

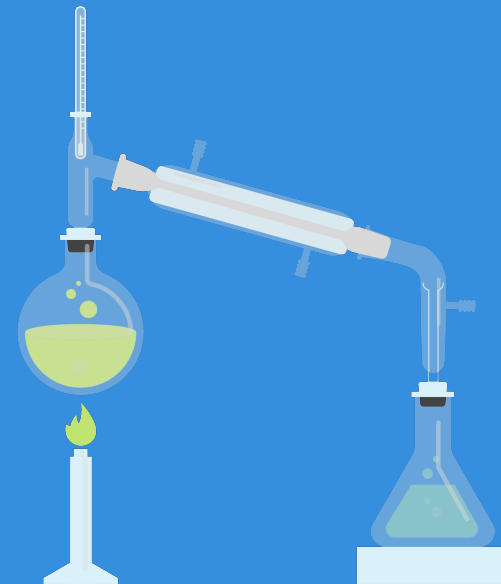
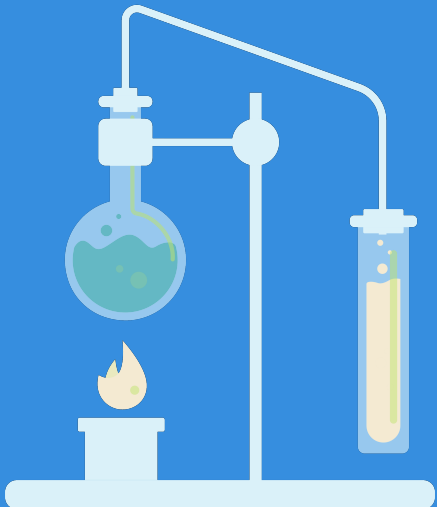


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias III

Profa. Dra. Simone de Fátima Medeiros

Contato: simonemedeiros@usp.br



Destilação

Separação de constituintes de uma mistura baseada na **diferença de volatilidade** entre eles.



Métodos:

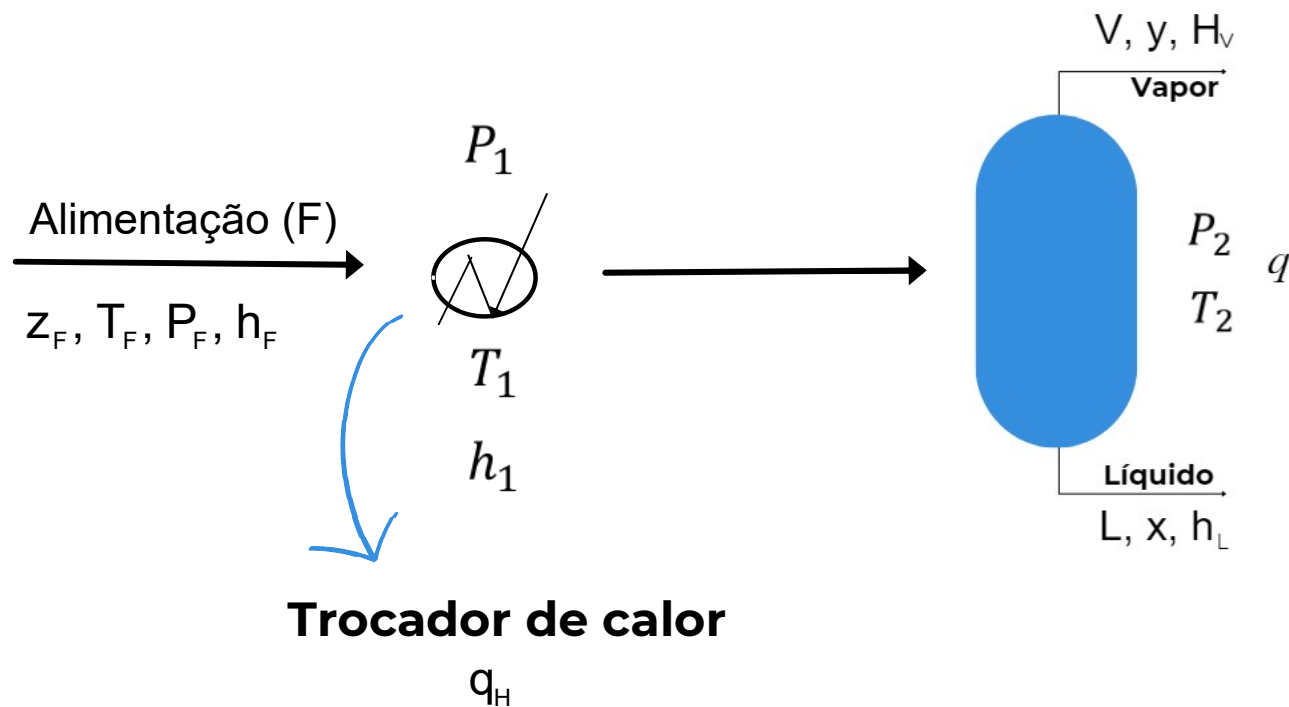
1. Destilação simples:

- Destilação Flash
- Destilação Diferencial

2. Complexo:

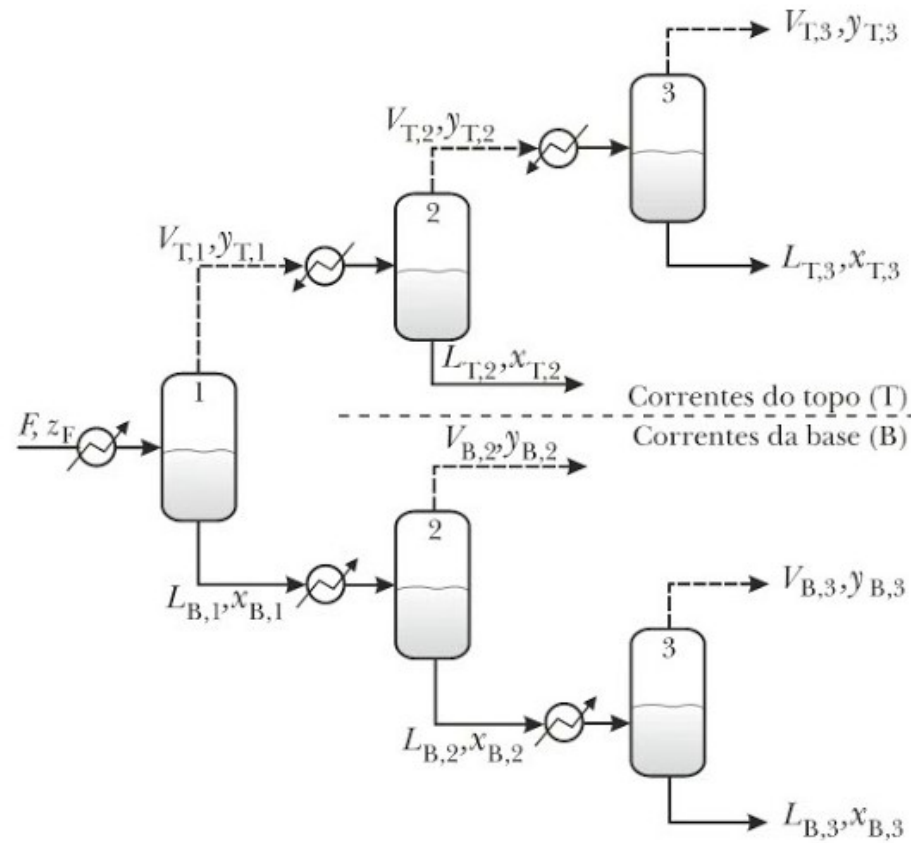
- Destilação com retificação

Destilação Flash

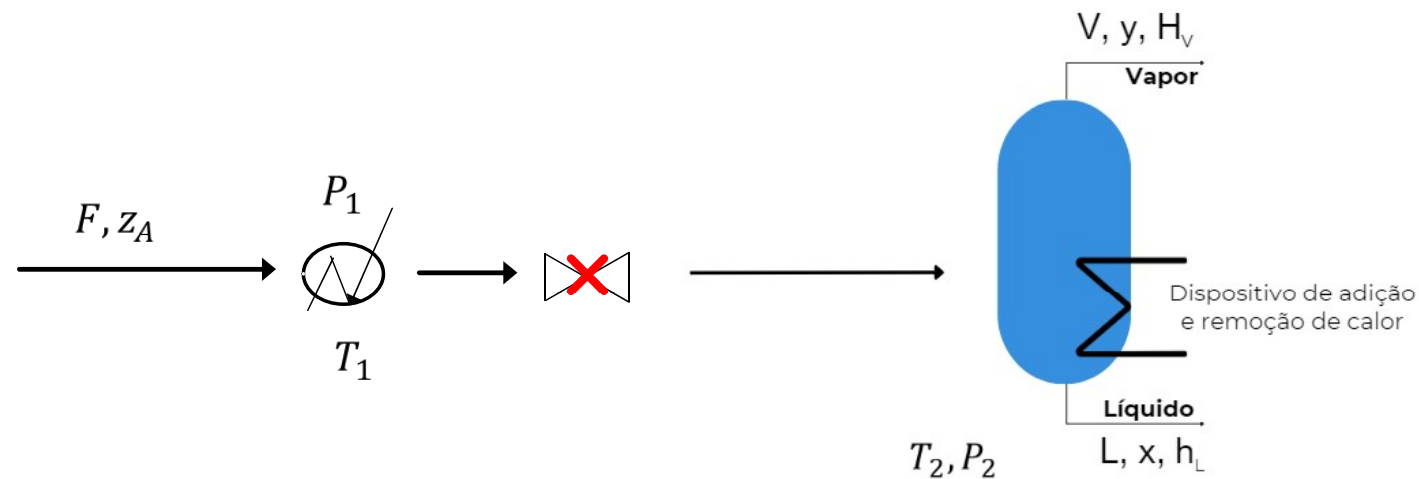


Destilação Flash

Cascata



Destilação Flash



z_A = Fração molar do componente **mais volátil** na mistura

f = Fração molar da alimentação que é **vaporizada e retirada** na forma de vapor

Destilação Flash

Balanço de Massa:

$$F = L + V$$

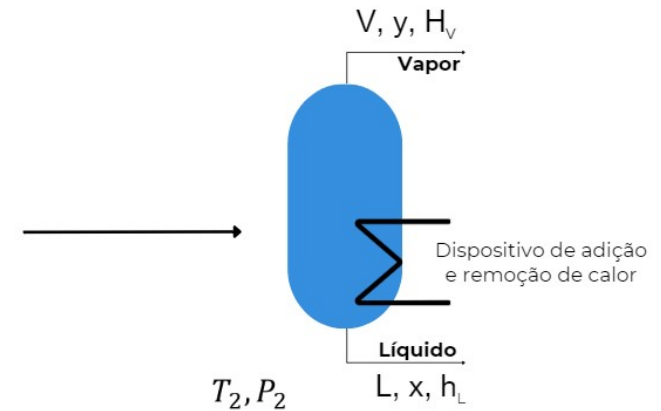
$$F * z_A = L * x_A + V * y_A$$

$$V = f * F \text{ e } L = (1 - f) * F$$

$$F * z_A = f * F * y_A + (1 - f) * x_A * F$$



Lembrete: fração molar do componente **mais volátil** na mistura



Equação da **linha de operação** da Destilação Flash

$$y = -\left(\frac{1-f}{f}\right) * x + \frac{z}{f}$$

Destilação Flash

Balanço de Energia:

$$F * h_F + q_h = V * H_V + L * h_L + q$$

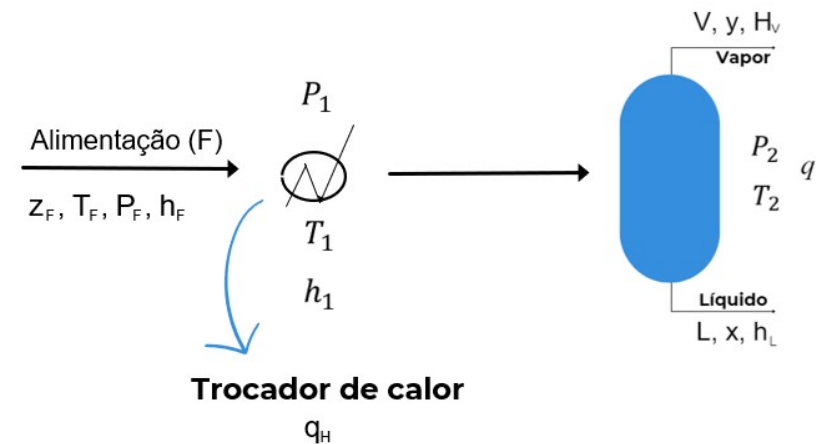
Se a coluna for adiabática → **q=0**

$$F * h_F + q_h = V * H_V + L * h_L$$

No trocador de calor:

$$F * h_F(z_F, T_F) + q_h = F_{h1}(z_F, T_1)$$

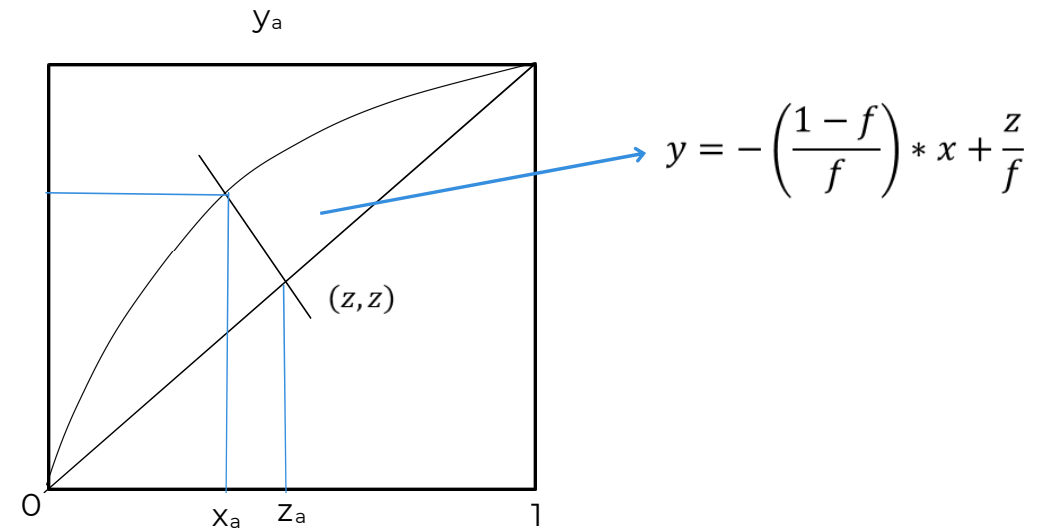
$$F * h_{F1}(z_F, T_1) = V * H_y(y, T_2) + L * h_L(x, T_2)$$



A entalpia h_F pode ser calculada conhecendo T_F
Incógnita q_h

Destilação Flash

A equação da linha de operação é uma reta de inclinação $-\left(\frac{1-f}{f}\right)$ e pode ser tratada em um diagrama de equilíbrio.



Exemplo

Uma mistura benzeno-tolueno de composição $z_A = 0,55$ em fração molar de benzeno, entra a 30°C em um aparato de destilação flash e vaporiza-se 40% da alimentação. Determinar:

- a) A composição do vapor e do líquido residual
- b) A temperatura em que se efetiva a separação

Solução:

$$z_A = 0,55$$

$$f = 0,40$$

$$y = -\left(\frac{1-f}{f}\right) * x + \frac{z_A}{f}$$

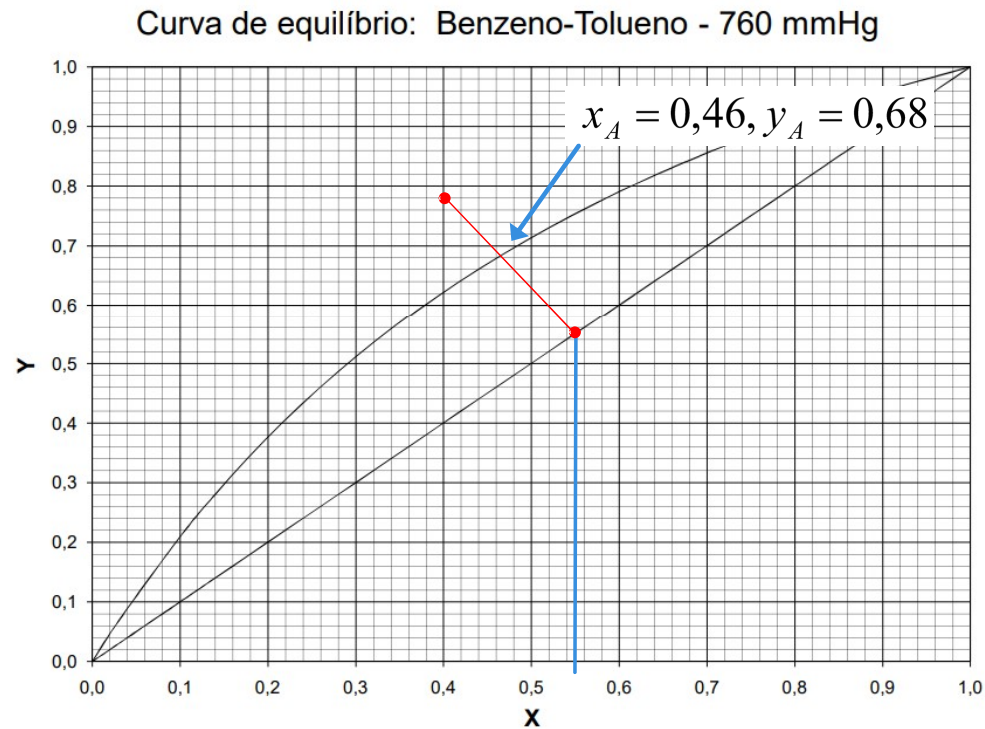
$$y = -\left(\frac{1-0,4}{0,4}\right) * x + \frac{0,55}{0,4}$$

$$y = -1,5 * x + 1,375$$

→ Linha de Operação da Destilação Flash

Exemplo

a) A composição do vapor e do líquido residual



$$P_1 = (z_A; z_A) = (0,55; 0,55)$$

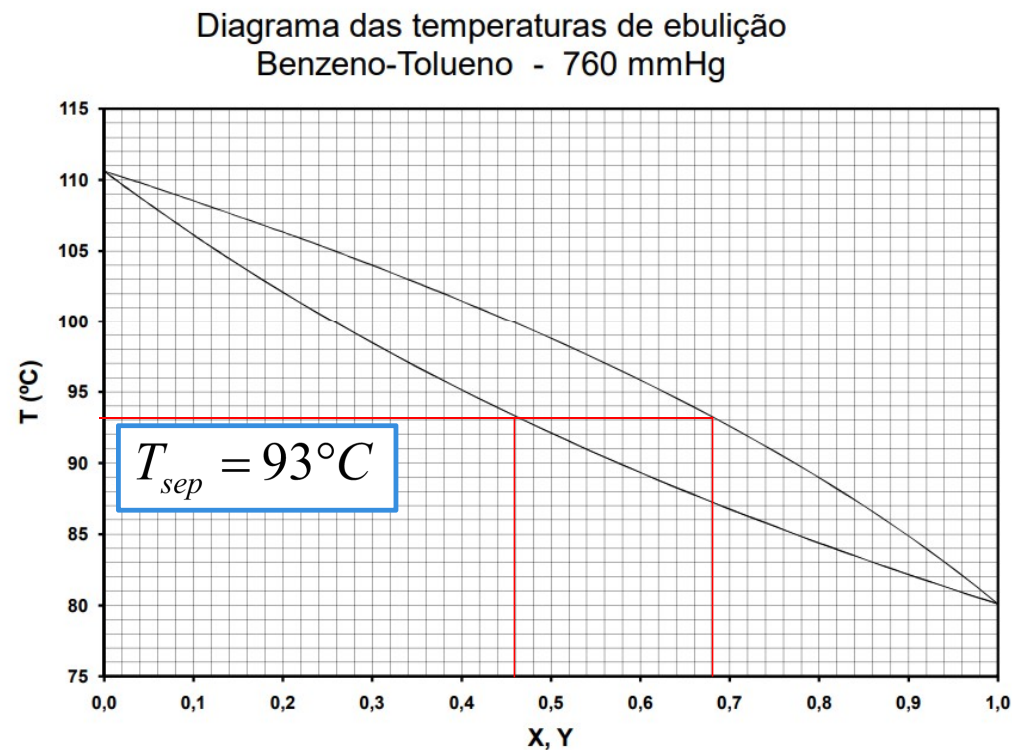
$$P_2 = (0,4; 0,78)$$

$$y = -1,5 * x + 1,375$$

Exemplo

b) A temperatura em que se efetiva a separação

$$x_A = 0,46, y_A = 0,68$$



Destilação Flash

Balanço de massa na destilação flash baseado nos **coeficientes de distribuição** k de Henry:

$$F = L + V$$

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A \quad (1)$$

$$F * z_B = L * x_B + V * y_B \quad (2)$$

$$k_A = \frac{y_A}{x_A} \quad y_A = k_A * x_A \quad (3)$$

$$k_B = \frac{y_B}{x_B} \quad y_B = k_B * x_B \quad (4)$$

$$y_A + y_B = 1 \quad (5) \quad x_A + x_B = 1 \quad (6)$$

$$k_A * x_A + k_B * x_B = 1$$

$$k_A * x_A + k_B * (1 - x_A) = 1$$

$$k_A * x_A + k_B - k_B * x_A = 1$$

$$x_A = \frac{1 - k_B}{k_A - k_B} \quad (7)$$

(3) e (7):

$$y_A = k_A \left(\frac{1 - k_B}{k_A - k_B} \right) \quad (8)$$

(6) e (7):

$$x_B = 1 - \left(\frac{1 - k_B}{k_A - k_B} \right) \quad (9)$$

$$x_B = \frac{k_A - 1}{k_A - k_B}$$

(4) e (9):

$$y_B = k_B \left(\frac{k_A - 1}{k_A - k_B} \right) \quad (10)$$

Destilação Flash

Balanço de massa na destilação flash baseado nos **coeficientes de distribuição** k de Henry:

Da equação (1):

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A$$

$$z_A = \frac{L}{F} * x_A + \frac{V}{F} * y_A$$

$$\frac{V}{F} = \frac{z_A}{y_A} - \frac{L}{F} * \left(\frac{x_A}{y_A} \right) \quad (11)$$

$$z_B = \frac{L}{F} * x_B + \frac{V}{F} * y_B$$

$$\frac{L}{F} = \frac{z_B}{x_B} - \frac{V}{F} * \left(\frac{y_B}{x_B} \right) \quad (12)$$

Substituindo (12) em (11):

$$\frac{V}{F} = \frac{z_A}{y_A} - \left\{ \frac{z_B}{x_B} - \left[\frac{V}{F} * \left(\frac{y_B}{x_B} \right) \right] \right\} * \frac{x_A}{y_A}$$

$$\frac{V}{F} = \frac{z_A}{y_A} - \frac{z_B * x_A}{x_B * y_A} + \left[\frac{V}{F} * \left(\frac{y_B * x_A}{x_B * y_A} \right) \right]$$

$$\frac{V}{F} * \left[1 - \left(\frac{y_B * x_A}{x_B * y_A} \right) \right] = \frac{z_A}{y_A} - \frac{z_B * x_A}{x_B * y_A}$$

$$\frac{V}{F} * \left[\frac{(x_B * y_A) - (y_B * x_A)}{x_B * y_A} \right] = \left[\frac{(z_B * x_B) - (z_B * x_A)}{x_B * y_A} \right]$$

$$\frac{V}{F} = \left[\frac{(z_A * x_B) - (z_B * x_A)}{x_B * y_A} \right] * \left[\frac{x_B * y_A}{(x_B * y_A) - (y_B * x_A)} \right]$$

$$\frac{V}{F} = \left[\frac{(z_A * x_B) - (z_B * x_A)}{(x_B * y_A) - (y_B * x_A)} \right]$$

Destilação Flash

Balanço de massa na destilação flash baseado nos **coeficientes de distribuição** k de Henry:

Substituindo os valores das equações (7), (8), (9), (10), temos:

$$\frac{V}{F} = \frac{\left[\left(\frac{k_A - 1}{k_A - k_B} \right) * z_A \right] - \left[\left(\frac{1 - k_B}{k_A - k_B} \right) * z_B \right]}{\left\{ \left(\frac{k_A - 1}{k_A - k_B} \right) * \left[\frac{k_A * (1 - k_B)}{(k_A - k_B)} \right] \right\} - \left\{ \left(\frac{1 - k_B}{k_A - k_B} \right) * \left[\frac{k_B * (k_A - 1)}{(k_A - k_B)} \right] \right\}}$$

$$\frac{V}{F} = \frac{\frac{[(k_A - 1) * z_A] - [(1 - k_B) * z_B]}{k_A - k_B}}{\left[\frac{(k_A - 1) * (1 - k_B)}{(k_A - k_B) * (k_A - k_B)} \right] * (k_A - k_B)}$$

$$\frac{V}{F} = \left(\frac{z_A}{1 - k_B} \right) - \left(\frac{z_B}{k_A - 1} \right) \quad (13)$$

OU:

$$\frac{L}{F} = \left(\frac{z_B * k_A}{k_A - 1} \right) - \left(\frac{z_A * k_B}{1 - k_B} \right) \quad (14)$$

Etapas da dessalinização de água do mar por Osmose Reversa



A água é captada diretamente do mar.

1

O atual sistema de bombeamento de água do mar será reforçado para atender à planta de dessalinização.

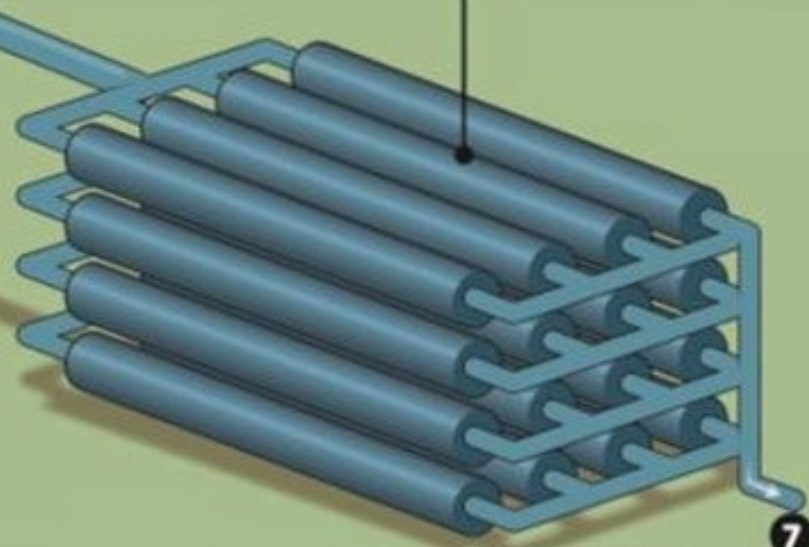
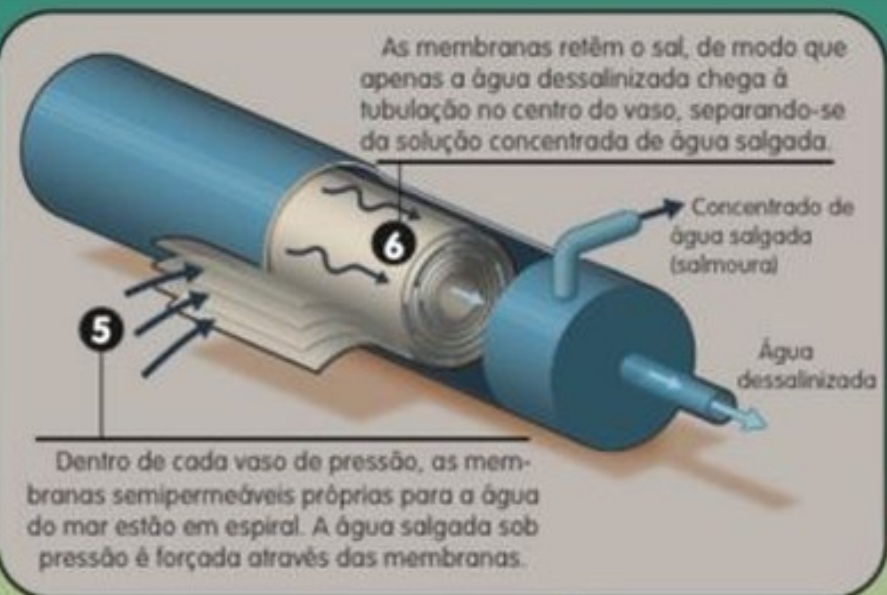
2

A água captada passa por um processo de pré-tratamento, com uma filtração para a remoção de partículas presentes na água do mar.

3

Um novo sistema de bombas de alta pressão bombeia a água do mar para uma série de vasos de pressão, nos skids de Osmose Reversa, onde acontece o processo de dessalinização de água do mar.

4



A água dessalinizada será utilizada para uso industrial exclusivamente.