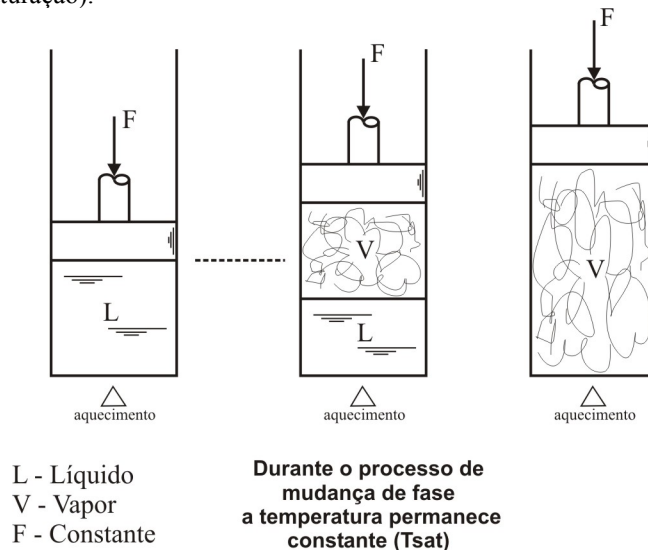


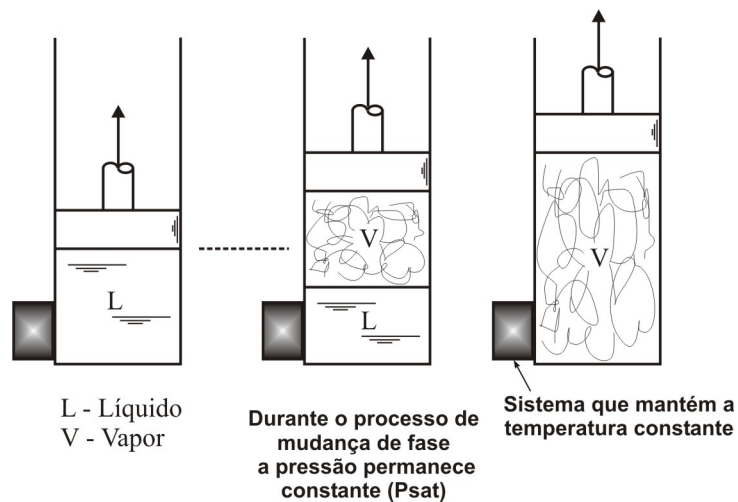
Pressão de saturação / Pressão de vapor / Cavitação

Todas as considerações serão feitas para uma substância pura, ou seja, mesmo que apresente mais de uma fase (sólida, líquida ou gasosa) possuirá composição química invariável e homogênea. É importante mencionar que no intuito de atender os objetivos do curso, analisaremos apenas as fases líquida e vapor das substâncias (bem como a região de saturação).

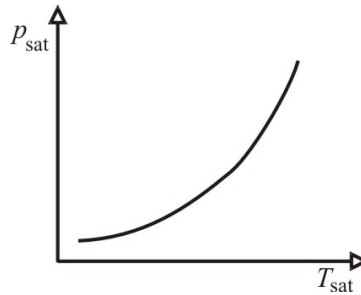
Imagine um sistema composto inicialmente de uma única fase no estado líquido. O sistema é aquecido mantendo-se a pressão constante, até um ponto onde se inicia o processo de mudança de fase. A temperatura durante todo o processo de mudança de fase permanece constante (essa temperatura é conhecida como temperatura de saturação).



Analogamente ao caso anterior é realizado um experimento para uma substância também na fase líquida. O sistema é submetido a uma diminuição de pressão, mantendo-se a temperatura constante. É possível verificar que em uma dada pressão, de valor bem estabelecido, o processo de mudança de fase tem início. A essa pressão dá-se o nome de pressão de saturação ou pressão de vapor. A pressão permanece constante até que se complete a mudança de fase.



A pressão permanece constante até que se complete a mudança de fase. Isso nos leva a concluir que uma dada temperatura há uma pressão de saturação correspondente e vice-versa. Experimentos revelaram que:



A equação de Antoine é um ajuste muito bom para essa curva experimental.

$\ln p_{sat} = A + \frac{B}{T_{sat} + C}$, onde: p_{sat} – pressão de saturação, T_{sat} – temperatura de saturação e A, B e C – constantes que dependem da substância

Exemplos: Pressão de vapor da água a 20°C é 2346 Pa
Pressão de vapor da água a 100°C é 101325 Pa (1 atm)

CAVITAÇÃO

Em muitas situações, como por exemplo, no deslocamento de pistões, nos “venturis” (tubo convergente), no deslocamento de superfícies constituídas por pás (turbomáquinas e hélices de propulsão), é possível que pressões bastante baixas apareçam em certas regiões do sistema. Em tais circunstâncias as pressões podem ser iguais ou menores que a pressão de vapor do líquido àquela temperatura, assim, o líquido pode iniciar um processo de mudança de fase.

Inicialmente, nas regiões mais rarefeitas, formam-se pequenas bolsas, bolhas ou cavidades (daí o nome de cavitação) no interior das quais o líquido se vaporiza. Em seguida, conduzidas pela corrente líquida provocada pelo movimento do órgão propulsor (e com grande velocidade) atingem regiões de elevada pressão, onde se processa seu colapso, com a condensação do vapor e o retorno estado líquido.

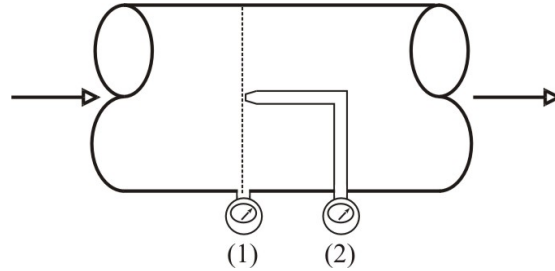
As superfícies metálicas onde se chocam as diminutas partículas resultantes da condensação são submetidas a uma atuação de forças complexas oriundas da energia dessas partículas, que produzem percussões, desagregando elementos de material de menos coesão, e formando pequenos orifícios, que, com o prosseguimento do fenômeno, dão à superfície um aspecto esponjoso, rendilhado e corroído. É a erosão por cavitação.

A cavitação tende a ocorrer na sucção das bombas e na “descarga” das turbinas.

TUBO DE PITOT

Na figura, o manômetro (1) mede a pressão estática (p) que é a pressão que seria medida por um instrumento movendo-se com o escoamento. A tomada de pressão estática deve ser instalada num trecho reto da tubulação e o orifício precisa ser cuidadosamente executado (sem rebarbas, etc).

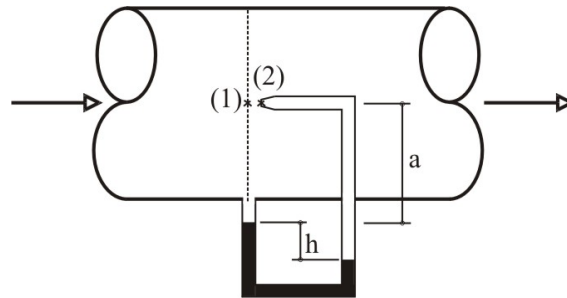
O manômetro (2) mede a pressão de estagnação que é obtida quando um fluido em movimento é desacelerado até a velocidade zero (p_0).



Exercício 1: Um tubo de Pitot é inserido num escoamento conforme ilustrado. O fluido é água, e o líquido do manômetro é mercúrio. Determinar a velocidade do escoamento.

Dados: $\gamma_{Hg} = 133370,44 \text{ N/m}^3$

$\gamma_{H_2O} = 9806,65 \text{ N/m}^3$



Resolução:

Hipóteses: regime permanente, escoamento incompressível e sem atrito aplicando Bernoulli entre (1) e (2):

$$H_1 = H_2$$

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_{H_2O}} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_{H_2O}}, \text{ adotando PHR no eixo do tubo } z_1 = z_2$$

O fluido no ponto (2) está parado $\therefore v_2 = 0$, assim:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_{H_2O}} = \frac{p_2}{\gamma_{H_2O}}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g(p_2 - p_1)}{\gamma_{H_2O}}}$$

A equação manométrica aplicada entre (1) e (2):

$$p_1 + \gamma_{H_2O} a + \gamma_{Hg} h - \gamma_{H_2O} h - \gamma_{H_2O} a = p_2$$

$$p_1 - p_2 = (\gamma_{H_2O} - \gamma_{Hg}) h$$

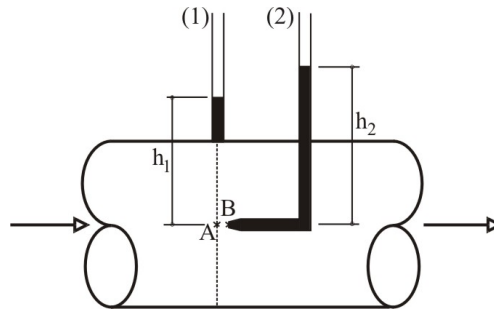
$$V_1 = \sqrt{\frac{2gh(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})}{\rho_{H_2O}}}$$

usando: $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

$$h = 0,05 \text{ m}$$

$$V_1 = 3,55 \text{ m/s}$$

Exercício 2: Um tubo de Pitot é empregado para medir a velocidade da água no centro de um tubo. A pressão de estagnação produz uma coluna de 5,67m e a pressão estática de 4,72m. Determinar a velocidade do escoamento.



Resolução:

- (1) mede pressão estática;
- (2) mede pressão de estagnação

$$p_A = p_{atm} + \gamma h_1$$

$$p_B = p_{atm} + \gamma h_2$$

$$p_A = \gamma h_1$$

$$p_B = \gamma h_2$$

$$h_1 = \frac{p_A}{\gamma}$$

$$h_2 = \frac{p_B}{\gamma}$$

(na escala efetiva a pressão $p_{atm} = 0$)

Usando as hipóteses simplificadoras:

$$z_A = \frac{p_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g}$$

Adotando PHR no centro do tubo $z_A = z_B$ e sabendo que $V_B = 0$ temos:

$$V_A^2 = 2g \left(\frac{p_B}{\gamma} - \frac{p_A}{\gamma} \right)$$

$$V_A = \sqrt{2 \cdot 9,8(5,67 - 4,72)} = 4,315 \text{ m/s}$$