

Problema N°1

a) Un buque petrolero proveniente del Golfo Pérsico se dispone a descargar en puerto 50.000 Ton de crudo Arabian Light. La descarga se efectúa en una Planta de Tratamiento de Crudo, a tanques (inicialmente vacíos) de techo móvil ($D_T = 30\text{m}$) a través del sistema de cañerías propuesto.

El buque posee, como tanques de almacenamiento, 20 depósitos de sección cuadrada de 25m de lado, qué para mantener la estabilidad durante el viaje, se encuentran llenos hasta el mismo nivel. Para evitar la evaporación del petróleo en los depósitos, estos se mantienen presurizados en una atmósfera de nitrógeno (inerte) a 30psig.

La base de los tanques se halla a 10 m sobre el nivel del mar y la de los depósitos del barco, a 15 m bajo el nivel del mar.

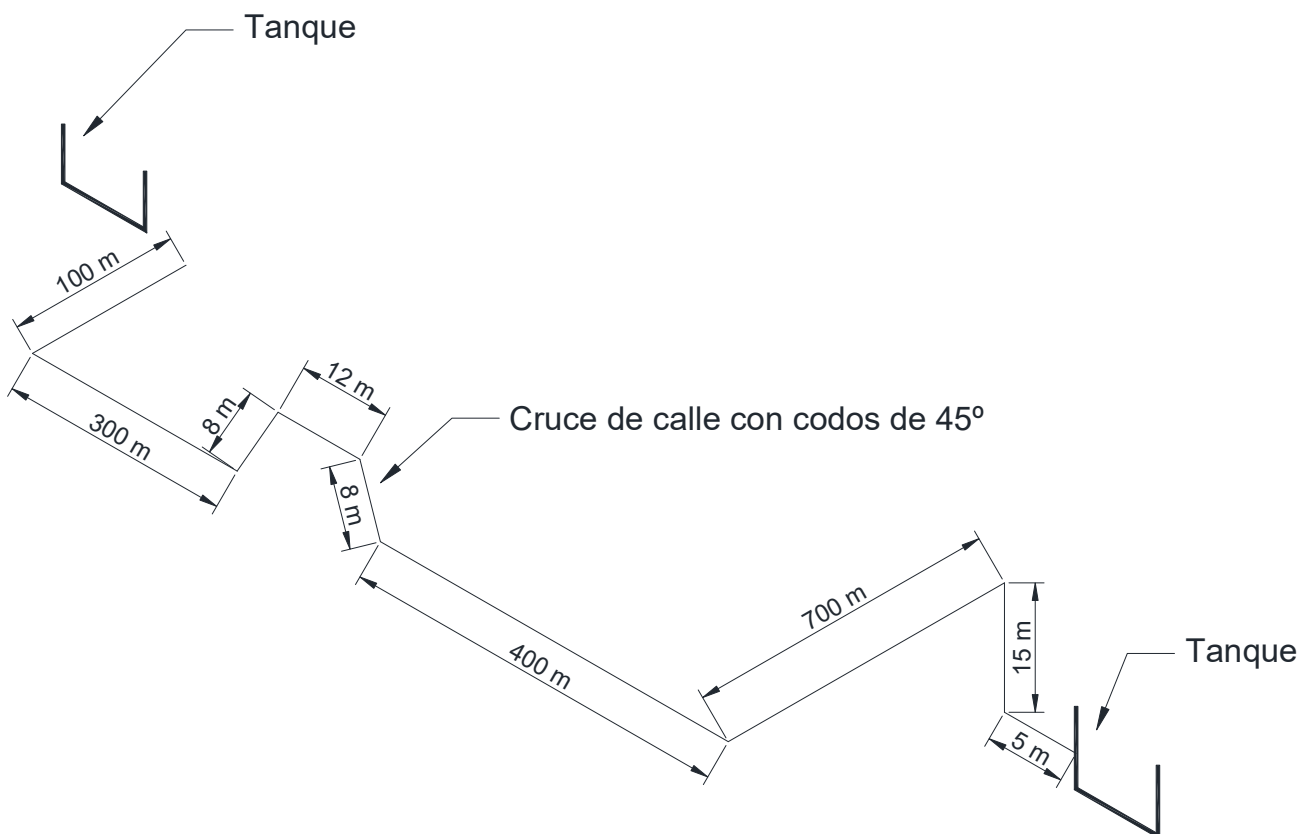
La cañería principal a través de la cual se transporta el crudo desde los depósitos hasta los tanques del buque tiene 1,5 km de longitud y es de acero comercial de 12" de diámetro nominal Sch 40S.

El bombeo se efectúa por medio de bombas centrífugas.

Estime el tiempo que dura la operación de descarga y calcule el costo por barco detenido tomando una base de u\$s 10.000 /día.

Densidad del crudo: 36°API.

Viscosidad: 3 cSt = $3 \cdot 10^{-6} \text{ Kg.}/(\text{m} \cdot \text{s})$



$$m_p := 50000 \text{ tonne}$$

Datos tanques de almacenamiento (punto 2)

$$D_T := 30 \text{ m}$$

$$P_2 := 100 \text{ kPa} = 1 \cdot \text{bar}$$

Dimensiones tanques barco

$$L_1 := 25 \text{ m} \quad L_2 := 25 \text{ m} \quad N_b := 20$$

$$P_1 := 30 \text{ psi} + 1 \text{ bar} = 3.068 \cdot \text{bar}$$

$$L_T := 1.5 \text{ km}$$

Cañería Acero comercial 12" SCH 40S

$$d_e := 323.85 \text{ mm} \quad e := 9.52 \text{ mm} \quad d_i := d_e - 2 \cdot e = 304.81 \cdot \text{mm}$$

Propiedades termofísicas

$$\rho_p = \text{densidad_petroleo} \quad \rho_p := 842.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_p = \text{viscosidad_petroleo} \quad \mu_p := 2.53 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

Cálculo de Altura de carga del sistema vs Caudal

$$V_t = \text{volumen_tanque_buque}$$

Volumen de cada tanque de descarga o de depósito

$$V_T(L_{\text{tanque}}) := \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot L_{\text{tanque}} \cdot N_t \quad N_t := 4$$

$$V_{T, \text{max}}(L_{\text{tanque}}) := \frac{m_p}{\rho_p}$$

$$\text{func}(L_{\text{tanque}}) := \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot L_{\text{tanque}} \cdot N_t - \frac{m_p}{\rho_p}$$

$$L_{\text{tanque}} := 0.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{tanque}} := \text{root}(\text{func}(L_{\text{tanque}}), L_{\text{tanque}})$$

$$H_{\text{tanque}} = 21 \text{ m}$$

Altura de líquido en cada tanque cuando cada tanque del buque se vació

$$Z_{t_terminal} := 10 \text{ m}$$

$$Z_1 := -15 \text{ m} = -15 \text{ m}$$

$$H_{t_bmax} = 4.75 \text{ m}$$

$$Z_3 := Z_{t_terminal} + H_{\text{tanque}} = 31 \text{ m}$$

$$Z_{11} := Z_1 + H_{t_bmax} = -10.25 \text{ m}$$

$$S_{\text{tube}} := \pi \cdot \frac{d_i^2}{4}$$

$$v_f(Q) := \frac{Q}{S_{\text{tube}}}$$

$$N_{\text{Re}}(Q) := \frac{v_f(Q) \cdot d_i \cdot \rho_p}{\mu_p}$$

$$\varepsilon := 0.045 \text{ mm}$$

$$A(Q) := \left[2.457 \cdot \ln \left[\frac{1}{\left[\left(\frac{7}{N_{\text{Re}}(Q)} \right)^{0.9} + 0.27 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{d_i} \right) \right]} \right] \right]^{16}$$

$$B(Q) := \left(\frac{37530}{N_{\text{Re}}(Q)} \right)^{16}$$

$$f(Q) := 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{N_{\text{Re}}(Q)} \right)^{12} + \frac{1}{\frac{(A(Q) + B(Q))^2}{3}} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$K_{\text{tube}}(Q) := f(Q) \cdot \frac{L_T}{d_i}$$

$$E_f(Q) := K_{\text{tube}}(Q) \cdot \frac{1}{2} v_f(Q)^2$$

$$H_T(Q) := \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + Z_3 - Z_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_f(Q)^2}{g} + \frac{E_f(Q)}{g} \quad H_T \left(10 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) = 20.956 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están vacíos y los de descarga se encuentran llenos y descargo a Z=31 m

$$H_{T1}(Q) := \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + Z_3 - Z_{11} + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_f(Q)^2}{g} + \frac{E_f(Q)}{g} \right) \quad H_{T1} \left(10 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) = 16.209 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están llenos y los de descarga se encuentran vacíos pero descargo a Z=31 m

$$H_{T2}(Q) := \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + Z_{t_terminal} - Z_{11} + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_f(Q)^2}{g} + \frac{E_f(Q)}{g} \right) \quad H_{T2} \left(10 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) = -4.78 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están llenos y los de descarga se encuentran acíos pero descargo a Z=10 m

$$Q := 0 \frac{\text{gal}}{\text{min}}, 10 \frac{\text{gal}}{\text{min}} .. 6000 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$Q_1 := 100 \text{gpm}$$

Given

$$72\text{m} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + Z_3 - Z_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_f(Q_1)^2}{g} + \frac{E_f(Q_1)}{g}$$

La bombas juntas entregan 30 metros, esto significa que yo debo trabajar a un caudal un 20% menor que esos 90m de las tres juntas, por lo tanto serían 72m, pero ya con la válvula controlando, con ese dato el caudal del punto de operación es 4162.2 gpm

$$Q_v := \text{Find}(Q_1) = 4162.2 \cdot \text{gpm}$$

$$H_T(Q_v) = 72 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están vacíos y los de descarga se encuentran llenos y descargo a Z=31 m

$$H_{T1}(Q_v) = 67.252 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están llenos y los de descarga se encuentran vacíos pero descargo a Z=31 m

$$H_{T2}(Q_v) = 46.264 \text{ m}$$

Es la situación cuando los tanques del buque están llenos y los de descarga se encuentran vacíos pero descargo a Z=10 m

Si las bombas son 3 de 30 metros cada una

$$H_{\text{bombas}} = 30\text{m}$$

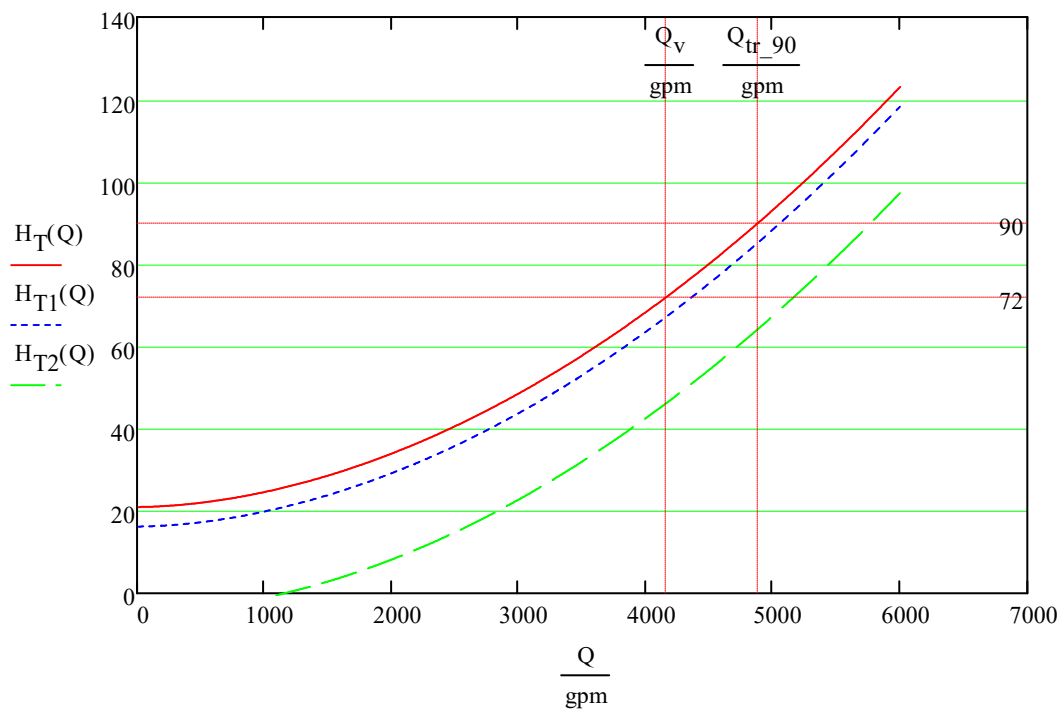
$$Q_2 := 100 \text{gpm}$$

Given

$$90\text{m} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + Z_3 - Z_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_f(Q_2)^2}{g} + \frac{E_f(Q_2)}{g}$$

$$Q_{\text{tr}_90} := \text{Find}(Q_2) = 4883.1 \cdot \text{gpm}$$

Caudal de trabajo establecido a partir de saber que las bombas son de 30 m cada una



Altura del líquido dentro de cada tanque del Buque

$S_{t_b} := L_1 \cdot L_2$ Sección transversal tanques del buque

$V_{t_b}(H_{t_b}) := N_b \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot H_{t_b}$ Volumen en los 20 tanques del buque

$\frac{m_p}{\rho_p} = N_b \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot H_{t_bmax}$

$H_{t_bmax} := \frac{m_p}{L_1 \cdot L_2 \cdot N_b \cdot \rho_p} = 4.748 \text{ m}$

$f(H_{t_b}) := H_{t_b} - \frac{m_p}{\rho_p \cdot N_b \cdot L_1 \cdot L_2}$

$H_{t_b} := 0.5 \text{ m}$

~~H_{t_bmax}~~ $H_{t_bmax} := \text{root}(f(H_{t_b}), H_{t_b}) = 4.75 \text{ m}$

Altura máxima de líquido en cada tanque del buque