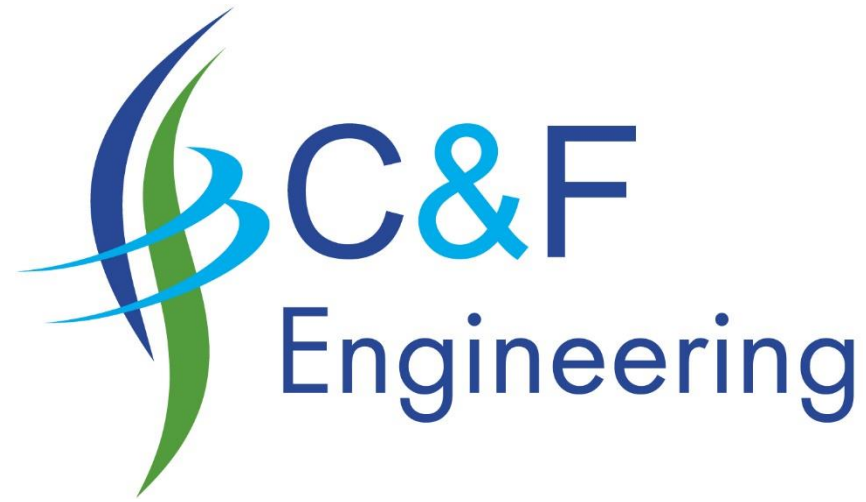


EVALUACIONES HIDRODINÁMICAS EN SISTEMAS DE TUBERÍA

GOLPE DE ARIETE & STEAM HAMMER

Por: Mariby Figuera



CREAMOS SOLUCIONES...

...SU PROYECTO ES NUESTRO COMPROMISO

¿Qué es el Golpe de Ariete?

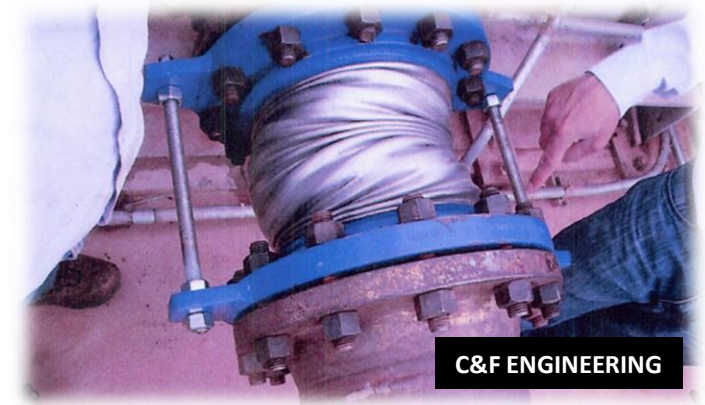
ES UN CHOQUE HIDRÁULICO QUE GENERA FLUCTUACIONES DE PRESIÓN DEBIDO A UN INCREMENTO O DISMINUCIÓN REPENTINA DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO EN UN SISTEMA.

¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DE UN GOLPE DE ARIETE?

Las fluctuaciones u ondas de presión pueden ser positivas (sobrepresiones) o negativas (depresiones).

En el caso de las sobrepresiones, éstas pueden aumentar la presión total interna hasta llegar a superar la presión máxima admisible, lo que puede ocasionar daños mecánicos graves a las tuberías y accesorios.

En el caso de las ondas negativas, éstas pueden disminuir la presión total hasta generar cavitación, separación de la columna de líquido o el colapso de la tubería por efecto de la presión externa.



Consecuencias: Potenciales daños mecánicos en el sistema de tubería y/o equipos de proceso asociados

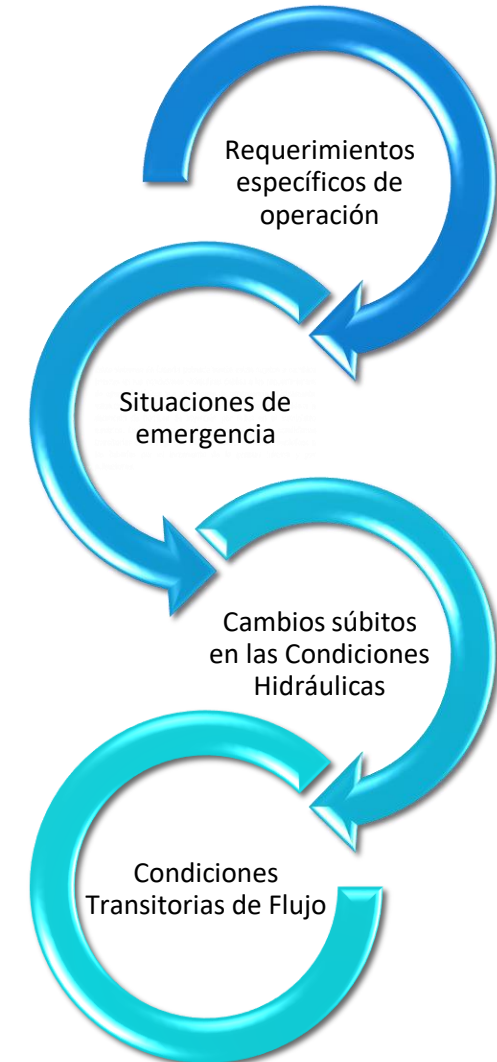
¿CUÁNDO SE HACE ESTE TIPO DE EVALUACIONES?

Ciertos Sistemas de Tubería están potencialmente expuestos a cambios súbitos en sus condiciones hidráulicas como consecuencia de alteraciones en su filosofía de operación o requerimientos específicos de funcionamiento, y/o debido a alguna situación de emergencia.

Estos cambios están asociados entre otros a:

- Apertura y cierre de válvulas.
- Paradas de emergencia.
- Arranque y/o detención de equipo de Impulsión (Bombas, Turbinas).

Dado que son cambios repentinos y bruscos originan condiciones transitorias en el flujo que pueden causar daños mecánicos a las tuberías (rotura o colapso) por el incremento de la presión interna, por presiones de vacío y por vibraciones/pulsaciones.



¿QUÉ SISTEMAS DEBEN SER EVALUADOS POR GOLPE DE ARIETE?

El principal código para el diseño de tuberías, ANSI/ASME B31 (B31.1; B31.3; B31.4), define que debe hacerse el cálculo de las variaciones de presión debido a la ocurrencia de Golpe de Ariete, y que dichas condiciones transitorias deben considerarse en la determinación de la presión de diseño correspondiente....pero...

¿Qué Sistemas deben ser evaluados específicamente?

Depende!!, no existe un concepto único. Se debe revisar qué sistemas están sujetos a cambios súbitos en sus condiciones hidráulicas, tales que puedan generar flujo transitorio. Sin embargo, - como referencia - estos estudios se han tipificado para los siguientes casos:



Sistemas de gran diámetro

Sistemas de gran longitud



Sistemas con Estaciones de Rebombado



Sistemas sujetos a Parada de Emergencia (ESD)

Sistemas en Áreas de Alta Consecuencias



Sistemas de Servicio críticos

¿QUÉ SE HACE ENTONCES...?

EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA



EVALUACIÓN HIDRÁULICA

EVALUACIÓN DE ESFUERZOS

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ¿EN QUÉ CONSISTE?

El análisis de este fenómeno consiste en calcular las variaciones de presión y velocidad respecto al tiempo en varias locaciones del sistema de tuberías para construir un perfil de presión a lo largo de todo el sistema.

En este perfil se determinan y localizan las sobrepresiones y presiones de vacío originadas por el golpe de ariete. La evaluación permite verificar los tiempos de apertura y cierre de válvulas, paro y/o arranque de equipos y definir las modificaciones requeridas.

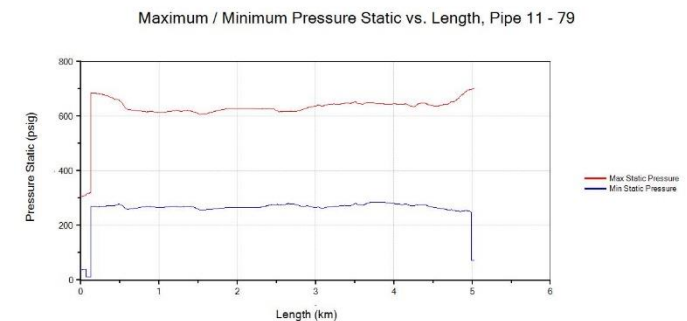
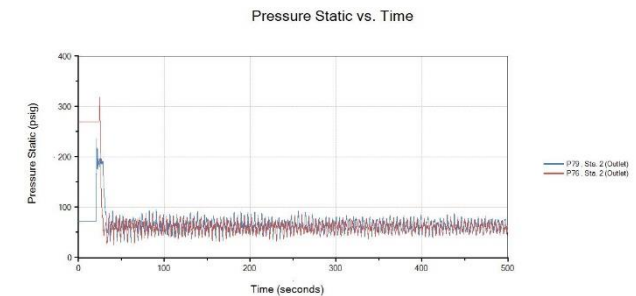
Método de las Características / Método de diferencias finitas / Elementos finitos / Métodos híbridos / Método Gráfico de Bergeron-Schnyder / Método de interacción de Newton-Rapson

Velocidad de Onda

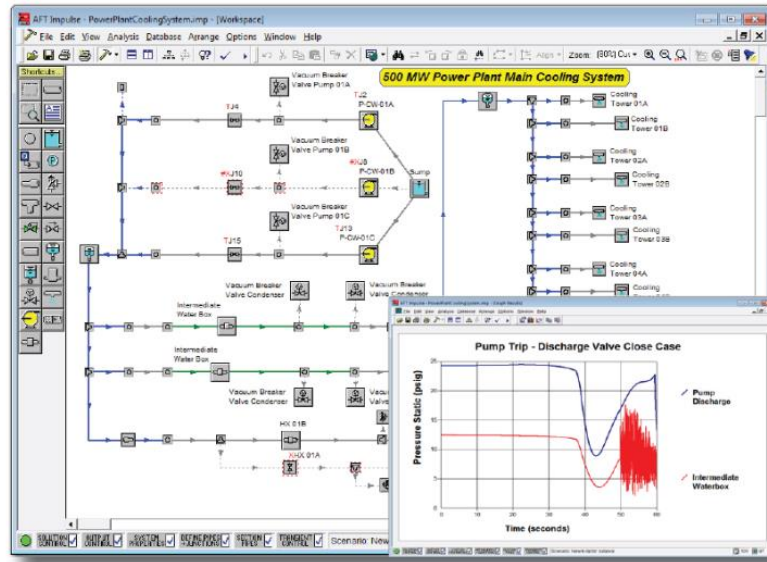
Tiempo de Fase

Golpe de ariete Instantáneo

Golpe de ariete NO Instantáneo



¿CUÁL ES LA METODOLOGÍA DE TRABAJO?



El estudio es separado en dos fases, evaluación del **régimen estacionario**, y evaluación del **régimen transitorio**. En la evaluación del régimen estacionario se estiman las máximas presiones y caudales que se alcanzan cuando se mantiene fluyendo producto por el sistema, mientras que la evaluación del régimen transitorio se realiza estudiando los cambios en las condiciones de presión que se observan en las tuberías en el momento de cierre de una válvula y/o detención (o arranque) de equipos.

Se elaboran simulaciones simplificadas de los arreglos de tuberías, diámetros, longitudes, elevaciones, etc.

Software característicos



AFT Impulse 7 Waterhammer & Surge Analysis Software

Para mayor información refiérase a:
http://www.aft.com/products/impulse?gclid=CLna69f1vs0CFYlehgod_bkOaA

SYNERGI™ PIPELINE SIMULATOR DNV-GL

(Antes Stoner Pipeline Simulator)

Para mayor información refiérase a:
<https://www.dnvgl.com/services/pipeline-simulator-and-surge-analysis-software-analyse-pipeline-design-and-performance-synergi-pipeline-simulator-5376>



Schlumberger
 Dynamic Multiphase Flow Simulator

Para mayor información refiérase a:
<https://www.software.slb.com/products/olga>



PIPENET™

LEADING THE WAY IN FLUID FLOW ANALYSIS

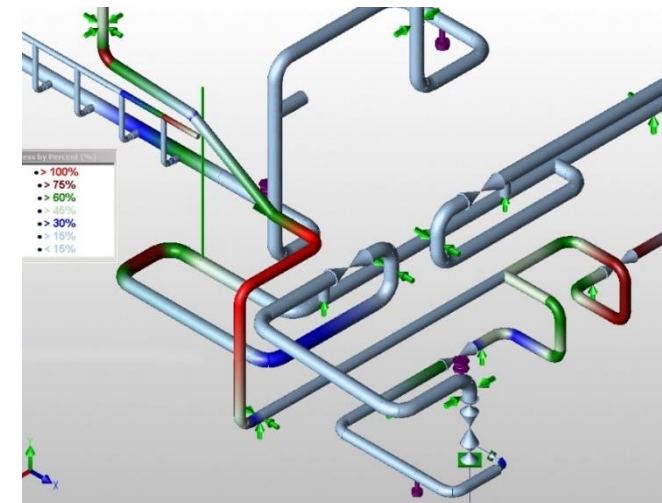
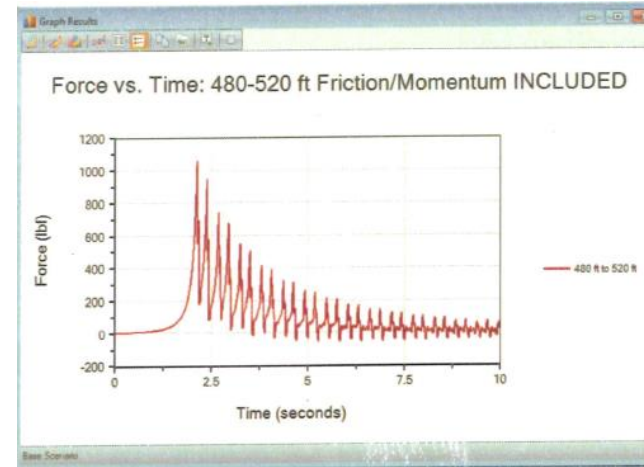
Para mayor información refiérase a:
http://www.sunrise-sys.com/transient_module.asp

EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ¿EN QUÉ CONSISTE?

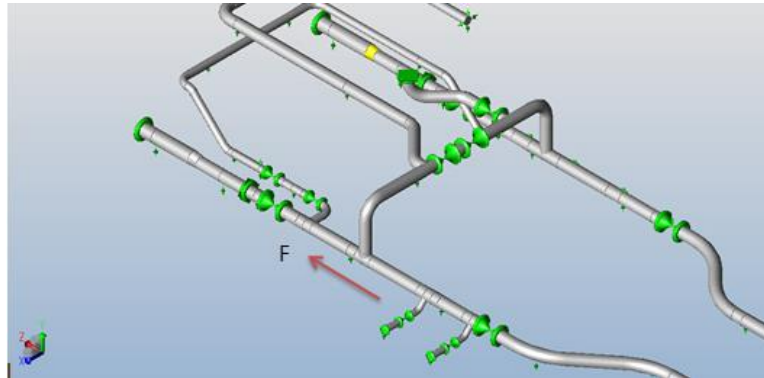
Considerando el “impulso” (carga dinámica) debido a la ocurrencia del golpe, se realiza un Análisis **DINÁMICO** de la condición de Esfuerzo que permita asegurar la estabilidad mecánica del sistema ante este evento ocasional.

En el caso del Golpe de ariete las ondas de presión son el resultado de cambios repentinos en la velocidad del fluido y la potencial vibración es causada por la interacción de las ondas de presión transitorias con las discontinuidades en la tubería, tales como: codos, tees y reducciones.

La condición de soporte del sistema influye en la celeridad de la onda de presión debido a las restricciones impuestas por los soportes sobre la deformación longitudinal.



¿CUÁL ES LA METODOLOGÍA DE TRABAJO?



El método que aplica para analizar la respuesta del sistema bajo cargas dinámicas en este caso es la **Respuesta a un Espectro**.

El análisis de respuesta espectral permite que un evento transitorio tipo Impulso sea caracterizado por un espectro de respuesta versus una frecuencia. Cada modo de vibración en el sistema de tuberías está relacionado con una respuesta del espectro. Estas respuestas se suman para producir la respuesta total del sistema. Los esfuerzos de estos análisis sumados a los esfuerzos sostenidos (suma escalar) son comparados con los esfuerzos admisibles ocasionales definidos por el código de diseño.

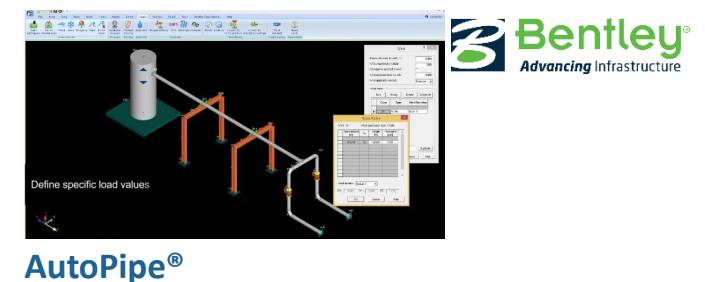
STRESS REPORT, Stresses on Elements ((OCC)COMBINATION # 1)			
HIGHEST STRESSES: (lb./sq.in.)			
CODE STRESS %:	69.9	@NODE 3990	
STRESS:	21667.6	ALLOWABLE:	30989.
BENDING STRESS:	22650.2	@NODE 3990	
TORSIONAL STRESS:	558.7	@NODE 4040	
AXIAL STRESS:	4981.4	@NODE 2759	
3D MAX INTENSITY:	27329.5	@NODE 3990	
STRESS REPORT, Stresses on Elements ((OCC)COMBINATION # 2)			
HIGHEST STRESSES: (lb./sq.in.)			
CODE STRESS %:	69.9	@NODE 3990	
STRESS:	21667.6	ALLOWABLE:	30989.
BENDING STRESS:	22650.2	@NODE 3990	
TORSIONAL STRESS:	558.7	@NODE 4040	
AXIAL STRESS:	4981.4	@NODE 2759	
3D MAX INTENSITY:	27329.5	@NODE 3990	

Software característicos

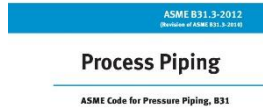
Para mayor información refiérase a:
<http://www.coade.com/products/caesarII>



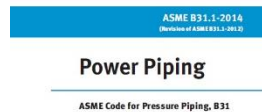
Para mayor información refiérase a:
<https://www.bentley.com/en/products/product-line/pipe-stress-and-vessel-analysis-software/autopipe>



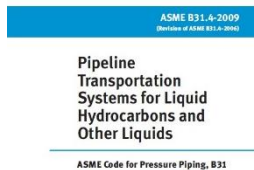
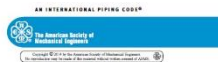
¿SOBRE QUÉ BASE SE HACE LA VERIFICACIÓN?



El Código **ANSI/ASME B31.3**, cuyo alcance en el diseño de tuberías comprende las líneas ubicadas dentro de Refinerías, Plantas Químicas, Petroquímicas, así como Campos de Operación; establece que cierto grupo de tuberías pueden operar con un incremento de **33%** ó **20%** sobre el nivel de presión (*pressure rating*) o esfuerzo permisible a la presión de diseño, para variaciones cortas y poco frecuentes de la presión y/o temperatura de operación normal. Las condiciones anteriores están básicamente asociadas a situaciones de emergencia o condiciones de operación alternas.



El Código **ANSI/ASME B31.1**, cuyo alcance comprende las líneas ubicadas en plantas de potencia, centrales de generación eléctrica, plantas industriales de calefacción geotérmica, calefacción central y sistemas de refrigeración, establece que son permisibles incrementos de **15%** ó **20%** sobre el nivel de esfuerzo por presión circunferencial permisible, para variaciones cortas y poco frecuentes de la presión y/o temperatura de operación normal.



Y el Código **ANSI/ASME B31.4**, sobre cuya base se diseñan líneas ubicadas a campo traviesa, indica que deben hacerse cálculos de las ondas de presión producidas por cambios en la velocidad del fluido debido a la detención de unidades de bombeo, cierre de válvulas o bloqueo del flujo, y que deben proveerse controles y equipos de protección adecuados de manera que el aumento de presión no exceda la presión interna de diseño en un **10%** en ningún equipo o elemento del sistema.



...PERO.. ¿DEBEN REALIZARSE LAS DOS EVALUACIONES?

EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA



INICIALMENTE el foco de atención debe centrarse en determinar (y controlar si es necesario) las sobrepresiones y depresiones transitorias que resultan del golpe de ariete. Para ello el esfuerzo de ingeniería debe concentrarse en dos conceptos:

- Resistencia de materiales (especificación de la tubería)
- Diseño y selección de los mecanismos hidráulicos de mitigación del golpe de ariete.

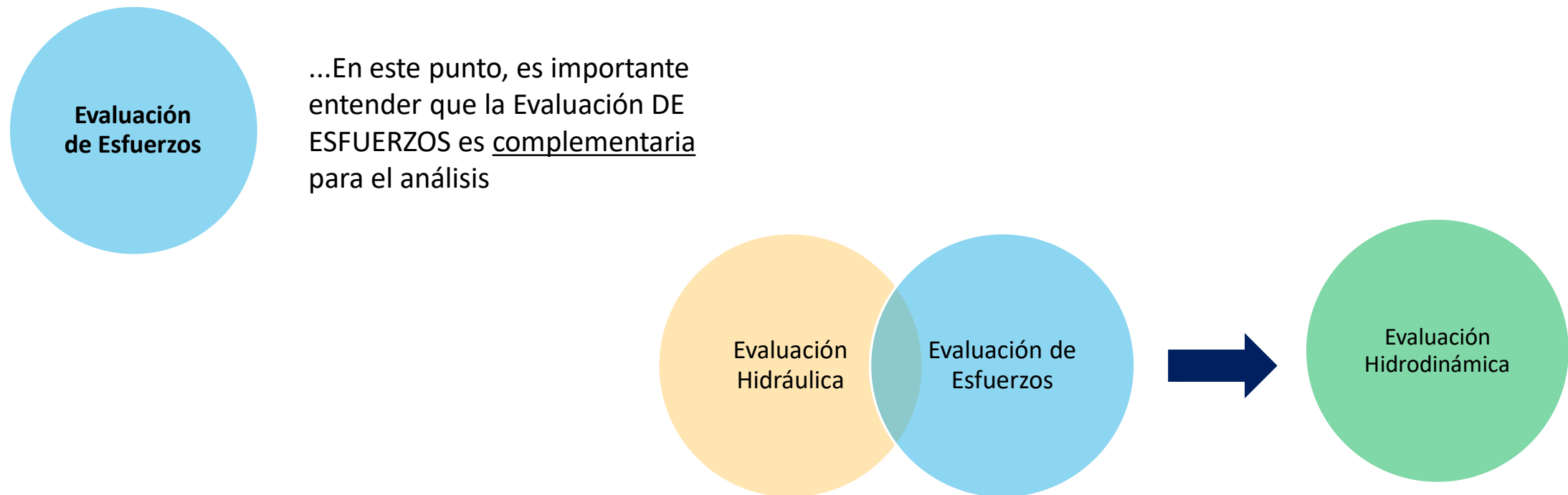
...Hasta este punto, queda claro que la Evaluación HIDRÁULICA es base para el análisis



...SIN EMBARGO...

El foco de atención debe dirigirse luego hacia la RESPUESTA MECÁNICA del sistema. Esto significa “predecir” las fuerzas transitorias y analizar cómo el sistema de tuberías responde a estas fuerzas.

En los sistemas de tubería, específicamente en los cambios de dirección y cambios de área, las fuerzas desbalanceadas que se pueden generar producto del golpe de ariete, pueden causar grandes desplazamientos y/o sobre-esfuerzos sobre el arreglo.



DEPENDEN!!

La Evaluación de Esfuerzos depende de la localización, magnitud, dirección y duración de esas fuerzas dinámicas. En consecuencia, depende la configuración del arreglo de tuberías.

Puede realizarse una verificación de cargas y esfuerzos a través de cálculos manuales en sistemas relativamente simples, sin embargo, en sistemas con mayor número de componentes, cambios de área y/o dirección de flujo, se hace necesaria una evaluación a través de la simulación de la respuesta dinámica del sistema de tuberías.

¿WATER HAMMER O STEAM HAMMER?

Ambos términos se refieren a un fenómeno de “Presiones Transitorias”.

Water Hammer refiere el caso de choque hidráulico de fluidos líquidos (aunque ligeramente compresibles).

Steam Hammer refiere el caso de choque hidráulico de vapor y condensado.

Ambos, si no se controlan, derivan en resultados similares: daños de equipos y del sistema de tubería, válvulas y accesorios, generación de fugas, potenciales accidentes y reducción de la vida útil del sistema.



¿CUÁLES SON LOS ESCENARIOS TÍPICOS DE EVALUACIÓN?

WATER HAMMER

- Apertura y Cierre de válvula
- Paro de Bombas (Pump Trip)
- Arranque de Bombas (Start up)
- Separación de Columna de líquido
- Cavitación

STEAM HAMMER

- Cierre rápido de válvula
- Paro de Turbinas (Turbine Trip)
- Sistema de recuperación de condensados (interacción entre condensado de baja temperatura y vapor a alta temperatura)
 - Golpeteo
 - Contraflujo
 - Grandes bolsas de vapor

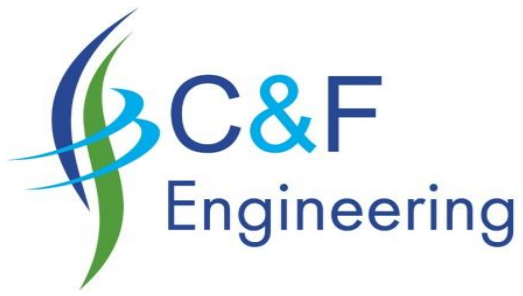
¿Qué queremos ofrecerle?

- Sistemas que operen con mayor confiabilidad, eficiencia, disponibilidad y seguridad.**
- Extensión de la vida útil de sus equipos e instalaciones.**

C&F ENGINEERING comprometidos con crear Soluciones Integrales a sus Clientes en materia de Estudios Hidrodinámicos, presenta una oferta de servicios donde de manera sistemática aborda la condición de choque hidráulico que pueda presentarse en sistemas de líquidos o bien en sistemas de vapor.

Nuestra Oferta de Servicios Incluye:

- Cálculos hidráulicos del fenómeno para sistema de líquido y/o vapor.
- Análisis de Cavitación.
- Golpe de ariete y arranque de instalaciones.
- Evaluación dinámica de Esfuerzos en tuberías.
- Definición y selección de mecanismos hidráulicos de mitigación de golpe de ariete
- Definición y selección de sistemas mecánicos de amortiguamiento de vibraciones por Golpe de ariete.
- Análisis de Fatiga en tuberías debido a cargas transitorias por golpe de ariete.



C&F ENGINEERING es LÍDER en análisis de choques hidráulicos, simulaciones hidrodinámicas y análisis dinámicos de esfuerzos, entre otros debido a los siguientes factores:

Ventajas de C&F ENGINEERING:

El personal a cargo del área tiene formación académica en Ingeniería Mecánica y Control de Procesos Industriales, lo cual brinda un panorama INTEGRAL en la evaluación y solución planteada.

Nuestros especialistas son EXPERTOS en el uso de los más avanzados programas de simulación tanto para el análisis dinámico hidráulico como en el análisis de esfuerzos en tubería.

Siempre generamos recomendaciones PRÁCTICAS debido a que nuestro personal tiene amplia experiencia en campo en el diseño de sistemas de tuberías.

Nuestro objetivo es crear SOLUCIONES oportunas y en cualquier locación donde nuestros Clientes lo requieran.

La estructura organizacional FLEXIBLE nos permite disponer de recursos que se adaptan a cualquier tamaño de proyectos.

EXPERIENCIA DEL PERSONAL DE C&F ENGINEERING

Más de 18 años de Experiencia en el área. Formación académica en Ingeniería Mecánica y Control de Procesos Industriales. La experiencia del Talento Humano de **C&F ENGINEERING** ha sido primordialmente en Venezuela, Colombia y México.

Algunos estudios a destacar en el área son:



- Análisis por Golpe de Ariete en el Sistema de Agua de Enfriamiento y el Sistema de Refrigeración Auxiliar – Proyecto 311 RM CCC Tula Paquetes 1 y 2, Edo. Hidalgo, México.
- Análisis “Steam Hammer” Central Termoeléctrica Manzanillo I, U1 y U2, Comisión Federal de Electricidad, Colima México.
- Análisis de comportamiento dinámico del sistema de gas combustible por Rechazo de carga (load rejection), Proyecto de Cogeneración Altamira S.A. de C.V, México.
- Ingeniería y Estudios de Análisis de integridad del Activo Rubiales – Simulaciones Hidrodinámicas Troncal 7 y Sub-Troncales Campo Rubiales, Ecopetrol, Colombia.
- Análisis Hidrodinámico del Sistema de Recolección de flujo desde Jaguar South West (JSW) hasta la Estación Jaguar, CEPSA, Colombia.
- Análisis por Golpe de ariete en la línea de transporte de crudo hacia Muelle Principal en Sociedad Portuaria Puerto Bahía (SPPB), Pacinfra, Colombia.
- Análisis por golpe de ariete Sistema de descarga de crudo desde Barcasas por Muelle de líquidos, en SPPB Pacinfra, Colombia.
- Análisis por Golpe de Ariete Plataformas Múltiples de Inyección (PAD) 1,3 (Campo Quifa), 4,6,7 y 9 (Campo Rubiales), Pacific Rubiales Energy, Colombia.
- Análisis por Golpe de Ariete Oleoducto Bicentenario Tramo Banadía-Ayacucho-Coveñas, Proyecto Bicentenario, Colombia.
- Análisis por Golpe de Ariete Oleoducto Carmentea-Araguaney, ODL, Colombia.
- Análisis por Golpe de ariete, Sistema de Bombas de Alta Presión, Proyecto “Optimización Equipos existentes Campo Sabanero”, Pacific Rubiales Energy, Colombia.
- Análisis por Golpe de Ariete, Instalaciones Complementarias BITOR, PDVSA Oriente- Venezuela.
- Análisis por Golpe de Ariete Diluenducto Complejo Criogénico José Antonio Anzóategui – Patio de Tanques Oficina, PDVSA Oriente- Venezuela.
- Análisis por Golpe de Ariete 6 Muelles del Terminal Marino Guaraguao y 4 Muelles Terminal Marino El Chaure - PDVSA Oriente- Venezuela.
- Análisis por Golpe de Ariete del sistema para manejo de Gasolina y Nafta de la Refinería Puerto la Cruz, PDVSA Oriente- Venezuela.
- Análisis por Golpe de Ariete de las 6 troncales de alimentación de la Refinería Puerto La Cruz, PDVSA Oriente- Venezuela.

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

Recuerda que 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.
- ❑ S J Van Vuuren. Theoretical Overview of Surge Analysis. University of Pretoria. 2003.
- ❑ Jim Wilcox; Trey Walters. Evaluating Dynamic Loads in Piping Systems caused by Waterhammer. 2015.
- ❑ CAESAR II User's Guide. DICAS-PE-200104E. 2014

NO DEJES DE VER NUESTRO BOLETÍN TÉCNICO:

CF-BT-TUB-002

WATER HAMMER TOP TEN .- Diez casos de Estudio Típicos de Evaluaciones de Golpe de Ariete (incluye Steam Hammer). Conozca los ejemplos más representativos de este fenómeno en las principales instalaciones petroleras, centrales de generación, acueductos e instalaciones industriales en general. Resumen de las principales causas de flujo transitorio en estos sistemas.

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