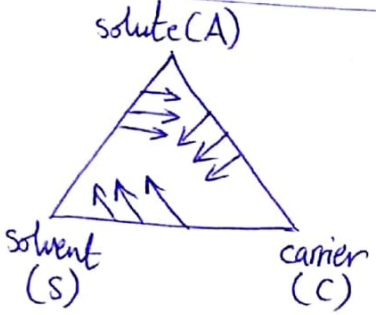
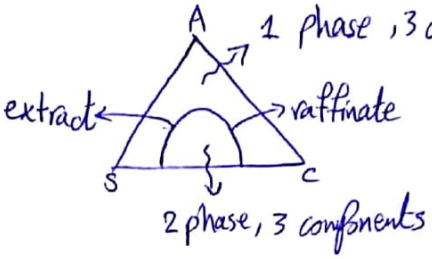
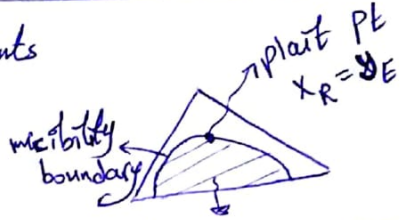
* Liquid - liquid extraction

→ distribution coefficient $(K_D) = \frac{(Y_A)_E}{(X_A)_R}$ = $\frac{\text{solute concentration in extract}}{\text{solute concentration in raffinate}}$

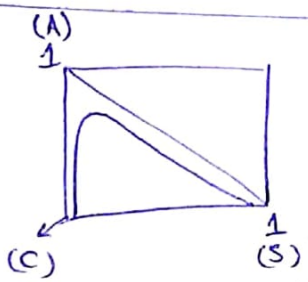
concentration = $\frac{\text{mass}}{\text{volume}}$



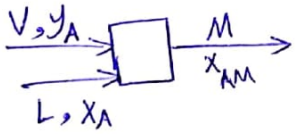




Tie lines: خطوط تربط بين composition [extract & raffinate]



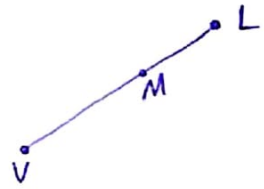
$C = 1 - A - S$ ← A, S عدد



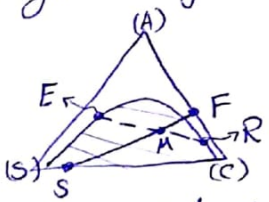
$V + L = M$

$y_A V + x_A L = x_{AM} M$

lever rule: $\frac{L}{V} = \frac{\overline{VM}}{\overline{LM}}$ $\frac{L}{M} =$



* Single stage extraction



١) نرسم / نحدّد feed ، solvent ، ونوصّل بينهم (feed, mixing, solvent)

٢) نطبق mass balance بوجود X_M

٣) نرسم Tie line إلي بتقطع M ونوصل لحد ما نوصل لـ raffinate ، extract (composition)

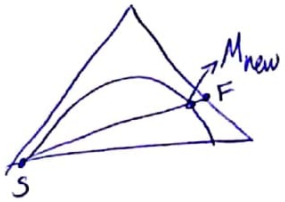
$F + S = M$ $\quad X_{AM} M = X_{AR} R + X_{AE} E$

٤) نحسب كمية R ، E عن طريق mass balance أو lever rule

* fraction of solute recovered

$$f = 1 - \frac{(X_{AR})R}{(X_{AF})F}$$

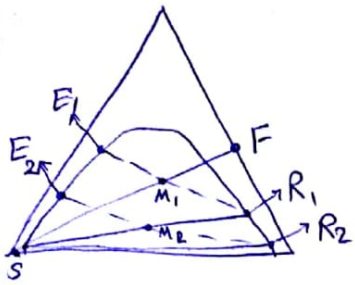
* S min



* S max

Scanned by CamScanner

* Multi-stage extraction [cross-current]



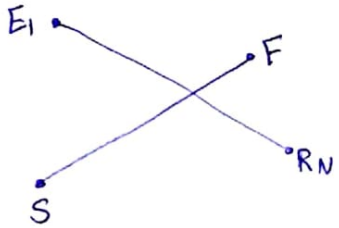
١) نفس الخطوات في الـ single (feed, solvent, mixing) لرسم أول خط
٢) ونفس الخطوات لتحديد y_E, x_R
٣) الـ raffinate من أول خط هو الـ feed لـ 2nd stage
٤) بوصّل R_1 (feed 2) مع S الأصلية و بوصّل X_{M_2} وبعد Tie line بطلع E_2 و R_2
٥) R_2 هو الـ feed 3 و بكرر الخطوات حتى أوصل R_N الأخيرة

* Solute recovery = $1 - \frac{R_N \, x_{R_N A}}{F \, x_{FA}}$ ← دائماً بقسم على الـ feed الأولي (R_N: حسب كم stage)

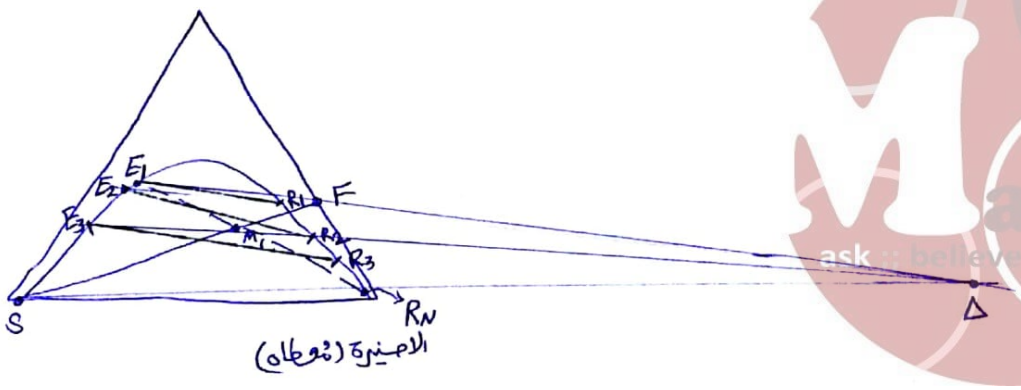
* overall solute concentration in extract: $\bar{y}_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^{N} E_i \, y_{E_i A}}{\sum_{i=1}^{N} E_i}$

---

* Multi-stage extraction [Counter-current]



١) بوصّل الـ Solvent مع feed
٢) بجيب X_M من الـ mass balance
٣) بعطاني في السؤال معلومات لتحديد E_1 أو R_N
٤) بوصّل R_N أو E_1 حسب المعطى مع M
٥) بوصّل E_1 مع F، و R_N مع S، وتقاطعهم [تقاطع الامتداد] هو دلتا (Δ)
٦) بجد Tie line من E_1 مع R_1 و من Δ لـ R_1 و امتداد (R_1 ، Δ) بعطيني E_2
٧) بجد كمان Tie line من E_2 بطلع R_2
٨) بعمل خط من R_2 لـ Δ و امتداد الخط بعطيني E_3 وبفل أمشي حتى أوصل R_N

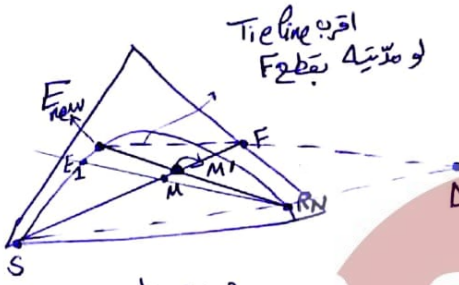


Scanned by CamScanner

* minimum Solvent → Δ_{min}

• نجد E_{new} بعد ما نمدّ الـ Tie line الأقرب وتقاطعها مع F

• بعيد الخطوات السابقة



$$\frac{S_{min}}{F} = \frac{X_{AF} - X_{AM'}}{X_{AM'} - Y_{AS}} \quad \text{(عند تقاطع } E_{new} \text{ مع } M_{new} \text{ مع } R_N \text{)} \rightarrow @\, E_{min}$$

* $\frac{S_{min}}{F}$ → number of theontical stages ⇒ $N \rightarrow \infty$

* $\frac{S_{max}}{F}$ → number of theontical stages ⇒ $N \rightarrow 1$

adar
ask ;; believe & recieve

Scanned by CamScanner

* Leaching

overflow V
solute fraction x_A
solvent C

underflow L
solute fraction y_A
solvent C
inert, leaching solid B

$$N = \frac{\text{Kg B}}{\text{kgA + kgC}} = \frac{\text{kg solid}}{\text{kg solution}}$$

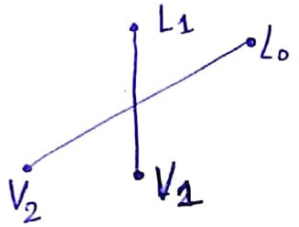
$$N_V = \frac{B}{V} \text{ , } N_{overflow}$$

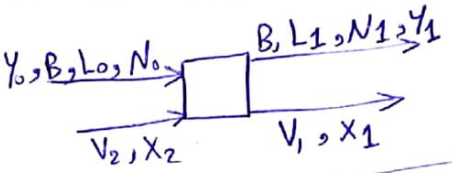
$$N_L = \frac{B}{L} \text{ , } N_{underflow}$$

$$x, y = \frac{\text{kg A}}{\text{kg A + kg B}} \text{ , at equilibrium } x_A = y_A$$

(x over, y under)

* Single stage leaching





$$L_o + V_2 = L_1 + V_1 = M$$

composition balance: $L_o y_{A_o} + V_2 x_{A_2} = L_1 y_{A1} + V_1 x_{A1} = M x_{MA}$

dry solid (B) balance: $B = N_1 L_1 = N_2 L_2 = M_2 N_{M_2}$: طوّل الحل

① بوجد المجاهيل V_2 و L_o: $L_o(y_{A_o}, N_o)$ و $V_2(x_{2A}, N_2)$

$L_o \rightarrow$ in feed : عادة "ما عندي" (C) داخل بال feed اقرأ السؤال صح

$$L_o = A + C \text{ , } N_o = \frac{B}{L_o} \text{ , } y_{A_o} = \frac{A}{L_o}$$

C : solvent in feed

② $V_2 \rightarrow$ feed : عادة "ما عندي" (A) داخل مع الـ solvent اقرأ السؤال صح

$$V_2 = A + C \text{ , } N_2 = \frac{B}{V_2} \text{ , } x_{A_2} = \frac{A}{V_2}$$

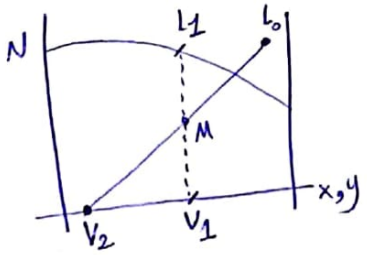
A : solute in solvent

③ mass balance ← حتى أوجد المجاهيل $(x_M) M$

$$L_o + V_2 = M$$

$$y_o L_o + x_2 V_2 = x_M M$$

$x_M = x_1 = y_1$ وجد منهما L_1 و V_1



④ حتى أوجد L_1 و V_1 (معي x_1 و y_1) واما ما معي بالشكل أو بالسؤال, lever rule

$$L_1 + V_1 = M$$

بوجد واحد منهم L_1 أو V_1 وبكون السؤال اخل

lever rule

مجهول واحد

$$\frac{L_1}{M} = \frac{MV_1}{L_1 V_1} \leftarrow \text{معروفة}$$

$$\frac{V_1}{M} = \frac{L_1 M}{L_1 V_1}$$

Scanned by CamScanner

* Multi cross-current leaching

① نفس الخطوات السابقة بالظبط single بركم L_0 مع V_2 وبوصل M_1 و X_{M_1} و L_1 و V_1

② بعتبر L_1 هي الـ 2nd stage feed

③ بوصّل L_1 مع V_2 أو سيبهما V_0 عشان ما تتحزبط

④ mass balance عشان أوجد X_{M_2}

$$y_{1A} L_{1A} + V_0 X_0 = X_{M_2} M_2$$

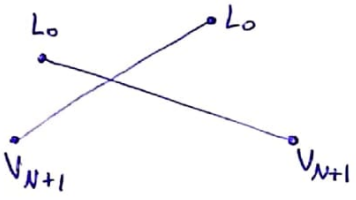
$L_1 + V_0 = M_2$ هنا X_0 و y_{1A} من الخطوات السابقة

⑤ بعد ما أوجد $X_{M_2} \cdots y_2 = X_2 = X_{M_2}$ وعند خط بوصل L_2 و V_2

⑥ بعتبر L_2 هي 3rd stage feed وبعيد الخطوات من (٣)، وبعمل أكرر لحد أوصل أو أتخطى V_0 وبعدكم stage

---

* Multi-stage counter-current leaching



$$L_0 + V_{N+1} = V_1 + L_N = M$$

$$\left[y_0 L_0 + x_{N+1} V_{N+1} = x_1 V_1 + y_N L_N = x_M M \right]_A$$

① بوصّل L_0 ، V_{N+1} (feed solvent) مع بعض

② نجيب الـ M مثل قبل mass balance

③ معطى هنا معلومات عن الـ final ← إمّا V_1 أو L_N

④ بوصّل V_1 مع M وعبره لحد ما أوجد L_N أو العكس حسب شو معطيني بالسؤال

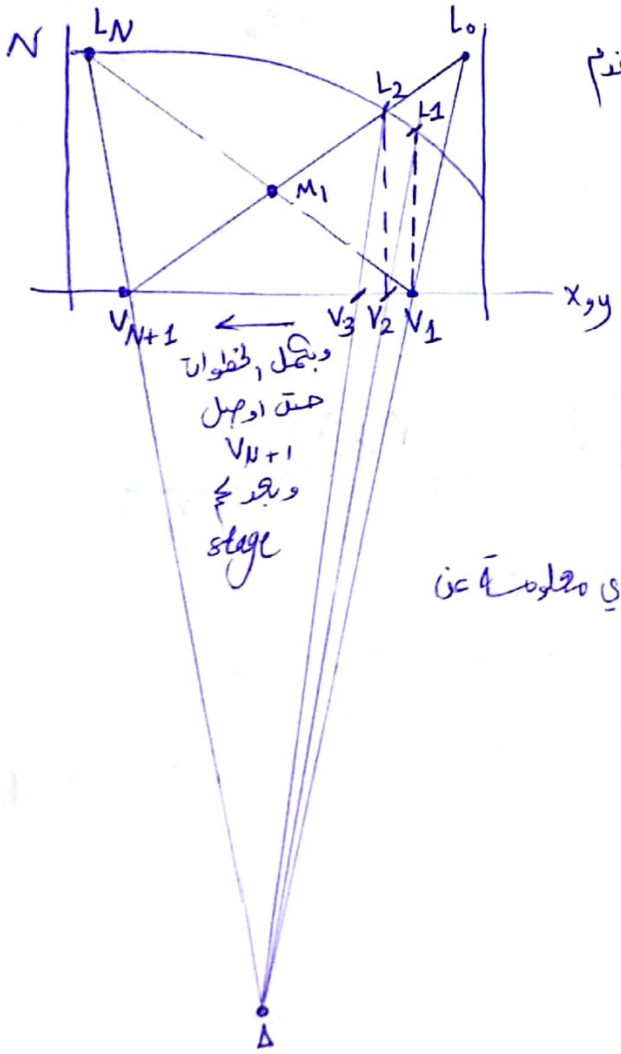
⑤ لحد ما أوجد (Δ) بوصّل (L_0 مع V_1) و (L_N مع V_{N+1}) وعبد الخطين لحد ما يتقاطعوا (نقطة التقاطع هي Δ)

⑥ عبد خط من V_1 لأعلى لحد ما أجيد L_1 . ثم بوصّل [L_1 مع Δ] تقاطع الخط مع V_1 لـ (axis x,y) بجيد عنده V_2

⑦ برجع أمدّد خط V_2 مع L_2 و بوصّل (Δ لـ L_2) وبجيد V_3 و هيك لحد ما أوصل آخر شي V_{N+1} وبعدكم stage

ask & believe & recieve

Scanned by CamScanner



* في حال ما أعطاني معلومات عن V_1 أو L_N بستخدم العلاقة: $\frac{B}{A} = \frac{N_N}{Y_N}$ بترسم خط بهذا الشكل

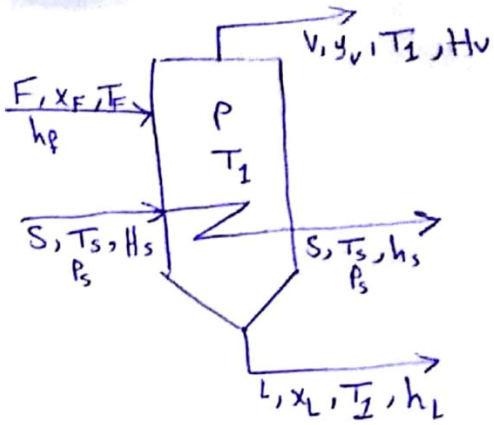
* أحيانًا حل السؤال يتطلب مني إيجاد (Δ) قبل تحديد L_N أو غيره

$$X_{\Delta_A} = \frac{Y_{AN} L_N - X_{AN+1} V_{N+1}}{L_0 - V_1}$$

↳ مثل الـ Task السابق ما كان معطى أي معلومة عن الـ solvent فرسمت Δ قبل

Scanned by CamScanner

* evaporation: single effect evaporator



material balance:

$$F = L + V$$
$$x_F F = x_L L + y_v V$$

energy balance:

$$h_F F + H_s S = h_s S + h_L L + H_v V$$
$$h_F F = S(h_s - H_s) + h_L L + H_v V$$
$$\Rightarrow \boxed{F h_F + S\lambda_s = h_L L + H_v V}$$

$$S\lambda_s = h_L L + H_v V - F h_F$$
$$S\lambda_s = (F-V)h_L + H_v V - F h_F = F h_L - V h_L + V H_v - F h_F$$
$$S\lambda_s = F(h_L - h_F) + V(H_v - h_L)$$

$$\begin{cases} h_L = C_p(T_1 - T_{ref}) \\ h_F = C_p(T_F - T_{ref}) \end{cases}$$

$$S\lambda_s = F(h_L - h_F) + V\lambda_v$$
$$\Rightarrow \boxed{S\lambda_s = F C_p(T_1 - T_F) + V\lambda_v}$$

→ h_s, h_F, h_L → small (h): enthalpy of liquid.

→ H_v, H_s → capital (H): enthalpy of vapor

→ λ_s, λ_v → latent heat of vaporis. = $(H - h)$ ↓ (h_{fg}) in steam table.

* from steam table H, h, λ

$$\Rightarrow \boxed{S\lambda_s = Q = UA(T_s - T_1)}$$

---

* Multiple-effect evaporators

$$F = V + L \quad , \quad V = V_1 + V_2 + \cdots + V_N$$
$$F x_F = y_v V + x_L L \longrightarrow$$

F و V بطلع قيم

mass balance ① بيحل

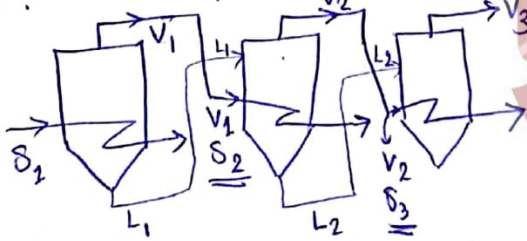
② بستوف سنو بدقطن بدي حرارات وضغوطات .. بطلع الـ enthalpy الرمز أو الـ (λ) في الـ multiple بنستخدم (λ) حتى نقدر نوجد في الحالة:

(evaporator الأول) $\lambda_{s_1} S_1 = F C_{p_F}(T_1 - T_F) + V\lambda_{v_1}$

(evaporator الثاني) $V_1 \lambda_1 = (F - V_1) C_{p_1}(T_2 - T_1) + V_2 \lambda_{v_2}$

الشرح في الـ evaporator = إنه كل vapor طالع من الـ evap. السابق بعتبر سخن داخل على الـ evaporator اللي بعده

وكل liquid طالع من next الـ feed evap. recieve



ask ;; believe recieve

Scanned by CamScanner

٤) نستخدم المعادلة

$$q_1 = q_2 = q_n \cdots$$

$$U_1 A (T_s - T_1) = U_2 A (T_1 - T_2) = U_n A (T_{n-1} - T_n)$$

V_1 هو البخار الناتج من الـ evap السابق لذلك $T_{s_2} = T_1$

بطلع الحرارات المجهولة الباقية من خلال المعادلات.

٤)

	First effect	Second effect	----
Stream Temp	T_s الداخل معلوم	$T_{s_2} = T_1$ S_2 هو V_1 الناتج	$T_{s_{final}} = T_{solution}$ بعد الأخير
solution Temp	T_1 بوجدها من فرق (٣)	T_2 بوجدها من فرق (٣)	T_{final} → بتكون معطاه. معي أو بعطى P_{final} وبوجد منها الحرارة.
ΔT	$T_s - T_1$	$T_1 - T_2$	$T_2 - T_{final}$
U معطى	U_1	U_2	U_3
Latent heat of vaporization λ_{steam}	λ at T_s الداخل على أول evap	λ at $T_{s_2}(T_1)$ الداخل على ثاني evap	λ at $T_{s_{final}}$ اللي الداخل على آخر evap
λ_{vapor}	λ at T_1 وتساوي الجاية عند T_{s_2}	λ at T_2 تساوي الجاية عند $T_{s_{final}}$	λ at T_{final} بتكون معطاة بالسؤال

٥) بعد ما نعبر المعلومات عندي بمبدأ كل evap وبشتغل عليه

$$S_0 \lambda_0 = V_1 \lambda_1$$

أول معادلة فيها مجهول S_0 و V_1

$$S_0 \lambda_0 = F C_p (T_1 - T_F) + V_1 \lambda_1$$

عادة هذا الحد بساوي صفر

$$V_1 \lambda_1 = (F - V_1) C_p (T_2 - T_1) + \lambda_2 V_2$$

الثاني

$$V_1 \lambda_1 = \lambda_2 V_2$$ ثاني معادلة

⋮

وبكمل لباقي الـ evaporators .. بعبر عندي معادلات بعدد مجاهيل معينين وبستخدم

$$V = V_1 + V_2 + V_N \cdots$$

حتى يعبر عدد المجاهيل = عدد المعادلات

٦) بطلع الـ Area من أي evaporator ..

$$Q = U A \Delta T$$ ومنها نفسر Area

Scanned by CamScanner

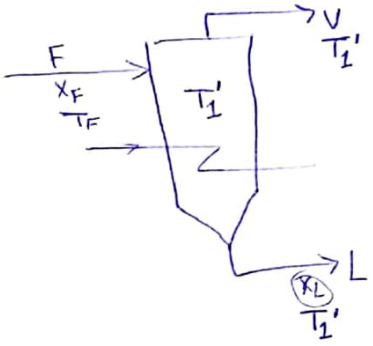
* لو في عندي boiling pt. rise .. يعني الـ Feed مش water بس فيها آخذ مرات الـ enthalpy ما باخدها مباشرة من جداول الـ steams .

← بالنسبة للـ Feed بكون معطى X_F ودرجة حرارة ... وبقرأ من الـ enthalpy-concentration chart
↳ بطلع معي h_F

← بالنسبة للـ liquid بكون معطى X_L ودرجة حرارة أو ضغط .. وبقرأ بالبداية من boiling point rise chart
↳ بطلع كم درجة الحرارة مع الـ X_L .. يعني طلع معي T جديدة

↳ الآن بطلع من الـ enthalpy-concentration chart عند الحرارة الجديدة .. ✓ h_L

← بالنسبة للـ vapor حتى أطلع H_V ← بروح على الـ steam tables وبوجد H_V عند الحرارة الجديدة



T_1' ← درجة الحرارة عند X_L الجديدة

← الـ enthalpy من الـ enthalpy-concentration chart
↳ الـ liquids بقرأهم فقط .. الـ H_V من steam tables .

Scanned by CamScanner

Cooling Towers :

← Cooling Towers . خطوات حل أسئلة ال

① رسم equilibrium curve ..

$$H_{Y_i} = (1.005 + 1.88\,H_i)10^3\,T + 2.501\times10^6\,H_i$$

← هو ثابت مهما غيرنا قيم الحرارة .. بكل الأسئلة .

② رسم ال operating line .

$$H_Y = \left(H_{Y_1} - T_{L_1}\frac{L c_L}{G}\right) + \frac{L c_L}{G}T_L$$

L: water flow kg water /s.m²

G: dry air flow

c_L: heat capacity of water (4.187 kJ/(kg.K))

T_{L_1}: Temperature of inlet water (out)

عادة مُعطى في السؤال

*** H_{Y_1} : enthalpy at $T_{wet\ bulb}$

enthalpy أقرأ T_{wb} و أقرأ ال ← لو ما أعطى حرارة الـ inlet gas حسب اتقاطعها مع

← يبني على ثابت .. adiabatic لأنه عملية ال ← بيسمح حل السؤال بدون T_G

مهما كانت $T_{G_{in}}$ و أقرأ ال enthalpy من ال Cooling T_{WB}

← بدي أعرف نقطة حتى ارسم اللاين (T_{L_2}, H_{Y_2}) و (T_{L_1}, H_{Y_1}) ومنها

من خلال المعادلة $G(H_{Y_2} - H_{Y_1}) = L c_L (T_{L_2} - T_{L_1})$

← خط ال operating بيبدأ بـ T_{L_1} و بنتهي بـ T_{L_2} .

③ بنرسم الـ lines constant slope من خلال المعادلة

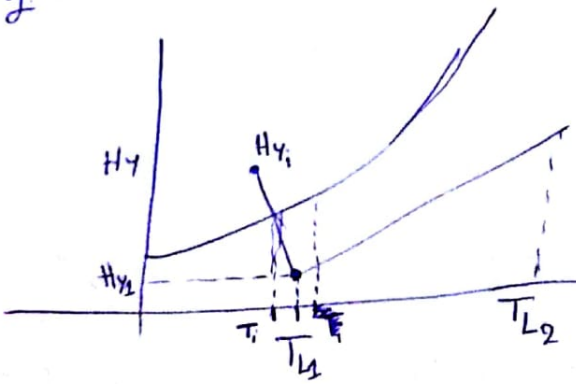
$$\frac{H_{Y_i} - H_Y}{T_i - T_L} = -\frac{h_L a_{H,L}}{M_B P K_G a_M}$$

$H_{Y_i} - H_Y$ من ال equilibrium

$T_i - T_L$ من ال operating

(-) لأنه السالب

$\frac{h_L a_{H,L}}{M_B P K_G a_M}$ ثابت مُعطى في السؤال .



مثلي بدي أوجد أول خط

إما أختار نقطة على ال eq. (T_{L_i}, H_{Y_i})

و أختار حرارة عشوائية T_L و بوجد H_Y

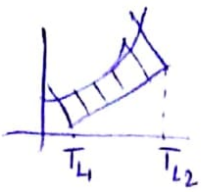
أو أختار نقطة على ال oper. (T_{L_1}, H_{Y_1}) مبني

لما أختار حرارة عشوائية من T_{L_1} و بعوض

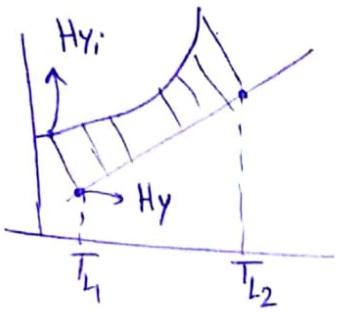
بالمعادلة $\frac{H_{Y_i} - H_{Y_1}}{T_i - T_{L_1}} = -(\text{قيمة})$

Scanned by CamScanner

يوجد مجموعة lines الرياضين اللذين بنفس الطريقة لكن أهم شيء أوجد الخطأ عند T_{L1} و T_{L2} عشان أعرف الرتبة



④ بعمل جدول.



equilibrium H_{Yi}	operating H_Y	$H_{Yi} - H_Y$	$\frac{1}{H_{Yi} - H_Y}$
باخد القيم مقابل حصة الكل فط اللي equi curve	اللي فاتح الـ operating		$f(H_Y)$ $f(x) = \frac{1}{H_{Yi} - H_Y}$

⑤ جاي أوجد NTU (number of transfer units)

$$NTU = \int_{H_{Y_{initial}}}^{H_{Y_{final}}} \frac{dH_Y}{H_{Yi} - H_Y}$$

بقدر أحل manually بطريقة Trapizoidal

$$NTU = \frac{\Delta x}{2}\left[f(H_Y) + 2f(H_{Y_2}) + 2f(H_{Y_3}) + \dots + f(H_{Y_{final}}) \right]$$

(H_Y operating اللي فاتح، H_Y الأولى، $H_{Y_{final}}$ الأخيرة)

$$\Delta x = \frac{H_{Y_{final}} - H_{Y_{initial}}}{n}$$

(n عدد الأقسام)

⑥ بوجد الـ HTU (height of transfer units)

$$HTU = \frac{G}{M_B P K_G a_M}$$

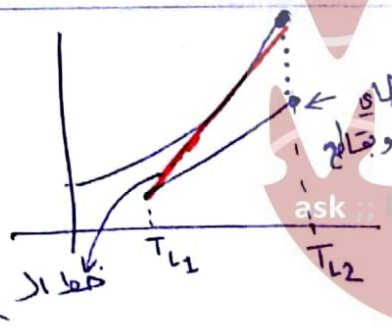
عشان بالسؤال يعطي K_G لازم $K_Y = P K_G$

معطيات ناقصة فيها.

⑦ حساب ارتفاع الـ Cooling Tower : $z = (HTU).(NTU)$

* Minimum value of G (G_{min})

$$slop_{max} = \frac{L C_L}{G_{min}}$$



فط الـ operating بجيبه لهنا

Scanned by CamScanner

* Batch drying

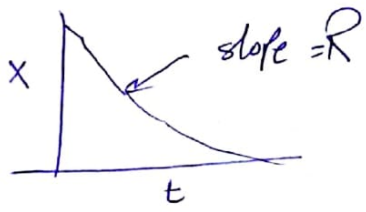
L → wet solid mass كتلة الرطب
L_s → dry solid mass كتلة الجاف
X → free moisture content

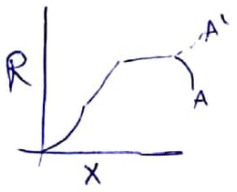
$X = X_T - X^*$ ← equilibrium moisture content

$X_T = \frac{L - L_s}{L_s} = \frac{\text{kg total water}}{\text{kg dry solid}}$ (جاف)

$R = -\frac{L_s}{A}\frac{dX}{dt} = \frac{\text{mass of water evaporated}}{\text{surface area exposed for drying time}}$

R: drying rate
L: mass of wet solid which contains dry solid of mass (L_s)
X: free moisture content
A: drying surface area

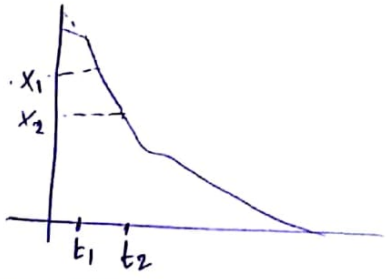




Point C:
→ critical free moisture content X_c
↳ falling in R, $T_{surface}$ ↑

* Constant-rate drying Period :

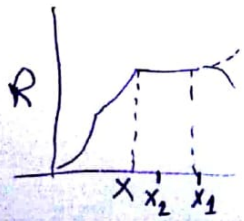
A) using experimental X(t) curve.



$R = -\frac{L_s}{A}\frac{dX}{dt}$

↳ X_1 → read t_1 , X_2 → read t_2
↳ drying time period required $t = t_2 - t_1$

B) using experimental R Vs X curve.



$R_c = -\frac{L_s}{A}\frac{dX}{dt}$
↓ constant

→ Read R_c from chart
→ تؤخذ من جدول

$t = t_2 - t_1 = -\frac{L_s}{AR_c}(X_1 - X_2)$

Scanned by CamScanner

C. Using ~~convection~~ convection heat transfer only

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

T_w : wet bulb Temp.
h : convection heat transfer coefficient
λ_w : latent heat of vap at T_w
H_w : humidity at T_w

$$R_c = k_y M_B (H_w - H)$$

$$t = \frac{L_s}{A} \frac{x_1 - x_2}{k_y M_B (H_w - H)}$$

* To find h :
↳ Parallel flow to surface
$h_c = (0.0204)\, G^{0.8}$
↳ Perpendicular flow to surface
$h_c = 1.17\, G^{0.37}$

$G = \rho u$ ← سرعة

slide #66

total drying rate = $R_c A$: kg water vapor /hr

$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$ ← rate of drying لإيجاد

T_w من humidity chart
λ_w من steam tables

بدي اسوي كيف طريقة 4 واجبات عالقانون ← h بدي إجاد

$h_c = 0.0204\, G^{0.8}$ أو $h = 1.17\, G^{0.37}$

$G = \rho v$ ← بدي إجاد G

$\rho = \frac{1}{v}$ ← إيجاد من الجداول

$v_H = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H)T$

rate of drying إيجاد ← $A \times R_c$ يعني ←

D. Conduction, radiation and convection heat transfer

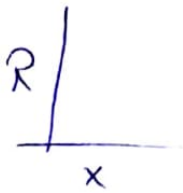
trial & error ↵

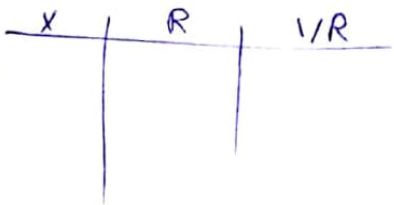
Scanned by CamScanner

*falling rate drying Period $R = R(x)$

$$t = \int_{t_1=0}^{t_2=t} dt = \frac{-L_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R} \quad \frac{1}{R'}$$

أو



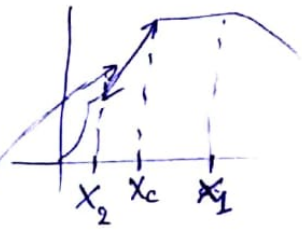


كل على ال ← Trapizoidal rule
أو ... simpson rule

لو عرفنا انه الزمن المطلوب يتوزع constant rate ← الزمن لـ 2 integral

$$t = \underbrace{\frac{-L_s}{A} \int_{X_1}^{X_{const\ rate}} \frac{dX}{R}}_{\text{هذا بنحوله term}} + \underbrace{\frac{-L_s}{A} \int_{X_{const\ rate}}^{X_2} \frac{dX}{R}}_{\text{هذا بنحله جدول}}$$

$R_{constant}$



لو ال falling rate تقريبًا linear بقدر أعوض

$$\frac{-L_s}{A} \int_{X_c}^{X_2} \frac{dX}{R} \longrightarrow \frac{-L_s}{A} \cdot \frac{X_c}{R_c} \ln\left(\frac{X_2}{X_c}\right)$$

لأسهل ما أعمل جدول وبهذه الوقت

adar
ask ;; believe & recieve

Scanned by CamScanner