

**Método riguroso para las separaciones de multicomponentes
en etapas múltiples
(Destilación binaria etanol / agua)**

**DATOS DIRECTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN
(HERVIDOR 11)**

Daos experimentales

**DIMENSIONES DE LA COLUMNA Y CONDICIONES INICIALES
DE ALIMENTACIÓN**

• Posición en la perilla de calentamiento en el número 9 • Alimentación a la torre con la válvula intermedia del precalentador • Longitud de la sección empacada 91.5 cm
Densidad de la mezcla de alimentación $\rho_A = 0.935 \text{ g / cm}^3$
Composición en % en masa $\% \text{masa} = -4606 \rho_A^3 + 11475 \rho_A^2 - 9909 \rho_A + 3038.1$; $\% \text{ masa} = 40 \frac{\text{g ETOH}}{\text{g mezcla}}$
Flujo de la alimentación de la mezcla a la columna, utilizando un flujo en la posición de la bomba de 50/50 = 0.143202 (L / min), valor calculado como referencia. 50/50 = 0.244 L/min

PRUEBA II
RELACIÓN DE REFLUJO $L / D = 1/2$
ALIMENTACIÓN EN EL PLATO NO. 11

FLUJOS

	Fondos			Destilado		
Tiempo de operación (min)	Tiempo de llenado probeta (min)	Volumen probeta (L)	Flujo (L / min)	Tiempo de llenado probeta (min)	Volumen probeta (L)	Flujo (L / min)
20	1.58	0.222	0.140	1.51	0.203	0.135

COMPOSICIONES

$\% \text{masa} = -4606 \rho^3 + 11475 \rho^2 - 9909 \rho + 3038.1$ Densidad $\rho = (\text{g / mL})$				
	Fondos		Destilado	
Tiempo de operación (min)	Densidad de Fondos (ρ_F) (g / mL)	Composición Fondos % masa	Densidad de Destilado (ρ_D) (g / mL)	Composición Destilado % masa
20	0.973	17.46	0.85	77.47

TEMPERATURAS

Tiempo de operación (min)	T1 Hervidor 17 (°C)	T2 Plato 16 (°C)	T3 Plato 11 (°C)	T4 Plato 4 (°C)	T5 Condensador 1 (°C)
20	83.8	78.5	76.6	75.3	74.4

T6 Precalentamiento (de alimentación) (°C)	T7 Entrada de agua al condensador (°C)	T8 Salida de agua del condensador (°C)
21.2	18.6	21.6

RELACIÓN DE REFLUJO

$$L/D := \frac{1}{2}$$

$$R := \frac{1}{2}$$

TEMPERATURAS DEL HERVIDOR

$$T1 := 83.8 \quad ^\circ\text{C}$$

TEMPERATURAS DE ALIMENTACIÓN DE LA MEZCLA
(T6 del precalentador)

$$T^{\circ}\text{CA} := 21.2 \quad ^\circ\text{C}$$

FLUJOS

$LA := 0.244$	$\frac{L}{min}$	$LF := 0.14$	$\frac{L}{min}$	$LD := 0.135$	$\frac{L}{min}$
alimentación		fondos		destilado	

DENSIDADES Y COMPOSICIONES

$\rho A := 0.935$	$\frac{gmezcla}{cm^3 mezcla}$	$\rho F := 0.973$	$\frac{gmezcla}{cm^3 mezcla}$	$\rho D := 0.85$	$\frac{gmezcla}{cm^3 mezcla}$
-------------------	-------------------------------	-------------------	-------------------------------	------------------	-------------------------------

$$\%mA := -4606 \cdot \rho A^3 + 11475 \cdot \rho A^2 - 9909 \cdot \rho A + 3038.1 \quad \text{por ciento en masa}$$

$$\%mD := -4606 \cdot \rho D^3 + 11475 \cdot \rho D^2 - 9909 \cdot \rho D + 3038.1 \quad \text{por ciento en masa}$$

$$\%mF := -4606 \cdot \rho F^3 + 11475 \cdot \rho F^2 - 9909 \cdot \rho F + 3038.1 \quad \text{por ciento en masa}$$

$$xmA := \frac{\%mA}{100}$$

$$xmF := \frac{\%mF}{100}$$

$$xmD := \frac{\%mD}{100}$$

$$xmA = 0.3997$$

$$xmF = 0.1746$$

$$xmD = 0.7748$$

g ETOH /g mezcla

g ETOH /g mezcla

g ETOH /g mezcla

LAS FRACCIONES MOL

$$PMH2O := 18 \quad \text{gr /gmol} \quad PMETOH := 46 \quad \text{gr /gmol}$$

$$xmolA := \frac{\frac{xmA}{PMETOH}}{\frac{xmA}{PMETOH} + \frac{1 - xmA}{PMH2O}}$$

$$xmolF := \frac{\frac{xmF}{PMETOH}}{\frac{xmF}{PMETOH} + \frac{1 - xmF}{PMH2O}}$$

$$xmolD := \frac{\frac{xmD}{PMETOH}}{\frac{xmD}{PMETOH} + \frac{1 - xmD}{PMH2O}}$$

$$x_{molA} = 0.207$$

gmol ETOH /gmol
mezcla

$$x_{molF} = 0.076$$

gmol ETOH /gmol
mezcla

$$x_{molD} = 0.574$$

gmol ETOH / gmol
mezcla

Balance de materia

$$PM_{promedioA} := x_{molA} \cdot PM_{ETOH} + (1 - x_{molA}) \cdot PM_{H2O}$$

$$PM_{promedioF} := x_{molF} \cdot PM_{ETOH} + (1 - x_{molF}) \cdot PM_{H2O}$$

$$PM_{promedioD} := x_{molD} \cdot PM_{ETOH} + (1 - x_{molD}) \cdot PM_{H2O}$$

$$PM_{promedioA} = 23.788$$

g mezcla/ gmol mezcla

$$PM_{promedioF} = 20.141$$

g mezcla/ gmol mezcla

$$PM_{promedioD} = 34.065$$

g mezcla/ gmol mezcla

Los flujos en g / h y en gmol / h

$$L_{Amasico} := \overrightarrow{\left[LA \cdot \rho_A \cdot (60) \cdot \left(\frac{1000}{1} \right) \right]}$$

$$L_{Fmasico} := \overrightarrow{\left[LF \cdot \rho_F \cdot (60) \cdot \left(\frac{1000}{1} \right) \right]}$$

$$L_{Dmasico} := \overrightarrow{\left[LD \cdot \rho_D \cdot (60) \cdot \left(\frac{1000}{1} \right) \right]}$$

$$\frac{g_{mezcla}}{h} = \frac{L}{min} \cdot \frac{g_{mezcla}}{cm^3} \cdot \frac{60 \cdot min}{1h} \cdot \frac{(1000 \cdot cm^3)}{1L}$$

$$L_{Amolar} := \overrightarrow{\left(L_{Amasico} \cdot \frac{1}{PM_{promedioA}} \right)}$$

$$LF_{\text{molar}} := \left(\overrightarrow{LF_{\text{masico}} \cdot \frac{1}{PM_{\text{promedioF}}}} \right)$$

$$LD_{\text{molar}} := \left(\overrightarrow{LD_{\text{masico}} \cdot \frac{1}{PM_{\text{promedioD}}}} \right)$$

$$\frac{\text{gmolmezcla}}{h} = \frac{g}{h} \cdot \frac{\text{gmolmezcla}}{\text{gmezcla}}$$

Balance molar en la columna

$$LA_{\text{molar}} = LF_{\text{molar}} + LD_{\text{molar}}$$

$$LA_{\text{molar}} = 575.445$$

$$LF_{\text{molar}} + LD_{\text{molar}} = 607.916$$

Si no concuerda el balance molar, tomar

$$LA_{\text{molar}} := LF_{\text{molar}} + LD_{\text{molar}}$$

$$LA_{\text{molar}} = 607.916$$

gmol de mezcla / h

$$LF_{\text{molar}} = 405.805$$

gmol de mezcla / h

$$LD_{\text{molar}} = 202.112$$

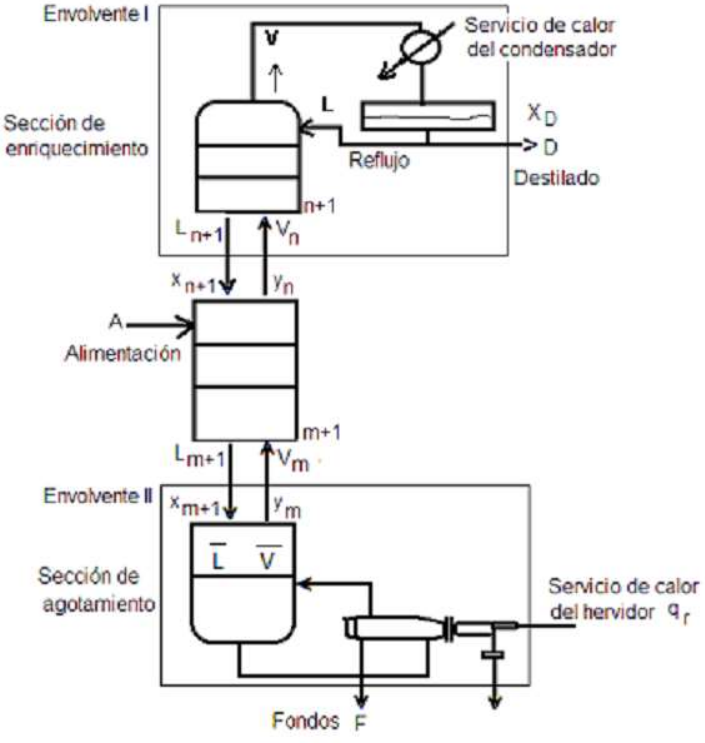
gmol de mezcla / h

Cálculo de la eficiencia de la columna

Datos de equilibrio del etanol / agua a una presión de 586 mmHg, consultar el apéndice del guion experimental

$$x_{eq} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.05 \\ 0.1 \\ 0.15 \\ 0.20 \\ 0.25 \\ 0.3 \\ 0.35 \\ 0.4 \\ 0.45 \\ 0.5 \\ 0.55 \\ 0.6 \\ 0.65 \\ 0.7 \\ 0.75 \\ 0.8 \\ 0.85 \\ 0.9 \\ 0.95 \\ 1.0 \end{pmatrix}$$

$$y_{eq} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.315 \\ 0.432 \\ 0.493 \\ 0.532 \\ 0.561 \\ 0.585 \\ 0.606 \\ 0.626 \\ 0.646 \\ 0.666 \\ 0.687 \\ 0.709 \\ 0.733 \\ 0.759 \\ 0.788 \\ 0.82 \\ 0.856 \\ 0.897 \\ 0.945 \\ 1.0 \end{pmatrix}$$

 Fig. 3. En este esquema se muestran tres secciones, la de enriquecimiento, la de alimentación y la de agotamiento	Balances de materia 1.- Balance global de materia $A = F + D$ 2.- Balance de componente $A x_A = D x_D + F x_F$ 3.- Reflujo de entrada en el plato superior $L = R \times D$ R = Relación de reflujo $R = \frac{L}{D}$ 4.- Vapor que sale de la columna $\begin{cases} V = L + D \\ V = R \times D + D \\ V = D(R + 1) \end{cases}$ 5.- Líquido en la sección de agotamiento $L_{m+1} = \bar{L} = A + L$ 6.- Vapor en la sección de agotamiento $V_m = \bar{V} = V$
--	---

Trazar la línea de enriquecimiento

$$y_n = \frac{R}{(R+1)} x_{n+1} + \frac{x_D}{(R+1)}$$

$$m_{\text{Enriq}} := \frac{R}{R+1}$$

$$m_{\text{Enriq}} = 0.333$$

$$\text{ordeEnriq} := \frac{x_{\text{molD}}}{R + 1} \quad \text{ordeEnriq} = 0.383 \quad \frac{\text{gmol ETOH}}{\text{gmol mezcla}}$$

$$y_{\text{Enriq}} = m_{\text{Enriq}} \cdot x + \text{ordeEnriq}$$

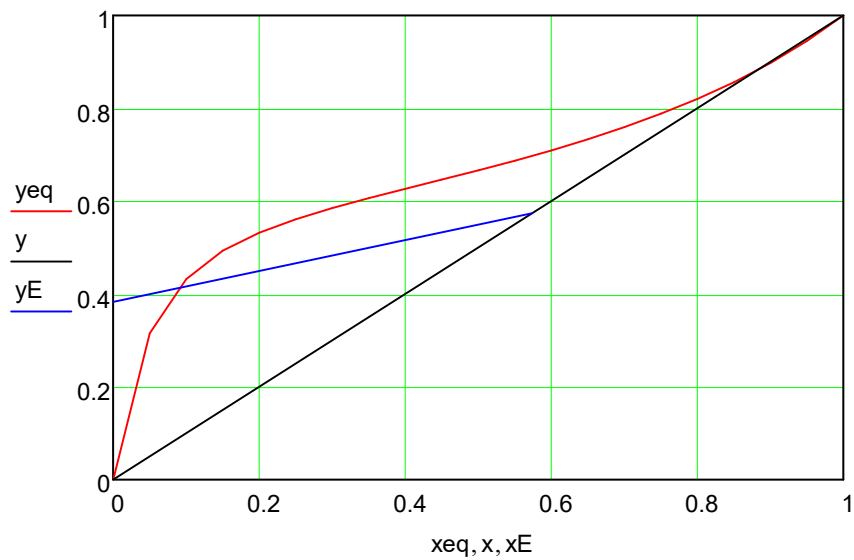
Trazar la línea de 45°

$$x := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Línea de 45°}$$

$$x_{\text{molD}} = 0.574 \quad y_{\text{molcero}} := 0$$

$$y_{\text{molD}} := x_{\text{molD}} \quad x_{\text{molcero}} := 0$$

$$x_E := \begin{pmatrix} x_{\text{molcero}} \\ x_{\text{molD}} \end{pmatrix} \quad y_E := \begin{pmatrix} \text{ordeEnriq} \\ y_{\text{molD}} \end{pmatrix}$$



Trazar la línea de agotamiento

$$y_m = \frac{\bar{L}}{V} x_{m+1} - \frac{F}{V} x_F \quad \bar{L} \longrightarrow L_{cr} \quad (\text{Ele con raya})$$

$$R := 0.5$$

$$L_{Amolar} := 594.393 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

$$L_{Fmolar} = 405.805 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

$$L_{Dmolar} = 202.112 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

Relación de reflujo

$$R = \frac{L}{L_{Dmolar}}$$

$$L := R \cdot L_{Dmolar}$$

$$L = 101.056 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

Ele con raya

$$L_{cr} = A + L$$

$$L_{cr} := L_{Amolar} + L$$

$$L_{cr} = 695.449 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

$$V_{cr} = V = (L + D)$$

$$V_{cr} := L + L_{Dmolar}$$

$$V_{cr} = 303.167 \quad \text{gmol de mezcla / h}$$

Coordenadas utilizadas para trazar dos puntos de la ecuación de agotamiento

$$y_m = \frac{\bar{L}}{V} x_{m+1} - \frac{F}{V} x_F$$

$$\text{ordeAgot} := \frac{L_{Fmolar}}{V_{cr}} \cdot x_{molF}$$

$$\text{ordeAgot} = 0.102 \quad \text{gmol de etanol / gmolmezcla}$$

$$m_{Agot} := \frac{L_{cr}}{V_{cr}}$$

$$m_{Agot} = 2.294$$

$$y_{Agot} := m_{Agot} \cdot x - orde_{Enriq}$$

Dato

$$x_{molF} = 0.076 \quad \text{gmol ETOH /gmol mezcla} \quad \longrightarrow \quad y_{molF} := x_{molF}$$

Cálculos

$$X_F := x_{molF} \quad \text{gmol ETOH /gmol mezcla}$$

$$Y_{Agot} := m_{Agot} \cdot X_F - orde_{Enriq}$$

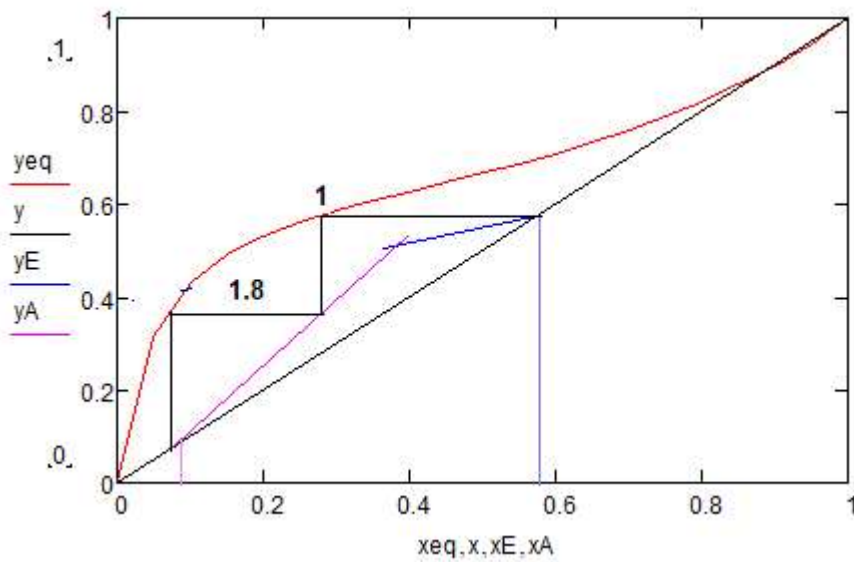
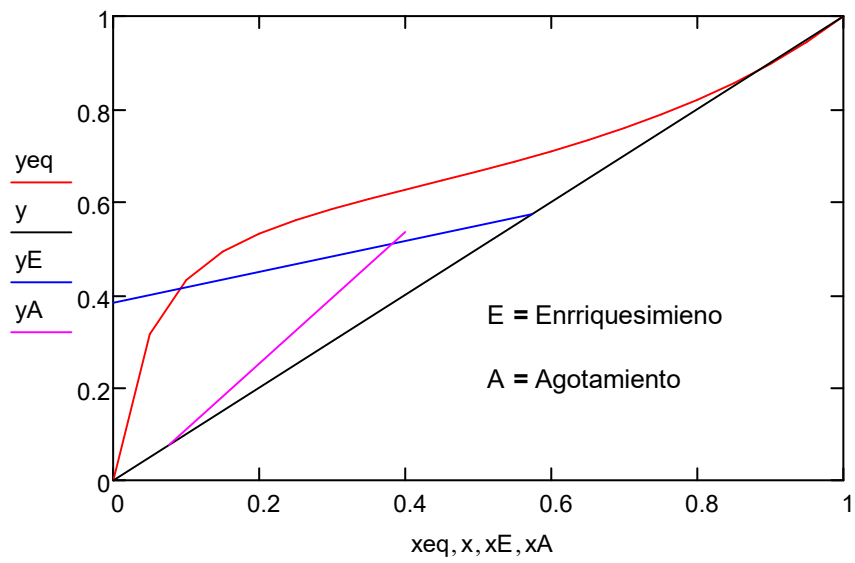
$$Y_{Agot} = -0.207 \quad \text{gmol ETOH /gmol mezcla}$$

$$X_{SG} := 0.4 \quad \text{Valor seleccionado de la grafica}$$

$$Y_{SG} := m_{Agot} \cdot X_{SG} - orde_{Enriq}$$

$$x_A := \begin{pmatrix} x_{molF} \\ X_{SG} \end{pmatrix}$$

$$y_A := \begin{pmatrix} y_{molF} \\ Y_{SG} \end{pmatrix}$$



$$E_o = \frac{\text{Número platos ideales}}{\text{Número de platos que tiene instalado el equipo}}$$

$$N_R := 16$$

$$N := 1.8$$

$$E_o := \frac{N}{N_R} \cdot 100 = 11.25 \%$$

