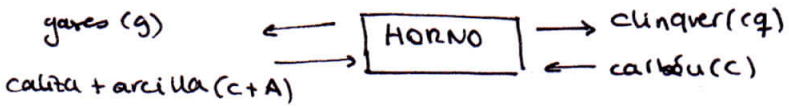
PROBLEMAS TEMA 3: INDUSTRIA DE LOS PROCESOS INORGÁNICOS

CEMENTO

III 1.) horno rotatorio $L = 40\,m$

$\phi_{nominal} = 1{,}95\,m$



	w_{c+A}/w_{cq}
CaO	0'6819
SiO_2	0'6853 *
Fe_2O_3	0'6563
Al_2O_3	0'6707

Dato: cada 8h → 18.500 kg cq habiendo adicionado 550 kg yeso

$$cq = \frac{(18500 - 550)\,kg}{8h} = 2{,}24 \text{ toneladas/horas}$$

$$(c+A) = \frac{2{,}24}{*\,0'6853} = 3{,}27\ t/h$$

→ se puede coger cualquiera de los 4 datos.

$$(c+A)/cq = \frac{3{,}27}{2{,}24} = 1{,}46$$ * inversa de w_{c+A}/w_{cq}

$w_{SiO_2,cq} \cdot cq = w_{SiO_2} \cdot (c+A) \cdot (c+A)$

$B = C, N_2, O_2$

Relacionamos el aire con los gases de salida:

Balance de C (E = S):

$$0'645 * c + 0'319 * (c+A) * \frac{12}{44} = G * 0'254 * \frac{12}{44}$$

↳ Masa molecular CO_2

Balance de O_2:

$$0'2 \cdot A + \frac{0'062}{2} * c + 0'319 * \frac{32}{44} * (c+A) = 0'254 * G * \frac{32}{44} + 0'01 * G$$

→ dividimos entre 2 xquela tabla viene O monodiatómico.

Balance de N_2:

$$0'8 * A = G * 0'736$$

GAS SALIDA	CLÍNQUER	CALIZA - ARCILLA	AIRE	CARBÓN
135,68 t/h	2,24 t/h	3,27 t/h	124,83 t/h	14,07 t/h
60,57	1	1,46	55,73	6,28

$$c = 14{,}07\ t/h \cdot 8h = 112{,}56\,t$$

III 2) clinquer cemento tiene 6,6% Al_2O_3, 2,24% Fe_2O_3 y 0'2% SO_3. evitar A3C. % yeso 97%?

Consideraciones:

① Orden de formación de componentes del clínquer

AF4C → A3C / F2C → silicatos

② Yeso

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ó $CaSO_4 \cdot 1/2\,H_2O$

Base de cálculo: 100 kg

Al_2O_3 6,6 kg $\quad n_{Al_2O_3} = \frac{m_{Al_2O_3}}{M_{Al_2O_3}} = \frac{6,6}{102} = 65.10^{-3}$ kmoles

Fe_2O_3 2,24 kg $\quad n_{Fe_2O_3} = 2'24/160 = 14.10^{-3}$ kmoles

SO_3 0'2 kg $\quad n_{SO_3} = \frac{0'2}{80} = 2,5.10^{-3}$ kmoles

AF4C ⇒ $n_{Al_2O_3}$ restamos

$= 51.10^{-3}$ kmol

$- 2,5.10^{-3}$ kmol SO_3

$48,5.10^{-3}$ kmol

$$m_{yeso} = \frac{48,5.10^{-3} * 172}{0'97} = 8,6 \text{ kg} \simeq 10\% \text{ B.C}$$

III 3). 70% silicatos en cemento

mat. primas: arcilla (A), caliza (B) y bauxita (C).

dosificación de las 3 especies.

Para la resolución del problema 3III (masa):

Cq
- -35% S2C : $SiO_2(CaO)_2$
- -35% S3C : $SiO_2(CaO)_3$
- -5% A3C : $Al_2O_3(CaO)_3$
- 25% AF4C $Al_2O_3Fe_2O_3(CaO)_4$

$M_{SiO_2} = 60$

$M_{CaO} = 56$

$M_{Al_2O_3} = 102$

$M_{Fe_2O_3} = 160$

• Practicar cambio de expresión en la composición de un clínquer (AF4C, A3C, S2C y S3C) u óxidos simples (SiO_2, Al_2O_3, ...)

óxidos simples:

CaO

Al_2O_3

Fe_2O_3

SiO_2

OPCIÓN A

$\boxed{CaO}$

BC: 100 kg Cq

$$0'002 * A + 0'944 * B = \left(\underbrace{\frac{2*35}{172}}_{S2C} + \underbrace{\frac{3*35}{228}}_{S3C} + \underbrace{\frac{3*5}{270}}_{A3C} + \underbrace{\frac{4*25}{485}}_{AF4C}\right) 56$$

2 grupos, %, Mmolecular

$\boxed{Al_2O_3}$

$$0'182 * A + 0'013 * B + 0'626 * C = \left(\frac{1*35}{270} + \frac{1*25}{485}\right) 102$$

$\boxed{Fe_2O_3}$

$$0'062 * A + 0'006 * B + 0'243 * C = \left(\frac{1*25}{485}\right) 160$$

$\boxed{SiO_2}$

$$0'75 * A + 0'035 * B + 0'103 * C = \left(\frac{35*1}{172} + \frac{35*1}{228}\right) 60$$

RESULTADOS (OPCIÓN A):

A	B	C
25,06 kg	66,94 kg	2,74 kg

OPCIÓN B : CaO para silicatos y SiO_2

- SiO_2 directamente de los datos
- CaO para silicatos. Calcular:

Limitante	Necesita	Constituyente
Fe_2O_3	- Al_2O_3 - CaO	AF4C
Al_2O_3	CaO	A3C

A

1º consumo CaO para AF4C

$$\frac{\overset{Fe_2O_3(A)}{6{,}2} * \overset{nº\ grupos}{4} * \overset{MCaO}{56}}{\underset{MFe_2O_3}{160}} = 8{,}68\ CaO \text{ consumido AF4C}$$

2º consumo CaO para A3C

$$\left(\underbrace{18{,}2}_{(A)\ Al_2O_3} - \frac{6{,}2 * 102}{160}\right) * \overset{3\ grupos}{3} * \overset{MCaO}{56} / \underset{MAl_2O_3}{102} = 23{,}46$$

$$\frac{\overset{(A)Fe_2O_3}{6{,}2} * \overset{MAl_2O_3}{102}}{\underset{MFe_2O_3}{160}} = Al_2O_3 \text{ consumido AF4C}$$

3º CaO disponible para silicatos

$$0'2 - 8{,}68 - 23{,}46 = -31{,}94 \quad \%CaO \text{ silicatos}$$

sustancia	% SiO_2	% CaO silicatos
A	75 (tabla)	-31,94 ≈ -31'9

Cq
- -35% S2C : $SiO_2(CaO)_2$
- -35% S3C : $SiO_2(CaO)_3$
- -5% A3C : $Al_2O_3(CaO)_3$
- -25% AF4C : $Al_2O_3Fe_2O_3(CaO)_4$

(*)

Balance de CaO para silicatos:

$$-0'319 * A + 0'92 * B - 1{,}116 * C = 56\left(\underbrace{\frac{2 * 35}{172}}_{S2C} + \underbrace{\frac{3 * 35}{228}}_{S3C}\right) = 48{,}6\%$$

Balance de SiO_2

$$0'75 * A + 0'035 * B + 0'103C = 60\left(\underbrace{\frac{35}{172}}_{S2C} + \underbrace{\frac{35}{228}}_{S3C}\right) = 21{,}4\%$$

Balance total

$$A + B + C = 100$$

B

1º consumo CaO para AF4C

$$\frac{0'6 * 4 * 56}{160} = 0'84$$

2º consumo CaO para A3C

$$\left(1{,}3 - \frac{0'6 * 102}{160}\right) * 3 * 56 / 102 = 1{,}51$$

3º CaO disponible

$$94{,}4 - 0'84 - 1{,}51 = 92{,}05$$

C

1º consumo CaO para AF4C

$$\frac{24{,}3 * 4 * 56}{160} = 34{,}02$$

2º consumo CaO para A3C

$$\left(62{,}6 - \frac{24{,}3 * 102}{160}\right) * 3 * 56 / 102 = 77{,}59$$

3º CaO disponible

$$0 - 77{,}59 - 34{,}02 = -111{,}61$$

RESULTADOS

sustancia	% SiO_2	% CaO silict.
A	75	-31,9
B	3,5	92
C	10,3	-111,6
Cq	21,4	48,6

Resultados

A	B	C
24,45 kg	69,09 kg	6,46 kg

En la tabla también hay PF y habrá que tenerlo en cuenta:

$$\boxed{MP_{real} = \frac{MP_{efectiva}}{(1 - PF)}}$$

calculada

A	B	C
27,81 kg	119,74 kg	6,50 kg
18,05 %	77,73 %	4,22 %

ÁCIDO SULFÚRICO

III 4.) PROBLEMAS H_2SO_4

- ↓ [ ] ⇒ tratamiento de gases
- ↑ [ ] ⇒ Producción de H_2SO_4

⇨ → CONVERTIDOR $SO_2 + 1/2\, O_2 \rightarrow SO_3$

- FUENTE SO_2/SO_3

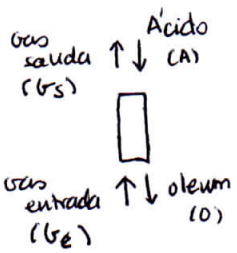
↓

⇨ → ABSORBEDOR → ⇨ Gas salida

- H_2O
- H_2SO_4

→ ⇨
- H_2SO_4 (% wt)
- oleum (SO_3 abs)

III 4.)



- oleum: 80% de H_2SO_4 + 20% SO_3
- composición gases base molar
- pureza de ác. en base másica
- O = 1,835 kg/h
- ¿A? ¿Gs? ¿Ge?

Balance de H_2 (único en común):

H_2SO_4
SO_2
H_2O
SO_3

H_2 entrada = H_2 salida

$$\frac{0'98 * A}{98} + \frac{0'02 * A}{18} = \frac{0'8 * 1835}{98}$$

pureza 98%; Peso molecular ácido sulfúrico; peso molecular del H_2O; Ácido en oleum

todos los componentes tienen H_2 (2 átomos) pero se irán en la ec. total, por eso no se pone

(estequiométricamente en moles)

Relacionar las 2 corrientes que conocemos con las 2 corrientes que no conocemos.

Balance N_2 (tabla)

N_2 entrada = N_2 salida

$$0'82 * G_E = 0'8865 * G_S$$

82/100 → para pasar a fracción molar; 88'65/100

tratamiento de bases eliminando mierdecilla. $\boxed{G_S < G_E}$ mientras que en el cemento era lo contrario, recogía mierda, entonces era mayor el Gs frente al de entrada

Balance de S (tabla)

S entrada = S salida (composición molar)

$$0'002 * G_E + 0'0075 * G_E + \frac{0'98 \cdot A}{98} = \frac{0'8 * O}{98} + \frac{0'2 \cdot O}{80} + 0'0022 * G_S$$

SO_2; 0'2/100 → para pasar a fracción molar; 75/100; SO_3; ácido; ácido; Ácido del oleum; oleum; resto de oleum; oleum; SO_3; 0'22/100; SO_2

SO_3 es O por eso no aparece

RESULTADOS

$G_E = 81{,}2$ Kmol/h
$G_S = 75{,}1$ Kmol/h

No tenemos datos, calculamos m3/h en condiciones normales

$$\underset{1\,atm}{P}\,\overset{22{,}4\,L/mol}{V} = \underset{1}{n}\,\overset{0'082}{R}\,\underset{273{,}2\,K}{T}$$

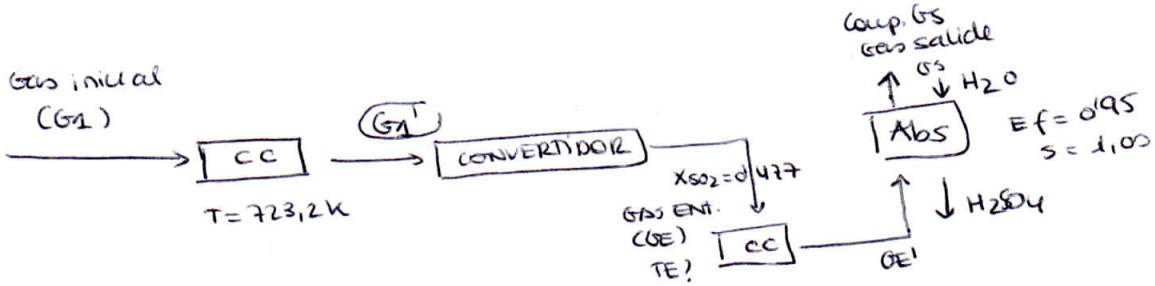
GASES IDEALES

caudal en Kmol

$A = 1348{,}2$ kg/h $\quad G_S = 1682{,}4$ m3/h

$O = 1835{,}0$ kg/hr $\quad G_E = 1818{,}4$ m3/h

III 5)



Datos ctes de equilibrio:

b) $K_p\,(atm^{-0'5}) = P_{SO_3} \cdot (P_{SO_2})^{-1} (P_{O_2})^{-0'5}$

$R\,(cal/mol\,K) \cdot T(K) \cdot \ln K_p = 22{,}600 - 21{,}36 \cdot T(K)$

Composición Gs

BC: 100 moles

$SO_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow SO_3$

Gas	G_1	G_E	G_S
SO_2	0'5	0'5 (1-x)	0'5 (1-x)
O_2	4	4(1-x/2)	4(1-x/2)
N_2	95,5	95,5	95,5
SO_3	–	0'5x	0'5x · ef

composición Gs

$SO_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow SO_3$

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

Gas	G_1 x	G_E n	x	G_S n	x
SO_2	0'005	0'261	0'0026	0'261	0'026
SO_3	–	0'239	0'0024	0'012	0'0001
O_2	0'04	3,046	0'0308	3,046	0'0308
N_2	0'955	95,5	0'9642	95,5	0'9664
TOTAL	1,0	99,0	1,0	98,8	1,00
I	0'05		0'0288		0'0265

Índice ponderado: $I = \Sigma x_i \cdot p_i$

$I = X_{SO_3} \cdot P_{SO_3} + X_{SO_2} \cdot P_{SO_2}$

P_{SO_3} = Peso dado = 1; P_{SO_2} = peso dado = 10

c) Etapa clave ⇒ oxidación ⇒ mejora índice con cada una de las etapas.

exotérmica ⇒ oxidación

a) TE? $SO_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow SO_3$

Datos cte

$K_p\,(atm^{-0'5}) = P_{SO_3} (P_{SO_2})^{-1} \cdot (P_{O_2})^{-0'5}$

$R\,(cal/mol\,K) \cdot T(K) \ln K_p = 22600 - 21{,}36 \cdot T(K)$

$K_p \cong K_x \rightarrow K_p = 0'0026 / [0'024 \cdot (0'0308)^{0'5}]$

$K_p = 5{,}22\,atm^{-0'5}$

$K = 2\,cal/mol\,K$

$\boxed{T_E = 916{,}3\,K}$

$P_{SO_3} = X_{SO_3} * P_T \rightarrow 1$ corresponden a las fracciones molares

$\rightarrow$ (G1') $\boxed{\text{CONVERTIDOR}}$ $\rightarrow$ (GE)

28 NOVIEMBRE – TUTORÍA (10.30 – 11.30h)
- Problemas extra
- Breve seminario para redactar y presentar un informe técnico (11.30–11.45 h) $\boxed{\text{voluntario}}$

No subrayar
- Calculadora
- Bolígrafo azul o negro

$\boxed{\text{CLORO – SOSA}}$

III 6.)

REACCIONES REDOX Y NO REDOX EN CÉLULA DE CÁTODO de Hg:

REDOX

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$ (1,36V)

$2Na^+ + 2Hg + 2e^- \rightarrow 2NaHg$ (1'89V)

$2NaCl + 2Hg \rightarrow 2NaHg + Cl_2$ (3,25 V)

otra: $2NaCl + 2Hg \rightarrow 2NaHg + Cl_2$

$2NaHg + 2H_2O \rightarrow H_2 + 2NaOH + 2Hg$

$2NaCl + 2H_2O \rightarrow Cl_2 + 2NaOH + H_2$

- Produce $Cl_2 = 3.100\ kg/día \cdot 22'4\ m^3/kmol \cdot \frac{1\ kmol}{71\ kg} = 978\ m^3/día$

- Produce $H_2 = 978\ m^3/día$ (estequiometría)
- Producc. $NaOH = 3100\ \frac{kg}{día} \cdot \frac{2\ kmol\ NaOH}{1\ kmol\ Cl_2} \cdot \frac{1\ kmol\ Cl_2}{71\ kg} \cdot \frac{40\ kg}{1\ kmol\ NaOH} = 3493\ kg/día$

a) $P = I \cdot V = 100(kA) \cdot 4'3\ V = 430\ kW$ (potencia)
(I: intensidad, V: tensión)

$E = P \cdot t$; $CET = 430\ kW \cdot \frac{24\ h}{día} = 10320\ kWh/día$ (CET → consumo eléctrico total)

$CEU = \frac{CET}{Prod} \rightarrow$ $\boxed{\begin{array}{l} CEU\ Cl_2 = 10'55\ kWh/m^3 \\ CEU\ NaOH = 2'95\ kWh/kg \end{array}}$ ⇒ CONSUMO ELÉCTRICO UNITARIO

b) $I_t = 96485 \cdot \frac{e \cdot n}{t} = \frac{96485 \cdot 2 \cdot 3'1 \cdot 10^6}{71 \cdot 24 \cdot 3600} = 97'6\ kA$
(e: nº e⁻, n: nº moles, 71: nº Faraday, $3'1 \cdot 10^6$: nº moles)

$\eta_c = \frac{I\ teórica}{I\ real} = 97'6\%$ (I real → rendimiento corriente)

$\eta_{energético} = \frac{P_t}{P_r} = \frac{V_t}{T_r} \cdot \eta_c = \frac{3'25}{4'3} \cdot 0'976 = 73,7\%$ (V_t → voltaje de la pila)

$\eta_E = \frac{E_t}{E_r} = \frac{P_t \cdot t}{P_r \cdot t} = \frac{I_t}{I_r} \cdot \frac{V_t}{V_r} = \frac{V_t}{V_r} \cdot \eta_c$

d) Efecto Joule

$I = \Delta V \cdot I_r = 105\ kW = 2'520\ kWh/día = (4'3 - 3'25) \cdot 100$

$E_{TOTAL} = E\ eléctrica + E\ calor$

La diferencia de V es la que me define la pérdida de calor

¿OTRA FORMA?

con el rendimiento $\boxed{\eta_v = \frac{\eta_E}{\eta_c}}$

III 7)

a) $I = \rho_{corriente} \cdot A$

$I_{teórica} = 96485\ \frac{e \cdot n}{t} = 9437\ kA$

$\eta_c = I_t / I_r = I_r / A\rho_c \rightarrow A = \frac{I_t}{\eta_c \rho_c}$

Amercurio = 973 m²

... = 97

b) $CET = I \cdot V = \rho_e \cdot A \cdot V$

$CEU\ Cl_2 = CET / m^3 Cl_2$

	Hg	memb
CET (kWh/año) =	$2,73 \cdot 10^8$	$2'84 \cdot 10^8$
CET Cl_2 (kWh/año)	8'64	9'01

(mejor la de Hg)

(*) $15 = 1\ W \cdot s \cdot \frac{1\ h}{3600\ s}$

	membrana
CET (kWh/año	$2,97 \cdot 10^8$
CEU (kWh/m³	9'42

Función coste (€) = ε[coste unitario (€/t) · cantidad (t)]

c) $m_{NaOH} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 40}{71} = 1'12 \cdot 10^5\ t/año$

¿coste en concentrar NaOH

$CET' = \frac{4'2 \cdot 10^5 \cdot 1'12 \cdot 10^5}{3600} = 1'31 \cdot 10^7\ \frac{kWh}{año}$

(4,4% de CET glob)

... $(1'12 \cdot 10^5) \cdot 1\ kWh$