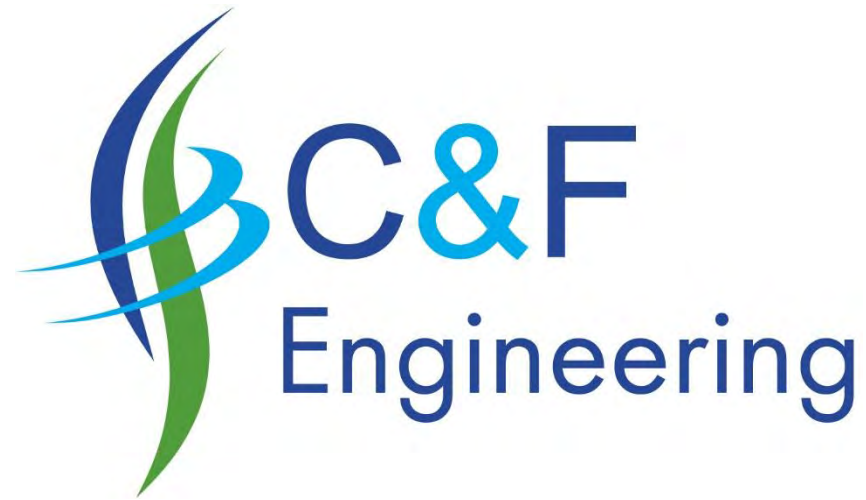


WATER HAMMER TOP TEN

Diez casos de estudio
típicos (Parte 2)

Por: Mariby Figuera



CREAMOS SOLUCIONES...

...SU PROYECTO ES NUESTRO COMPROMISO

A continuación presentamos 5 nuevos Casos de Estudio Típicos de Evaluaciones de Golpe de Ariete

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...

WATER HAMMER TOP TEN

Diez casos de estudio típicos

- 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



En este Boletín

- 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 6

Arranque de Bombas – Cierre de columna

CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna

LOCACIONES TÍPICAS:

- Sistemas de producción de hidrocarburos y derivados:
 - Líneas de crudo y/o derivados desde pozos de producción hasta centros de procesamiento
 - Muelles de carga - Líneas de carga desde buques a tanques de almacenamiento o viceversa
- Sistemas Hidrónicos (distribución de energía térmica y/o frigorífica para la calefacción y/o el acondicionamiento de espacios mediante tubos hídricos).
- Sistemas de recuperación de condensados.
- Redes de distribución de agua doméstica o Acueductos.
- Centrales hidroeléctricas.

CAUSAS DEL FENÓMENO:

- Por cierre de columna de líquido, también llamado separación-reunificación de la columna de líquido (separation and rejoining).

CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

El golpe de ariete asociado al cierre de columna o separación/reunificación de la columna de líquido, puede ilustrarse fácilmente con el ejemplo de **arranque de una Bomba de pozo**.

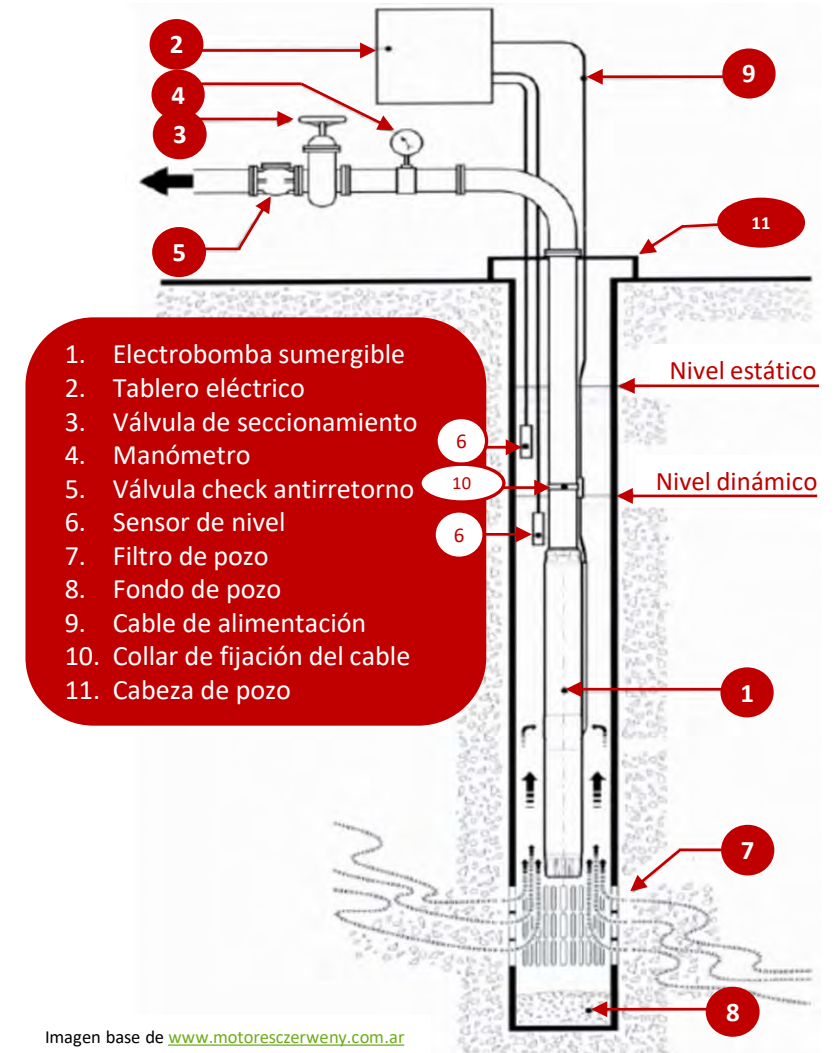
En un sistema de bombeo de agua desde pozo por ejemplo, la altura geométrica de impulsión fácilmente puede alcanzar valores significativamente altos si no se toman las previsiones del caso. Con valores significativamente altos estamos refiriéndonos a centenas o decenas de pies de altura de elevación (o su presión equivalente).

Cabe recordar que la altura geométrica es la suma de la profundidad del agua en el pozo más (+) la diferencia de cotas entre el depósito de impulsión y la boca de pozo.

Normalmente el motor de accionamiento

es sumergido (se dispone en la parte inferior de la bomba). El eje de accionamiento de la bomba se acopla directamente al rotor del motor, y el grupo motor-bomba cuelga del tramo de tubería de impulsión en el interior del pozo, sumergido a suficiente profundidad para que los descensos del agua en el pozo siempre garanticen una sumergencia mínima en la boca de aspiración de la bomba.

Regularmente la válvula de retención por razones de operación y mantenimiento se instala en la tubería de impulsión a la salida del pozo. Allí la válvula es directamente accesible en caso de reparación o mantenimiento y cuando haya que elevar la columna vertical para acceder al grupo motor-bomba esta columna estará vacía, lo que garantiza menor peso y mejor maniobra de operación.



CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna

¿Pero dónde ocurre golpe de ariete en este caso?

Cuando la bomba se detiene y después de cerrarse la válvula antirretorno, la columna de agua entre esta válvula y la bomba se rompe cuando la profundidad del agua es mayor a unos 33 pies (10 m). El tramo de tubería dentro del pozo tiene el extremo superior cerrado por la acción de la válvula antirretorno y el extremo inferior abierto en el interior del agua en cuya superficie actúa la presión atmosférica. Se dice en este caso que la tubería dentro del pozo actúa como un barómetro de agua.

El agua dentro de este tramo de tubería desciende hasta una altura que equilibre la presión atmosférica (que está por el orden de 33 pies o 10 m sobre el nivel del agua en el pozo). Por encima y hasta la válvula antirretorno se genera vapor de agua con presión igual a la tensión de vapor a la temperatura correspondiente.

Luego, cuando el sistema arranca..

Cuando la bomba se vuelve a poner en marcha, empieza a impulsar agua a una tubería que tiene una columna de agua relativamente corta y con una presión absoluta en su parte superior muy baja, de manera que en el momento inicial del arranque el caudal impulsado y la velocidad en la tubería serán altos.

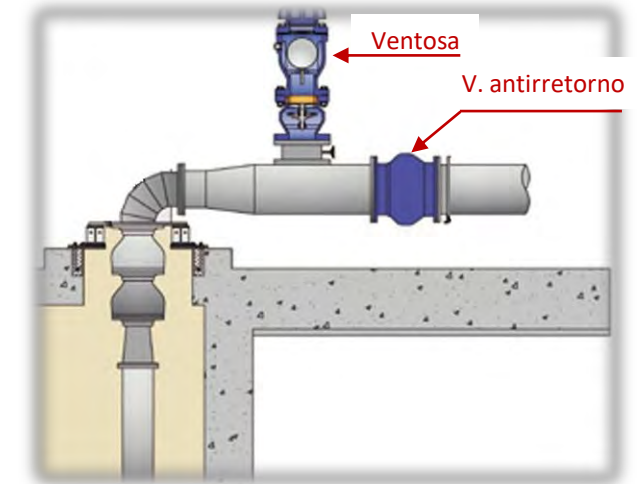
La columna de agua sobre la bomba crece rápidamente de tamaño condensando a su vez el vapor de agua que hay por encima. Esta columna se encuentra con la válvula antirretorno cerrada!

En este momento el agua choca contra la válvula y se genera una oscilación de presión por golpe de ariete que puede alcanzar una magnitud significativa.

...¿Qué se debe hacer?..

En este tipo de instalaciones una válvula ventosa si está clasificada y dimensionada apropiadamente, instalada aguas arriba de la válvula antirretorno, resulta el mecanismo menos costoso para proteger el sistema (tubería y equipo).

...¿cómo funciona esto?



CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna

¿Cómo funciona la ventosa?

Cuando la bomba se detiene y ocurre el cierre de la válvula antirretorno, la ventosa se abrirá justo cuando la presión en el punto donde está instalada cae por debajo de la presión atmosférica. Al abrirse y entrar aire, la columna de agua cae y vaciará el tramo de tubería hasta el nivel de agua en el pozo. La tubería queda con aire a presión atmosférica.

Cuando el equipo vuelve a arrancar, el agua impulsada hace salir el aire a través de la ventosa hasta que se cierra el orificio de salida por flotación del obturador al final de la expulsión de aire. En este momento la columna de agua en movimiento abre la válvula de retención y se restablece el punto de operación correspondiente.

Ahora bien, en todo este proceso el tamaño de la ventosa es un parámetro crítico!

Tamaño de la ventosa ¿un parámetro crítico?

La ventosa debe ser suficientemente grande para lograr admitir suficiente cantidad de aire durante el cambio u oscilación de presión. Pero a la vez no puede ser tan grande que admita un volumen innecesario de aire porque esto conlleva al incremento de tiempo muerto del sistema, dado que el aire tiene que ser expulsado lentamente para que este cierre no origine precisamente una sobrepresión elevada.



Algunas referencias comerciales

¿Qué tipo de dispositivo usar?

Se puede usar un aductor de gran diámetro combinado con una ventosa bifuncional de diámetro reducido. En este caso, la admisión se realiza conjuntamente entre aductor y ventosa, mientras que la expulsión se realiza únicamente por la ventosa de diámetro reducido.

También funciona para este objetivo una ventosa de cierre controlado. La admisión de aire se realiza con toda la sección de paso abierto. Durante la expulsión cuando la velocidad del aire alcanza un determinado valor, el flujo de aire arrastra un obturador que cierra la sección de paso y deja abierto un orificio de diámetro reducido que disminuye el caudal de expulsión y al mismo tiempo la velocidad a la que se mueve la columna de agua que sube por la tubería de impulsión.

CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna

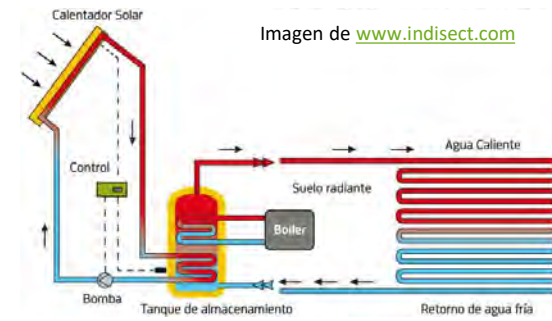
Nota complementaria – Golpe de ariete en Sistemas Hidrónicos

Estos son los sistemas de distribución de energía térmica y/o frigorífica mediante tubería hídrica por la que circula agua caliente o fría procedente de una unidad de producción termo-frigorífica externa (enfriadora o bomba de calor).

Un ingeniero de HVAC puede simplemente desconocer la magnitud del problema de golpe de ariete dentro de sus sistemas, porque generalmente las consecuencias del fenómeno no alcanzan las mismas dimensiones de una situación similar en una planta de procesos, sin embargo, que no sea un problema catastrófico no significa que debemos ignorarlo. Y el golpe de ariete definitivamente existe en estos sistemas...veamos cómo.

Sea que se trate de un sistema de enfriamiento (o calefacción) simple como el acondicionamiento de aire doméstico, o un sistema de acondicionamiento más complejo como un chiller por absorción, existen sistemas de bombeo implícitos como parte del proceso. Veamos el ejemplo de una bomba de retorno de agua a 85°F y cómo puede ocurrir un golpe de ariete en su arranque.

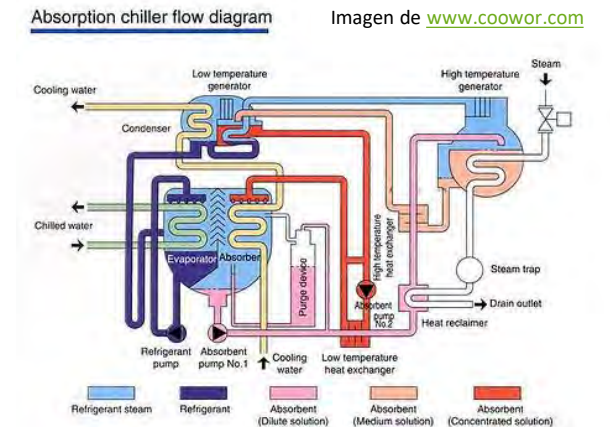
Suponga que esta bomba de retorno eleva el agua a una altura superior a los 33 pies (10 m) por encima del nivel del tanque



atmosférico desde el cual se extrae el agua.

Antes del evento la bomba había permanecido apagada y una válvula a la entrada del tanque superior cerrada, para evitar que el tanque se vacíe porque la válvula antirretorno en la bomba tenga una potencial fuga, por ejemplo.

El problema se presenta cuando la válvula antirretorno a la salida de la bomba efectivamente tenga fugas, la presión atmosférica no puede sostener una columna de agua de más de 33 pies de altura.



Como el agua drena a través de la válvula que fuga, se crea un vacío entre la parte superior de la columna y la cara de la válvula cerrada a la entrada del tanque destino. En realidad este es un vacío parcial porque el espacio está lleno de vapor a la presión de vapor del agua a 85°F.

El arranque de la bomba induce un colapso rápido del espacio vacío antes descrito.

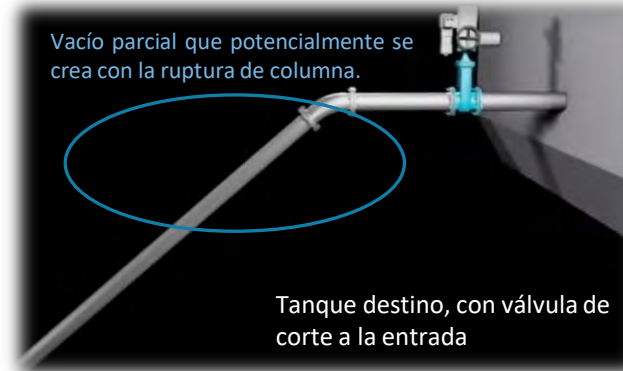
CASO 6: Arranque de Bombas – Cierre de columna



La columna de agua se acelera en función del tamaño del vacío creado.

Cuando el fluido colisiona contra la válvula sucede el fenómeno descrito en el Caso 1. La energía cinética del movimiento se convierte en energía potencial cuando se comprime el fluido. La onda de compresión viaja de regreso hacia la bomba a la velocidad del sonido en el fluido.

Dado que el fluido es “sustancialmente rígido”, una pequeña compresión puede generar un gran aumento de presión.



El vapor atrapado en el vacío se comprime y ejerce una presión extra sobre el fluido, y es función de la **presión de vapor del fluido**.

Cuando se trata de agua a 85°F, por ejemplo, la presión de vapor es de apenas ½” psia. Si la válvula de retención NO falla, efectivamente la presión atmosférica puede soportar una columna de aproximadamente 33 pies de alto porque la presión de vacío creada por encima de la columna es casi insignificante (sólo ½” psia).

Sin embargo, no sucede lo mismo si vemos el sistema de condensado caliente a 200°F por ejemplo. En este caso el fluido tendrá una presión de vapor de aproximadamente 10-12 psia. La diferencia entre la presión atmosférica en el lado bajo de la columna, menos la presión de vapor en el vacío arriba de la columna, hará que el vacío crezca significativamente. Luego al momento del re-arranque de la bomba, la columna de fluido se acelerará aún más, dado el tamaño del vacío en el cual puede acelerar. De manera que es más crítico el fenómeno en el lado caliente de los sistemas hidráulicos.

¿la sobrepresión generada por el fenómeno es suficientemente grande como para dañar algún elemento mecánico del sistema hidráulico?

Normalmente NO porque son sistemas de tuberías diseñados a alta presión, sin embargo, no debe perderse de vista la potencial ocurrencia del fenómeno y prestar especial atención a la resistencia mecánica de elementos más vulnerables como juntas de unión y juntas de expansión por ejemplo. **La clave está en no obviar la ocurrencia del fenómeno!j**



CASO 7

Water Induction en Turbinas de Vapor

CASO 7: Water Induction en Turbinas de Vapor

LOCACIONES TÍPICAS:

- ❑ Centrales de generación eléctrica:
 - Plantas convencionales de ciclo de vapor (Rankine).
 - Ciclos combinados.
 - Cogeneración.

CAUSAS DEL FENÓMENO:

La inducción de agua en turbinas de vapor puede ocurrir en cualquier momento conforme se genere cualquiera de las causas descritas a continuación, sin embargo, es más común durante procesos operacionales “transitorios” como los que ocurren durante el arranque, parada o cambios repentinos de carga.

El enfoque en este caso es particularmente un análisis retrospectivo, donde iremos desde el efecto (water induction) a la causa que lo originó.

ALGUNOS EFECTOS:



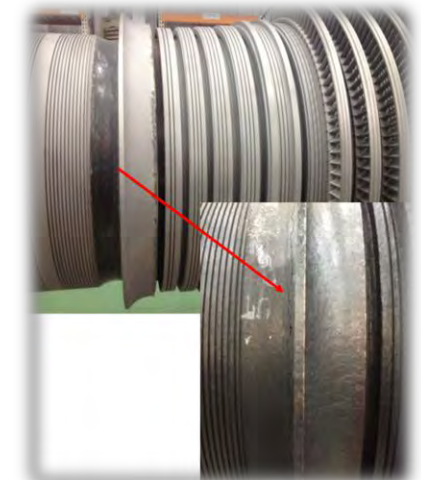
Grietas en la carcaza



Erosión por gotas de agua



Daño en álabes



Rotura en la entrada del rotor de IP

CASO 7: Water Induction en Turbinas de Vapor

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

La entrada de agua en una turbina de vapor puede resultar en un evento realmente catastrófico. La sola presencia de pequeñas cantidades de agua puede generar grandes daños al equipo incluyendo:

- Daño a los álabes.
- Fallas en el cojinete de empuje.
- Craqueo térmico (en carcaza, cilindros o álabes).
- Erosión de componentes.
- Distorsión permanente.
- Efectos secundarios como daño en la Instrumentación & Control, daños en el anillo del empaque de sello, daños en soportes internos.

Si bien es cierto, es común ver este efecto con mayor impacto durante procesos operacionales transitorios como arranque, parada o cambios repentinos de carga, el disparo (trip) de la turbina iniciado manualmente puede considerarse una de las situaciones operacionales más críticas porque la disminución de presión al vacío, puede generar flujo inverso.

Cuando la turbina está en funcionamiento sus componentes están calientes y la entrada de agua, aún en pequeñas gotas o en forma de vapor instantáneo (flash steam) puede causar un enfriamiento severo con distorsión o grietas.

Aunque históricamente la inducción de agua en turbinas de alta presión (HP) y de presión intermedia (IP) son las catalogadas como más dañinas, la experiencia ha demostrado que la inducción de agua en las turbinas de baja presión (LP) también pueden causar daños significativos y debe tomarse seriamente en consideración.

Ahora bien, ***¿por qué puede ingresar agua a una turbina?***

Hay varias condiciones operacionales que pueden resultar en entrada de agua a la turbina de vapor, a continuación un resumen de las más destacadas...

CASO 7: Water Induction en Turbinas de Vapor

1.- Disparo de la unidad o reducción repentina de carga. Durante la parada, la presión de la turbina de alta presión (HP) disminuye rápidamente, y la presión en el recalentamiento intermedio (IP) y la turbina de baja presión (LP) cae casi de forma inmediata al vacío del condensador. En contraste, la presión en el sistema de alimentación cambia lentamente. Se crea así un gran diferencial de presión que estimula el flujo hacia la turbina desde el sistema de alimentación. Esto se conoce operacionalmente como inversión de presión.

2.- Alto nivel de agua en el desaireador. Si bien es cierto la principal función del desaireador es minimizar el oxígeno retenido en el agua de alimentación, también cumple 2 funciones adicionales fundamentales, como suministrar calor adicional al agua de alimentación que llega a la caldera y reservar una cantidad adecuada de esa agua para garantizar

suficiente altura manométrica de aspiración a la bomba de alimentación.

Para poder cumplir todas estas funciones correctamente, el desaireador debe mantener un nivel constante, de modo que si hay una falla en la válvula de control de nivel del desaireador éste puede inundarse y el agua puede fluir a través de los puntos de purga de las líneas de vapor – contra el flujo de vapor – hacia la turbina.

3.- Puntos sin drenar en la línea de vapor. El vapor húmedo puede depositar agua en las paredes de la tubería y puede además producirse acumulación de condensados en los codos del sistema y en las válvulas. La condensación también es un problema latente durante el arranque cuando se calientan las líneas de vapor.

4.- Alto nivel de agua en el calentador del agua de alimentación de alta y baja presión. Usualmente esto es causado por

fugas en los tubos o fallas en los arreglos de drenaje.

5.- Flujo inverso de vapor en las líneas de purga. Bajo este contexto puede potencialmente transportar agua desde los calentadores o los puntos bajos sin drenaje, hacia la turbina.

6.- Otras causas incluyen fallas en: el sistema de atemperamiento, el regulador del sello de vapor, el regulador de agua de rocío para bypass de la turbina de HP, IP, LP, o fallas en los sistemas de drenaje de los calentadores.

CASO 7: Water Induction en Turbinas de Vapor

...y entonces qué se ha hecho al respecto...

La Recomendación Práctica de ASME TDP-1 *Prevention of Water Damage to Steam Turbines Used for Electric Power Generation: Fossil- Fuel Plants*, se desarrolló inicialmente en respuesta a una cantidad de incidentes severos por inducción de agua en la década de los 60 conforme las plantas de energía se ampliaron por encima de 150 MW.

TDP-1 se publicó originalmente en 1972 y se hicieron revisiones en 1979, 1985, 1998, 2006 y 2013. A partir de la revisión de 2006 se incluyeron el ciclo convencional de vapor (Rankine) y las centrales eléctricas de ciclo combinado.

TDP-1 es una práctica que aborda los daños causados por el agua, vapor húmedo y el flujo de retorno de vapor hacia la turbina, y es aplicable a plantas convencionales, de ciclo combinado y de cogeneración.

Cubre el diseño, operación, inspección, prueba y mantenimiento de aquellos sistemas y equipos de centrales eléctricas relacionados con la prevención de la inducción de agua en las turbinas de vapor.

Su filosofía parte de que cualquier conexión a la turbina es una fuente potencial de agua ya sea por inducción desde el equipo externo o por acumulación de vapor que se condensa.

En este contexto plantea que *“ninguna falla de equipo, dispositivo, señal o pérdida de energía eléctrica debería provocar que entre agua o vapor frío en la turbina.”*

La clave para abordar este caso entonces es seguir estrictamente en el diseño y operación de las instalaciones, las recomendaciones de TDP-1 en cuanto a:

- Configuración del ciclo combinado: Sistema de recuperación de calor HRSG, Sistema de bypass de la turbina, Líneas de vapor de procesos (cogeneración).
- Diseño de los drenajes de líneas de vapor.
- Sistemas de control automático de drenajes.
- Configuración del sistema de extracción de la turbina.
- Sistema de control integrado.

Nuevas tecnologías aplicadas en el diseño de los dispositivos de control de los sistemas de las centrales eléctricas, sin duda han marcado una diferencia significativa en la frecuencia de daño por este fenómeno.



CASO 8

Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio (Sistemas de rociadores)

CASO 8: Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio

LOCACIONES TÍPICAS:

- Sistema de rociadores automáticos de extinción de incendios en general (con suministro de agua, agua-espuma, solución de espuma, concentrado de espuma, agua de mar, entre otros fluidos que se utilizan en los sistemas de protección contra incendios).
- Sistemas de rociadores con anticongelantes.

CAUSAS DEL FENÓMENO:

- Arranque y Parada de bombas contra incendio.
- Expansión térmica de anticongelantes aplicados a sistemas de rociadores.

IMPACTO:

Sistemas de protección contra incendio que requieren la activación extremadamente rápida de las bombas, grandes velocidades en el suministro de altas presiones y caudales elevados para combatir el foco de un incendio, pueden llegar a ser sistemas muy agresivos donde la generación de ondas de sobrepresión puede convertirse en un problema corriente.



CASO 8: Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Ilustraremos el fenómeno utilizando como ejemplo un **sistema de diluvio**, el cual es más complejo que los de tubería húmeda y seca porque tiene mayor número de equipos y componentes (1).

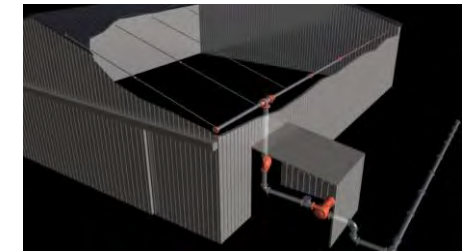
En este punto es importante recordar que se trata de un sistema fijo de protección contra incendio en el cual las tuberías están vacías hasta el instante en que se abre la válvula de diluvio para distribuir el agua presurizada y descargarla por las boquillas abiertas o rociadores simultáneamente.

Los sistemas de diluvio se usan regularmente cuando se requiere la aplicación rápida de grandes cantidades de agua. Se usan para crear una zona de seguridad en áreas de alto riesgo o áreas donde el fuego puede extenderse rápidamente. También cuando hay que enfriar superficies para evitar deformaciones o colapsos estructurales, o bien para evitar explosiones.

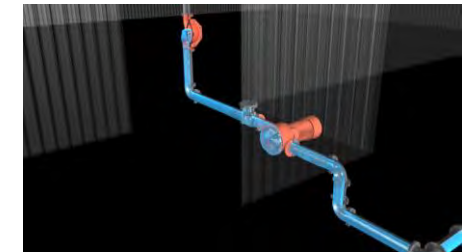
¿cuál es la premisa en todo este proceso?

Precisamente se caracterizan por la operación de sistemas con **muy altos caudales** y la activación **extremadamente rápida** de los dispositivos que marcan el performance hidráulico (la válvula de diluvio y/o la bomba para sostener presión). Ahí radica la clave para generarse un flujo transitorio o golpe de ariete que pueden generar daños o fallas completas del sistema.

La secuencia de imágenes a continuación ilustran un sistema donde las tuberías principales están presurizadas hasta la válvula de diluvio (2). Cuando se produce el incendio el dispositivo de detección se activa, se abre (rápidamente!) la válvula de diluvio y el agua fluye por el sistema hasta salir por todos los rociadores simultáneamente (3). La apertura repentina (extremadamente rápida!) de la válvula de diluvio puede crear un trasiente de presión que genere falla de un accesorio o incluso rociador del sistema (4).



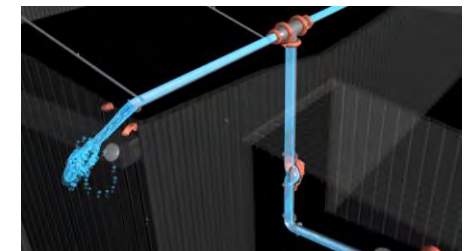
1



2



3

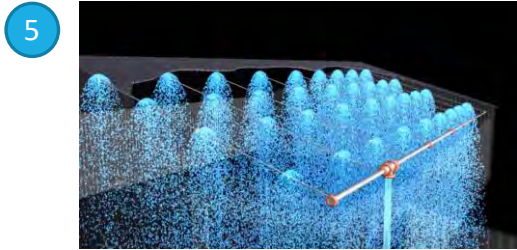


4

(imágenes de Young Engineering & Manufacturing Inc.)

CASO 8: Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio

SOBRE EL FENÓMENO CONSIDERE QUE:



Supongamos que no ocurre ninguna falla por la rápida activación de la válvula de diluvio. Si el sistema de rociadores mantiene la presión de la válvula de diluvio, todos los ramales suministran agua a la instalación (5). Sin embargo, si el cabezal principal no puede suplir suficiente presión, la bomba detecta la caída y automáticamente se enciende para sostener la presión requerida (6). El arranque del equipo en estas condiciones induce otra condición transitoria de flujo que también puede crear fallas e incluso rupturas en puntos sobre-estresados del sistema (7).



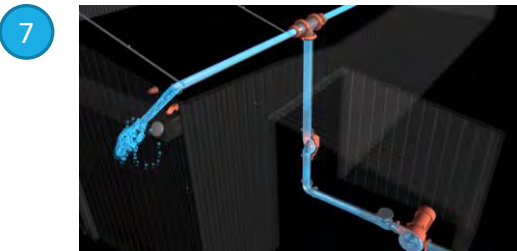
...¿Qué se debe hacer?..

La idea es definir la criticidad real del sistema en términos del caudal requerido, las características de los equipos, tamaño de la red, e identificar los posibles mecanismos que permitan atenuar las altas presiones que potencialmente se puedan generar y estabilizar la presión en el sistema de manera integral.

Una simulación hidráulica dinámica de la instalación será de gran ayuda! Téngalo en cuenta.

¿algunas sugerencias específicas?

Se pueden usar en estos sistemas críticos dispositivos que admiten una función integrada de reducción/control de presión junto con su acción de diluvio. Existen referencias comerciales específicas para este fin (válvulas de diluvio con control de presión).



(imágenes de Young Engineering & Manufacturing Inc.)

También se puede usar un tanque de compensación (Bladder surge tank) instalado aguas abajo de la bomba. Cuando la válvula de diluvio abre, el tanque proporcionará agua a la tubería y evitará la separación de columna (8). Cuando la bomba arranque, ingresará agua al tanque para evitar una condición de sobrepresión (9).



CASO 8: Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio

Nota complementaria – Expansión térmica de anticongelantes aplicados a sistemas de rociadores

En primer lugar vamos hacer algunas referencias sobre el uso de **anticongelantes** en sistemas de rociadores contra incendio. Históricamente estas soluciones se agregaron durante el clima frío a los sistemas cada vez que estos se congelaban. Las soluciones generalmente consistían en propilenglicol o glicerina, líquidos combustibles que se mezclaron con agua para compensar sus propiedades incendiarias.

Tras un fatídico accidente en California en Agosto de 2009, la fundación de investigación de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) junto con UL, trabajaron en una investigación sobre las concentraciones de anticongelantes en los sistemas de rociadores. En una actuación rápida, la NFPA promulgó cambios de emergencia a sus estándares de instalación (3 enmiendas provisionales conocidas como TIA), e impusieron restricciones estrictas sobre los tipos de anticongelantes que podían usarse y al mismo tiempo limitaron los nuevos sistemas al uso de soluciones anticongelantes enumeradas.

Además, la NFPA estableció para Septiembre de 2022 la fecha de caducidad para las soluciones anticongelantes existentes en ese momento en los sistemas de rociadores contra incendio. Estas

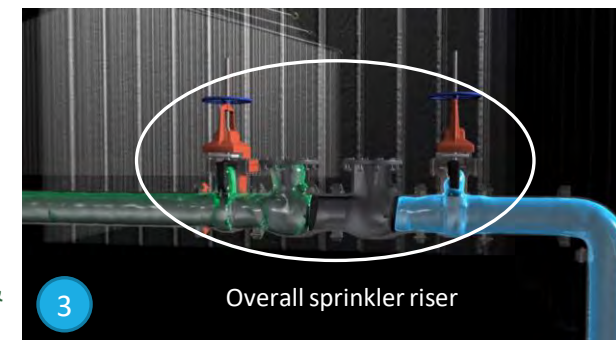
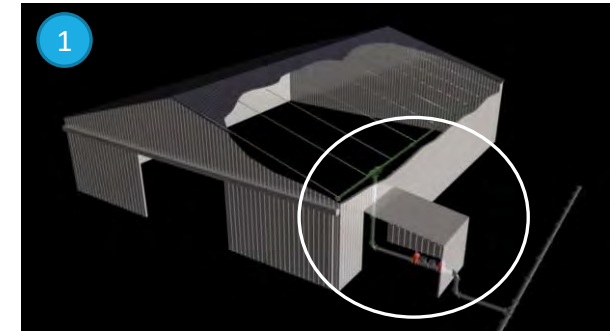
soluciones deben reemplazarse antes de esta fecha por medios alternativos de protección contra la congelación.

Una buena noticia fue que el anticongelante TYCO® LFP® se anunció a finales de 2018 como la primera solución anticongelante de la lista de UL para sistemas rociadores contra incendio. Posteriormente el uso de otras marcas comerciales ha sido aprobado también.

Dentro de este contexto, los anticongelantes se seguirán usando en los sistemas de rociadores contra incendio, entonces la pregunta es **¿qué tipo de condición transitoria de flujo se genera en ellos?**

La secuencia de eventos se explica a continuación...

(imágenes de Young Engineering & Manufacturing Inc.)



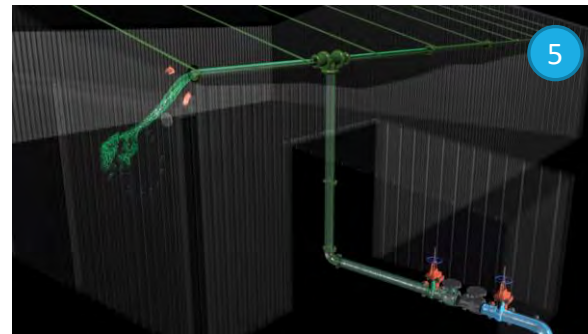
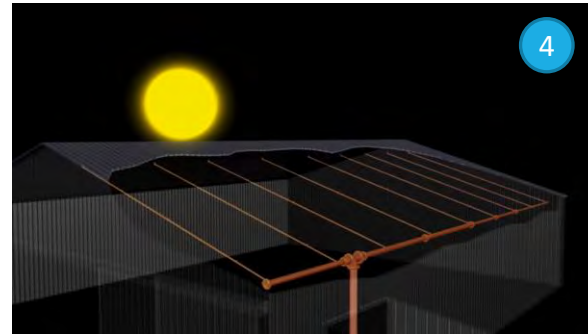
CASO 8: Sobrepresiones y separación de columna en sistemas contra incendio

Para el ejemplo consideremos un sistema de rociadores contra incendio en un edificio industrial (1). Como hemos referido el anticongelante se agrega al sistema para evitar que el agua y las propias tuberías del sistema de rociadores se congelen (2).

En estos sistemas el *overall sprinkler riser* (el componente principal que sirve como puente entre el suministro de agua y las tuberías de rociadores en el edificio), utiliza un dispositivo de prevención de reflujo (*backflow preventer*), que no es más que una válvula check, para proteger el agua de suministro y no “contaminarla” de anticongelante (3).

Cuando la temperatura exterior aumenta durante el día, el anticongelante dentro de la tubería estará sujeto a expansión térmica, lo que genera una “acumulación” de presión que choca contra el dispositivo de prevención de reflujo (4).

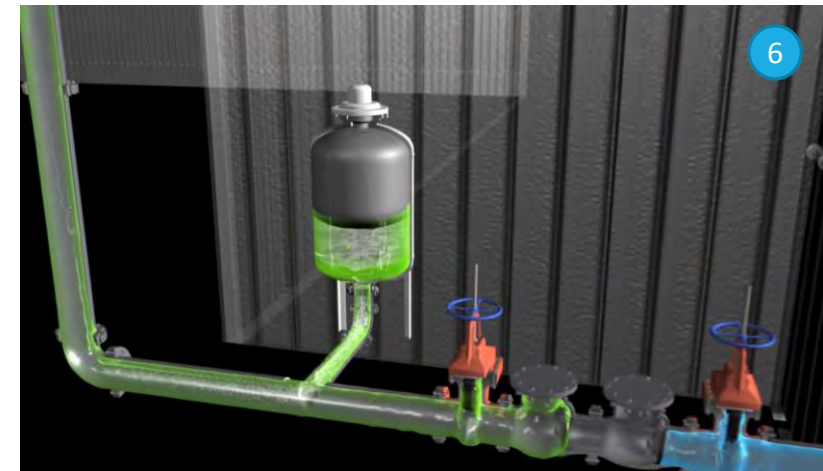
En definitiva se genera una sobrepresión que puede potencialmente causar fallas en áreas vulnerables del sistema de tuberías (5).



(imágenes de Young Engineering & Manufacturing Inc.)

...¿Qué se debe hacer?...

La recomendación en este caso es usar un tanque de expansión (Bladder Expansion tank) en el sistema. Este se instalará aguas abajo de la válvula de retención, de tal manera que el volumen expandido de anticongelante fluye hacia la vejiga de este tanque de expansión (6). De esta forma se reduce la probabilidad de fallas o rupturas que degeneren en fugas por sobrepresión.





CASO 9

Steam Hammer – Detención de flujo de vapor

CASO 9: Steam Hammer – Detención de flujo de vapor

Este caso normalmente ocurre cuando en un sistema de flujo de vapor, una o más válvulas se cierran o abren repentinamente.



En una Planta de energía, el Steam Hammer podría ser un fenómeno inevitable durante un evento de disparo o trip de la turbina de generación principal, ya que en estos equipos las válvulas principales del sistema de vapor, conocidas como *main steam valves*, deben cerrarse muy rápidamente para proteger la turbina de daños mayores.

Cuando la válvula se cierra repentinamente en un tiempo muy corto, la presión del flujo se acumula frente a la válvula comenzando a crear ondas de presión a lo largo de los tramos de tubería aguas arriba. Estas ondas de presión pueden generar una gran respuesta dinámica en la tubería, que se traduce en altas cargas en las restricciones (soportes) del sistema.

...Se está preguntando ***¿qué es una gran respuesta dinámica en la tubería?***

Básicamente se traduce en altas vibraciones, altos desplazamientos de la tubería sobre los soportes, lo cual puede degenerar en cargas significativas, deformaciones permanentes de accesorios, fugas en juntas de unión, entre otras consecuencias.

La respuesta dinámica en la tubería depende de la amplitud y frecuencia de las ondas de presión, así como de la frecuencia natural y características dinámicas de la tubería en sí.

La flexibilidad o rigidez de la tubería determinan cómo responderá el sistema a estas ondas y definirá la magnitud de las cargas en los soportes. Sin embargo, estos son temas de otro Boletín técnico donde en particular analizaremos la respuesta de un sistema de tuberías bajo cargas dinámicas.

CASO 9: Steam Hammer – Detención de flujo de vapor

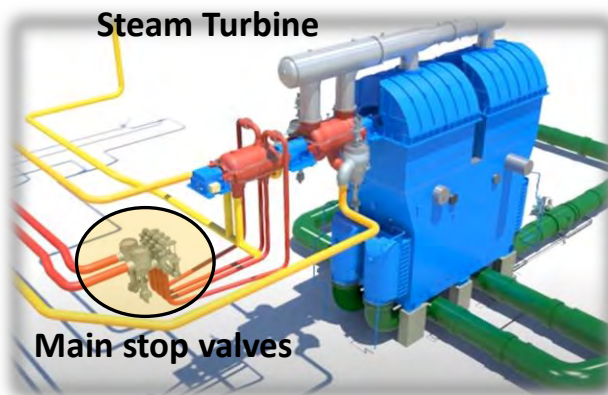


Para ilustrar el caso que nos ocupa de Steam Hammer por detención de flujo, un buen ejemplo es el sistema de recalentamiento en una central térmica convencional que distribuye vapor recalentado a alta temperatura y presión (normalmente cerca de 1000°F y más de 550 psi) desde un recalentador de una caldera de vapor a una turbina de presión intermedia.

Normalmente hay un cabezal principal de vapor que alimenta a 2 o más distribuidores/tuberías de admisión en la turbina. Cada tubería de admisión tiene una válvula automática de aislamiento de la turbina que se cierra “rápidamente” durante el disparo (trip).

Cierre rápido 0.15s – 0.25s

Cierre lento > 0.25s



En el arreglo típico se disponen líneas de by-pass desde la turbina hasta la línea de recalentamiento que permiten en caso de un disparo pasar vapor hasta el condensador de la turbina.

En el evento, el cierre de las válvulas de aislamiento en un corto tiempo y la apertura de las válvulas de by-pass en un tiempo relativamente largo, genera una “intensa” propagación de ondas de presión que causan altas fuerzas dinámicas en el sistema de tuberías.



CASO 9: Steam Hammer – Detención de flujo de vapor

Más detalles sobre la descripción del fenómeno...

- ❑ Los cambios en el patrón de flujo debido al cierre repentino de las válvulas provocan perturbaciones en el movimiento molecular y hay una acumulación repentina de masa de vapor en la cara de la válvula que se cierra.
- ❑ La acumulación de esa masa de vapor produce un aumento repentino de la presión y la densidad del vapor en la cara de la válvula. El flujo de vapor que se trasladaba hacia la turbina es interrumpido por la masa de vapor acumulada que a su vez trata de fluir hacia atrás (aguas arriba de la válvula cerrada), y este fenómeno de choque sucede repetidas veces.



Es importante recordar que...

...Cuando la válvula se cierra y detiene el flujo de vapor, la presión aguas arriba de la válvula aumenta y la presión aguas abajo disminuye. Cualquier cambio en el estado del fluido se propagará a través de la tubería con velocidad sónica (movimiento de onda).

Si el sistema no está diseñado para manejar estas fuerzas desequilibradas pueden generarse fallas en los soportes, sobrecargas en las boquillas de los equipos y en general sobre-esfuerzos que degeneran en roturas de tuberías y accesorios.

CASO 9: Steam Hammer – Detención de flujo de vapor

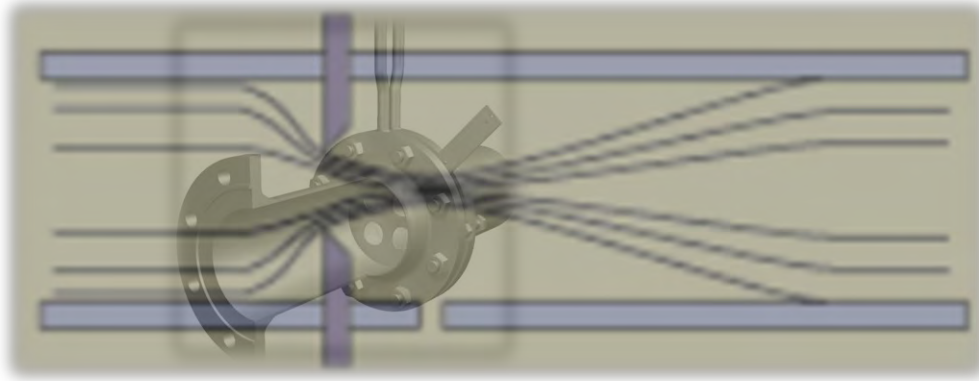
...¿Qué hacer?

Es necesario en el diseño del sistema de tuberías y sus soportes, la evaluación detallada del efecto de compresión del flujo de vapor y la propagación de las ondas de presión durante el transitorio, para determinar de forma precisa las fuerzas dinámicas del fluido, pero sobre todo para diseñar las restricciones del sistema que permitan amortiguar el efecto dinámico y mantener los esfuerzos de la tubería dentro de un rango aceptable.



Recomendación final...

- ✓ El efecto del Steam Hammer en las líneas de vapor no se puede ignorar o sobreestimar. Es necesario considerar esta condición cuando se diseña el sistema de tuberías y en especial sus soportes para garantizar un funcionamiento seguro.



CASO 10

Ondas de choque por orificios de restricción

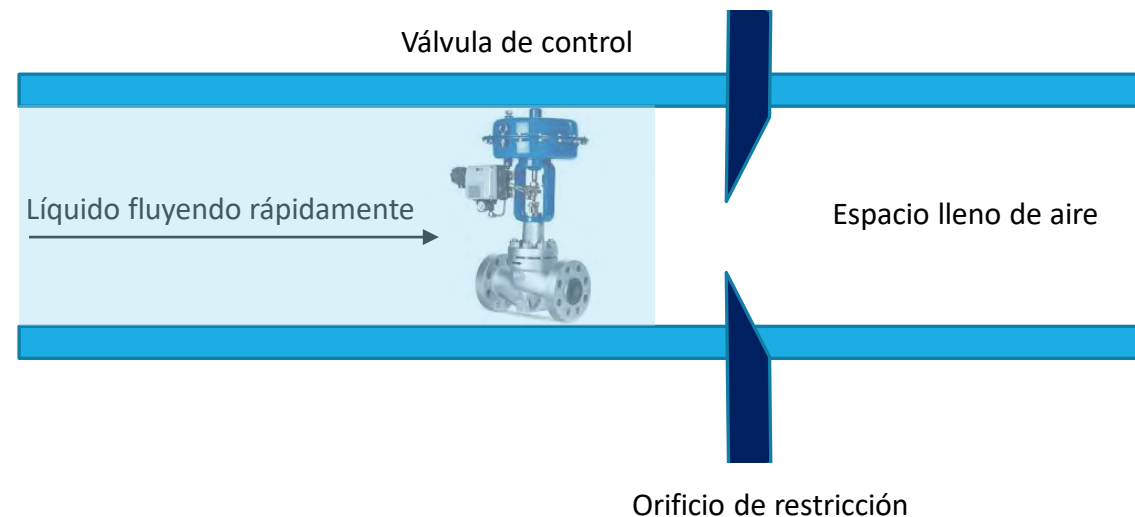
CASO 10: Ondas de choque por orificios de restricción

LOCACIONES TÍPICAS Y CAUSAS DEL FENÓMENO:

El ejemplo representativo de los problemas de ondas de choque por orificios de restricción, es un sistema de transferencia de fluido por bombeo (crudo, productos derivados, agua, etc.) de longitud significativa (mayor a 300 m) donde en el extremo final del sistema se ha instalado bajo cierto esquema de operación, un orificio de restricción justo antes del tanque de recibo o punto final del circuito.

Imaginemos un sistema con estas características, donde debido a un esquema de control operacional de flujo, se ha instalado al final del sistema una válvula de control con un orificio de restricción aguas abajo. En condiciones normales de operación, el orificio proporciona la contrapresión en la válvula de control para evitar cavitación a través de la válvula. Sin embargo, la situación crítica se genera al momento del arranque del sistema, el cual se ilustra a continuación:

Condición en la tubería previa al arranque del sistema



CASO 10: Ondas de choque por orificios de restricción

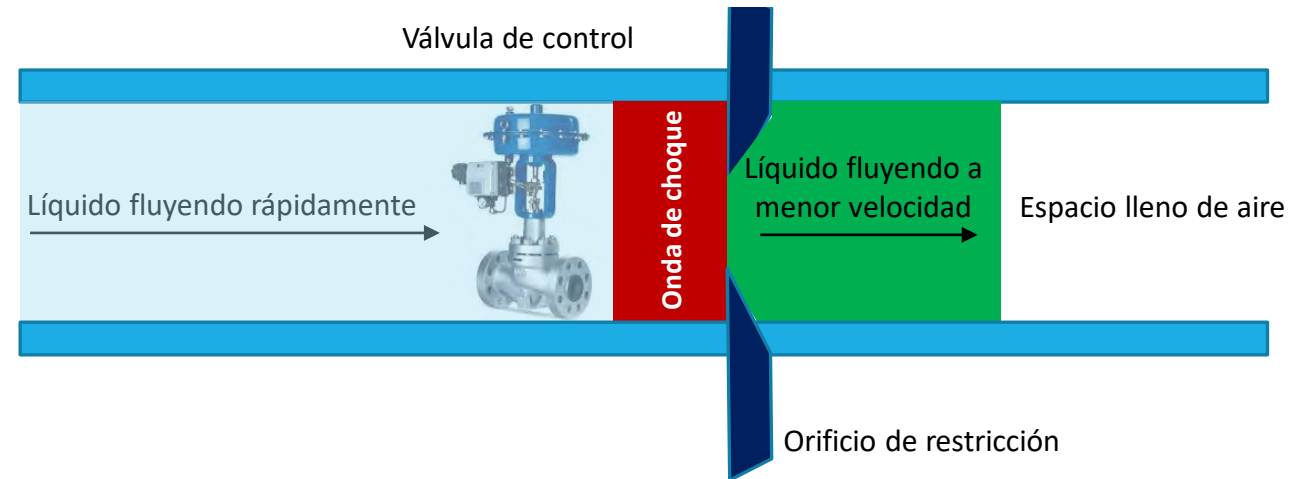
DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO:

Los líquidos no son incompresibles. Es cierto que en comparación con los gases su compresibilidad es muy pequeña pero, efectivamente tienen una compresibilidad!...Como resultado de ello, en el momento del arranque del sistema descrito anteriormente, la columna de líquido que se aproxima a la placa orificio no se desacelera instantáneamente, el líquido en realidad se comprime.

Cuando el pulso de presión y su pulso de flujo concurrente golpeen al restrictor de flujo, el pulso se reflejará aguas arriba contra el flujo **a menos que** el restrictor pase exactamente el mismo ΔQ para la onda ΔP que llega. [ΔQ es el cambio en la tasa de flujo volumétricos y ΔP es el cambio de presión].

En casos severos y según el factor de compresibilidad del fluido, el pulso que se refleja puede duplicarse en magnitud. La reflexión de onda puede causar cavitación local en la tubería.

Condición en la tubería al arranque del sistema



Si se produce la reflexión del pulso de presión, una onda viajará a una velocidad cercana a la velocidad del sonido en el fluido, transportando este cambio de presión aguas arriba contra el flujo. La compresión del fluido degenera en presiones significativas, que pueden dañar a la tubería, la válvula de control supuesta y en general al conjunto en los puntos de discontinuidad del sistema (codos, tee de derivación, reducciones, etc).

CASO 10: Ondas de choque por orificios de restricción

DIMENSIONAMIENTO DEL ORIFICIO DE RESTRICCIÓN

El dimensionamiento del restrictor de flujo debe ser “tan perfecto” que el pulso de presión que llegue al limitador no se debe reflejar en la tubería, sino que este pulso de presión “debe salir” de la línea a través del restrictor. Si logramos que la columna de líquido que se acerca al orificio de restricción se desacelere más o menos uniformemente, el golpe de ariete sería imperceptible.

Para lograr esto el dimensionamiento del restrictor requiere la aplicación de métodos de correspondencia o igualación de impedancia, en inglés *matched impedance*.

Este dimensionamiento depende estrictamente de las propiedades del fluido y las características físicas del sistema de flujo.

En el caso de orificios de restricción ellos pueden absorber o amortiguar sólo un nivel de pulso de presión específico, lo que limita su practicidad de uso.



En el caso de tubos capilares (al fin y al cabo también limitadores de flujo en línea), ellos pueden ser dimensionados para una característica de flujo y de tubería específicas, y son independientes del nivel de presión o el flujo.

Así, los restrictores capilares pueden resultar de mayor utilidad en esta aplicación.

Por otra parte, las reducciones de paso múltiples significan utilizar varios orificios de restricción, válvulas de control o combinación de ambos. Se pueden utilizar también en este tipo de situaciones orificios de restricción en serie.

Hemos llegado al final de estos 5 nuevos Casos de Estudio Típicos de Evaluaciones de Golpe de Ariete

Recuerde...

El golpe de ariete es un fenómeno **REAL**, que no debe quedar sólo en lo teórico. Sus consecuencias pueden ser críticas e incluso catastróficas.

La razón por la cual quisimos detallar estos 10 Casos emblemáticos es para crear conciencia de la presencia generalizada que tiene el fenómeno y los problemas en que puede degenerar.

La clave está en la identificación temprana del evento (o potencial evento), la toma de conciencia de los riesgos implícitos y el uso adecuado de las técnicas y metodologías hidrodinámicas para abordar adecuadamente el tema.

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 mensuales**. 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. Bangin' in the Boiler Plant. 2007.
- ❑ Espert, V.B.; García-Serra, J.; Koelle, E. (2008). The use of air valves as protection devices in pressure hydraulic transients. Proceedings of the 10th International Conference on Pressure Surges. Edinburgh (UK).
- ❑ Dr. Otakar Jonas, PE, and Joyce M. Mancini, Jonas Inc. Water hammer and other hydraulic phenomena. 2007.
- ❑ Stephen Mraz. Controlling Water Hammer and Hydraulic Shocks with Passive Control. Oct 2016.
- ❑ S.C. Ord. Stopford Project Ltd, UK. Water Hammer – Do we need to protect against it? How to predict it and prevent it damaging pipelines and equipment. 2006.
- ❑ British Electricity International. Modern Power Station Practice. Turbines, Generators and Associated Plant. Volume C. Third Edition. 1991.
- ❑ Vladimir D. Stevanovic, Sanja S. Milivojevic, Milan M. Petrovic. Fluid Dynamic forces in the Main Steam Pipeline of Thermal Power Plant upon Stop Valves Closure. Paper of Faculty of Mechanical Engineering. University of Belgrade, Serbia. 2020.
- ❑ Ahmed H. Bayoumy, Anestis Papadopoulos. Time History Steam Hammer Analysis for Critical Hot Lines in Thermal Power Plants. Paper of Exposition IMECE, Montreal, Canada. 2014.
- ❑ Devendra P. Goswami, Dhiraj Aggarwal and VD Bharani. Steam Hammer consideration in the Steam Pipelines. International Journal of Current Engineering and Technology. India. 2018.
- ❑ <https://www.nfpajla.org/>
- ❑ <http://youngeng.com/fire-protection-industry/>

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