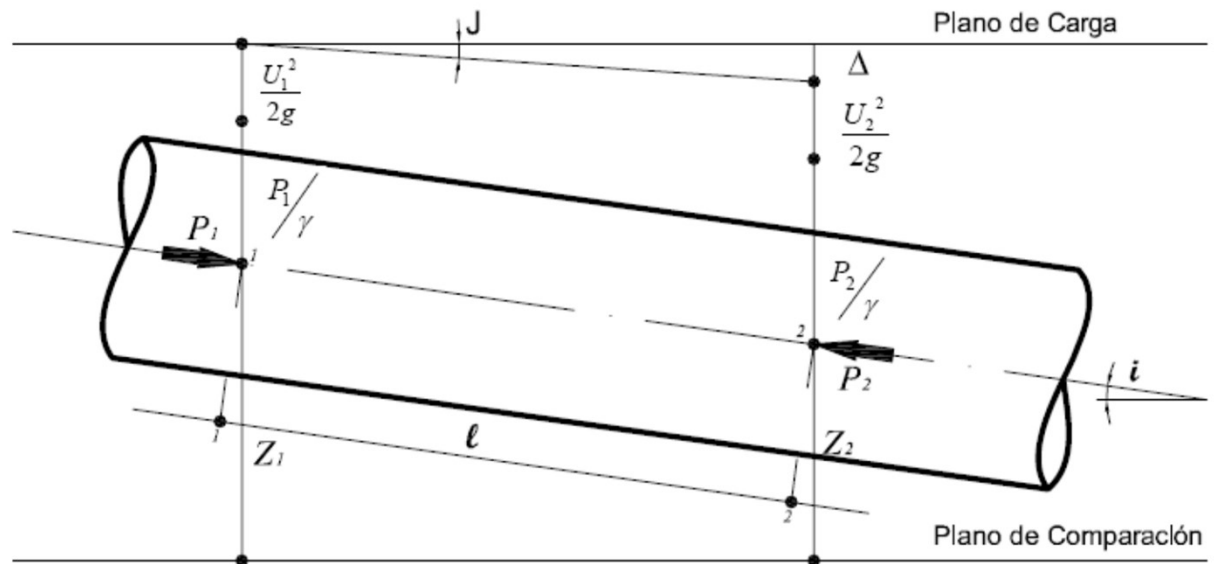


CÁLCULO DE TUBERÍAS FLUÍDOS INCOMPRESIBLES (agua)

$$J = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g \times D} \Rightarrow H = \Delta = J \times L = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g \times D} \times L$$

$$p_1 - p_2 = \gamma \times H + \gamma(z_1 - z_2) \Rightarrow \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g \times D} \times L + (z_1 - z_2)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{\lambda \times L}{D} \times \frac{U^2}{2g} + (z_1 - z_2)$$



FLUIDOS COMPRESIBLES

ECUACIONES GENÉRICAS

$$J \times D = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g} \Rightarrow H = J \times L = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g \times D} \times L$$

$$H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \Rightarrow H - (z_1 - z_2) = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{\lambda \times L}{D} \times \frac{U^2}{2g} + (z_1 - z_2)$$

$$p_1 - p_2 = \gamma \times H - \gamma(z_1 - z_2) \Rightarrow \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\lambda \times U^2}{2 \times g \times D} \times L + (z_1 - z_2)$$

ECUACIONES PARA FLUIDOS COMPRESIBLES

$$\rho = \frac{R \times T \times M}{\text{Vol}}$$

FLUIDOS COMPRESIBLES ISOTÉRMICOS IDEALES

$$\rho = R \times T \times \frac{M}{\underbrace{\text{Vol}}_{\delta}} \Rightarrow \rho = R \times T \times \delta \quad \delta = \frac{\rho}{R \times T} \Rightarrow T = \text{cte.} \Rightarrow \frac{\rho}{\delta} = \text{cte} \quad \frac{\rho}{\delta} = \text{cte}$$

$$\delta_1 \times U_1 = \delta_2 \times U_2 \quad \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

FLUIDOS COMPRESIBLES ISOTÉRMICOS IDEALES

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} + J \times L = B = \text{constante}$$

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{2U}{2g} dU + J \times dx = 0$$

$$J \times D = \lambda \times \frac{U^2}{2g}$$

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{U}{g} dU + \frac{\lambda}{D} \times \frac{U^2}{2g} \times dx = 0$$

$$-dp = \gamma \times \frac{U}{g} \times dU + \frac{\lambda}{D} \times \gamma \times \frac{U^2}{2g} \times dx \Rightarrow \gamma = \delta \times g$$

$$-dp = \frac{\lambda}{D} \times \delta \times \frac{U^2}{2} \times dx + \delta \times U \times dU$$

$$\Rightarrow p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \times L}{D} \delta_1 \times p_1 \times U_1^2$$

FLUIDOS COMPRESIBLES ISOTÉRMICOS NO IDEALES

$$\rho = \frac{p}{R \times T} \Rightarrow T = \text{cte.}$$

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \times L}{D} \times \delta_1 \times p_1 \times U_1^2 \times K + g \times (z_1 - z_2) \times (\delta_t - \delta_a)$$

Factor...de...compresión...K...Determinar...el...valor...K...con :

$$p_m = \frac{2}{3} \times \frac{p_1^3 - p_2^3}{p_1^2 - p_2^2}$$

TRANSPORTE DE PETRÓLEO

Una tubería de acero ($\varepsilon=0,3\text{mm}$) de 15 cm de diámetro y 3000m de longitud impulsa 120 tn/h de petróleo viscoso. Calcular la pérdida de carga con una temperatura media de 35°C. Las características del petróleo son las siguientes.

T (°C)	DENSIDAD δ (kg/m ³)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA $\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)
20	930	1000
35	920	550
50	910	100

$$\omega = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,15^2 \text{ m}^2}{4} = 0,018 \text{ m}^2$$

$$Q_m = \delta \times U \times \omega \Rightarrow U = \frac{Q_m}{\delta \times \omega} = \frac{120 \text{ tn}}{h} \frac{\text{m}^3}{920 \text{ kg}} \frac{1}{0,018 \text{ m}^2} = 2,05 \text{ m / s}$$

$$\text{Re} = \frac{U \times D}{\nu} = \frac{2,05 \text{ m}}{s} \frac{0,15 \text{ m} \times s}{0,0003 \text{ m}^2} = 1023 \Rightarrow M . \text{LAMINAR}$$

$$\text{Re} \times \lambda = 64 \Rightarrow \lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1023} = 0,063$$

$$H = \lambda \frac{U^2}{2 \times g} \frac{L}{D} = 0,063 \frac{(2,05 \text{ m / s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m / s}^2} \frac{3000 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} = 267,39 \text{ m}$$

$$\Delta p = \gamma \times H = \delta \times g \times H = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 267,39 \text{ m} \times \frac{1 \text{ kgf}}{9,81 \text{ N}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2} = 24,6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta p = 24,6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times \frac{1 \text{ atm}}{1,033 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 23,81 \text{ atm}$$

TRANSPORTE DE PETRÓLEO LIGERO

Calcular la pérdida de presión en un oleoducto para transportar 70 m³/h de petróleo ligero en una distancia de 20km en una tubería de acero ($\varepsilon=0,2\text{mm}$) de 125 mm de diámetro. La tubería está en superficie sin aislamiento. La temperatura está entre los 0°C y 20°C.

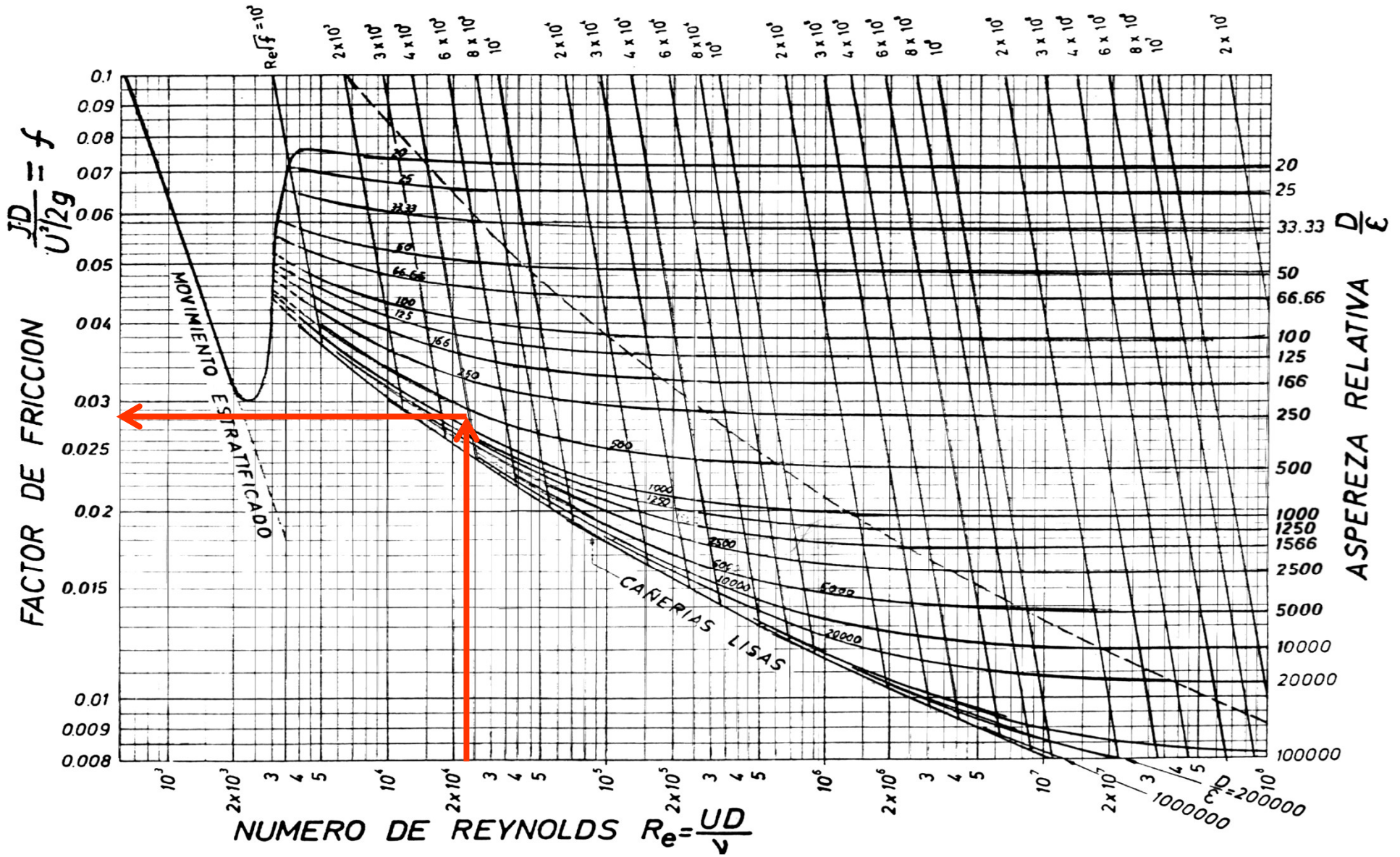
T (°C)	DENSIDAD δ (kg/m ³)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA $\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)
20	850	8,5
0	865	20

$$\omega = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,125^2 \text{ m}^2}{4} = 0,0123 \text{ m}^2$$

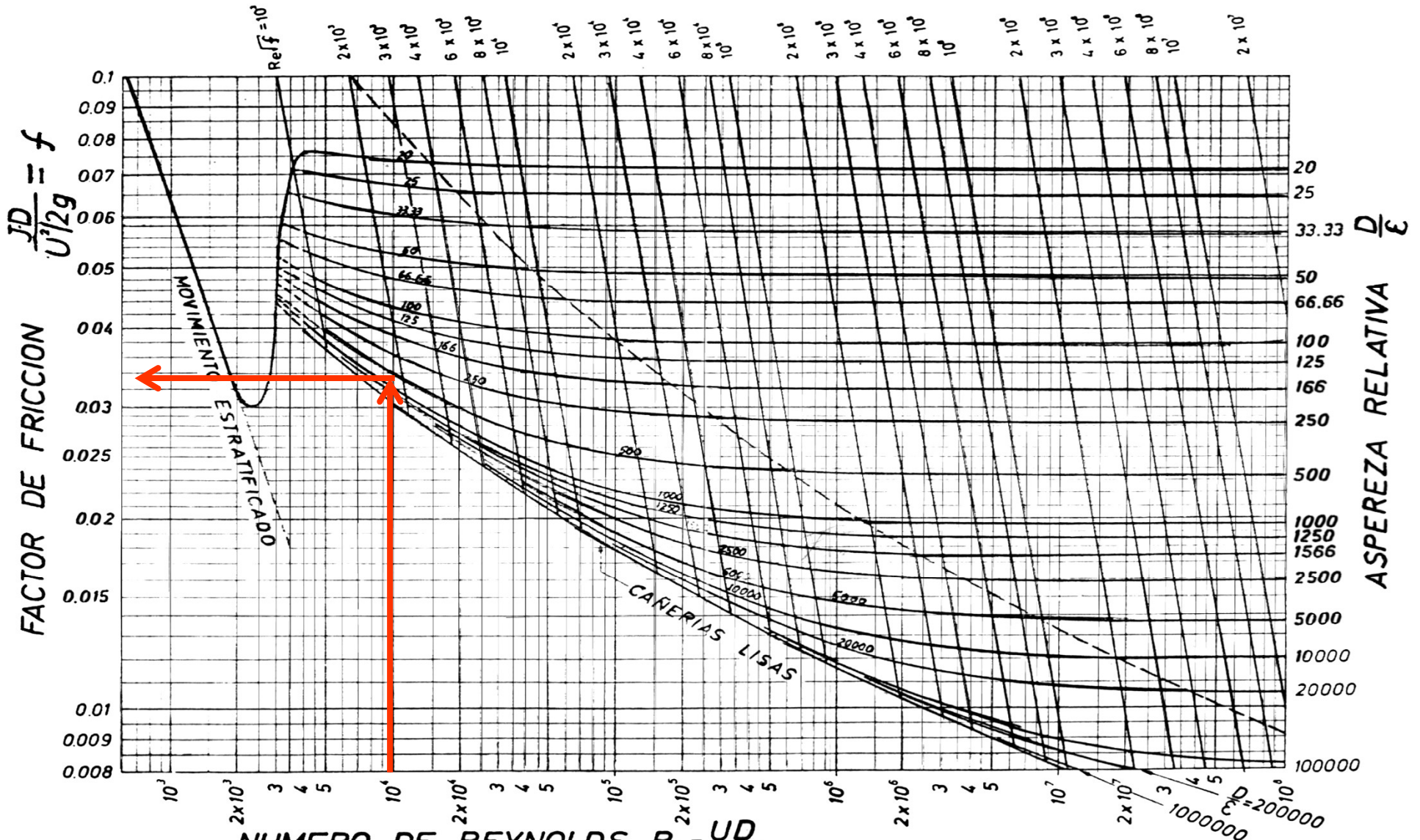
$$Q_V = U \times \omega \Rightarrow U = \frac{Q_V}{\omega} = \frac{70 \text{ m}^3}{h} \frac{1}{0,0123 \text{ m}^2} \frac{1h}{3600 \text{ s}} = 1,581 \text{ m / s}$$

$$\text{Re}_{20^\circ\text{C}} = \frac{U \times D}{\nu} = \frac{1,581 \text{ m}}{\text{S}} \frac{0,125 \text{ m} \times \text{s}}{8,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 23250 \Rightarrow \text{M.TURBULENTO}$$

$$\text{Re}_{0^\circ\text{C}} = \frac{U \times D}{\nu} = \frac{1,581 \text{ m}}{\text{S}} \frac{0,125 \text{ m} \times \text{s}}{2 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 9881 \Rightarrow \text{M.TURBULENTO}$$



$$\left. \begin{array}{l} \frac{D}{\epsilon} = \frac{125}{0,2} = 625 \\ Re_{20^\circ C} = 23250 = 2,3 \times 10^4 \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = 0,0285 \Rightarrow s / \text{Moody}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{D}{\epsilon} = \frac{125}{0,2} = 625 \\ Re_{0^\circ C} = 9881 = 9,9 \times 10^3 \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = 0,033 \Rightarrow s / Moody$$

TRANSPORTE DE PETRÓLEO LIGERO

Cálculo de la pérdida de presión

$$H_{20^{\circ}C} = \lambda \frac{U^2}{2 \times g} \frac{L}{D} = 0,0285 \frac{(1,58 m / s)^2}{2 \times 9,81 m / s^2} \frac{20000 m}{0,125 m} = 580,204 m$$

$$H_{0^{\circ}C} = \lambda \frac{U^2}{2 \times g} \frac{L}{D} = 0,033 \frac{(1,58 m / s)^2}{2 \times 9,81 m / s^2} \frac{20000 m}{0,125 m} = 671,81 m$$

$$\Delta p = \gamma \times H$$

$$\Delta p_{20^{\circ}C} = \gamma \times H_{20^{\circ}C} = \delta \times g \times H_{20^{\circ}C} = \frac{850 kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 580,20 m \times \frac{1 kgf}{9,81 N} \times \frac{1 m^2}{10^4 cm^2}$$

$$\Delta p_{20^{\circ}C} = 49,32 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta p_{0^{\circ}C} = \gamma \times H_{0^{\circ}C} = \delta \times g \times H_{20^{\circ}C} = \frac{865 kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 671,81 m \times \frac{1 kgf}{9,81 N} \times \frac{1 m^2}{10^4 cm^2}$$

$$\Delta p_{0^{\circ}C} = 58,11 \frac{kgf}{cm^2}$$

VAPOR RECALENTADO. (GAS IDEAL EXPANSIVO ISOTERMICO, T=CTE)

Por una tubería de acero de 200 mm de diámetro y una longitud de 350 m se impulsan 28 ton/hora de vapor recalentado. El manómetro de salida del recalentador indica 22 atmósferas de presión y la temperatura es de 300°C. Calcular la presión de salida de la tubería indicada como p_2 .

$$T_1 = T_2$$

Como se trata de un gas cuyo comportamiento puede considerarse ideal, se usa la viscosidad dinámica μ , que en este caso sólo varía con la presión, no con la temperatura.

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 20$ atm. $\delta = 7.81$ kg/ m³

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 25$ atm. $\delta = 9.90$ kg/ m³

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 22$ atm. $\delta = 8.65$ kg/ m³, en Sistema Internacional de medidas

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 20$ atm. $\mu = 20.30 \cdot 10^{-6}$ kg/ m.s

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 50$ atm. $\mu = 20.70 \cdot 10^{-6}$ kg/ m.s

Para $T=300^\circ\text{C}$, $p_1 = 22$ atm. $\mu = 20.33 \cdot 10^{-6}$ kg/ m.s, en Sistema Internacional de medidas.

Se puede calcular el peso específico en función de la densidad de la siguiente manera

$$\gamma = \delta \times g = 8,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 84,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{s}^2}$$

Se puede calcular el Q, la U, el Re y la J.

$$\omega = \frac{\pi \times D^2}{4}; Q_m = \delta \times U \times \omega \Rightarrow Q_m = \delta \times Q; U = \frac{Q}{\omega \times \delta}$$

$$\text{Re} = \frac{U \times D}{\nu} = \frac{U \times D \times \delta}{\mu}; J = \lambda \frac{U^2}{2 \times g} \frac{L}{D}$$

$$H = J \times L; p = \gamma \times H; p_1^2 - p_2^2 = \lambda \times \frac{L_t}{D} \times U_1^2 \times \delta_1 \times p_1$$

Cálculo del Q, la U y el Re.

$$Q = \frac{Q_m}{\delta} = \frac{28t}{h} \times \frac{1h}{3600s} \times \frac{1000kg}{1tn} \times \frac{1}{8,65kg/m^3} = 0,899m^3/s \cong 0,90m^3/s$$

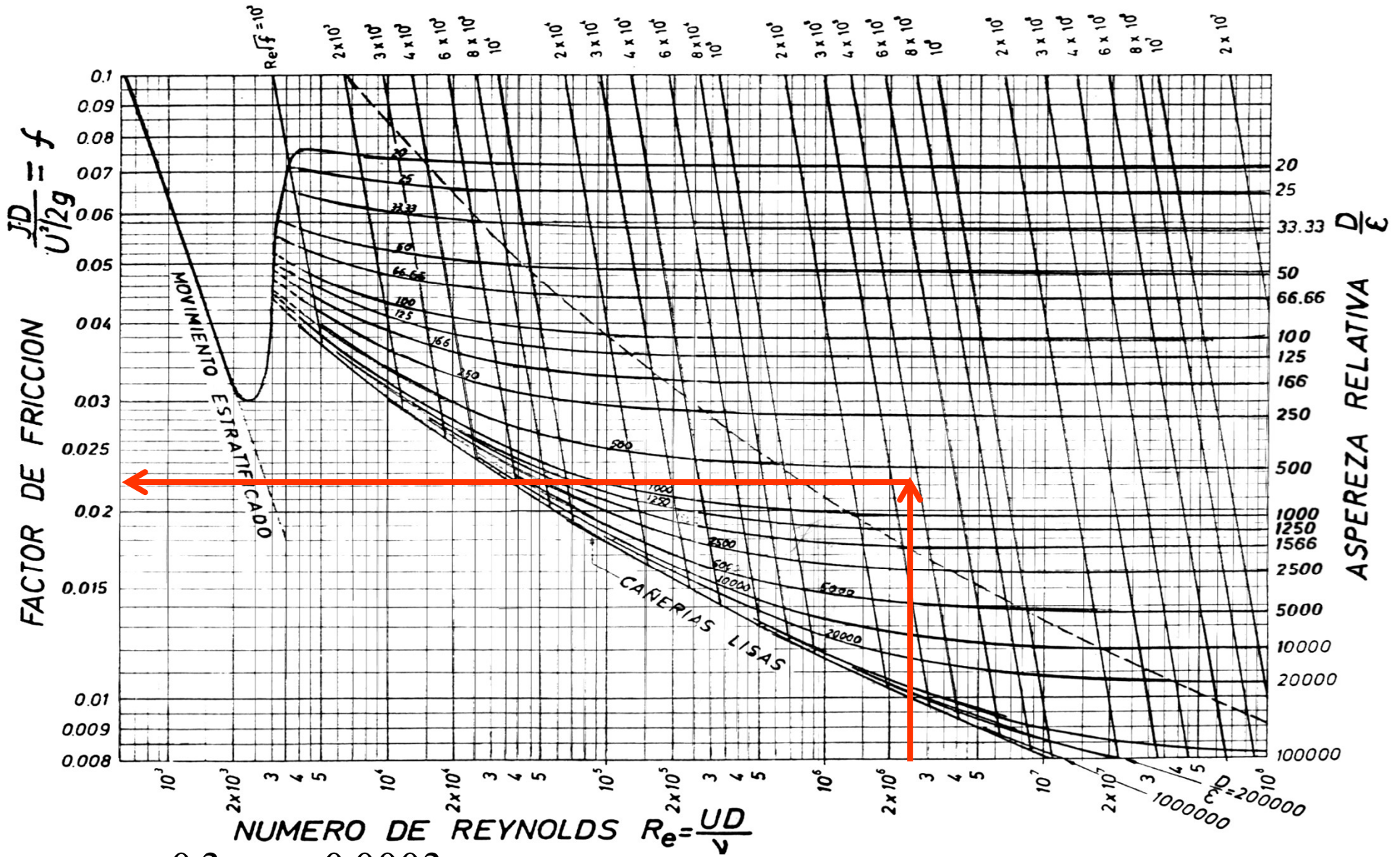
$$\omega = \frac{\pi \times 0,20^2 m^2}{4} = 0,0314m^2$$

$$U = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,90m^3/s}{0,0314m^2} = 28,66m/s$$

$$\nu = \frac{\mu}{\delta} = \frac{20,33 \times 10^{-6} kg/m.s}{8,65kg/m^3} = 2,35 \times 10^{-6} m^2/s$$

$$Re = \frac{28,66m/s \times 0,20m}{2,35 \times 10^{-6} m^2/s} = 2439149,2000 \Rightarrow \text{MOV.TURBULENTO}$$

Cálculo de la pérdida de carga unitaria J (Moody).



$\epsilon = 0,3mm = 0,0003m$

$D/\epsilon = 667$

$Re = 2439149 = 2,45 \times 10^6$

Del Gráfico de Moody $\lambda = 0,0225$

Cálculo de la presión a la salida de tubería p_2

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \times \frac{L_t}{D} \times U_1^2 \times \delta_1 \times p_1$$

$$p_1 = 22 \text{ atm} \times \frac{1,033 \text{ kgf}^2}{\text{atm} \times \text{cm}^2} = 22,73 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$p_1^2 - p_2^2 = 0,0225 \times \frac{478 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} \times 28,66^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \times 8,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 22,73 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times \frac{1 \text{ kgf}}{9,81 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2} = 88,53 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^2$$

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - 88,53 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^2} = 20,69 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$p_2 = 20,69 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} \times \frac{10^4 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 2027620 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$p_2 = 2027,6 \text{ kN} / \text{m}^2 = 2027,6 \text{ kPa}$$

GAS EXPANSIVO NO ISOTÉRMICO

Una tubería de acero de diámetro 100 mm, conduce aire a presión y tiene una longitud de 1200m. La presión en la tubería es de 8 atm, y la temperatura es de 20°C. El caudal en condiciones normales de presión y temperatura (273°K y 1 atm) es de 850 m³/h. Calcular la capacidad a temperatura y presión de trabajo y la pérdida de carga o presión.

CÁLCULO DEL CAUDAL TRANSPORTADO A 20°C Y 8 atm

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1} \times \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow V_1 = V_n \times \frac{p_n \times T_1}{p_1 \times T_n} = 850 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} \times \frac{1atm \times 293^\circ K}{8atm \times 273^\circ K} = 0,032m^3 / s$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,032m^3 / s}{\pi \times D^2 / 4} = \frac{0,032m^3 / s}{\pi \times (0,1m)^2 / 4} = 4,04m / s$$

Este valor de velocidad es bajo, y producirá una pérdida de carga baja, entonces el cálculo puede realizarse como fluido incompresible. Se calculan los parámetros para ingresar al Gráfico de Moody

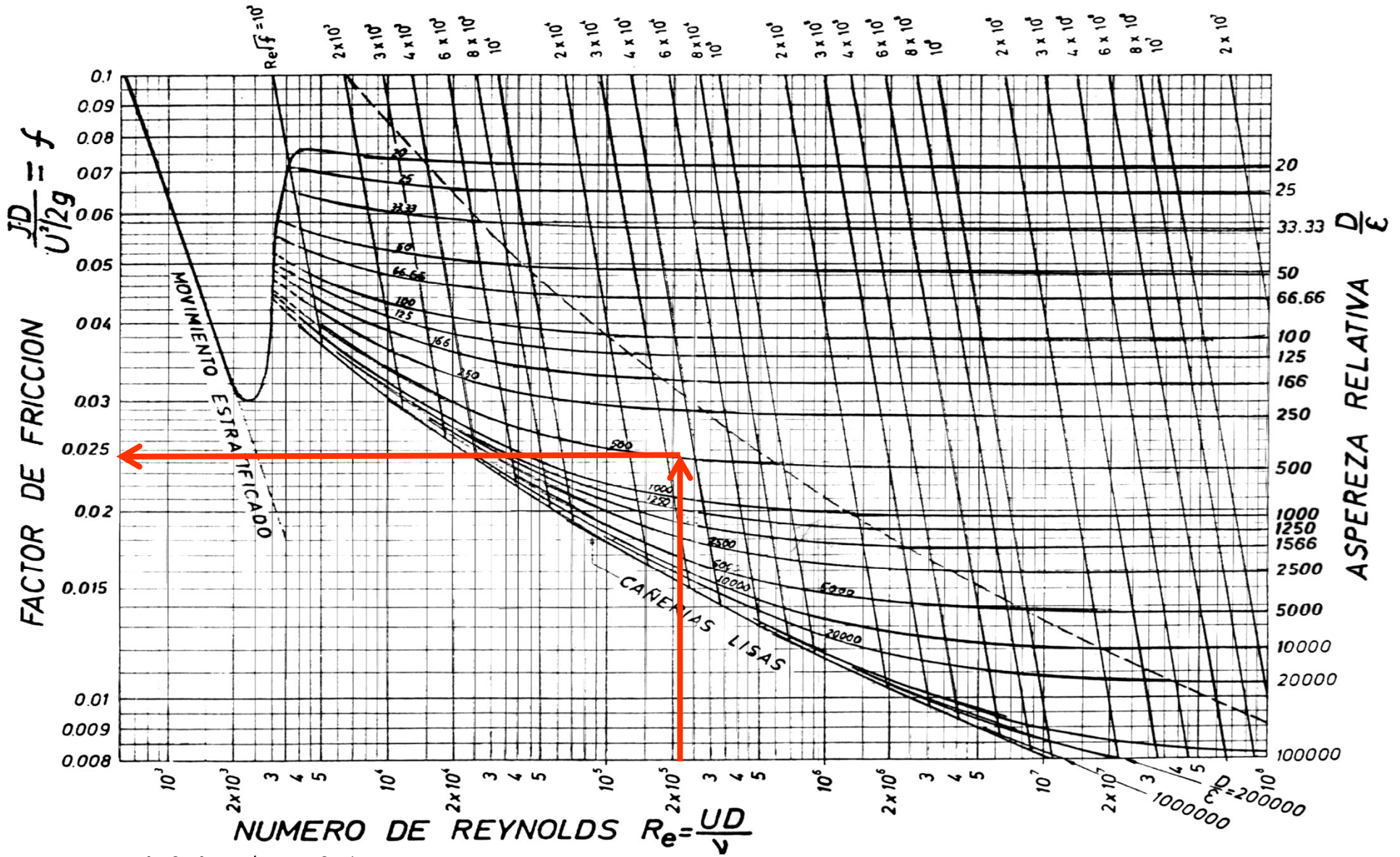
CÁLCULO DE Re

$$Re = \frac{U \times D}{\nu}$$

TEMPERATURA (°C)	VISCOSIDAD DINAMICA (kg.s/m ²)	VISCOSIDAD CINEMAT (m ² /s).	DENSIDAD (kgf.s ² /m ⁴)
15,6	1,83 10 ⁻⁶	1,47 10 ⁻⁵	0,125
26,7	1,88 10 ⁻⁶	1,57 10 ⁻⁵	0,120
20	1,85 10 ⁻⁶	1,51 10 ⁻⁵	0,123

$$\delta = \delta_n \times \frac{p}{p_n} = 0,123 \frac{kg.s^2}{m^4} \times \frac{8atm}{1atm} = 0,98 \frac{kg.s^2}{m^4}$$

$$\nu = \frac{1,85 \times 10^{-6} kg.s}{m^2} \times \frac{m^4}{0,98 kg.s^2} = 1,88 \times 10^{-6} m^2 / s$$



$$Re = \frac{4,04 \text{ m/s} \times 0,1 \text{ m}}{1,88 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 214894 = 2,15 \times 10^5$$

Del Gráfico de Moody $\lambda = 0,0245$

$$\epsilon = 0,2 \text{ m} \Rightarrow D/\epsilon = 0,1 \text{ m} / 0,0002 \text{ m} = 500$$

CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA

COMO FLUIDO INCOMPRESIBLE

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{U^2}{2} \times \delta = 0,0245 \times \frac{1200m}{0,1m} \times \frac{4,04^2 m^2 / s}{2} \times 0,98 \frac{kg \cdot s^2}{m^4} = 2361 kg / m^2$$

$$p_1 - p_2 = 0,24 kgf / cm^2$$

COMO FLUIDO EXPANSIVO

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \times \frac{L_t}{D} \times U_1^2 \times \delta_1 \times p_1 = 0,0245 \times \frac{1200m}{0,1m} \times 4,04^2 \times 0,98 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4} \times \frac{8atm}{1atm} \times 10330 kgf / m^2$$

$$p_1^2 - p_2^2 = 390207369,8 (kgf / m^2)^2 = 3,90 (kgf / cm^2)^2$$

$$p_2^2 = p_1^2 - 3,90 (kgf / cm^2)^2 = 64,39 (kgf / cm^2)^2$$

$$p_2 = 8,02 kgf / cm^2$$

$$p_1 - p_2 = 0,24 kgf / cm^2$$

$$H = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{0,24 kgf / cm^2}{\delta \times g} = \frac{0,24 kgf / cm^2}{0,98 \frac{kgf \cdot s^2}{m^4} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \times \frac{10^4 cm^2}{1m^2} = 252,8m$$

Calcular el caudal de aire a 20°C que puede transportar una tubería de acero nueva ($\varepsilon=0,0075\text{cm}$) y horizontal de 5cm de diámetro a una presión de 3 atmósferas y con una pérdida de presión de $3,50 \cdot 10^{-2} \text{ kgf/cm}^2$ en 100m de tubería. Densidad del aire $1,20\text{kg/m}^3$ y $\nu=1,49 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ para una presión de una atmósfera.

Rta. 12,1 l/s

Calcular la presión final en una tubería nueva de fundición ($\varepsilon=0,009\text{cm}$) de 10cm de diámetro y 540m de longitud, cuya presión inicial es de $3,50\text{kgf/cm}^2$, cuando circula un caudal de $0,34\text{kg/s}$ de aire en condiciones isotérmicas y a 32°C de temperatura. $\mu=1,9 \cdot 10^{-6} \text{ kgf s/m}^2$, densidad $1,16\text{kg/m}^3$.

Rta. 3,2 kgf/cm²