajo de la presión de vapor del fluido).

Note que la condición de vacío en la tubería y cavitación no es exclusiva de este evento de Pump trip, también pueden generarse en los tramos de tubería aguas abajo de la válvula que se cierra tal como se detalló en el Caso 1 precedente. En esa sección se trató el fenómeno visto aguas arriba de la válvula, como un evento de **sobrepresión** (crítico por demás), sin embargo, no



debe perderse de vista el fenómeno de **depresión** aguas abajo de dicha válvula.



CASO 3

Steam Hammer – Inducido por condensación rápida del vapor

CASO 3: Steam Hammer – Inducido por Condensación rápida del vapor

LOCACIONES TÍPICAS:

- Sistemas de distribución de vapor (media y alta presión).
- Sistemas de recuperación de condensado.
- Sistema de agua de alimentación a calderas.

CAUSAS DEL FENÓMENO:

- Formación repentina de condensado en un sistema de vapor.
- Entrada de vapor en un sistema que tiene acumulación de condensado.

IMPACTO:

La acumulación de condensado es una condición potencialmente destructiva en un sistema de vapor, especialmente de media o alta presión.

Esta condición puede resultar **10-100 veces** más potente (y catastrófica) que un golpe de ariete por detención del flujo.

¿Por qué sucede la formación rápida y acumulación de condensado?

- Puede haber una mayor producción de condensado porque la pérdida de calor aumenta (pérdida o daño del aislamiento térmico por ejemplo).
- Deficiencia en la capacidad y/o funcionamiento de las trampas de vapor (o válvulas de drenaje) para purgar el sistema de condensado.
- Pendiente de la tubería incorrecta; el condensado no podrá fluir hacia las trampas como estaba previsto y puede acumularse en ubicaciones no esperadas.
- Error operacional.

CASO 3: Steam Hammer – Inducido por Condensación rápida del vapor

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Básicamente el fenómeno se presenta cuando vapor, especialmente de media o alta presión, entra en contacto con condensado sub-enfriado (o viceversa). Ocurre una transferencia rápida de calor y se generan ondas de condensado que llenan toda la sección transversal de la tubería y así, grandes **bolsas de vapor** quedan atrapadas en el condensado. Hay un colapso de las bolsas de vapor, esto es, una **condensación rápida** donde el vapor cambia bruscamente a fase líquida. Este colapso puede tomar un (1) microsegundo en producirse!!

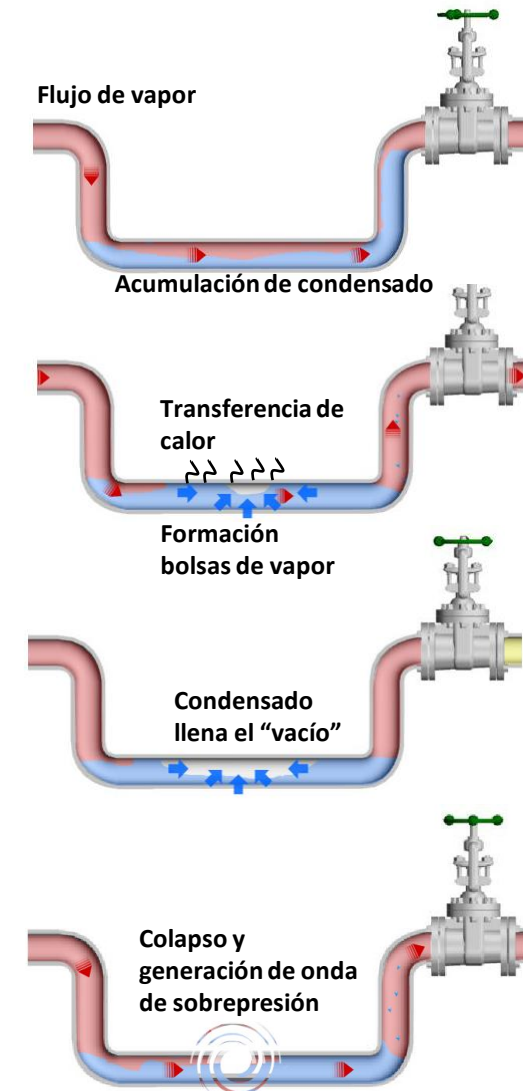
Este líquido ocupa un volumen significativamente menor al que ocupaba antes el vapor (se reduce en

un factor que va de varios cientos a más de miles!!) en función de la presión de vapor saturado.

En el espacio vacío la presión cae a la presión de vapor saturado del condensado circundante, de manera que queda un “hueco” (o vacío) de baja presión en el espacio que antes era ocupado por el vapor. El condensado se “precipita” a llenar este vacío, lo que genera una onda de **sobrepresión** en el tramo de tubería lleno de condensado.

La secuencia de este fenómeno se muestra a continuación:

(Imágenes de TLV CO, Ltd.)



CASO 3: Steam Hammer – Inducido por Condensación rápida del vapor

SOBRE EL FENÓMENO CONSIDERE QUE:

❑ Esto NO significa que el vapor y el condensado “nunca” pueden entrar en contacto, de hecho, esto sucede. En las líneas de condensado es “normal” escuchar un golpeteo (martillazo) cuando el vapor pasa a través de las trampas hasta la línea de recolección de condensados. Pero en este caso, la implosión de las burbujas de vapor no generan ondas de choque de magnitud significativa (o catastrófica) porque básicamente la presión del condensado es baja, no hay un subenfriamiento mayor y las bolsas de vapor son pequeñas (hay sus excepciones y ya lo veremos más adelante). Los desaireadores también son un caso especial, en ellos el vapor saturado y el agua coexisten en equilibrio, sin embargo, cualquier cambio repentino de presión y/o temperatura puede generar condensación rápida o evaporación con resultados catastróficos.

❑ Un Operador con amplia experiencia puede pensar que aún así, él “ha visto” que vapor de alta presión entra en contacto con condensado sub-enfriado y “nada” ha sucedido. La pregunta que cabe es ***¿bajo qué circunstancias sucede este contacto?***

Básicamente deben suceder dos fenómenos para que ocurra Steam Hammer inducido por condensación rápida:

- Debe haber una acumulación significativa de condensado.
- Debe haber un factor “activador” que genere ondas de condensado y se puedan “atrapar” bolsas de vapor contra las paredes de la tubería.

CASO 3: Steam Hammer – Inducido por Condensación rápida del vapor

...Al respecto observe que..

En una **tubería vertical** o con una pendiente significativa hacia abajo en la dirección de flujo, el problema no es mayor porque la clave para que ocurra el Steam Hammer recuerde que es dejar atrapada una bolsa de vapor que colapsará bruscamente, de modo que con esta geometría, por flotabilidad el vapor y el condensado permanecerán separados. Pero esto no sucede en tuberías con “pequeñas” pendientes o donde la pendiente sea positiva (hacia arriba).

Tubería Horizontal

Una tubería horizontal conteniendo una mezcla de vapor sobre condensado sub-enfriado, que haya sido aislada operacionalmente, puede representar una “**bomba de tiempo**”.

Cuando se pretenda admitir nuevamente vapor en la línea o cuando se abra un purgador para pretender drenar el condensado, lo que sucederá es que se activa (induce) un mecanismo de **Condensación rápida**. Habrá una transferencia rápida de calor. Se van a crear sellos de condensado en la tubería (o visto de otro modo, bolsas de vapor atrapadas) que se condensan rápidamente e implosionan.

Entonces operacionalmente...

- No se debe permitir el ingreso de vapor en una línea que tenga acumulado condensado sub-enfriado.
- Muchísimo menos se puede permitir que condensado sub-enfriado fluya hacia una línea llena de vapor.





CASO 4

Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado

CASO 4: Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado

ANTES DE EXPLICAR EL FENÓMENO RECUERDE...

- ❑ Vapor **vivo** es el vapor normal que se genera en una caldera o en un generador de vapor por recuperación de calor.
- ❑ Vapor **flash** es el que se genera cuando condensado a alta temperatura/presión se expone a una gran caída de presión (y permanece constante su entalpía), como en una trampa de vapor.



El ejemplo que desarrollaremos es precisamente el fenómeno que potencialmente se genera cuando disponemos **condensado de alta presión en el sistema de recuperación de condensados de baja presión...**

...Se está preguntando ***¿cómo es posible hacer eso?***

Pues muchos diseñadores e ingenieros de tubería y procesos al parecer lo ven como una práctica “simple e inocente”, si consideramos que en la mayoría de las plantas con servicio de distribución de vapor, en la disposición típica de tubería (layout) se coloca la línea de recuperación o retorno de condensado a la planta de vapor justo al lado de la línea de vapor principal (al fin y al cabo siguen la misma ruta!).

Por otra parte, casi siempre se trata de una cantidad tan pequeña de agua recuperada, que se preguntan ***¿cuál puede ser el problema?***

Lamentablemente las estadísticas de accidentes por esta causa son elevadas... lo describimos a continuación...

CASO 4: Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Básicamente un sistema de recuperación de condensados o funciona por gravedad o es un sistema de impulsión de baja presión (típicamente opera a unos 15 psig y 150-200°F) para retornar el condensado a la planta o generador de vapor.

Cuando se dispone condensados de alta presión/temperatura en un sistema de recuperación con estas características, por definición se producirá **vapor flash**.

Si el vapor flash es capaz de generar grandes burbujas que posteriormente son rodeadas de condensado sub-enfriado, las burbujas colapsarán abruptamente. El condensado circundante se precipita al vacío que quedó cuando el vapor se condensó y se generan ondas de **sobrepresión**.

¿le suena conocido esto?

Está en lo correcto!! Es un golpe de ariete (Steam Hammer para ser exactos) que se genera por **condensación rápida del vapor**... como lo detallamos en el caso anterior.

Nótese que no fue en un sistema grande de vapor donde se generó el fenómeno, fue un “simple” sistema de recuperación de condensados, pero tenga en cuenta que hay eventos de este tipo donde se ha alcanzado hasta 1000 psig de presión, un nivel para el cual definitivamente no estaba diseñado el sistema de recuperación de condensados de baja presión.

...¿Siempre habrá golpe de ariete en estas circunstancias?

NO!!

Aún cuando se genere vapor flash, si los flujos permanecen **estables** no habrá golpe de ariete.

Lo explicamos a continuación...

CASO 4: Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado

...Al respecto observe que..

- Puede que no haya suficiente calor de condensación para condensar el flujo de vapor entrante, y las burbujas de vapor permanecen en la mezcla (no colapsan).
- Puede que todo el vapor se condense al entrar al sistema y no hay burbujas de vapor que puedan colapsar.

Es decir, sólo si hay una **estratificación de flujo** las burbujas persisten temporalmente y hay golpe de ariete (o Steam Hammer para ser precisos).

Estratificación de flujo en un sistema de condensados ¿cuáles son las causas?

- Incremento súbito del flujo de condensado.
- Corte abrupto del flujo de vapor, por ejemplo una trampa se cierra (u obstruye).
- Puntos altos en el sistema de tuberías, donde alguna burbuja pueda quedar atrapada.

Entonces ¿qué hacer?

Hay que garantizar, desde el punto de vista de diseño y operaciones, que todo el vapor se condense cuando entre al sistema y no dar oportunidad a que se creen burbujas de vapor que puedan colapsar por condensación rápida.

En otro Boletín discutiremos algunos de los mecanismos de mitigación y control de golpe de ariete.

CASO 4: Steam Hammer – Sistemas de recuperación de condensado

Nota complementaria – Cañón de agua (Watercannon)

¿en qué consiste esta variación del fenómeno?

El golpe de ariete descrito hasta ahora ocurría en la línea principal, es decir, en la línea de recuperación de condensados. Sin embargo, ocasionalmente un fenómeno de choque hidráulico se da en la tubería vertical de descarga de la trampa, que inyecta vapor flash y condensado en la tubería principal. Esto se conoce como cañón de agua, y ocurre así:

- ❑ Supongamos que a través de una trampa se está disponiendo condensado de alta presión y alta temperatura a un sistema de recuperación de condensado, y que por alguna razón “operacional” la trampa se cierra.
- ❑ Hay un vapor flash que queda atrapado entre el purgador cerrado y el condensado sub-enfriado del sistema de recuperación. Si las condiciones de temperatura son tales que el vapor flash puede condensarse rápidamente, quedará un vacío relativo en esta tubería de descarga.
- ❑ La presión en la línea de recuperación acelerará una parte de condensado en contraflujo hacia la descarga de la trampa y el fluido “golpeará” contra la trampa cerrada o contra la válvula check dispuesta después de ésta (si es el caso). Se genera así una sobrepresión en la tubería vertical de descarga de la trampa.



Recomendaciones operacionales...

- ✓ No inyecte condensados de alta presión/temperatura en sistemas de recuperación de condensados de baja presión si hay bombas aguas arriba y funcionan en modo encendido/apagado.
- ✓ Evite trampas de balde invertido y use trampas de descarga modulante. Las trampas termodinámicas con ajustes de sub-enfriamiento altos son recomendables.
- ✓ En el sistema de recuperación use bombeo de flujo variable (no encendido/apagado) para mantener un flujo estable.
- ✓ Evite puntos altos en el diseño de tuberías.



CASO 5

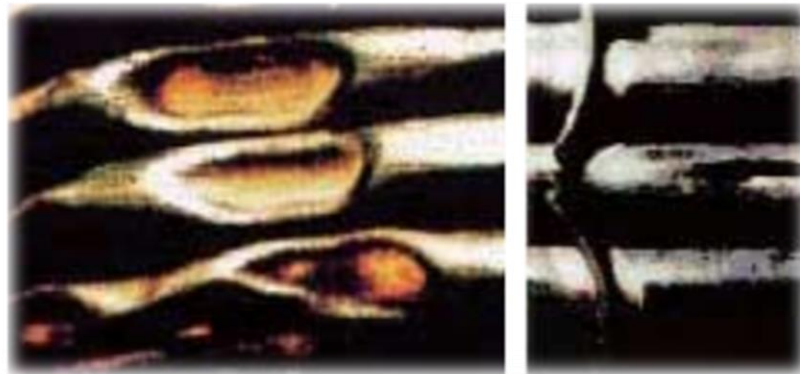
Golpe de ariete – En Equipos

CASO 5: Golpe de ariete – En Equipos

LOCACIONES TÍPICAS:

Dos (2) de los ejemplos más representativos de Golpe de ariete en Equipos son:

- ❑ Intercambiadores de calor de tubo y carcaza donde ocurre el denominado fenómeno “stall”
- ❑ Recipientes horizontales parcialmente llenos de líquido como el caso de desaireadores donde ocurre el denominado “water piston”



Daño por golpe de ariete en los tubos de Intercambiador
(Imagen de TLV CO, Ltd.)



Grietas inducidas por “water piston” en un desaireador
(Imagen de Kansas City Dearator Company)

CASO 5: Golpe de ariete – En Equipos

INTERCAMBIADORES DE CALOR

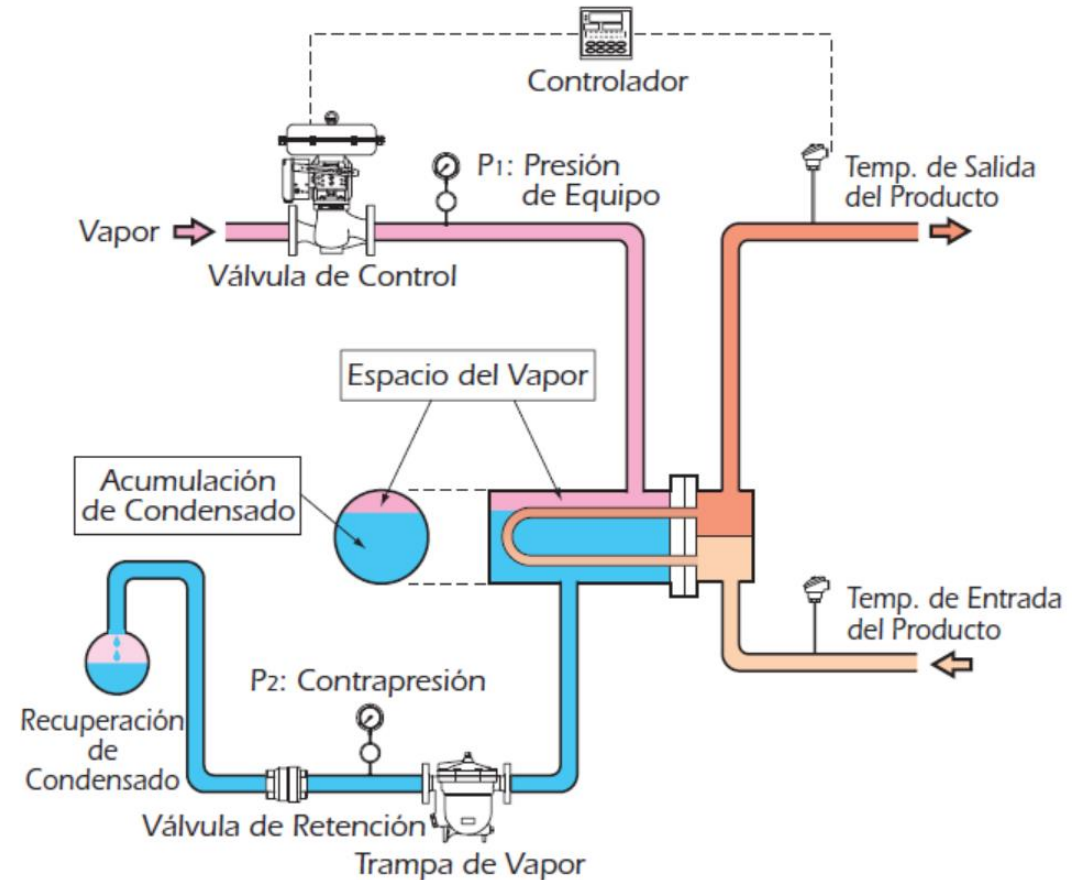
El problema en los intercambiadores de calor que utilizan vapor a través de la carcaza como fluido de calentamiento tiene dos aristas. Por un lado el golpe de ariete puede ocurrir cuando el condensado acumulado se re-evapora, o bien, puede ocurrir por condensación rápida del vapor caliente que ingresa y se pone en contacto con el condensado frío acumulado.

Ahora bien, **¿por qué se acumula condensado en un intercambiador?**

Precisamente debido al fenómeno “stall”

Nos apoyaremos en el siguiente esquema general de un intercambiador de calor con vapor para detallar el fenómeno.

Intercambiador de calor de tubo y carcaza con vapor como fluido de calentamiento



(Imagen de TLV CO, Ltd.)

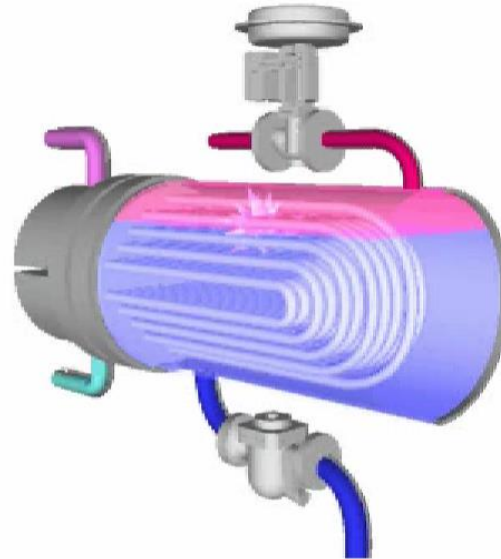
CASO 5: Golpe de ariete – En Equipos

PROBLEMAS DE “STALL” EN INTERCAMBIADORES DE CALOR:

En el intercambiador cuando la demanda de vapor es alta, la presión de entrada es mayor a la contrapresión a la salida y consecuentemente, el condensado que se produce es descargado por la trampa.

Cuando la demanda de vapor para el equipo decrece, por ejemplo por un incremento en la temperatura del producto o por reducción de la cantidad de producto a calentar, la energía entregada disminuye y la presión diferencial entre la entrada y salida de la trampa también hasta que desaparece y la trampa ya no puede descargar el condensado debido a una contrapresión mayor.

El condensado empieza a acumularse en la carcasa incluso hasta llegar a inundar el intercambiador. Esto es el “stall”.



(Imagen de TLV CO, Ltd.)

Este ciclo de “stall” se repite porque cuando el condensado se acumula dentro del equipo, la temperatura del producto disminuye y el sistema por compensación admite nuevamente la carga de vapor. La presión de entrada de vapor se incrementa y cuando es mayor a la contrapresión el condensado es forzado a salir del equipo a través de la trampa repitiéndose el ciclo.

Durante este proceso, el vapor que ingresa a un área con un alto nivel de condensado, se condensa instantáneamente (recuerde el caso de Steam Hammer inducido por condensación rápida del vapor).

Esta condición potencialmente puede generar fracturas y daños mayores a los tubos del intercambiador.

¿Qué hacer?...

CASO 5: Golpe de ariete – En Equipos

¿QUÉ HACER?...

Operacionalmente la misión es hacer una recuperación efectiva del condensado.

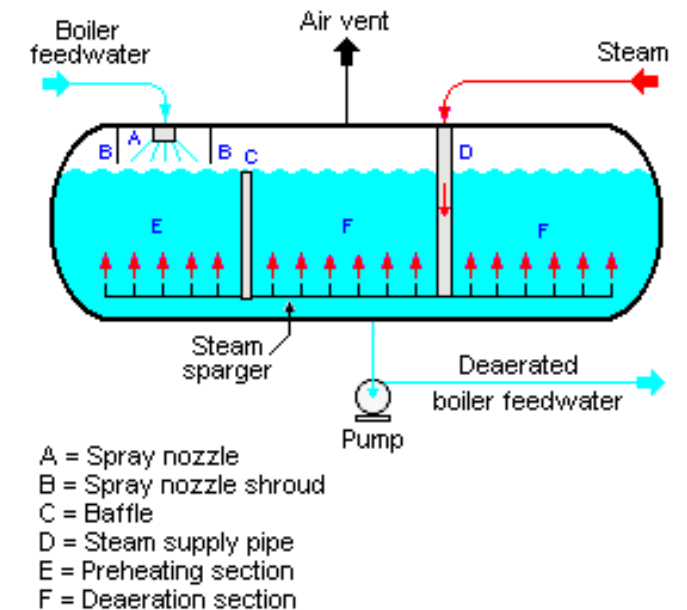
Pero hay otros factores además del “stall” que conllevan a la acumulación de condensado dentro del Equipo. Por ejemplo:

- Incorrecta selección y/o dimensionamiento de la trampa.
- Problemas en la línea de balance de presión.
- Errores o deficiencias en el diseño y/o mantenimiento de los sistemas de tubería.

DESAIREADORES

Imaginemos un desaireador utilizado para el tratamiento de aguas de calderas. Su objetivo es eliminar los gases disueltos en el agua de alimentación de la caldera. Para llevar a cabo la desaireación el agua se calienta mediante vapor de la propia caldera y se aprovecha que la solubilidad del agua en distintos gases decrece con el aumento de temperatura.

Generalmente el agua de alimentación se atomiza y entra en contacto con el vapor (desaireadores tipo spray). Los gases se separan del agua y se ventean por la parte superior del desaireador mientras que el agua cae en cascada hasta el fondo del recipiente desde donde se envía al tanque de agua de alimentación.



¿Cuándo se presenta el problema?

CASO 5: Golpe de ariete – En Equipos

PROBLEMAS DE “WATER PISTON” EN DESAIREADORES:

En un desaireador parcialmente lleno, la entrada de flujo si no es controlada puede generar ondas en la interfase (superficie de separación) debido a la diferencia de densidad entre la masa de agua y el vapor. Físicamente lo que sucede es que se puede crear una cortante vertical de velocidad porque los flujos se mueven a velocidades diferentes. Estas son las “ondas de inestabilidad de Kelvin-Helmholtz”.

Estas ondas pueden formarse y llenar la sección transversal creando un pistón de agua. Cuando hay un diferencial de presión a través del recipiente, el pistón se desplaza hacia un extremo y así repetidamente el pistón puede rebotar entre los extremos del recipiente.

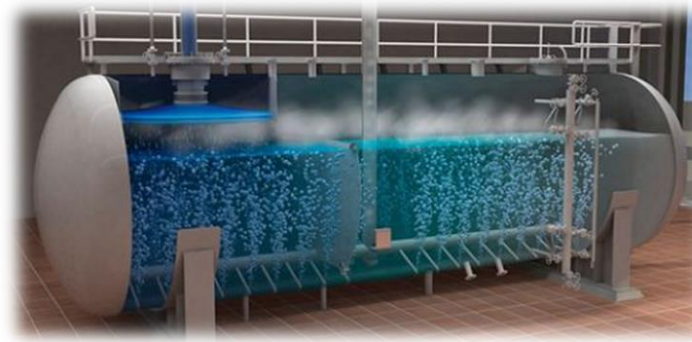


Imagen de Stork Thermeq, a Fluor Company.

Este fenómeno genera tensiones por fatiga en las soldaduras o en las zonas afectadas por el calor, lo que induce grietas normalmente perpendiculares a las soldaduras, sin embargo, también se pueden generar grietas paralelas a la soldadura circunferencial entre el cuerpo y los cabezales del recipiente (falla aún más grave).

Las fallas de desaireadores por agrietamiento han resultado tan catastróficas que han sido objeto de múltiples estudios, incluso se han desarrollado correlaciones entre el golpe de ariete por efecto pistón y las grietas en un desaireador.

Aquí nos detenemos por ahora....

Y queremos invitarlo a revisar los siguientes 5 Casos en nuestro Boletín CF-BT-TUB-003

Recuerde...

¿Qué queremos lograr?

Sensibilizar a los ingenieros encargados del diseño de instalaciones industriales sobre los riesgos y daños que puede ocasionar el golpe de ariete. Hacerlos conscientes de la presencia generalizada de este fenómeno y no esperar a que se convierta en un problema agudo para abordarlo...

...Esperamos que siga conectado con nuestros boletines

CONTÁCTENOS:



SEDE

Centro Empresarial
Cedropoint
Calle 140 No 10A-48
Oficinas 211 y 213
(571) 8053265
Bogotá D.C, Colombia

WEB

<http://www.cyf-eng.com>

ESCRÍBENOS:



Email: info@cyf-eng.com

Nuestros Boletines Técnicos son **Publicaciones quincenales**. Inscríbete a través de nuestro [Formulario](#) y recibe nuestras publicaciones periódicamente.

...Además, escríbenos y déjanos saber cuales son los temas de interés que te gustaría que incluyamos en nuestros Boletines.

REFERENCIAS:

- ❑ Wylie EB; Streeter VL. Fluid transients in systems. McGraw Hill Inc. 1993.
- ❑ Wayne Kirsner. Condensation-Induced Waterhammer. HPAC Heating/Piping/AirConditioning. 1999.
- ❑ Wayne Kirsner. Waterhammer in Condensate Return Lines. Chemical Engineering. 2012.
- ❑ Dr. Otakar Jonas, PE, and Joyce M. Mancini, Jonas Inc. Water hammer and other hydraulic phenomena. 2007.
- ❑ J. Robinson. Deaerator Cracking Survey: Basic Design, Operating History, and Water Chemistry Survey. Corrosion 86, Paper No. 305, NACE International, 1986.
- ❑ <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/>
- ❑ <http://youngeng.com/>
- ❑ <https://www.armstronginternational.com/>

NO DEJES DE VER NUESTRO PRÓXIMO BOLETÍN TÉCNICO:

CF-BT-TUB-003

WATER HAMMER TOP TEN (PARTE 2) .- Nuevos casos de Estudio Típicos de Evaluaciones de Golpe de Ariete:

- Steam Hammer por detención de flujo de vapor;
- Arranque de bombas y el efecto de cierre de columna;
- Turbinas de vapor y el efecto *Water induction*;
- Ondas de choque por orificios de restricción;
- ...y se ha imaginado un golpe de ariete en un sistema de rociadores contra incendio?

...Todos estos casos se los presentamos en nuestra próxima entrega...

El Contenido de esta Presentación es propiedad de **C&F ENGINEERING**. Cualquier divulgación, distribución y/o copia de la información contenida se encuentra estrictamente prohibida. En consecuencia no podrá ser utilizada, modificada, transmitida, comunicada públicamente o distribuida de ninguna manera, salvo autorización expresa de **C&F ENGINEERING** a través de sus Representantes.



Comprometidos con el planeta...Imprima sólo si es necesario