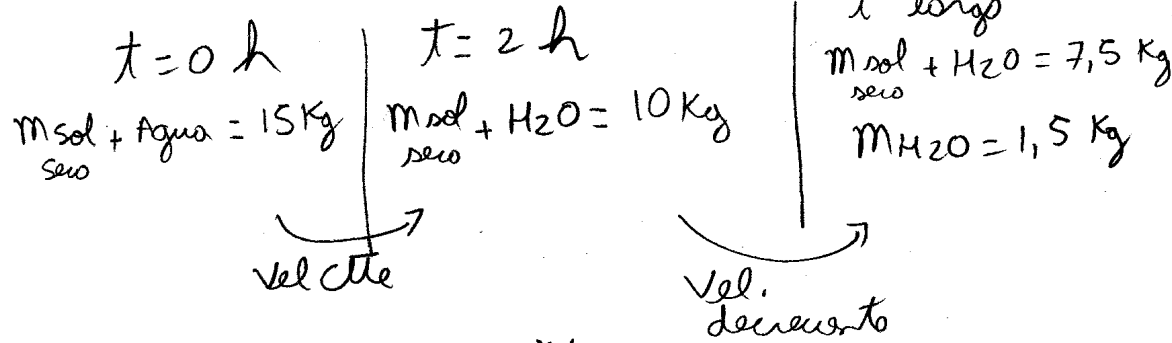
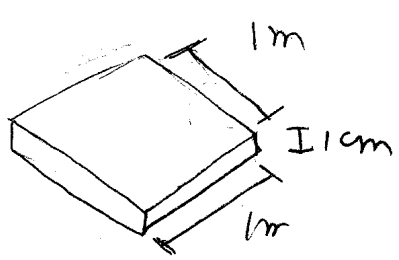


Problema: Secado

①



¿ $X_c$ ? ¿ $N_c$ ? ¿ $X^*$ ? ¿ $X - X^*$  | Pto. aut.?

Tras un tiempo suficiente el sólido ya alcanza su humedad de equilibrio es por ello que la masa de sólido seco será:

$$S_s = m_{\text{sol}} + \text{H}_2\text{O} - M_{\text{H}_2\text{O}} = 6 \text{ Kg}$$

De esa manera podemos determinar la humedad inicial

$$X_0 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{sólido seco}}} = \frac{15 - 6}{6} = 1,5 \text{ Kg agua / Kg sólido seco}$$

$$X^* = \frac{1,5 \text{ Kg H}_2\text{O}}{6 \text{ Kg sólido seco}} = 0,25$$

$$X_c = \frac{10 - 6}{6} = 0,667 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg sólido seco}}$$

la Velocidad en el período constante será:

$$N_c = -\frac{S_s}{A} \frac{dX}{dt} = \frac{-6 \text{ Kg SS}}{2 \text{ m}^2} \times \left( \frac{0,667 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{Kg SS}} - 1,5 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{Kg s.s}}}{2 \text{ h} - 0 \text{ h}} \right)$$

$$N_c = 1,25 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

A modo (se seca por ambos lados)

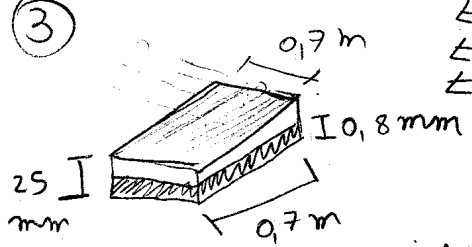
la humedad libre en cualquier punto será:

$$X - X^*$$

Para el punto crítico  $X_c - X^* = 0,417 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg sólido seco}}$

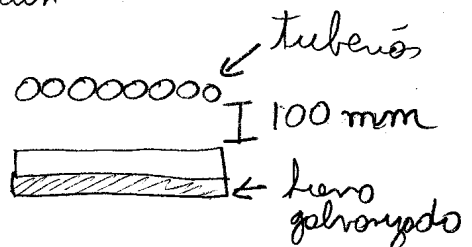
Notación  $\rightarrow$  s.s representa sólido seco.

3



← Aire  
 ← @  $T_6 = 65^\circ\text{C}$   
 $y' = 0,01 \frac{\text{kg Agua}}{\text{kg A.S}}$   
 $V = 3 \text{ m/s}$

Adicionalmente se tienen tuberías de agua



¿ $N_c$ ? (considerando  $Q_R, Q_C, Q_K$ )  
 y sin considerar  $Q_R, Q_K$ )

Adicionalmente, se conoce:

$K_m = 45 \text{ N/m}^2 \text{ K}$   
 $K_s = 3,5 \text{ N/m}^2 \text{ K}$   
 $\epsilon = 0,94$

Para el gas @  $T_6, Y'$  se lee de la carta psicrométrica

$V_{H1} = 15,6 \text{ ft}^3/\text{lb a.s} = 0,974 \text{ m}^3/\text{kg}$

Para ser usado por lote se tiene:

$$\frac{(Y_s - Y)}{h_c / K_y} \lambda_D = \left( 1 + \frac{U K}{h_c} \right) (T_6 + T_s) + \frac{h_R}{h_c} (T_R - T_s)$$

Se desconoce:  $Y_s, T_s$ .

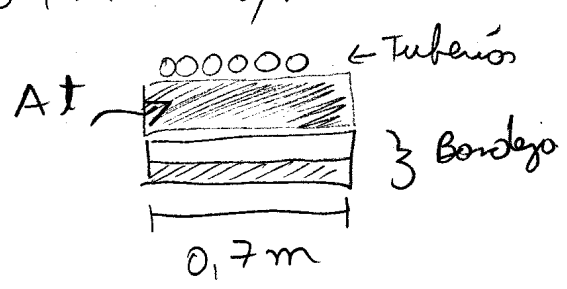
El coeficiente convectivo de convección será:

$$h_c = 0,11 \text{ Re}^{0,29} \left( \frac{C_p \rho}{Pr^{2/3}} \right)$$

Para el Aire @ 338 K

$C_p = 1008,52 \text{ J/kg K}$   
 $Pr = 0,7017$   
 $\mu = 202,54 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s}$

$Re_e = \frac{d_e \cdot v}{\mu}$        $d_e = \frac{4 A_t}{\text{Perimetro}}$



$$d_e = \frac{4 \times (0,1 \text{ m} \times 0,7 \text{ m})}{2 \times 0,1 \text{ m} + 2 \times 0,7 \text{ m}} = 0,175 \text{ m}$$

El flujo de gas:

$G = 96 \cdot V$   
 $\rho_g = \frac{1}{V_R} (1 - Y') = 1,037 \text{ kg/m}^3$

$G = 3,111 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

$Re_e = 26879,88 \rightarrow h_c = 22,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

El coeficiente por radiación:  

$$h_r = \frac{\epsilon \sigma (T_R^4 - T_S^4)}{T_R - T_S} = \frac{5,358 \times 10^{-8} (393^4 - T_S^4)}{393 - T_S}$$

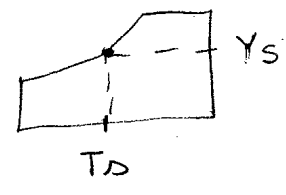
luego  $\frac{1}{U_K} = \frac{1}{h_c} + \frac{Z_m}{K_m} + \frac{Z_s}{K_s}$   $Z_m = 0,8 \times 10^{-3} \text{ m}$   
 $Z_D = 24,2 \times 10^{-3} \text{ m}$

$U_K = 19,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\frac{h_c}{K_g} = 1,005 + 1,884 \underset{0,01}{Y} = 1,024 \text{ KJ/Kg K}$

Se realiza un tanteo:

- ① Suponer como semilla  $T_D = T_{BW}$  (adiabático)
  - ② Con  $T_D$  determinar  $\lambda_s @ T_D$  así como  $Y_s$  y luego determinar  $T_D$  de la ecuación para sereno por lote
- $\lambda_s \rightarrow h_{fg}$  (tablas vapor)



1ª Semilla

@  $T_{G1}, Y_1 \rightarrow T_{BW} = 87,5 \text{ }^\circ\text{F} = 302 \text{ K}$

$T_S^{sup}$ ( $^\circ\text{F}$ )	$T_S^{sup}$ (K)	$T_D^{sup}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\lambda_s @ T_S$	$Y_s$
84	302	30	2429,87	0,0255
104	313	40	2405,97	0,049
95	308	35	2417,97	0,0365
118	321	48	2381,96	0,0765

Interpolando a cero  $\rightarrow T_D = 311,6 \text{ K} = 38,45 \text{ }^\circ\text{C}$

Para  $T_D = 38,45 \text{ }^\circ\text{C}$  Se tiene que:  
 $\lambda_s = 2409 \text{ KJ/Kg}$   
 $Y_s = 4,556 \times 10^{-2}$

Entonces, la velocidad en el período anterior es:

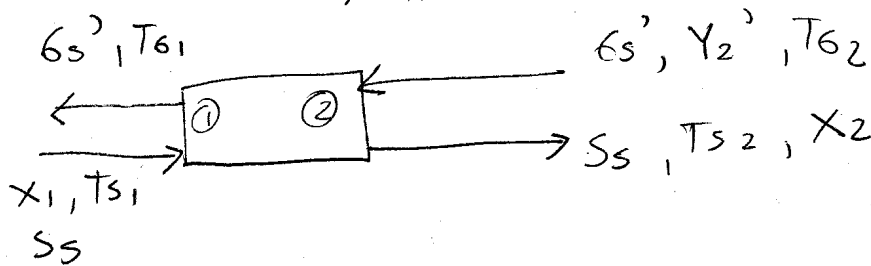
$$Nc = \frac{(h_c + U_k)(T_6 - T_s) + h_R(T_R - T_s)}{\lambda_s}$$

$$Nc = 7,863 \times 10^{-4} \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \cdot \text{D}}$$

Caso B: Sereno adiabático (Sin radiación o conducción)  
 $U_k = h_R = 0$  entonces:

$$Nc = \frac{h_c (T_6 - T_s)}{\lambda_D} = 3,185 \times 10^{-4} \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \cdot \text{D}}$$

(4)



¿6s? ¿Y1?

Datos  
 $Ss = 1000 \frac{\text{lb D.S.}}{\text{h}}$

$X_1 = 0,04 \text{ lb H}_2\text{O}/\text{lb D.S.}$

$X_2 = 0,02$

$C_{ps} = 0,345 \text{ BTU}/\text{lb}^\circ\text{F}$

$T_{s1} = 80^\circ\text{F}$       $T_{s2} = 145^\circ\text{F}$

$T_{61} = 100^\circ\text{F}$       $T_{62} = 200^\circ\text{F}$

$Y_2 = 0,01 \text{ lb H}_2\text{O}/\text{lb D.S.}$

B.M  $Ss(X_1 - X_2) = 6s(Y_1 - Y_2)$

BE  $Ss H_{s1} + 6s H_{61} + \cancel{\Delta H} = Ss H_{s2} + 6s H_{62}$

Entalpía sólido  $H_s = (C_{ps} + X C_{p\text{Agua}}) (T_s - \frac{T_0}{32^\circ\text{F}}) + \cancel{\Delta H_A}$   
 1 BTU/lb °F

Evalúando:  $H_{s1} = 18,48 \text{ BTU}/\text{lb D.S.}$   
 $H_{s2} = 39,21$

$H_{62} @ T_{62}, Y_2' = 51,834 \text{ BTU}/\text{lb a.s.}$   
 corto psum.

Sustituyendo:  
BE  $6s(H_{61} - 51,83) = 1000(39,21 - 18,48) = 20930 \text{ (1)}$

BM  $1000(0,04 - 0,02) = 6s(Y_1 - 0,01) \text{ (2)}$

Por otra parte:  $H_{61} = (0,24 + 0,45 Y_1') (\frac{T_{61}}{100^\circ\text{F}} - \frac{T_{ref}}{32^\circ\text{F}}) + 1075,8 Y_1$

(4)

Se tiene la expresión:

$$H_{61} = 16,32 + 1106,4 Y_1$$

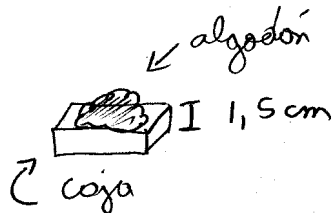
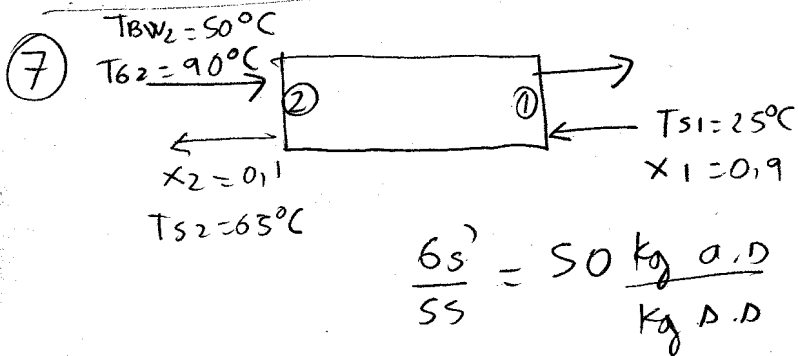
Sustituyendo en (1) y despejando:

$$6s = 38 / (Y_1 - 0,02)$$

Sustituyendo en (2) se resuelve:

$$6s = 2567,56 \text{ Lt airo / h}$$

$$y_1 = 0,0248 \text{ Lt H}_2\text{O / Lt airo}$$



$$6s' = 3000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$C_{ps} = 0,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

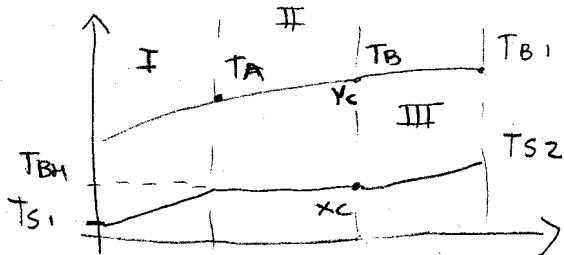
$$\rho_c = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$x_c = 0,4$$

$$x^* \rightarrow 0$$

Secador de túnel  $\rightarrow$  Domina T de Masa (Zona I despreciable)

¿Osecado?



Se lee de la carta Psuométrica:

@  $T_{BW} = 50^\circ\text{C}$   $\rightarrow Y_2' = 0,0675$   
 $T_{62} = 90^\circ\text{C}$

BM global

$$6s' (Y_1' - Y_2') = S_s (x_1 - x_2)$$

Despejando:  $Y_1' = 0,0835$

BM zona II  $6s' (Y_c - Y_1') = S_s' (x_c - x_1')$

Despejando:  $Y_c = 0,0735$

Se sabe que el tiempo de secado es:

$$\theta = \theta_I + \theta_{II} + \theta_{III}$$

⑤

$$\Theta_{II} = \frac{S_s}{A K_y} \frac{G_s}{S_s} \int_{Y_1}^{Y_c} \frac{dY}{Y_s - Y} \quad K_y = \frac{hc}{CH}$$

$$CH = 0,275 \text{ BTU/Lb}^\circ\text{F} = 1151,37 \text{ J/Kg K}$$

$$G_s = 3000 \text{ Kg/h m}^2$$

Para flujo de aire paralelo al sólido

$$hc = 14,3 \cdot G_s^{0,8} \quad 2500 < G < 30000$$

$$\text{Evaluando: } hc = 8650,3 \text{ J/s m}^2\text{K} \quad \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2} \right] \quad hc: \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$K_y = 7,513 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\frac{S_s}{A} = \frac{G_s V_s}{A} = \frac{G_s Z_D}{A} = G_s Z_D = 10,5 \text{ Kg/m}^2$$

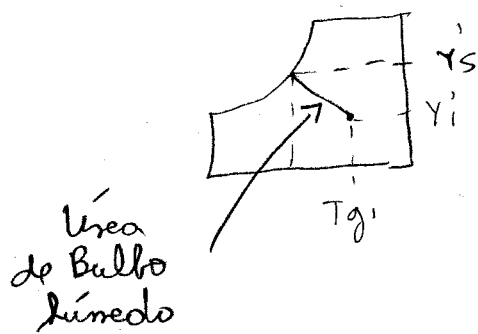
Integrando la expresión para  $\Theta_{II}$

$$\Theta_{II} = \frac{S_s G_s}{A K_y S_s} \ln \left( \frac{Y_s - Y_c}{Y_s - Y_1} \right) \quad (1)$$

Asumiendo serido adiabático, se calcula  $Y_s'$  como

Se sabe por una línea de TBW constante

$$Y_s' = 0,085$$



Línea de Bulbo  
Línea de Bulbo

Evaluando (1)

$$\Theta_{II} = \frac{10,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{7,513 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2}} \cdot \frac{50 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}}{\text{Kg}} \cdot \ln \left( \frac{0,085 - 0,0735}{0,085 - 0,0835} \right) = 142,34 \text{ seg}$$

El tiempo de secado para la zona III  $\rightarrow$

$$\Theta_{III} = \frac{Ss}{A} \left( \frac{x_c - x^*}{k_y} \right) \int \frac{dx}{(Y_s - Y)(x - x^*)}$$

la humedad de equilibrio  $x^* \rightarrow 0$

$$\frac{Ss}{A} \left( \frac{x_c}{k_y} \right) = 0,559$$

$$y = y_2 + (x - x_2) \frac{Ss}{65}$$

$$I = \int_{x_2}^{x_c} \frac{dx}{(Y_s - Y)(x - x^*)} = 92,623$$

$$\Theta_{III} = 51,78 \text{ seg}$$

$$\Theta = 194,12 \text{ seg}$$

6) Secador rotatorio

$L = 6 \text{ m}$   
 $D = 1,2 \text{ m}$

$T_{G1} = 38^\circ \text{C}$

$T_{G2} = 90^\circ \text{C}$

$\phi = 90\%$   
 $T_G = 21^\circ \text{C}$

$T_{S1} = 34^\circ \text{C}$   
 $x_1 = 0,25$

$x_2 = 0,02$

$Ss = 1 \text{ Ton/h}$

$\dot{Q}_s?$   $\dot{U}_a?$

$\phi = 90^\circ \text{C}$  corta  
 $T_G = 70^\circ \text{F}$  psuom.

$y_2' = 0,0143$   
 $V_{H1} = 13,66 \text{ ft}^3/\text{lb a.s}$

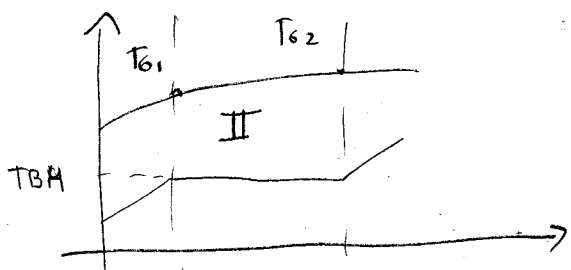
Weyo del calentador

$Y_2' = 0,0143$

Corta  $T_{BW} = 95,8^\circ \text{F}$   
psuom.

$T_{G2} = 90^\circ \text{C} = 194^\circ \text{F}$

En un secador rotatorio demue la T. de color



Sólo es importante la zona II

Se puede establecer que:

$$T_{BH1} \approx T_{BH2} \approx 96^\circ F$$

Con  $T_{BH} = 96^\circ F$   $\xrightarrow{\text{conste}}$   $Y_1' = 0,037$

$$T_{G1} = 38^\circ C = 100,4^\circ F \text{ presuom}$$

BM  $G_s' (Y_1' - Y_2') = S_s (X_1 - X_2)$

$$G_s' = \frac{S_s (X_1 - X_2)}{Y_1 - Y_2} = 10,132 \text{ Ton/h} = 20264 \frac{\text{Lb a.s}}{\text{h}}$$

$$Q_G = G_s' \cdot V_{h1} = 276806,24 \text{ ft}^3/\text{h}$$

los dimensiones del secador rotatorio son:

$$D = 3,94 \text{ ft} = 1,2 \text{ m}$$

$$z = 19,69 \text{ ft} =$$

$T_{G2}$

$$N_{TG} = \int_{T_{G1}}^{T_{G2}} \frac{dT_G}{T_G - T_s}$$

$$z = H_{TG} \cdot N_{TG}$$

$$H_{TG} = \frac{G_s' C_h}{U_a}$$

$$C_h = 0,24 + 0,45 Y' = 0,252 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ F}$$

Para la zona II:

$$N_{TG} = \frac{\Delta T_G}{\Delta T_{ML}}$$

$$\Delta T_G = T_B - T_A$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_B - T_{BH}) - (T_A - T_{BH})}{\ln \left( \frac{T_B - T_{BH}}{T_A - T_{BH}} \right)}$$

Como se desprecian los zeros 1 y 2  $T_A = T_{G1}$ ;  $T_B = T_{G2}$

$$N_{TG} = \ln \left( \frac{T_{G2} - T_{BH}}{T_{G1} - T_{BH}} \right) = 3,06$$

luego:  $H_{TG} = \frac{z}{N_{TG}} = \frac{19,69 \text{ ft}}{3,06} = 6,433 \text{ ft}$

$$H_{TG} = \frac{G_s' C_h}{U_a} \rightarrow U_a = \frac{G_s' C_h}{H_{TG}}$$

$$U_a = \frac{20264 \frac{\text{Lb a.s}}{\text{h}} \cdot 0,252 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ F}}{\frac{\pi D^2}{4} \leftarrow 3,94 \text{ ft}} = 65,11 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^3 \text{ }^\circ F}$$