GUÍA 8 – Humidificación
Problema 6

1° Cuatrimestre - 2025

.UBA fiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

Enunciado

Una torre de deshumidificación opera con agua que entra a $85\ °\mathrm{F}$ y sale a $100\ °\mathrm{F}$. El aire entra a $125\ °\mathrm{F}$ (temperatura de bulbo seco), y a $111°\mathrm{F}$ (temperatura de bulbo húmedo); saliendo con $96\ °\mathrm{F}$ y $95\ °\mathrm{F}$ de temperatura de bulbo seco y húmedo respectivamente.

El caudal de líquido es de $900 \frac{lb}{h \cdot ft^2}$ y la torre tiene 8 *ft* de altura.

<u>Determinar</u>:

1. Los valores de $(h_l \cdot a)$ y $(k_y \cdot a)$ que se obtienen en esta torre.
2. Si la temperatura del gas de entrada es $140\ °\mathrm{F}$ con una temperatura de bulbo húmedo de $111\ °\mathrm{F}$, ¿cuáles serían las condiciones de salida del aire y el agua (manteniendo constantes los caudales)?

Resolución - Unidades

1°) <u>Cambio de unidades</u>

Vamos a trabajar con unidades más amigables:

$$T_T = 85\ °\text{F} = 29{,}4\ °\text{C}$$

$$T_B = 100\ °\text{F} = 37{,}8\ °\text{C}$$

$$t_B = 125\ °\text{F} = 51{,}7\ °\text{C}$$

$$t_{bh_B} = 111\ °\text{F} = 43{,}9\ °\text{C}$$

$$t_T = 96\ °\text{F} = 35{,}6\ °\text{C}$$

$$t_{bh_T} = 95\ °\text{F} = 35\ °\text{C}$$

$$L = 900 \frac{lb}{h \cdot ft^2} = 4393 \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

$$z = 8\ ft = 2{,}44\ m$$

Resolución – Ítem 1

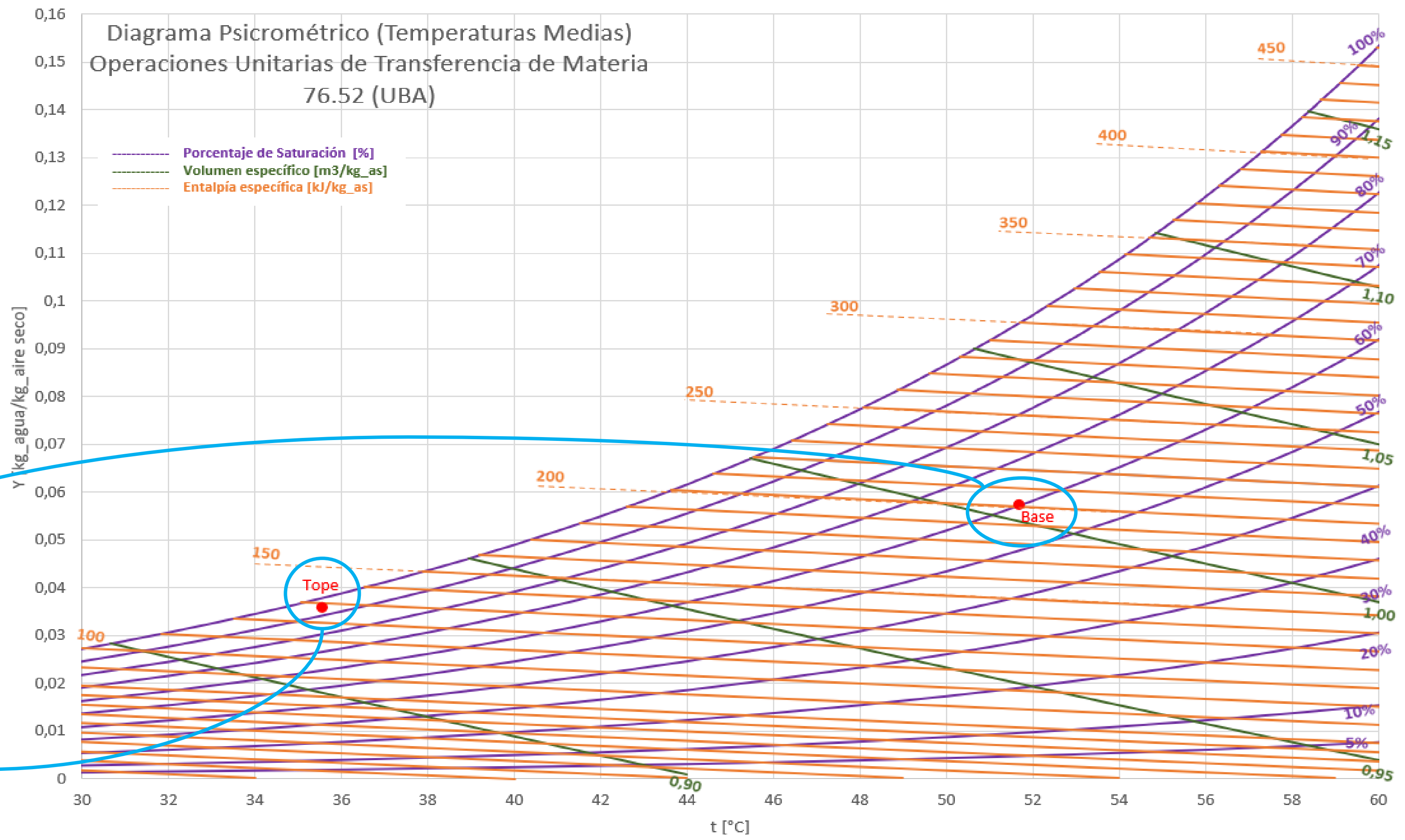
2°) Ubicación en el diagrama psicrométrico

$$t_B = 125\ °F = 51{,}7\ °C$$

$$t_{bh_B} = 111\ °F = 43{,}9\ °C$$

$$t_T = 96\ °F = 35{,}6\ °C$$

$$t_{bh_T} = 95\ °F = 35\ °C$$



$$H_B = 201\,\frac{kJ}{kg_{as}}$$

$$H_T = 127\,\frac{kJ}{kg_{as}}$$

Resolución – Ítem 1

Balance de Energía

Realizando un balance de energía en toda la torre, suponiendo que el caudal de agua se mantiene constante:

$$L \cdot c_L \cdot T_T + G_S \cdot H_B = L \cdot c_L \cdot T_B + G_S \cdot H_T$$

Dividiendo todo por la sección de la torre, se puede utilizar el flujo por unidad de área que se brinda en el enunciado:

$$L' \cdot c_L \cdot T_T + G'_S \cdot H_B = L' \cdot c_L \cdot T_B + G'_S \cdot H_T$$

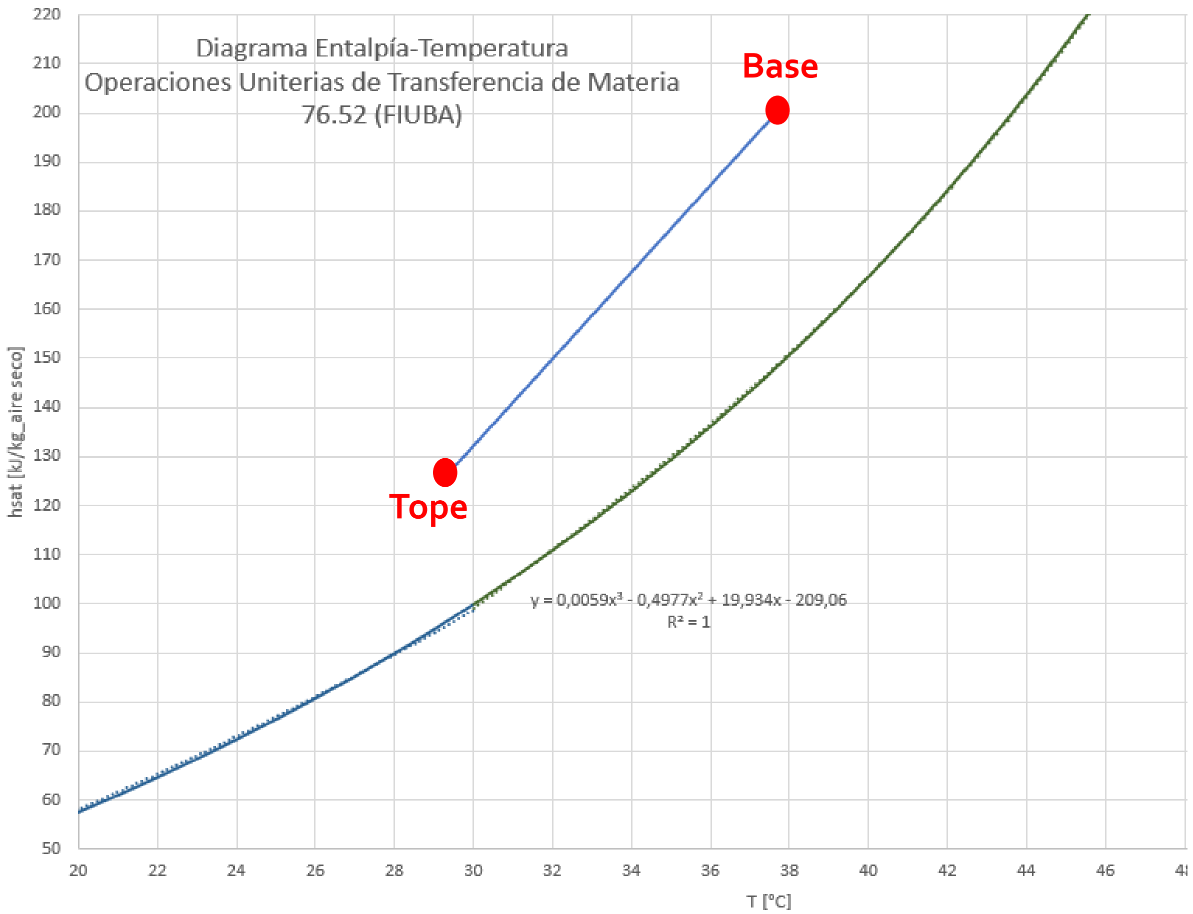
$$\frac{L' \cdot c_L}{G'_S} = \frac{H_T - H_B}{T_T - T_B}$$

Despejando el flujo de gas seco:

$$\boxed{G'_s = 2071 \frac{kg_{as}}{h \cdot m^2}}$$

Resolución – Ítem 1

Diagrama H-T(t)



- ¿Qué se grafica en este diagrama?
- ¿Cuál es el tope y cuál es la base?
- ¿Es correcto que la curva de operación esté del lado izquierdo de la curva de saturación?
- ¿De qué lado se encontrará la evolución del gas?

Repaso Teórico - Mickley

El método de Mickley permite vincular la evolución de la recta de operación de la torre, con la evolución del aire seco a lo largo de los 8 ft de altura que tiene la columna.

Balance de Calor en la interfase:

$$\delta Q = L \cdot C_L \cdot dT = k_y \cdot a \cdot (H_i - H) \cdot dV \quad \text{[Lado Gas]}$$

$$\delta Q = L \cdot C_L \cdot dT = h_L \cdot a \cdot (T - t_i) \cdot dV \quad \text{[Lado Líquido]}$$

$$\boxed{\frac{H_i - H}{t_i - T} = -\frac{h_L \cdot a}{k_y \cdot a}}$$

Partiendo de la definición de Entalpía: $H \stackrel{\text{def}}{=} C_s \cdot (t - t_0) + \lambda_0 \cdot Y$

$$\delta Q = G'_S \cdot dH = k_y \cdot a \cdot (H_i - H) \cdot dV$$

$$\delta Q_s = G'_S \cdot C_s \cdot dt = h_L \cdot a \cdot (T - t_i) \cdot dV$$

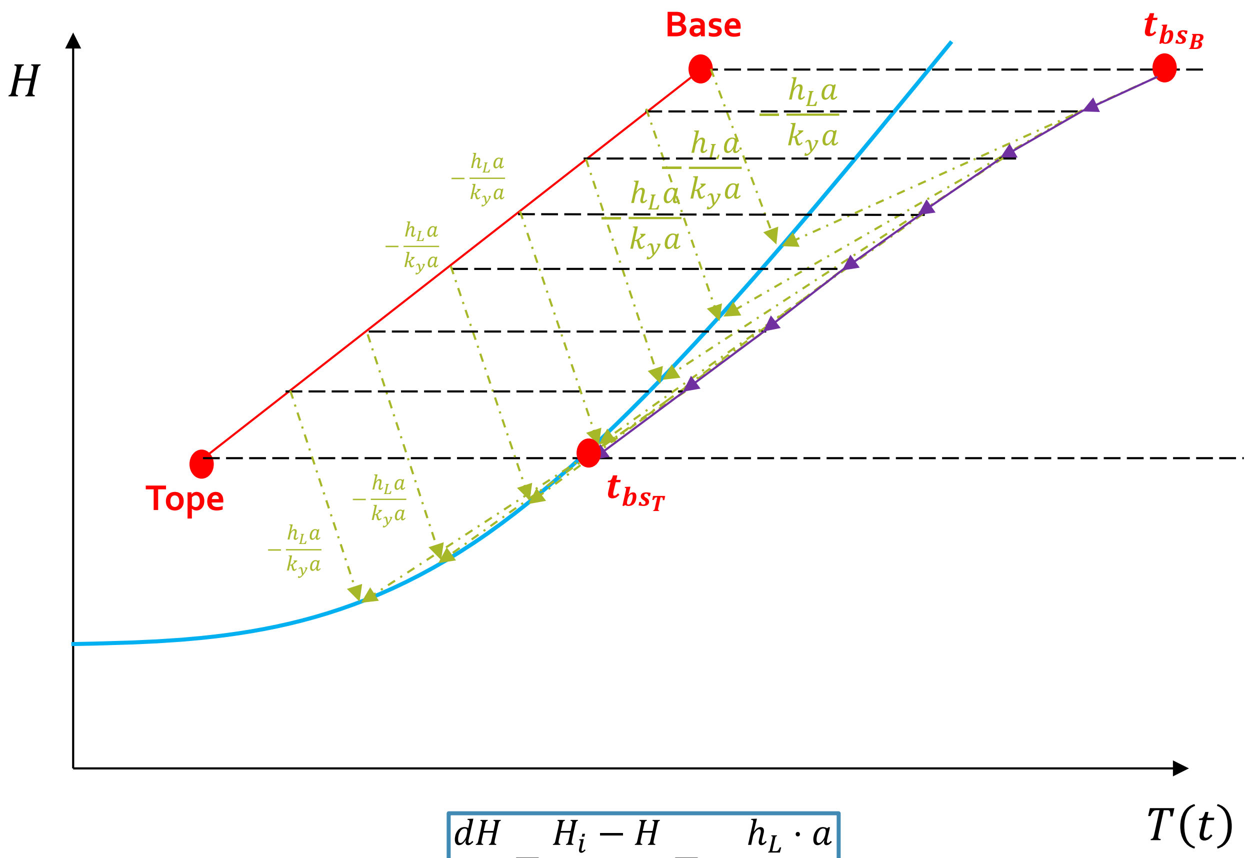
$$\frac{\delta Q}{\delta Q_s} = \frac{dH}{C_s \cdot dt} = -\frac{k_y \cdot a}{h_L \cdot a} \cdot \frac{H_i - H}{t_i - T} \Rightarrow \frac{dH}{dt} = -C_s \cdot \frac{k_y \cdot a}{h_L \cdot a} \cdot \frac{H_i - H}{t_i - T}$$

$$\boxed{\frac{dH}{dt} = \frac{H_i - H}{t_i - T} = -\frac{h_L \cdot a}{k_y \cdot a}}$$

Repaso Teórico - Mickley

.UBA fiuba FACULTAD DE INGENIERÍA

El paso a paso:



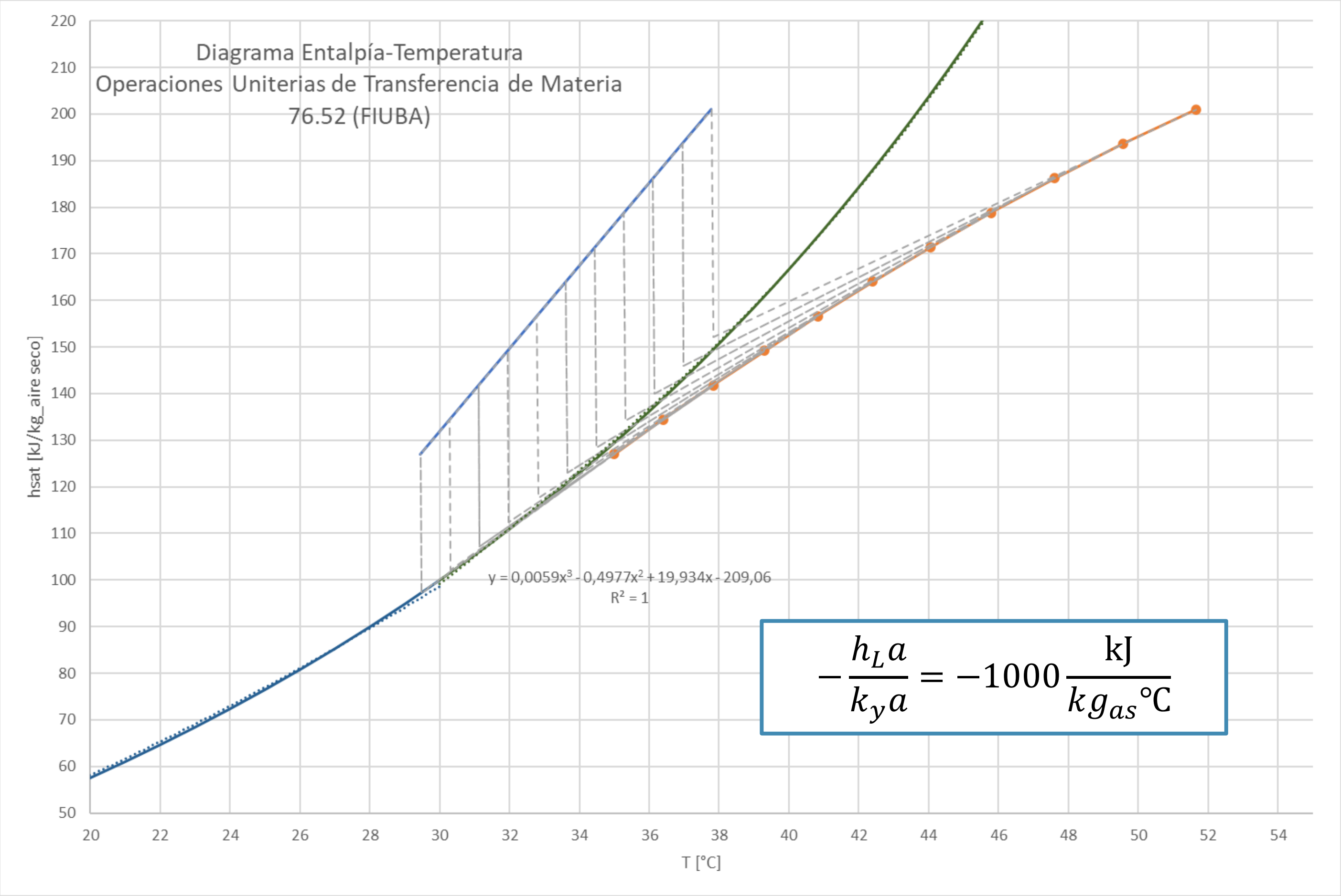
$$\boxed{\frac{dH}{dt} = \frac{H_i - H}{t_i - T} = -\frac{h_L \cdot a}{k_y \cdot a}}$$

Resolución – Ítem 1 (continuación)

Aunque el procedimiento es sencillo, lo que pide el enunciado es averiguar los valores de $h_L \cdot a$ y de $k_y \cdot a$.

Como se conoce la temperatura de salida del aire:

1) Proponiendo valores de $-{h_L \cdot a}/{k_y \cdot a}$
2) Se realiza Mickley y se obtiene la temperatura de salida del aire en H_T
3) Si coincide con la informada (35°C), finaliza el ciclo. Sino se propone un nuevo valor de $-{h_L \cdot a}/{k_y \cdot a}$ *(punto 1)*



$$-\frac{h_L a}{k_y a} = -1000 \frac{\text{kJ}}{kg_{as}\text{°C}}$$

Resolución – Ítem 1

Para poder obtener cada valor por separado, recurrimos a la torre (ya construida).

Del balance de energía: $\delta Q = G_S \cdot dH = L \cdot C_L \cdot dT = k_y \cdot a \cdot (H_i - H) \cdot dV$

$$\frac{G_S \cdot dH}{k_y \cdot a \cdot (H_i - H)} = \frac{L \cdot C_L \cdot dT}{k_y \cdot a \cdot (H_i - H)} = dV$$

$$\frac{G_S}{k_y \cdot a} \int_{H_B}^{H_T} \frac{dH}{H_i - H} = \frac{L \cdot C_L}{k_y \cdot a} \int_{T_B}^{T_T} \frac{dT}{H_i - H} = \int_0^V dV = V = S \cdot z$$

Se pueden usar cualquiera de las dos ecuaciones; tomando la del lado gas:

$$\frac{G_S}{k_y \cdot a \cdot S} \int_{H_B}^{H_T} \frac{dH}{H_i - H} = z$$

Atados por Mickley

$$\boxed{k_y \cdot a = 1587 \frac{kg_{as}}{m^3 \cdot h}}$$

$$-\frac{h_L . a}{k_y \cdot a} = -1000 \frac{\mathrm{kJ}}{kg_{as}\,°\mathrm{C}}$$

$$\boxed{h_L \cdot a = 1\,587\,000 \frac{kJ}{m^3 \cdot h \cdot °\mathrm{C}}}$$

Resolución – Ítem 2)

.UBAfiuba FACULTAD DE INGENIERÍA

Si la temperatura del gas de entrada es $140\ °F$ *con una temperatura de bulbo húmedo de* $111\ °F$*, ¿cuáles serían las condiciones de salida del aire y el agua (manteniendo constantes los caudales)?*

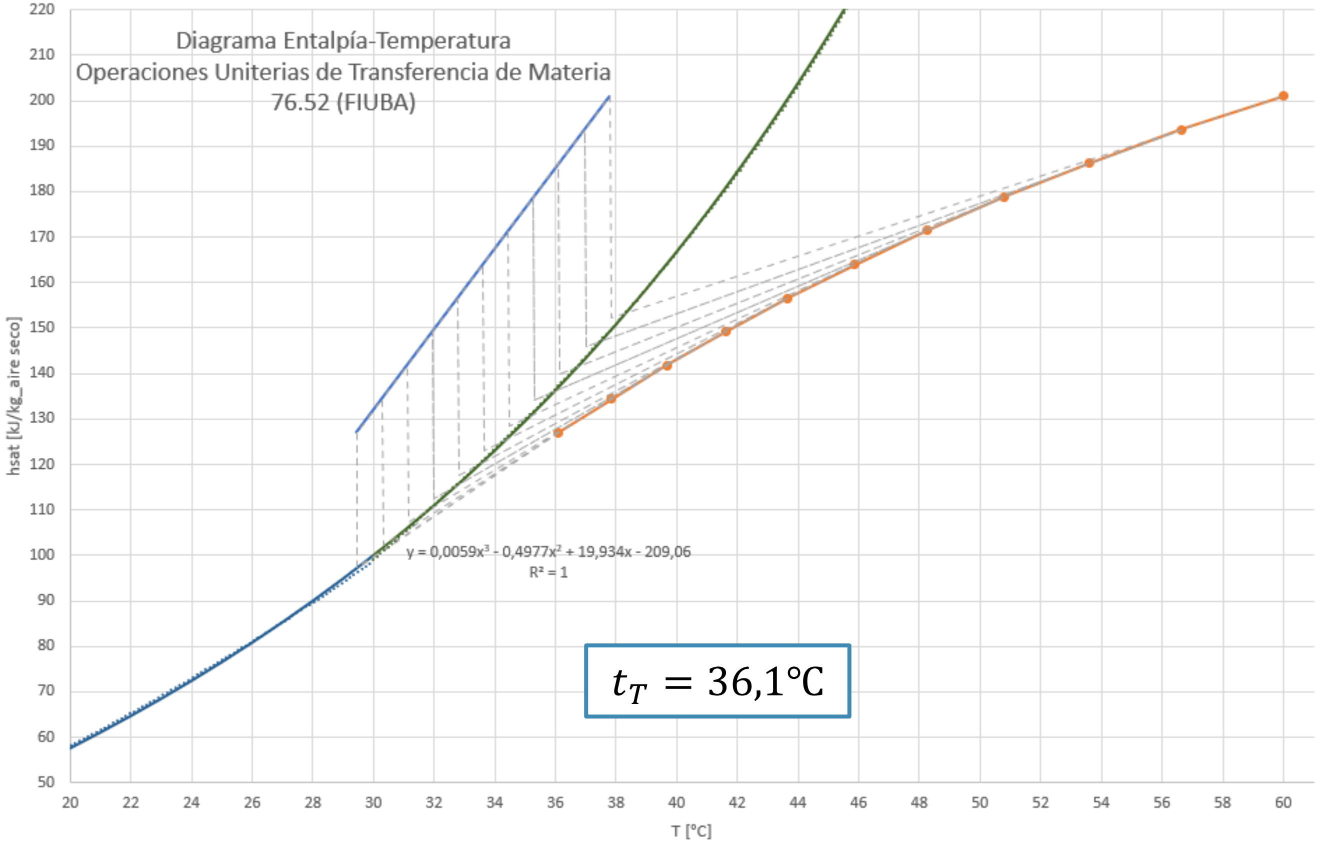
- La T_{bh} del aire que entra es la misma que en el inciso 1) → la entalpía es la misma.

- Suponemos que el grado de enfriamiento para el agua es el mismo.

- Como los caudales se mantienen constantes, la entalpía de salida del aire es igual a la del inciso 1):

$$\frac{L \cdot c_L}{G_S} = \frac{H_T - H_B}{T_T - T_B}$$

Entonces, lo único que queda por hacer para obtener la temperatura de salida del aire, es graficar su evolución.



¿PREGUNTAS?