

# GUÍA 9 - Secado

## Problema 6

1° Cuatrimestre - 2025



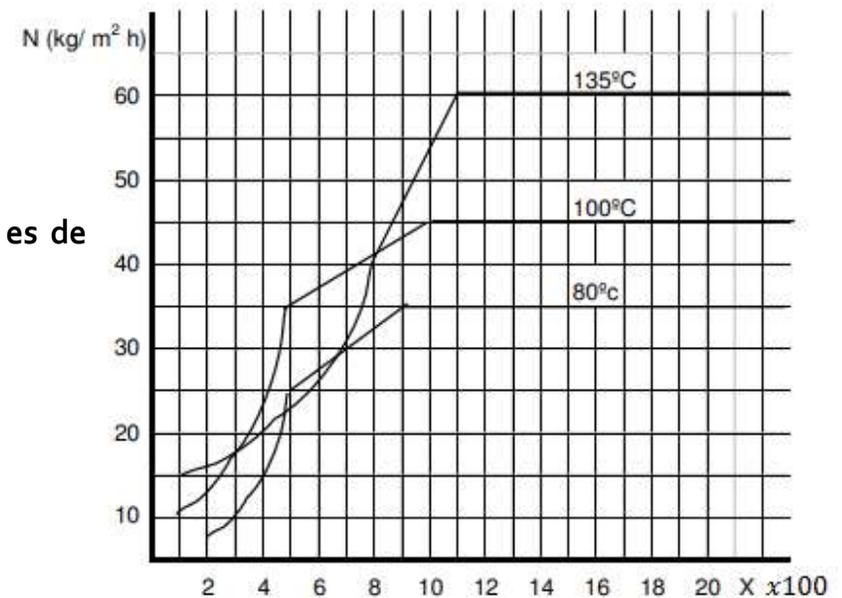
# Enunciado

Se utiliza un secadero túnel de 3 etapas (cada cual opera en forma aislada) para secar un sólido desde una humedad inicial del 0.22 (base seca) hasta una humedad final del 0.04 (base seca). El equipo opera con aire a una velocidad de 1.5 m/s tangencialmente, (se dan los gráficos experimentales). La primera etapa opera con aire de 135 °C, la segunda a 100 °C y la tercera a 80 °C debido a que el sólido es termosensible. El sólido debe cumplir con las siguientes especificaciones al final de cada etapa:

- Etapa 1: 0.15 (base seca)
- Etapa 2: 0.10 (base seca)

El tiempo real de secado es 10 *minutos* y la velocidad de los carritos es de 1 m/min .

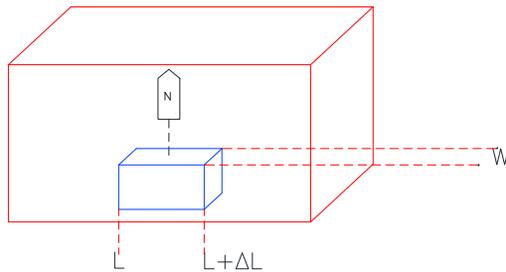
1. Estime el área específica de secado  $\left(\frac{m^2}{kg_{ss}}\right)$ .
2. Calcule la longitud de secado de cada etapa.



# Resolución

Las ecuaciones que reinan el BM en secaderos túneles puede describirse según las siguientes ecuaciones:

Secador tubular



$$0 = \dot{m}_{ss}X|_L - \dot{m}_{ss}X|_{L + \Delta L} - NW\Delta L$$

$$\frac{\dot{m}_{ss}X|_{L + \Delta L} - \dot{m}_{ss}X|_L}{W\Delta L} = -N$$

$$\frac{1}{W} \frac{d}{dL} (\dot{m}_{ss}X) = -N$$

$1/W$  / Área específica de secado

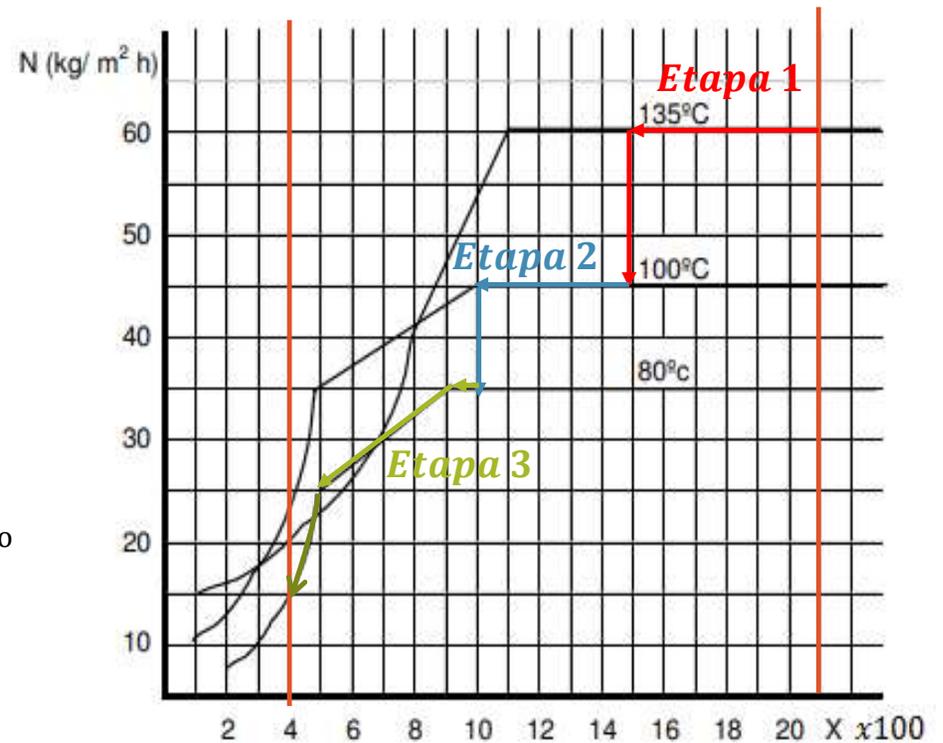
$$dL = -\frac{\dot{m}_{ss} dX}{W N}$$

$$\frac{dL}{d\theta} = v = cte$$

$$d\theta = -\frac{\dot{m}_{ss} dX}{vW N}$$

## Proceso de secado

Evolución del carrito:

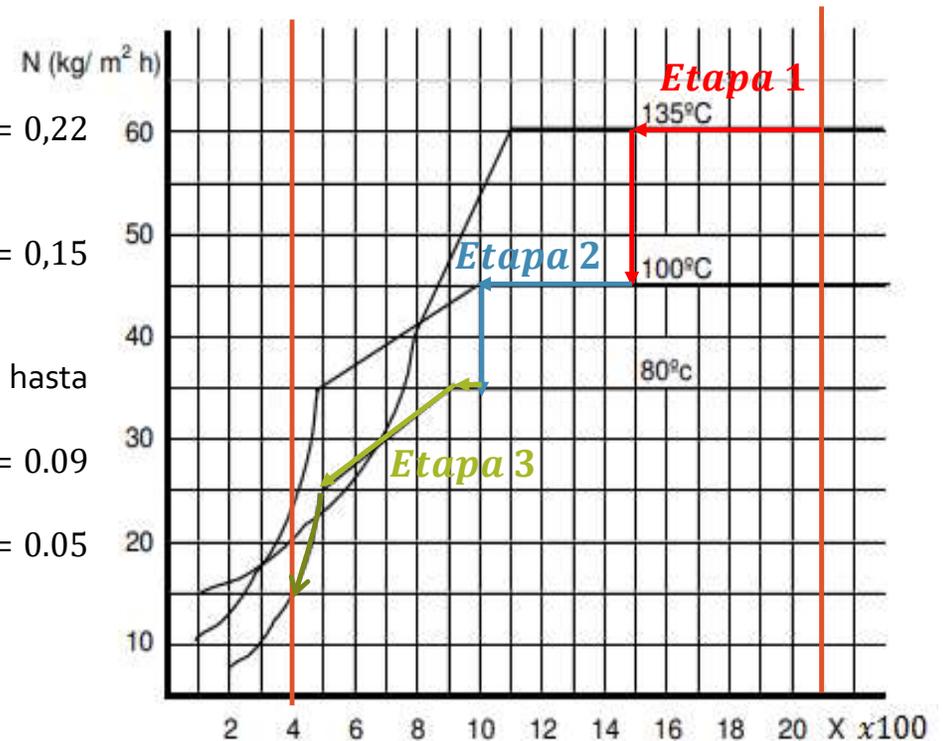
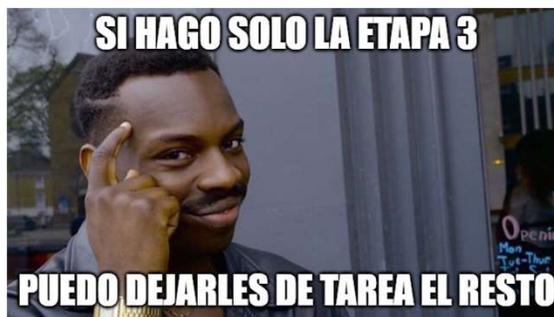


# Resolución

## Proceso de secado

En resumen:

- Etapa 1: Atraviesa exclusivamente la **zona precrítica** desde  $X_0 = 0,22$  hasta  $X_1 = 0,15$
- Etapa 2: Atraviesa exclusivamente la **zona precrítica** desde  $X_1 = 0,15$  hasta  $X_2 = 0,10$
- Etapa 3: Atraviesa una pequeña **zona precrítica** desde  $X_2 = 0,10$  hasta  $X_3 = 0,09$ .  
Luego, una zona de **velocidad descendente lineal** desde  $X_3 = 0,09$  hasta  $X_4 = 0,05$ .  
Finalmente, la zona de **velocidad descendente no lineal** desde  $X_4 = 0,05$  hasta  $X_5 = 0,04$ .



# Resolución

Etapas 3 - Zona Crítica

$$\theta_3 = -\frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \int_{X_2}^{X_3} \frac{dX}{N} = \frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \times \frac{(X_2 - X_3)}{N_{c3}}$$

Etapas 3. Zona postcrítica. Zona de velocidad decreciente lineal

$$N_{(X)} = \alpha X + \beta$$

$$\frac{N_{(X_3)} - N_{(X_4)}}{X_3 - X_4} = \alpha = \frac{35 \frac{kg}{m^2 h} - 25 \frac{kg}{m^2 h}}{0,09 - 0,05} = 250 \frac{kg}{m^2 h}$$

$$\beta = N_{(X_3)} - \alpha X_3 = 35 \frac{kg}{m^2 h} - 250 \frac{kg}{m^2 h} \times 0,09 = 12,5 \frac{kg}{m^2 h}$$

$$\theta_4 = -\frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \int_{X_3}^{X_4} \frac{dX}{N} = -\frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \int_{X_3}^{X_4} \frac{dX}{\alpha X + \beta} = \frac{\dot{m}_{ss}}{vW \alpha} \ln \left( \frac{\alpha X_3 + \beta}{\alpha X_4 + \beta} \right)$$

Etapas 3 - Zona postcrítica: zona de velocidad decreciente no lineal

$$\theta_5 = -\frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \int_{X_4}^{X_5} \frac{dX}{N} \approx -\frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta X_i}{N_{(X_i)}}$$

Sumando los aportes en tiempo de todas las etapas:

$$\theta_{tot} = 10' = 0,167 h = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5$$

$$\theta_{tot} = \frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \times \frac{(X_0 - X_1)}{N_{c1}} + \frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \times \frac{(X_1 - X_2)}{N_{c2}} + \frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \times \frac{(X_2 - X_3)}{N_{c3}} + \frac{\dot{m}_{ss}}{vW \alpha} \ln \left( \frac{\alpha X_3 + \beta}{\alpha X_4 + \beta} \right) + \frac{\dot{m}_{ss}}{vW} \sum_{i=1}^N \frac{-\Delta X_i}{N_{(X_i)}}$$

$$\theta_{tot} = \frac{\dot{m}_{ss}}{W} \times \frac{1}{v} \left[ \frac{X_0 - X_1}{N_{c1}} + \frac{X_1 - X_2}{N_{c2}} + \frac{X_2 - X_3}{N_{c3}} + \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{\alpha X_3 + \beta}{\alpha X_4 + \beta} \right) + \sum_{i=1}^N \frac{-\Delta X_i}{N_{(X_i)}} \right]$$

$$\frac{Wv}{\dot{m}_{ss}} = \frac{1}{\theta_{tot}} \left[ \frac{X_0 - X_1}{N_{c1}} + \frac{X_1 - X_2}{N_{c2}} + \frac{X_2 - X_3}{N_{c3}} + \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{\alpha X_3 + \beta}{\alpha X_4 + \beta} \right) + \sum_{i=1}^N \frac{-\Delta X_i}{N_{(X_i)}} \right]$$

$$\frac{Wv}{\dot{m}_{ss}} = 0,026 \frac{m^2}{kg_{ss}}$$

# Resolución

Una vez que se tiene el parámetro del área de secado específica, se podrán calcular los tiempos de secado de cada una de las etapas. Al multiplicarlos por la velocidad, se tendrán las longitudes de los equipos.

Etapa	Descripción	Tiempo de secado [min]	Longitud de secado [m]
1	Etapa 1	2.71	2.71
2	Etapa 2	2.58	2.58
3	Período precrítico	0.66	0.66
3	Período velocidad lineal	3.13	3.13
3	Período velocidad no lineal	0.91	0.91
Total		10	10

# ¿PREGUNTAS?

¡Fin!