

Diseño y simulación de una Bomba Centrífuga y estudio de los efectos de la cavitación y golpe de ariete

De La Puente Cortez, Ricardo Federico; Narbasta Hurtado, Joel Elias; Oscco Coila, Brian Anthony; Rojas Mallqui, Bruce Nino; Siña Hugo, Fabrizio Fernando

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

ESCUELA INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FINAL DEL CURSO DE:

MECÁNICA DE FLUIDOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR

SEMESTRE 2022-I

Resumen: En este trabajo de investigación se desarrolla la definición de lo que es una bomba centrífuga, sus principales componentes, fórmulas de funcionamiento, aplicaciones en la industria y estudio de los efectos de la cavitación y el análisis del golpe de ariete y sus efectos.

Palabras claves: Bomba centrífuga, industria, cavitación, fluidos, golpe de ariete.

Abstract— This research work develops the definition of what a centrifugal pump is, its main components, operating formulas, applications in industry and the study of the effects of cavitation and the analysis of water hammer and its effects.

Keywords: Centrifugal pump, industry, cavitation, fluids, water hammer.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando un fluido no posee suficiente energía para vencer las diferencias de altura, velocidad o presión, debidas estas últimas tanto a las condiciones reinantes en los extremos de la conducción como a su pérdida de energía por rozamiento, es preciso comunicarse con aparatos mecánicos adecuados. Si el fluido que se va a impulsar es un líquido, la máquina recibe el nombre de bomba. La forma de impulsión puede ser de dos tipos, por desplazamiento volumétrico del fluido (bombas de desplazamiento positivo o volumétricas), el líquido es confinado en un cierto espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo luego desplazado hasta la zona de expulsión, o por la acción de una fuerza centrífuga (bombas centrífugas), el líquido circular libremente a su través y recibe la energía por acción de la fuerza centrífuga que le comunica un disco giratorio a gran velocidad, son las más extensamente utilizadas.

Hoy en día hay muchos sectores industriales que necesitan usar bombas centrífugas en sus procesos mecánicos. Algunos de los sectores que más utilizan bombas centrífugas son la industria química, el sector de la automoción, la industria cosmética para el desarrollo de

cremas o la industria alimentaria para la elaboración de todo tipo productos alimenticios. Debido a su importancia decidimos realizar este proyecto.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

A. Descripción de una bomba centrífuga:

Las bombas centrífugas son un tipo de bomba hidráulica que transforma energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido. Aumentan la velocidad de los fluidos para que estos puedan desplazarse grandes distancias. Debido a sus características, conforman la clase de bombas hidráulicas de más aplicación dentro de la industria ya que son las más utilizadas para bombear líquidos en general y permiten movilizar grandes cantidades de agua, operando casi siempre a velocidad constante, por lo que el caudal suministrado (denominado habitualmente capacidad de la bomba) depende solamente, para una misma bomba, de las cargas de aspiración e impulsión. [1]

Los componentes que la mayoría de bombas centrífugas tiene en común pueden clasificarse en:

- El extremo húmedo: Aquí se encuentran las partes que determinan el rendimiento hidráulico, cómo el impulsor y la carcasa.
 - Impulsor: es un rotor utilizado para aumentar la energía cinética del flujo.
 - Carcasa(voluta): La carcasa contiene el líquido y actúa como un recipiente de contención de presión que dirige el flujo de líquido dentro y fuera de la bomba centrífuga. La voluta es un embudo curvo que aumenta de área a medida que se acerca al puerto de descarga. Además, la voluta convierte la energía cinética en presión al reducir la velocidad al tiempo que aumenta la presión como dice en el principio de Bernoulli.

- El extremo mecánico: compuesto por aquellas partes que soportan el impulsor dentro de la carcasa. Como el eje de la bomba, el sellado y los rodamientos.
 - Eje (Rotor): El impulsor está montado en un eje. El eje es un componente mecánico para transmitir el par del motor al impulsor.
 - Eje de sellado: Las bombas centrífugas están provistas de anillos de empaquetadura o sello mecánico que ayudan a prevenir la fuga del líquido bombeado.
 - Los rodamientos limitan el movimiento relativo del eje (rotor) y reducen la fricción entre el eje giratorio y el estator. [2]

B. Funcionamiento de una bomba centrífuga:

El fluido que se bombea entra continuamente a través de la boquilla de succión de la bomba en el centro del impulsor. Después se acelera en dirección radial hasta el borde del impulsor, donde drena hacia la carcasa.

La corriente de fluido se acelera por el empuje que las palas del impulsor, gracias a su curvatura, transmiten a la corriente misma. De esta manera, el fluido adquiere energía, principalmente en forma de un aumento en su velocidad promedio (energía cinética).

Dentro de la carcasa, el líquido se ralentiza adecuadamente gracias a la sección de crecimiento gradual en la dirección del movimiento. Un aumento de sección como este generalmente se obtiene diseñando la parte periférica de la carcasa (aireador de tubo) en forma de espiral con una sección transversal (generalmente una forma circular, trapezoidal o rectangular) que varía desde cero hasta el valor de la descarga de la boquilla de selección.

De esta manera, la energía cinética retenida por el fluido se convierte en energía de presión. [3]

C. Fórmulas

- Rango de Operación: Es la zona en la cual la bomba opera en forma eficiente. Esta zona se determina como:

Q_{\max} : Caudal máximo que puede impulsar la bomba.

Q_o : Caudal a la máxima eficiencia.

En donde:

$$Q_1 = 0.90 \times Q_{\max} \quad Q_2 = 0.85 \times Q_o$$

El rango de operaciones se delimita entre Q_1 y Q_2

- Fórmula de la Eficiencia Mecánica:

$$\eta_{mec} = \frac{W_{requerida}}{W_{mecanica}}$$

- Potencia hidráulica:

$$H_{t,\infty} \approx \frac{\omega}{g} r_2 u_2 \cos \theta_2 = \frac{r_2^2 \omega^2}{g} - \frac{Q\omega}{2\pi b g t g \beta}$$

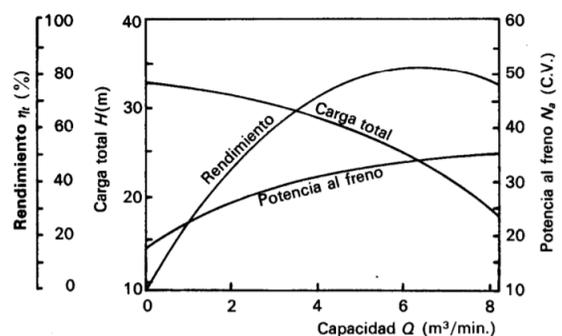
- Altura total de bombeo:

$$P_h = (\gamma * Q * H) / 102$$

- Rendimiento total de la bomba:

$$\eta_T = \frac{P_h}{N} * 100 \%$$

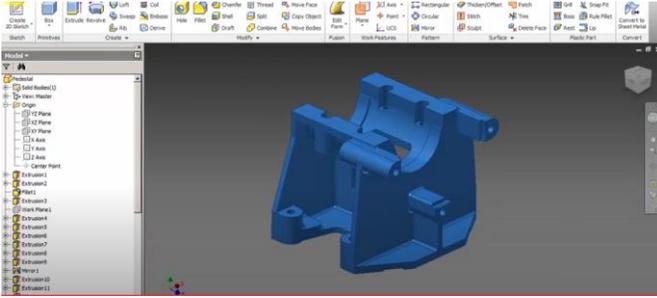
- Curvas características de una bomba centrífuga:



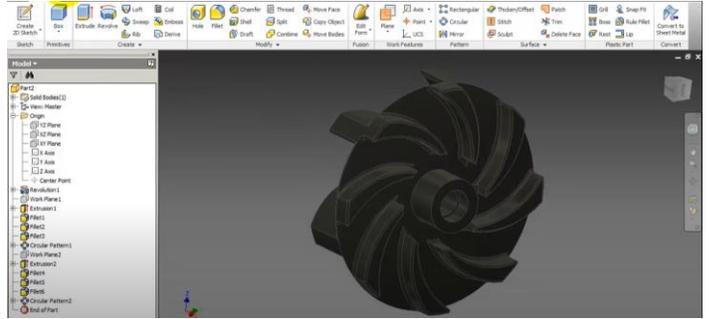
- Simulación:



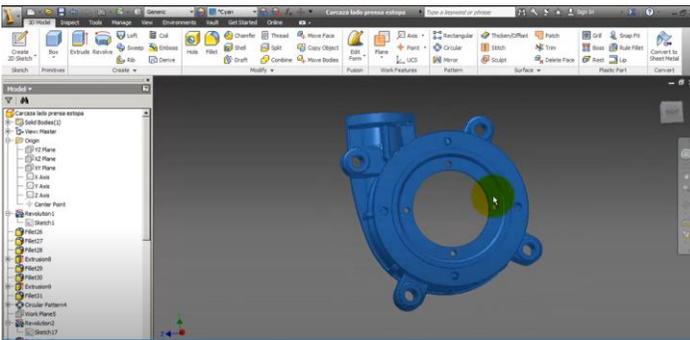
- Pedestal:



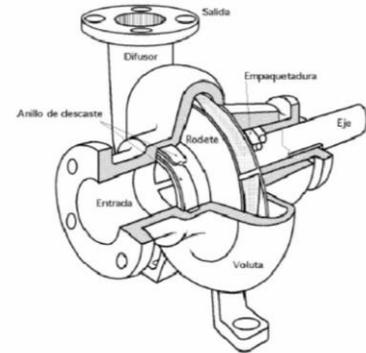
- Impulsor:



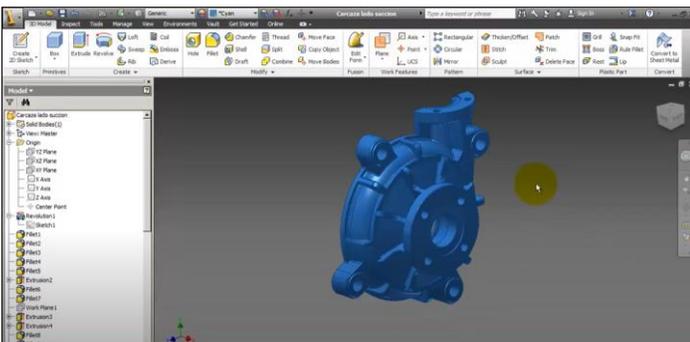
- Carcaza lado prensaestopa:



- Esquema:



- Carcaza lado succión:



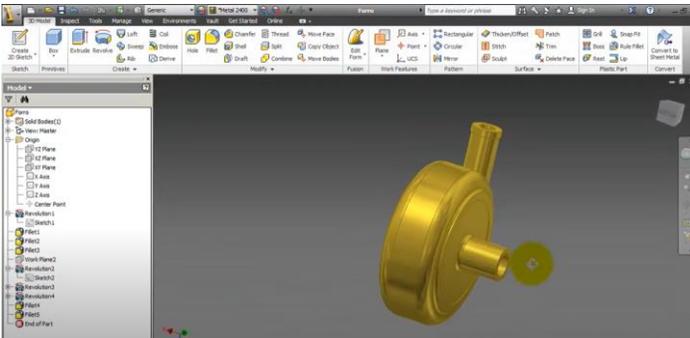
D. Aplicaciones comunes de una bomba centrífuga:

En el uso industrial puede ser empleada en el ámbito agrícola como motor para un sistema de riego.

En plantas de desalinización, encargadas de unir los procesos al ser capaces de transportar agua salada con elementos sólidos, sin que sufran un daño o desgaste severo.

En la minería son modificadas para producir espuma que ayuda a la separación y manejo de algunos minerales. También es utilizada para el transporte de lodos y líquidos que se acumulan durante el proceso de extracción de metales.

- Forro interior:



En plantas petroquímicas son utilizadas para la extracción de los hidrocarburos que contienen diferentes componentes sólidos.

También dentro de la vivienda son usadas comúnmente para el flujo de agua potable a los puntos necesarios. [4]

E. CAVITACIÓN

Es un fenómeno físico hidrodinámico que consiste en la formación de burbujas en el fluido debido a que la presión del líquido bombeado se encuentra por debajo del punto de saturación (presión de vapor).

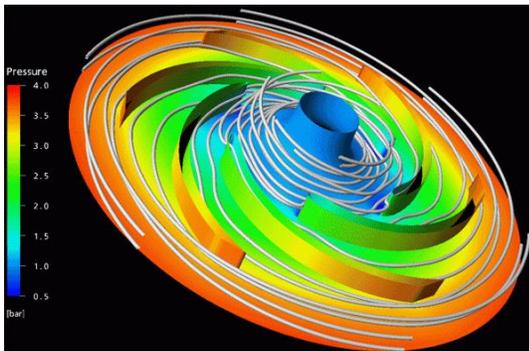
La cavitación se divide en 3 etapas:

1. El proceso de ebullición y formación de burbujas en una zona de baja presión.
2. Movimiento de las burbujas hasta una zona de alta presión.
3. La implosión de las mismas.



Cavitación en Bombas Centrifugas:

Dentro de una bomba centrifuga la zona de más baja presión se encuentra en la zona central del impulsor. Conforme nos vamos alejando radialmente observamos que la presión va en aumento, llegando a su presión máxima en las zonas periféricas del impulsor. Debido a esto las burbujas de vapor se formarán en la parte central del impulsor y debido a la fuerza centrífuga se moverán hacia la periferia del impulsor para luego implosionar en estos puntos.



Efectos de la cavitación:

- Erosión de las partes mecánicas del impulsor.
- Disminución del rendimiento de la bomba.
- Vibraciones excesivas causadas por el desbalance del impulsor y la alta velocidad de rotación.
- Disminución de la vida útil de la bomba.
- Rotura del impulsor y daño total de la bomba.



EROSION CREADA POR CAVITACION EN ROTORES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Como evitar la cavitación:

Para evitar la cavitación se debe analizar el NSPH el cual consta de 2 partes:

1. NSPH requerido de la Bomba:

El NSPHr es una característica de la bomba y es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar problemas de cavitación.

2. NSPH disponible de la instalación

El NSPHd es una característica de la instalación y depende de algunos parámetros como: Densidad de fluido, Temperatura del fluido, Presión Atmosférica, Altura de Succión y las Pérdidas por fricción.

Para evitar la cavitación se debe cumplir:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

F. GOLPE DE ARIETE

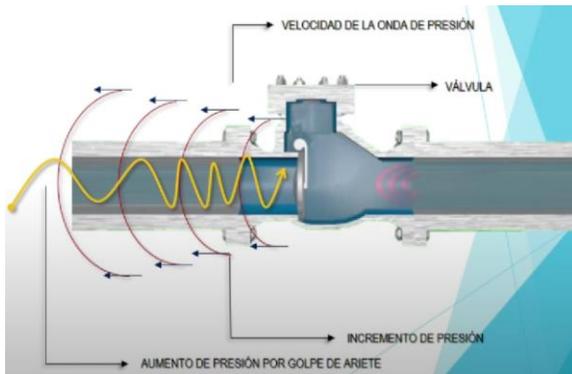
Un golpe de ariete es un aumento repentino de la presión causado por un cambio rápido en la velocidad de caudal de la tubería. Este fenómeno se denomina "golpe de ariete" porque los aumentos repentinos de la presión suelen ir acompañados de un ruido semejante al que haría la tubería si se golpea con un martillo.

Este aumento repentino de la presión puede hacer estallar las tuberías, romper las uniones y causar daños a la bomba y/o al motor.

Aumento de la presión:

$$P_v = \frac{2 P_i (L)}{v_w (T)}$$

P_v = Incremento de presión.
 P_i = Aumento de presión por el golpe de ariete (PSI)
 L = Longitud de la tubería (Ft)
 v_w = Velocidad de la onda de presión (Ft / Seg)
 T = Tiempo de cierre de la válvula (Seg)



Sobrepresión por golpe de ariete:

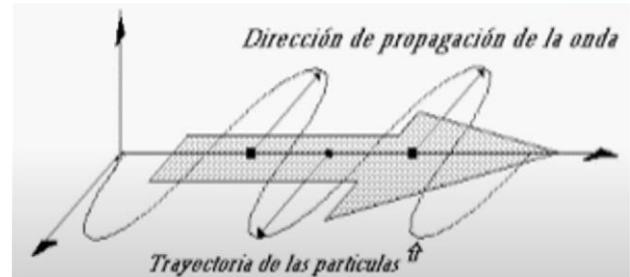
$$P_i = \frac{v_w V}{g}$$



Velocidad de Onda en tuberías:

$$V_w = \frac{4700 \text{ ft/seg}}{\sqrt{1 + (K/E) (D_i/t)}}$$

K = Módulo de *elasticidad volumétrica del fluido* (PSI)
 E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (PSI)
 D_i = Diámetro interno de la tubería (Pulgadas)
 t = Espesor de la tubería (Pulgadas)
 V_w = velocidad de la onda de presión (ft/seg)



Efectos del golpe de ariete:

Los sistemas líquidos en estado estacionario tienen grandes cantidades de impulso. En una situación en la cual el impulso del líquido que fluye se detiene repentinamente, la **energía cinética** de avance se transforma en **energía potencial** en forma de presión. Controlar este aumento de presión es una preocupación grande en los procesos industriales.

Cuando el líquido que fluye se detiene a lo largo de la tubería, las ondas de presión que se producen se propagan rápidamente dentro de la tubería, produciéndose una línea lógica de consecuencias:

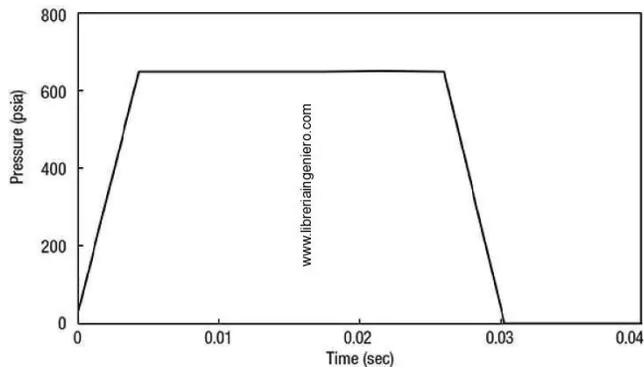
- El flujo en movimiento se detiene
- Se produce un aumento de la presión del fluido
- Las ondas de presión se propagan

Entre otros efectos que se presentan con el **golpe de ariete**, podemos destacar:

- Aparición de presiones negativas
- Separación de la columna de líquido
- Cavitación
- Contaminación asociada a presiones negativas

Prevención del Golpe de Ariete:

- Disminución de la velocidad en tuberías
- Cierre o apertura lenta de válvulas o registros
- Empleo de válvulas o dispositivos mecánicos especiales
- Fabricación de tubos con espesor aumentado
- Construcción de pozos de oscilación
- Instalación de cámaras de aire comprimido que amortigüen los golpes



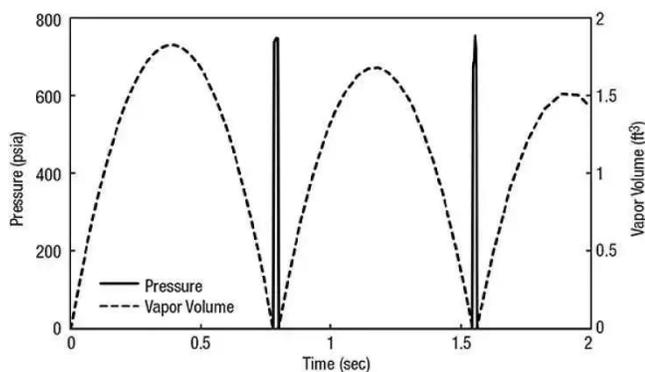
Cambio de presión en una tubería causado por golpe de ariete.

$$\Delta P = \rho a \Delta v$$

Donde:

- ΔP : Cambio instantáneo de presión
- ρ : Densidad del fluido
- Δv : Cambio instantáneo de la velocidad

Esta ecuación es válida, siempre que se entiendan bien las implicaciones y las suposiciones descritas en la norma.



Formación de vapor por golpe de ariete.

III. CONCLUSIONES

- Al seleccionar una bomba centrífuga se tiene que tener en cuenta diferentes factores. Los más importantes son el caudal y el rendimiento, teniendo en cuenta los efectos adversos de la cavitación.

- En la cavitación el fluido pasa de estado líquido a gaseoso, para pasar después a líquido de nuevo, provocando desgaste de los elementos mecánicos y alterando la presión.
- Para evitar la cavitación se recomienda utilizar una bomba correctamente dimensionada, es decir, utilizar una bomba del tamaño correcto para la tarea que se quiere realizar con ella. También mantener una temperatura adecuada del fluido.
- En el caso del golpe de ariete se recomienda la disminución de velocidad en las tuberías, cierre o apertura lenta de las válvulas y también el aumento de espesor de las tuberías.

IV. REFERENCIAS

- [1] "Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas", *Seguas.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>. [Accessed: 17- Dec- 2021].
 - [2] "¿Qué es la parte principal de una bomba centrífuga? Definición". Thermal Engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-parte-principal-de-una-bomba-centrifuga-definicion/> (accedido el 17 de diciembre de 2021).
 - [3] "Bombas Centrífugas | Cómo funcionan | Conocimiento del Hub". *gardnerdenver*. <https://www.gardnerdenver.com/es-pe/knowledge-hub/articles/centrifugal-pump-technology-explained> (accedido el 17 de diciembre de 2021).
 - [4] "Principales aplicaciones de las bombas centrífugas Suhissa". *Suhissa*. <https://suhissa.com.mx/principales-aplicaciones-de-las-bombas-centrifugas/> (accedido el 17 de diciembre de 2021).
 - [5] Vogel, S., & LaBarbera, M. (1978). Simple flow tanks for research and teaching. *Bioscience*, 28(10), 638-643.
 - [6] I. Martín, R. Salcedo, R. Font., "MECÁNICA DE FLUIDOS , Impulsión de fluidos", *Rua.ua.es*, 2011. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf. [Accessed: 17- Dec- 2021].
 - [7] Cheung, C. T., Mui, K. W., & Wong, L. T. (2013). Energy efficiency of elevated water supply tanks for high-rise buildings. *Applied energy*, 103, 685-691.
 - [8] Industrial. Inc., "Goulds 3196 i-FRAME Process Pump - Industrial Fluid Consultants Inc.", *Ifcpump.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.ifcpump.com/product/goulds-3196-i-frame>. [Accessed: 17- Dec- 2021].
- Apuntes de clase: Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor, Robert Castro S.