



Escuela Universitaria
de Ingeniería
Vitoria-Gasteiz

Ingeniaritzako
Unibertsitate Eskola
Vitoria-Gasteiz

EJERCICIOS PRÁCTICOS TECNOLOGÍA AMBIENTAL

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

PROFESORES:

Natalia Villota Salazar

Luis M. Camarero Estela

M. Arritokieta Ortuzar Irigorri

OpenCourseWare
Universidad del País Vasco  Euskal Herriko Unibertsitatea


CAMPUS
VIRTUAL VIRTUALA

ISSN 2255-2316

PROBLEMA N° 1

9 ppm de CO \rightarrow mg/m³ (1 atm, 25°C)

$$9 \text{ ppm CO} = 9 \text{ L CO} / 10^6 \text{ L aire} = 0,009 \text{ L CO} / \text{m}^3 \text{ aire}$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } 0,009 \text{ L} = n 0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1} 298 \text{ K}$$

$$n = 0,000368 \text{ moles CO} = 10,3 \text{ mg} \rightarrow 10,3 \text{ mg/m}^3$$

PROBLEMA N° 2

400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 (1 atm, 25°C) \rightarrow ppm

$$400 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2 = 400000 \mu\text{g}/10^6 \text{L}$$

$$400000 \mu\text{g} \text{SO}_2 = 0.4 \text{g} \text{SO}_2 = 0.00625 \text{ moles} \text{SO}_2$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm} V = 0.00625 \text{ moles} 0.082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1} 298 \text{ K}$$

$$V = 0.153 \text{ L} \text{SO}_2$$

$$0.153 \text{ L} \text{SO}_2 / 10^6 \text{ L} = 0.153 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 3

Calcular el volumen molar que ocupa un gas:

- a) En condiciones normales
- b) En condiciones estándar
- c) T=1000°C y P=1 atm

a) $P V = n R T$

$$1 \text{ atm } V = 1 \text{ mol } 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 273 \text{ K}$$

$$V=22,4 \text{ L}$$

b) $1 \text{ atm } V = 1 \text{ mol } 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 298 \text{ K}$

$$V=22,5 \text{ L}$$

c) $1 \text{ atm } V = 1 \text{ mol } 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 1273 \text{ K}$

$$V=104,5 \text{ L}$$

PROBLEMA N° 4

El monitor de una estación de control de la contaminación atmosférica da una concentración diaria promedio para el SO_2 de $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a 30°C y 1 atm . ¿Cuál será la concentración de SO_2 en ppm? Dato: Pesos atómicos $\text{S}=32$, $\text{O}=16$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } V = \frac{480 \mu\text{g}}{64 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} \frac{\text{gr}}{10^6 \mu\text{g}} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 303 \text{ K}$$

$$V = 1,86 \cdot 10^{-4} \text{ L } \text{SO}_2$$

$$V = \frac{1,86 \times 10^{-4} \text{ L } \cdot 1000 \text{ mL}}{\text{L}} = 0,186 \text{ mL}$$

$$\text{SO}_2 \text{ ppm} = \frac{0,186 \text{ mL } \text{SO}_2}{\text{m}^3 \text{ aire}} = 0,186 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 5

Se observa que la concentración diaria promedio para el NO en una estación es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a 25°C y 750 mmHg de presión. ¿Cuál será la concentración de NO en ppm? Dato: Pesos atómicos $\text{N}=14$, $\text{O}=16$

$$P V = n R T$$

$$750 \text{ mmHg} \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} V = \frac{40 \mu\text{g}}{30 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} \frac{\text{gr}}{10^6 \mu\text{g}} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 298 \text{ K}$$

$$V = 3,30 \cdot 10^{-5} \text{ L NO}$$

$$V = \frac{3,30 \cdot 10^{-5} \text{ L} \cdot 1000 \text{ mL}}{\text{L}} = 0,033 \text{ mL NO}$$

$$\text{NO ppm} = \frac{0,033 \text{ mL NO}}{\text{m}^3 \text{ aire}} = 0,033 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 6

El gas emitido por la chimenea de una central térmica contiene, a 460°C, diferentes concentraciones de SO₂ según el carbón utilizado:

a) 2.000 ppm

Si la emisión de gas es de 25.000 m³/min. ¿Cuál será la emisión de SO₂ expresada en gr/s en cada uno de los casos? Dato: La presión de los gases a la salida de la chimenea es de 1,05 atm.

$$2.000 \frac{\text{mL SO}_2}{\text{m}^3 \text{ gas}} \frac{\text{L SO}_2}{1.000 \text{ mL SO}_2} 25.000 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{min}} \frac{\text{min}}{60 \text{ sg}}$$
$$= 833,33 \frac{\text{L SO}_2}{\text{sg}}$$

$$P V = n R T$$

$$1,05 \text{ atm} \cdot 833,33 \text{ L} = \frac{m}{64 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 733 \text{ K}$$

$$m = 931,68 \text{ gr SO}_2 \quad \rightarrow \quad \text{Emisión SO}_2 = 931,68 \frac{\text{gr}}{\text{sg}}$$

El gas emitido por la chimenea de una central térmica contiene, a 460°C, diferentes concentraciones de SO₂ según el carbón utilizado:

b) 1.200 ppm

Si la emisión de gas es de 25.000 m³/min. ¿Cuál será la emisión de SO₂ expresada en gr/s en cada uno de los casos? Dato: La presión de los gases a la salida de la chimenea es de 1,05 atm.

$$1.2000 \frac{\text{mL SO}_2}{\text{m}^3 \text{ gas}} \frac{\text{L SO}_2}{1.000 \text{ mL SO}_2} 25.000 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{min}} \frac{\text{min}}{60 \text{ sg}}$$
$$= 500 \frac{\text{L SO}_2}{\text{sg}}$$

$$P V = n R T$$

$$1,05 \text{ atm } 500 \text{ L} = \frac{m}{64 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 733 \text{ K}$$

$$m = 559,5 \text{ gr SO}_2 \rightarrow \text{Emisión SO}_2 = 559,5 \frac{\text{gr}}{\text{sg}}$$

PROBLEMA N° 7

La concentración de CO en el humo de un cigarro alcanza niveles de 450 ppm.

a) Determinar el porcentaje en volumen

$$\text{Porcentaje en volumen} = 450 \frac{\text{mL CO}}{\text{m}^3 \text{ aire}} \frac{\text{m}^3 \text{ CO}}{10^6 \text{ mL CO}} = 0,045\%$$

b) La concentración en mg/m³ a 20°C y 1,1 atm

$$P V = n R T$$

$$1,1 \text{ atm} \quad 450 \text{ mL CO} \frac{\text{L CO}}{1000 \text{ mL CO}} = \frac{m}{28} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 293 \text{ K}$$

$$m = 0,576 \text{ gr CO}$$

$$\text{CO} \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 0,576 \text{ gr CO} \frac{1000 \text{ mg CO}}{\text{gr CO}} \frac{1}{\text{m}^3 \text{ aire}} = 576 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 8

El gas del tubo de escape de un camión contiene un 2,2% en volumen de CO.

¿Cuál será la concentración de CO en mg/m³ a 20°C y 1,02 atm?

$$2,2 \% \text{ Volumen CO} = \frac{2,2 \text{ m}^3 \text{ CO}}{100 \text{ m}^3 \text{ aire}} \frac{1000 \text{ L CO}}{\text{m}^3 \text{ CO}} = 22 \frac{\text{L CO}}{\text{m}^3 \text{ aire}}$$

$$P V = n R T$$

$$1,02 \text{ atm} \quad 22 \text{ L CO} = \frac{m}{28 \frac{\text{gr CO}}{\text{mol CO}}} \quad 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \quad 293 \text{ K}$$

$$m = 2615,17 \text{ gr CO}$$

$$\text{CO ppm} = 2615,17 \text{ gr CO} \frac{1000 \text{ mg CO}}{\text{gr CO}} \frac{1}{\text{m}^3 \text{ aire}} = 2,61 \cdot 10^4 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 9

Un garaje particular de una casa unifamiliar tiene las siguientes dimensiones: 4 x 4 x 3 altura. El dueño de la casa introduce el coche y tras cerrar la puerta de golpe se queda en el interior del coche escuchando música con el motor en marcha. Sabiendo que el valor de la concentración inmediatamente peligrosa para la vida o la salud (IPVS) para el monóxido de carbono es de 1.500 ppm de CO.

Calcular cuánto tiempo se tardara en alcanzar dicho valor en el garaje teniendo en cuenta que la emisión de gases por el tubo de escape al ralentí, es de 2,4 Nm³/h y que la concentración de monóxido de carbono en los gases de escape es de 8,7 gr CO/Nm³.

GARAGE:

$$V=4 \times 4 \times 3=48 \text{ m}^3 \text{ aire}$$

$$\text{Limite CO} = 1500 \text{ ppm} = 1500 \frac{\text{mL CO}}{\text{m}^3 \text{ AIRE}}$$

TUBO DE ESCAPE:

$$Q_{\text{GASES}} = 2,4 \frac{\text{m}^3 \text{ GASES}}{\text{h}}$$

$$\text{CO} = 8,7 \frac{\text{gr CO}}{\text{m}^3 \text{ GASES}}$$

$$P=1 \text{ atm y } T=273\text{K}$$

$$1500 \frac{\text{mL CO}}{\text{m}^3 \text{ AIRE}} 48 \text{ m}^3 \text{ AIRE} = 72000 \text{ mL CO} = 72 \text{ L CO}$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } 72 \text{ L} = \frac{m}{28 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} 0,082 273\text{K} \quad m=90,09 \text{ gr CO}$$

$$2,4 \frac{\text{m}^3 \text{ GASES}}{\text{h}} 8,7 \frac{\text{gr CO}}{\text{m}^3 \text{ GASES}} = 20,88 \frac{\text{gr CO}}{\text{h}}$$

$$90,09 \text{ gr CO} \frac{\text{h}}{20,88 \text{ gr CO}} = 4,3 \text{ h}$$

PROBLEMA N° 10

Un laboratorio que tiene las siguientes dimensiones 10 m de largo por 5 m de ancho y 3 m de altura, tiene en su interior 7 botellas de nitrógeno de 25 L de capacidad a una presión de 200 atm. Debido a una fuga en el sistema de interconexión de las botellas, éstas se vacían completamente.

Calcular el % de O_2 en el ambiente del laboratorio tras la fuga y verificar si dicho valor supone riesgo para la salud, sabiendo que el Valor Límite Umbral para el O_2 es del 18% en volumen.

Considerar que el laboratorio se encuentra a una presión de 1 atm y a $25^\circ C$ de temperatura.

O₂ LABORATORIO:

$$\text{LABORATORIO} = 10 \times 5 \times 3 = 150 \text{ m}^3 \text{ AIRE}$$

$$\text{AIRE} \left\{ \begin{array}{l} 21\% \text{ O}_2 \\ 79\% \text{ N}_2 \end{array} \right.$$

$$150 \text{ m}^3 \text{ AIRE} \frac{21 \text{ m}^3 \text{ O}_2}{100 \text{ m}^3 \text{ AIRE}} = 31,5 \times 10^3 \text{ L O}_2$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } 31,5 \times 10^3 \text{ L} = n \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 298\text{K} \quad \rightarrow \quad n=1.289 \text{ moles O}_2$$

N₂ LABORATORIO:

$$150 \text{ m}^3 \text{ AIRE} \frac{79 \text{ m}^3 \text{ N}_2}{100 \text{ m}^3 \text{ AIRE}} = 118,5 \times 10^3 \text{ L N}_2$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } 118,5 \times 10^3 \text{ L} = n \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 298\text{K} \quad \rightarrow \quad n=4.849 \text{ moles N}_2$$

N₂ FUGA:

$$\text{BOTELLAS N}_2 = 7 \times 25 \text{ L} = 175 \text{ L N}_2$$

$$P V = n R T$$

$$200 \text{ atm } 175 \text{ L} = n \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 298\text{K} \quad \rightarrow \quad n=1.432 \text{ moles N}_2$$

$$\text{O}_2 \% = \frac{\text{moles O}_2}{\text{moles totales}} = \frac{1.289 \text{ moles O}_2}{1.289 + 4.849 + 1.432} \times 100 = 17,02\% \text{ O}_2 < 18\% \rightarrow \text{PELIGRO}$$

PROBLEMA N° 11

Por la chimenea de una fábrica de abonos nitrogenados, sale un caudal de gas de $930 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Dicha instalación utiliza como combustible $20.000 \text{ Nm}^3/\text{día}$ de un gas natural cuya densidad es de $0,75 \text{ gr/L}$ medida en condiciones normales.

Si el factor de emisión para los óxidos de nitrógeno es de $3 \text{ Kg NO}_x/\text{ t}$ de gas natural, calcular la concentración de NO y NO_2 en ppm, si el 90% en peso de los NO_x generados corresponden a NO .

COMBUSTIBLE: $Q_{\text{COMBUSTIBLE}} = 20.000 \frac{\text{m}^3 \text{ COMBUSTIBLE}}{\text{dia}}$

$$\rho_{\text{COMBUSTIBLE}} = 0,75 \frac{\text{gr GAS NATURAL}}{\text{L COMBUSTIBLE}}$$

$$20.000 \frac{\text{m}^3 \text{ COMBUST}}{\text{dia}} \cdot 0,75 \frac{\text{gr GAS NAT}}{\text{L COMBUST}} \frac{1000 \text{ L COMBUST}}{\text{m}^3 \text{ COMBUST}} = 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{gr GAS NAT}}{\text{dia}}$$

CHIMENEA: $Q_{\text{GASES}} = 930 \frac{\text{m}^3 \text{ GASES}}{\text{h}}$

$$\text{NOx} = 3 \frac{\text{kg NOx}}{\text{ton GAS NATURAL}}$$

$$T = 273\text{K}, P = 1 \text{ atm}$$

$$1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{gr GAS NAT}}{\text{dia}} \frac{1 \text{ ton GAS NAT}}{10^6 \text{ gr GAS NAT}} \frac{3000 \text{ gr NOx}}{1 \text{ ton GAS NAT}} \frac{\text{dia}}{24 \text{ h}} \frac{\text{h}}{930 \text{ m}^3 \text{ GASES}} = 2,016$$

NOx:

90% NO, 10%NO₂

$$\text{NO} = 2,016 \frac{\text{gr NOx}}{\text{m}^3 \text{ GASES}} \frac{90 \text{ gr NO}}{100 \text{ gr NOx}} = 1,814 \frac{\text{gr NO}}{\text{m}^3 \text{ GASES}}$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } V = \frac{1,814 \text{ gr NO}}{30 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 273\text{K}$$

$$V=1,35 \text{ L NO}=1350 \text{ mL NO} = 1350 \text{ ppm}$$

$$\text{NO}_2 = 2,016 \frac{\text{gr NOx}}{\text{m}^3 \text{ GASES}} \frac{10 \text{ gr NO}_2}{100 \text{ gr NOx}} = 0,201 \frac{\text{gr NO}_2}{\text{m}^3 \text{ GASES}}$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } V = \frac{0,201 \text{ gr NO}_2}{46 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} 273\text{K}$$

$$V=0,098 \text{ L NO}_2=98 \text{ mL NO}_2=98 \text{ ppm}$$

PROBLEMA N° 12

En una central térmica se queman 3.000 t/día de un carbón con un contenido en azufre de un 1,2%.
Calcular:

a) Toneladas de SO₂ generadas al año

$$3000 \frac{\text{Ton CARBON}}{\text{día}} \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \frac{1,2 \text{ Ton S}}{100 \text{ Ton CARBON}} \frac{64 \text{ Ton SO}_2}{32 \text{ Ton S}} = 26.280 \frac{\text{Ton SO}_2}{\text{año}}$$

b) Cuál sería la concentración de dióxido de azufre sin depurar expresada en ppm y en mg/m³ si el volumen total de gases producidos es de 3 10⁷ Nm³/día

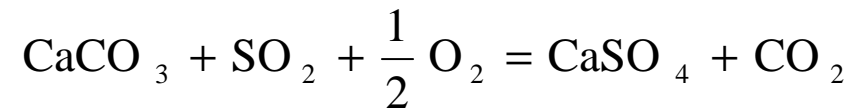
$$26.280 \frac{\text{Ton SO}_2}{\text{año}} \frac{\text{día}}{3 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \text{ GASES}} \frac{\text{año}}{365 \text{ días}} \frac{10^9 \text{ mg SO}_2}{\text{Ton SO}_2} = 2.400 \frac{\text{mg SO}_2}{\text{m}^3 \text{ GASES}}$$

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } V = \frac{2,4 \text{ gr}}{64 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 273 \text{ K} \quad \rightarrow \quad V = 0,84 \text{ L SO}_2$$

$$\text{SO}_2 \text{ ppm} = \frac{0,84 \text{ L SO}_2}{\text{m}^3 \text{ GASES}} \frac{1000 \text{ mL SO}_2}{\text{L SO}_2} = 840 \text{ ppm}$$

- c) ¿Qué cantidad diaria de carbonato cálcico será necesario añadir a los gases de combustión para reducir un 80% las emisiones de dióxido de azufre, precipitándolo en forma de sulfato de calcio?



$$26.280 \frac{\text{Ton SO}_2}{\text{año}} \frac{80 \text{ Ton reducidas}}{100 \text{ Ton SO}_2} \frac{\text{año}}{365 \text{ dias}} \frac{10^6 \text{ gr SO}_2}{\text{Ton SO}_2} \frac{1 \text{ mol SO}_2}{64 \text{ gr SO}_2} \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol SO}_2}$$

$$\frac{100 \text{ gr CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \frac{\text{Ton CaCO}_3}{10^6 \text{ gr CaCO}_3} = 90 \frac{\text{Ton CaCO}_3}{\text{dia}}$$

PROBLEMA N° 13

Una instalación de producción de energía térmica quema carbón como combustible y produce unas emisiones gaseosas de 6,8 Nm³ por Kg de combustible incinerado.

- a) Calcular cuál será la concentración de partículas, expresada en mg/Nm³ en los gases de emisión, si se generan 7,2 Kg de partículas por tonelada de combustible incinerado.

$$\text{ppm PARTICULAS} = 7,2 \frac{\text{Kg particulas}}{\text{Ton carbon}} \frac{\text{Kg carbon}}{6,8 \text{ m}^3 \text{ gases}} \frac{\text{Ton carbon}}{1000 \text{ Kg carbon}} \frac{10^6 \text{ mg particulas}}{\text{Kg particulas}} = 1058,82 \text{ ppm}$$

- b) Debe disminuirse la concentración de partículas en los gases que emiten hasta 200 mg/Nm³. Indique qué tipo de sistema de depuración podría instalarse para que las emisiones de esa industria cumpliera el objetivo de reducción y qué rendimiento exigiría el mismo.

$$\eta = \frac{\text{PARTICULAS ELIMINADAS}}{\text{PARTICULAS PRODUCIDAS}} 100$$

$$\text{PARTICULAS RETENIDAS} = \text{PARTICULAS PRODUCIDAS} - \text{PARTICULAS EMITIDAS}$$

$$= 1058,82 \text{ ppm} - 200 \text{ ppm} = 858,82 \text{ ppm} = 858,82 \frac{\text{mg partículas}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

$$\eta = \frac{\text{PARTICULAS ELIMINADAS}}{\text{PARTICULAS PRODUCIDAS}} 100 = \frac{858,82 \text{ ppm}}{1058,82 \text{ ppm}} 100 = 81,1\%$$

Filtro de mangas o bien un precipitador electrostático

- c) Se obliga a que el contenido en SO₂ de los gases que se emiten a la atmósfera sea inferior a 3.000 mg/Nm³. Exprese esta concentración en ppm e indique cuánto SO₂ se libera, cómo máximo, por cada Kg de combustible incinerado en esta concentración

$$P V = n R T$$

$$1 \text{ atm } V = \frac{3,0 \text{ gr SO}_2}{64 \frac{\text{mol}}{\text{gr SO}_2}} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 273\text{K}$$

$$V = 1,049 \text{ L SO}_2 = 1049 \text{ mL SO}_2$$

$$\text{SO}_2 = 1049 \text{ ppm}$$

$$\frac{\text{gr SO}_2}{\text{Kg combustible}} = 3000 \frac{\text{mg SO}_2}{\text{m}^3 \text{ gas}} \cdot 6,8 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{Kg combustible}} \cdot \frac{\text{gr SO}_2}{1000 \text{ mg SO}_2} = 20,4 \frac{\text{gr SO}_2}{\text{Kg combustible}}$$

d) Si se desea cumplir el límite de emisión mencionado en el apartado anterior sin instalar ningún sistema de depuración para el SO_2 . ¿Cuál será el contenido máximo de azufre que podrá tener el combustible empleado?

$$S_{\text{maximo combustible}} = 20,4 \frac{\text{gr SO}_2}{\text{Kg combustible}} \frac{32 \text{ gr S}}{64 \text{ gr SO}_2} \frac{\text{Kg combustible}}{1000 \text{ gr combustible}} = 0,01021 \frac{\text{Kg S}}{\text{Kg combustible}}$$

$$S\% (\text{combustible}) = \frac{0,01021 \text{ Kg S}}{\text{Kg combustible}} 100 = 1,02\%$$

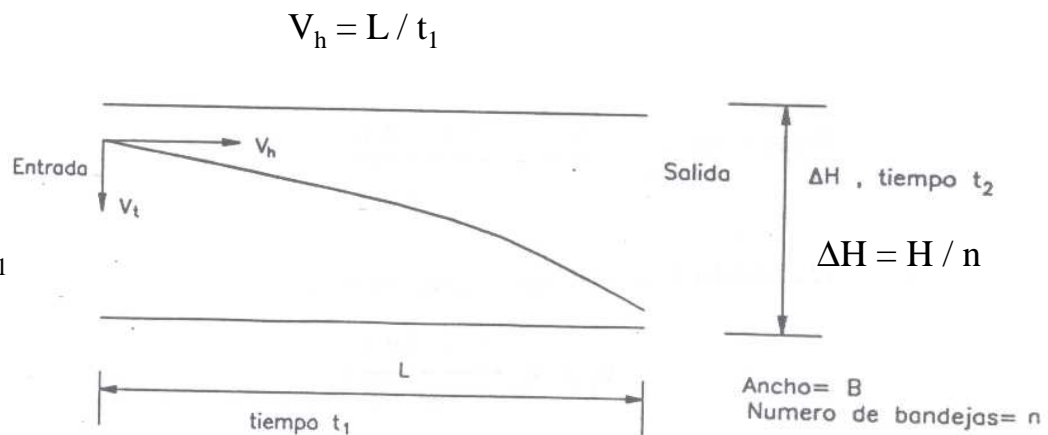
PROBLEMA N° 14

Una cámara de sedimentación debe tratar de decantar partículas de una corriente de aire en CN con un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. El tamaño medio de las partículas es de $d=50 \mu\text{m}$ y su densidad es de $2.000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Las dimensiones de la cámara son: $L=6,0 \text{ m}$; $H=2,0 \text{ m}$; $B=1,5 \text{ m}$ (anchura del decantador); $n=10$ bandejas.

- a) Calcular el rendimiento en las condiciones más favorables de régimen laminar, así como el tamaño mínimo de partículas a eliminar.

$$Q = HBL / t_1$$

$$V_t = y / t_1$$



$$V_t = 29.609 \rho_p (d_p)^2$$

V_t = VELOCIDADES DE CAIDA EN EL AIRE DE LAS PARTICULAS $\left(\frac{m}{s}\right)$

ρ_p = DENSIDAD DE LA PARTICULA $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

d_p = DIAMETRO DE LA PARTICULA (m)

DISTANCIA VERTICAL $y = V_t t_1 = V_t \frac{L B \Delta H n}{Q}$

TIEMPO DE TRANSITO $t_1 = \frac{L}{V_h} = \frac{L B \Delta H n}{Q}$

$$\Delta H = \frac{H}{n} = 0,2 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{y}{\Delta H} = V_t \frac{L B n}{Q} = V_t \frac{6 \text{ m } 1,5 \text{ m } 10 \text{ m}}{10 \frac{m^3}{s}} = 9 V_t$$

$$V_t = 29609 \rho_p (d_p)^2 = 29609 \cdot 2000 \frac{Kg}{m^3} (50 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 = 0,148 \frac{m}{s}$$

$$\eta = 9 \cdot 0,148 \frac{m}{s} = 1,33$$

$$\eta = 1,0 = 9 V_t = 9 \cdot 29609 \cdot 2000 \frac{Kg}{m^3} (d_p)^2$$

El hecho de que el rendimiento es mayor que 1,0 se puede interpretar como que las dimensiones son excesivas y que se podrían recoger partículas de menor tamaño con máxima eficiencia. Siendo el tamaño límite el siguiente:

$$d_p = 43 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 43 \mu\text{m}$$


b) Verificar si las condiciones de laminaridad se cumplen y en caso de que no sea así, explicar cómo se debería modificar la anchura total B del decantador. Dato $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$R_E \geq 3000 \geq \frac{V_h D_h}{\nu} = \frac{\frac{5}{B} \frac{4 \Delta H B}{(2 \Delta H + B)}}{1,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 140082 \text{ FLUJO TURBULENTO}$$

$$V_h = \frac{Q}{n B \Delta H} = \frac{5}{B}$$

$D = \text{DIAMETRO DE LA CONDUCCION (m)}$
 $\nu = \text{VISCOSIDAD CINEMATICA DEL AIRE } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$
 $V_h = \text{VELOCIDAD HORIZONTAL } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

Por lo general, los precipitadores mecánicos tienen sección rectangular, por lo que es necesario recurrir al concepto de radio hidráulico:

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perimetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)
 Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$

$$R_h = \frac{\Delta H B}{(2 \Delta H + B)}$$

$$\rightarrow D_h = 4 R_h = \frac{4 \Delta H B}{(2 \Delta H + B)}$$

$$R_E = 3000 = \frac{\frac{5}{B} \frac{4 (0,2 B)}{(0,4 + B)}}{1,5 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)} \rightarrow B = 88,88 \text{ m INVIABLE}$$

c) Calcular el rendimiento considerando la hipótesis de flujo turbulento

Puede verificarse que sólo en condiciones muy especiales (poco caudal Q en relación con las condiciones geométricas, puede alcanzarse un régimen laminar. En estas condiciones, puede justificarse el empleo de ésta expresión, mucho más acorde con la realidad.

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{y}{\Delta H}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{V_t t}{0,2 \text{ m}}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{n L B V_t}{Q}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{10,6 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot V_t}{10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}\right) = 1 - \exp(-9 V_t)$$

$$V_t = 29609 \rho_p (d_p)^2 = 29609 \cdot 2000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (d_p)^2$$

V_t = VELOCIDAD DE CAIDA EN EL AIRE DE LAS PARTICULAS $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

ρ_p = DENSIDAD DE LA PARTICULA $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

d_p = DIAMETRO DE LA PARTICULA (m)

$d_p = 50 \mu\text{m}$	$V_t = 0,148 \text{ m/s}$	$\eta = 0,736$	73,6%
$d_p = 4 \mu\text{m}$	$V_t = 0,00095 \text{ m/s}$	$\eta = 0,008$	0,8%

Estos resultados ponen de manifiesto las muy escasas prestaciones de los sedimentadores para partículas pequeñas

PROBLEMA N° 15

Calcular DQO, DBO₅ siendo $k = 0,2 \text{ dias}^{-1}$ y COT de un agua residual que contiene la siguiente composición:

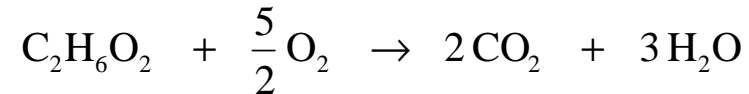
Etilenglicol C₂H₆O₂, 150 mg/L

Fenol C₆H₆O, 100 mg/L

Sulfuro S⁻², 40 mg/L

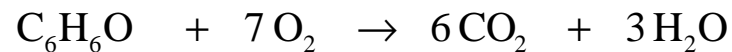
Etilendiamina hidratada C₂H₁₀N₂O, 125 mg/L (No biodegradable)

Etilenglicol C₂H₆O₂, 150 mg/L



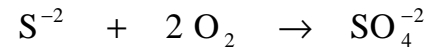
$$\text{DQO} = \frac{2,5 \text{ moles O}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}_2} \frac{32 \text{ gr O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{62 \text{ gr C}_2\text{H}_6\text{O}_2} 150 \frac{\text{mg C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{1000 \text{ mg C}_2\text{H}_6\text{O}_2} \frac{1000 \text{ mg O}_2}{\text{gr O}_2} = 194 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

Fenol C₆H₆O, 100 mg/L



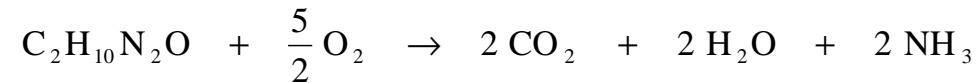
$$\text{DQO} = \frac{7 \text{ moles O}_2}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_6\text{O}} \frac{32 \text{ gr O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_6\text{O}}{94 \text{ gr C}_6\text{H}_6\text{O}} 100 \frac{\text{mg C}_6\text{H}_6\text{O}}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_6\text{H}_6\text{O}}{1000 \text{ mg C}_6\text{H}_6\text{O}} \frac{1000 \text{ mg O}_2}{\text{gr O}_2} = 238 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

Sulfuro S⁻², 40 mg/L



$$\text{DQO} = \frac{2 \text{ moles O}_2}{1 \text{ mol S}^{-2}} \frac{32 \text{ gr O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \frac{1 \text{ mol S}^{-2}}{32 \text{ gr S}} 40 \frac{\text{mg S}^{-2}}{\text{L}} \frac{\text{gr S}^{-2}}{1000 \text{ mg S}^{-2}} \frac{1000 \text{ mg O}_2}{\text{gr O}_2} = 80 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

Etilendiamina hidratada C₂H₁₀N₂O, 125 mg/L



$$\text{DQO} = \frac{2,5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} \frac{32 \text{ gr O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}}{78 \text{ gr C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} 125 \frac{\text{mg C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}}{1000 \text{ mg C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} \frac{1000 \text{ mg O}_2}{\text{gr O}_2} = 128 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

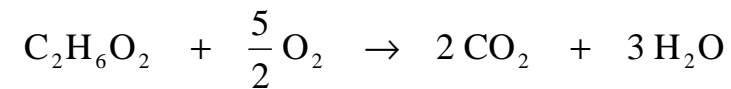
$$\text{DQO}_{\text{TOTAL}} = 640 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

$$\text{DBO}_{\infty} = \text{DQO}_{\text{TOTAL}} - \text{DQO}_{\text{NO BIODEGRADABLE}} = 640 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} - 128 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} = 512 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

$$\text{DBO}_{\text{DIA}} = \text{DBO}_{\infty} [1 - \exp(-k t)]$$

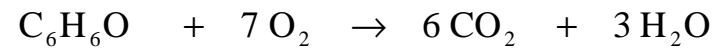
$$\text{DBO}_5 = 512 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} [1 - \exp(-0,2 \text{ dias}^{-1} 5 \text{ dias})] = 323,6 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$$

Etilenglicol C₂H₆O₂, 150 mg/L



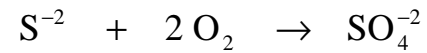
$$\text{COT} = \frac{2 \text{ moles CO}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}_2} \frac{12 \text{ gr C}}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{62 \text{ gr C}_2\text{H}_6\text{O}_2} 150 \frac{\text{mg C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{1000 \text{ mg C}_2\text{H}_6\text{O}_2} \frac{1000 \text{ mg C}}{\text{gr C}} = 58 \frac{\text{mg C}}{\text{L}}$$

Fenol C₆H₆O, 100 mg/L



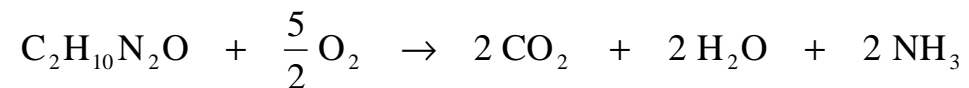
$$\text{COT} = \frac{6 \text{ moles CO}_2}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_6\text{O}} \frac{12 \text{ gr C}}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_6\text{O}}{94 \text{ gr C}_6\text{H}_6\text{O}} 100 \frac{\text{mg C}_6\text{H}_6\text{O}}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_6\text{H}_6\text{O}}{1000 \text{ mg C}_6\text{H}_6\text{O}} \frac{1000 \text{ mg C}}{\text{gr C}} = 76,6 \frac{\text{mg C}}{\text{L}}$$

Sulfuro S⁻², 40 mg/L



$$\text{COT} = 0 \frac{\text{mg C}}{\text{L}}$$

Etilendiamina hidratada C₂H₁₀N₂O, 125 mg/L



$$\text{COT} = \frac{2 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} \frac{12 \text{ gr C}}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}}{78 \text{ gr C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} 125 \frac{\text{mg C}_2\text{H}_6\text{O}_2}{\text{L}} \frac{\text{gr C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}}{1000 \text{ mg C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}} \frac{1000 \text{ mg C}}{\text{gr C}} = 38,5 \frac{\text{mg C}}{\text{L}}$$

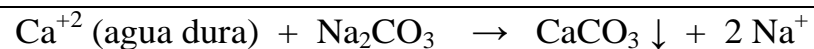
$$\text{COT}_{\text{TOTAL}} = 173,1 \frac{\text{mg C}}{\text{L}}$$

PROBLEMA Nº 16

Calcular el número de moles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Na_2CO_3 que habría que añadir para ablandar 1 m^3 de cada una de las aguas que a continuación se indican, empleando el método de la cal y la sosa.

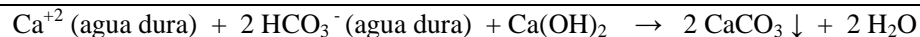
Cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Carbonato de sodio Na_2CO_3

a) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{+2}$



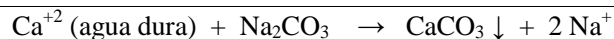
$$\text{moles Na}_2\text{CO}_3 = \frac{2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol Ca}^{+2}}{\text{L agua dura}} \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{+2}} \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0,28 \frac{\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

b) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{+2}$ y $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ M HCO}_3^-$



$$\text{moles Ca(OH)}_2 = \frac{4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol HCO}_3^-}{\text{L agua}} \frac{1 \text{ mol Ca(OH)}_2}{2 \text{ moles HCO}_3^-} \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0,23 \frac{\text{mol Ca(OH)}_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

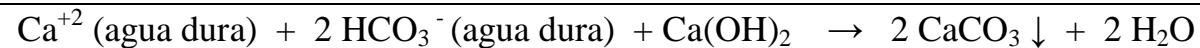
	Ca⁺² agua dura	HCO₃⁻ Água dura	Ca(OH)₂ reactivo	CaCO₃ precipitado
CONCENTRACION INICIAL	$2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	-	-
CAL AÑADIDA			$2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	
CAMBIO POR PRECIPITACION	$-2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$-4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$-2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
DESPUES PRECIPITACION	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	0	0	$4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$



$$\text{moles Na}_2\text{CO}_3 = \frac{0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol Ca}^{+2}}{\text{L agua dura}} \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Ca}^{+2}} \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0,05 \frac{\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

	Ca⁺² agua dura	Na₂CO₃ reactivo	CaCO₃ precipitado	Na⁺ precipitado
CONCENTRACION INICIAL	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	-	-	-
CAL AÑADIDA	-	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	-	-
CAMBIO POR PRECIPITACION	$-0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$-0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	10^{-4} mol/L
DESPUES PRECIPITACION	0	0	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	10^{-4} mol/L

c) $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ M Ca}^{+2}$ y $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ M HCO}_3^-$



$$\text{moles Ca}(\text{OH})_2 = \frac{5,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol HCO}_3^-}{\text{L agua}} \frac{1 \text{ mol Ca}(\text{OH})_2}{2 \text{ moles HCO}_3^-} \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0,28 \frac{\text{mol Ca}(\text{OH})_2}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

	Ca⁺² agua dura	HCO₃⁻ Água dura	Ca(OH)₂ reactivo	CaCO₃ precipitado
CONCENTRACION INICIAL	$2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$5,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	-	-
CAL AÑADIDA			$2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	
CAMBIO POR PRECIPITACION	$-2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$-4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$-2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$	$5,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
DESPUES PRECIPITACION	0 mol/L	0	0	$5,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

PROBLEMA N° 17

Calcular la dureza en mg CaCO₃/L de la siguiente muestra de agua

CATION	CONCENTRACION mg/L	PESO EQUIVALENTE (eq-gramo)
Na ⁺	35	23
Mg ⁺²	9	12,2
Ca ⁺²	48	20
K ⁺	1	39

La dureza se calcula sobre la presencia de Mg⁺² y Ca⁺²

$$\text{DUREZA} \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = 9 \frac{\text{mg Mg}^{+2}}{\text{L}} \frac{50 \text{ eq - gramo CaCO}_3}{12,2 \text{ eq - gramo Mg}^{+2}} + 48 \frac{\text{mg Ca}^{+2}}{\text{L}} \frac{50 \text{ eq - gramo CaCO}_3}{20 \text{ eq - gramo Ca}^{+2}} = 156,9 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$

PROBLEMA N° 18

Encontrar el pH de la solución

a) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (3,4 \cdot 10^{-4}) = 3,47$$

b) $[\text{H}_3\text{O}^+]$ si el $\text{pH}=6,7$.

$$6,7 = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,99 \cdot 10^{-7}$$

PROBLEMA N° 19

Calcular el pH de un agua saturada en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 25°C si su producto de solubilidad es $K_s = 7,9 \cdot 10^{-6}$



$$K_s = [\text{Ca}^{+2}][\text{OH}^-]^2 = (s)(2s)^2 = 4s^3$$

$$s = \left(\frac{K_s}{4}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,254 \cdot 10^{-2} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 2s = 2,51 \cdot 10^{-2}$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{2,51 \cdot 10^{-2}} = 3,986 \cdot 10^{-13}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (3,986 \cdot 10^{-13}) = 12,4$$