



# CAVITACIÓN

- Fenómeno
- Erosión por cavitación



Facultad de Ingeniería



Universidad Nacional de Misiones

Hidráulica Aplicada

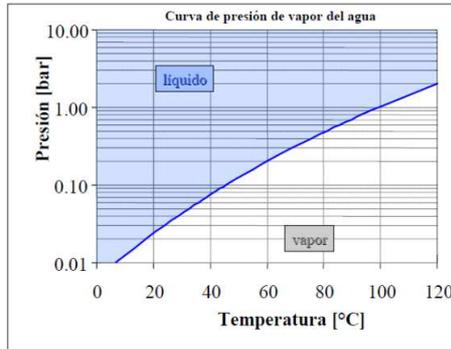
## El fenómeno de cavitación



## El fenómeno de cavitación

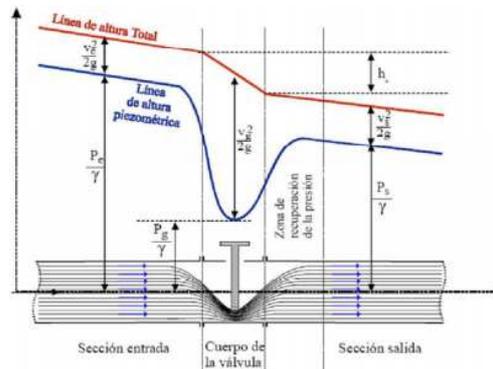
La **cavitación** es un proceso físico de **cambio de fase**, de líquido a vapor.

Es un proceso isotérmico: el líquido se evapora por disminución de la presión, sin la adición de calor.

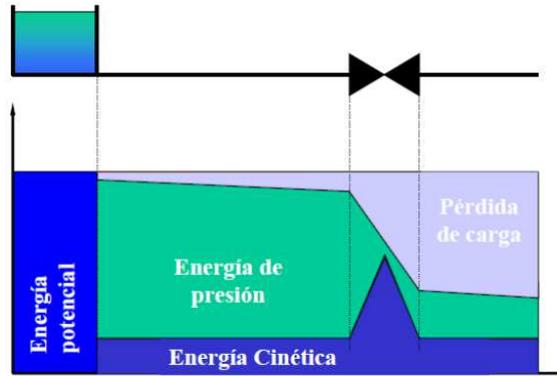


El nombre de cavitación tiene que ver con la formación de “cavidades” o bolsas de vapor dentro de la masa líquida.

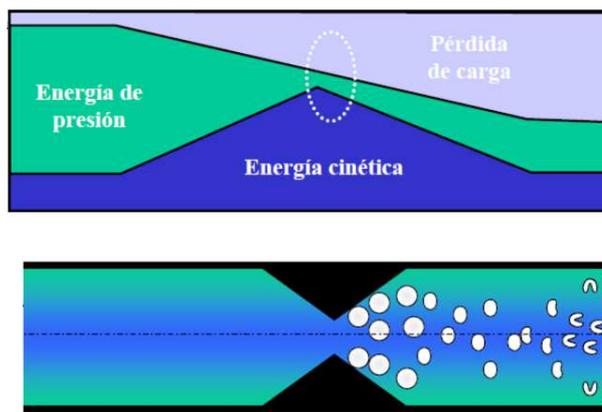
## El fenómeno de cavitación (continuac.)



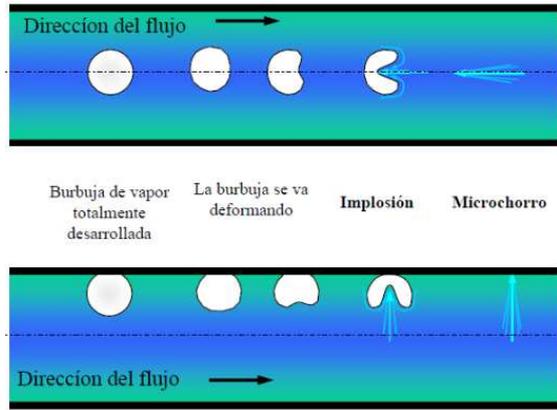
### El fenómeno de cavitación (continuac.)



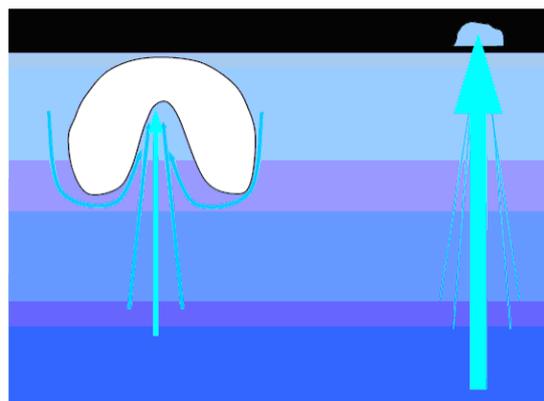
### El fenómeno de cavitación (continuac.)



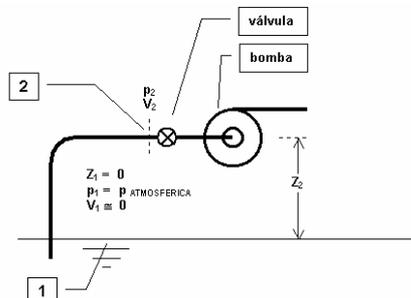
### El fenómeno de cavitación (continuac.)



### El fenómeno de cavitación (continuac.)



### El fenómeno de cavitación (continuac.)



Si escribimos la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, tendremos:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{1-2}$$

En el caso particular de la figura,  $Z_1 = 0$ ,  $V_1 = 0$  y si consideramos las presiones como absolutas, entonces,  $p_1 = p_{\text{atmosférica}}$ .

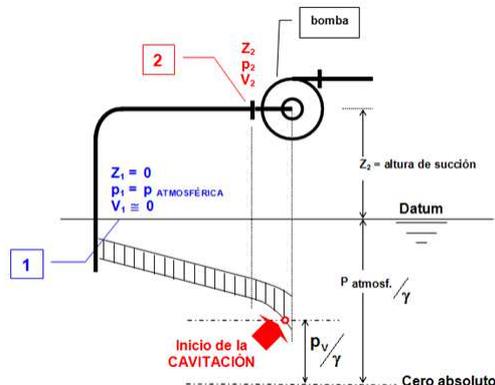
El término  $H_{1-2}$  representa las pérdidas entre los puntos 1 y 2. Reemplazando esto en la ecuación anterior y despejando el término  $p_2$  tendremos:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{\text{atmosférica}}}{\gamma} - Z_2 - \frac{V_2^2}{2g} - H_{1-2}$$

### El fenómeno de cavitación (continuac.)

Es fácil ver que  $p_2$  será menor que la presión atmosférica (siempre y cuando  $Z_2$ , conocida como **altura de succión**, sea mayor que cero).

Teóricamente su valor podría llegar al de **cero absoluto** pero esto en la práctica no es posible: una vez que este valor se hace igual al de la **presión de saturación de vapor** del líquido considerado, para esa temperatura, se produce una evaporación del líquido en la sección 2 y a partir de ese momento ya no es posible analizar el proceso a través de la ecuación de Bernoulli.



### El fenómeno de cavitación (continuac.)

Por lo tanto, escribiendo esta condición o restricción tendremos:

$$\frac{p_2}{\gamma} \geq \frac{p_s}{\gamma} \Rightarrow \frac{p_{\text{atmosférica}}}{\gamma} - z_2 - \frac{V_2^2}{2g} - H_{1-2} \geq \frac{p_s}{\gamma}$$

donde  $p_s$  es la presión de saturación de vapor de la que hablamos más arriba.

Para transformar la inecuación anterior en ecuación es preciso incorporar una variable de 'holgura', que podemos provisoriamente denominar  $H_d$ :

$$\frac{p_{\text{atmosférica}}}{\gamma} - z_2 - \frac{V_2^2}{2g} - H_{1-2} - H_d = \frac{p_s}{\gamma}$$

y despejando  $H_d$  tendremos:

$$H_d = \frac{p_{\text{atm}} - p_s}{\gamma} - z_2 - \frac{V_2^2}{2g} - H_{1-2}$$

### El fenómeno de cavitación (continuac.)

Los fabricantes estudian en bancos de ensayo la caída de presión,  $\Delta h$ , dentro de las bombas. Este valor de  $\Delta h$  varía con el punto de funcionamiento.

Es necesario, entonces, que este valor de caída de presión sea tal que no se inicie la cavitación dentro de la misma. Una situación límite sería la siguiente:

$$H_d = \Delta h$$

donde la holgura energética que dispone el sistema es igual a la caída de presión dentro de la bomba.

La situación expresada es una situación de **cavitación incipiente** dentro de la bomba.

Este valor  $H_d$  es llamado en la literatura inglesa **NPSH** (Net Positive Suction Head), mientras que en los libros editados en la Argentina ya hace tiempo se utiliza la denominación **ANPA** (Altura Neta Positiva de Aspiración), que no es otra cosa que la traducción literal de la sigla en inglés.

### El fenómeno de cavitación (continuac.)

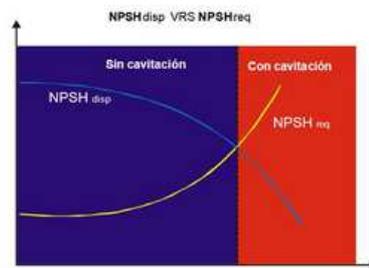
**ANPA** representa la energía que dispone el sistema (holgura energética) para gastarla en pérdidas antes de iniciarse la cavitación y por eso se denomina **ANPA<sub>DISP</sub>**.

El valor  $\Delta h$  es llamado **ANPA<sub>NECES</sub>** : la energía mínima que la bomba debe tener en su sección de entrada para que luego de la caída de presión dentro de la misma, se alcance una situación de "cavitación incipiente".

Tanto uno como el otro varían con las condiciones de trabajo de la bomba y del sistema.

En el punto de funcionamiento deberá verificarse lo siguiente:

$$ANPA_{DISP} \geq ANPA_{NEC}$$



### El fenómeno de cavitación (continuac.)

Vamos a llamar **H<sub>s</sub>**, altura de succión, al término **Z<sub>2</sub>** de las ecuaciones anteriores.

Será considerada como **positiva** cuando el eje de la bomba se encuentre por arriba del nivel del recipiente desde donde se está bombeando (bomba en succión) y **negativa** en el caso en que el eje se encuentre por debajo de este nivel (bomba en carga), que es el caso de las bombas sumergibles.

### El fenómeno de cavitación (continuac.)

Entonces, formalmente, la ecuación del  $ANPA_{DISP}$  quedará de la siguiente forma:

$$ANPA_{DISP} = \frac{p_{atm} - p_s}{\gamma} - H_s - \frac{V_{ASP}^2}{2g} - H_{1-2}$$

donde:

- $p_{atm}$  presión atmosférica local (barométrica);
- $p_s$  presión de saturación de vapor del líquido bombeado, a la temperatura de trabajo del sistema;
- $\gamma$  peso específico del líquido bombeado;
- $H_s$  altura de succión de la instalación de la bomba: será positiva cuando la bomba está en 'succión' y negativa cuando está en 'carga';
- $V_{ASP}$  velocidad en la cañería de aspiración (anterior a la bomba) de la instalación;
- $H_{1-2}$  pérdidas en la cañería de aspiración.

El estudio de la cavitación dentro de una bomba no es un tarea fácil ya que en sus inicios es un proceso oscilante y cuando se generaliza se interrumpe el flujo de líquido bombeado. Por tal motivo, es norma que el  $ANPA_{NECES}$  sea establecido como el  $\Delta h$  que produce una caída de **1%** en el caudal impulsado por la bomba.

### Erosión por cavitación

Muchos confunden cavitación con erosión por cavitación.

La primera es un fenómeno físico de cambio de estado que, en el caso de los sistemas de bombeo, produce trepidaciones, caída del rendimiento y hasta la interrupción del flujo, mientras que la erosión por cavitación produce destrucción de las instalaciones.

### Erosión por cavitación (continuac.)

La cavitación se inicia en el borde de baja presión de los álabes de las bombas, con la aparición de bolsones o "cavidades" de vapor.

Estos bolsones de vapor pasan luego al borde de alta presión de los álabes, donde las condiciones locales impiden la existencia de las burbujas de vapor, las que entonces **implotan**.

Después de esta implosión, el volumen que anteriormente ocupaban es llenado en forma casi inmediata por el líquido circundante, produciéndose un **jet**, que es un chorro de agua a muy alta velocidad.

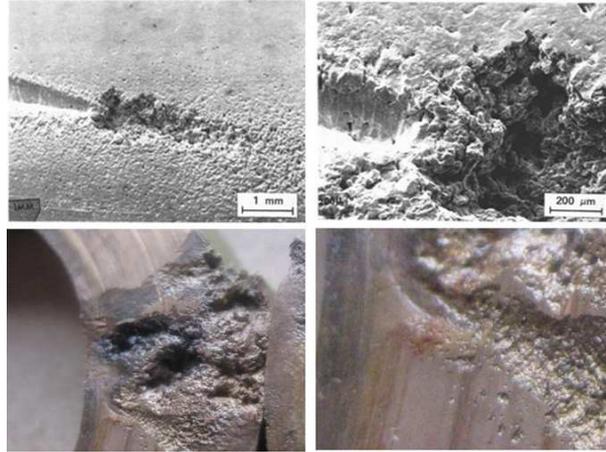
Es por esto que si la cavitación se da junto a los contornos físicos de la bomba, este fenómeno del jet puede terminar destruyéndola totalmente.

### Erosión por cavitación (continuac.)

El estudio de la formación de estas burbujas y su posterior implosión sólo puede hacerse a través de máquinas fotográficas acopladas a estroboscopios, que consigan sacar en el orden de dos mil fotografías por segundo.



**Erosión por cavitación (continuac.)**



**Erosión por cavitación (continuac.)**

