

# Tarea 1.1 | Cálculo HETP (10-D5), cálculo de diámetro de la torre (10-D11)

Esteban Richmond-Salazar

21/3/2019

## Contents

<b>1 Problema N° 1</b>	<b>1</b>
1.1 Datos EVL para el sistema etanol-agua a 1 atm, fracciones molares. (Fuente: Tabla 2-1 Wankat 2a ed.) . . . . .	2
1.2 Solución . . . . .	5
<b>2 Problema N° 2</b>	<b>6</b>
2.1 Solución . . . . .	8

## 1 Problema N° 1

**Valor: 10 puntos**

**Referencia: Adaptado de Problema 10.D11 Wankat (2008)**

Deseamos destilar una mezcla de etanol y agua para producir 1000 kg/d de destilado. El producto destilado contiene 80 % de etanol y 20 % de agua (fracciones molares). Se debe usar una relación de reflujo externa  $R = L/D = 2.0$ . La columna trabaja a 1 atm y usará anillos Pall de plástico de 16 mm.  $M_{\text{etanol}} = 46$  u;  $M_{\text{agua}} = 18$  u; suponga gas ideal;  $\mu = 0,52$  cP a 80 °C;  $\rho = 0,82$  g/mL. Calcule el diámetro en la parte superior de la columna para los siguientes casos:

1. La operación es a 75 % de la inundación.
2. La operación es a una caída de presión de 200 Pa/m (0,25 pulgadas de agua por pie de relleno).
3. Se requiere trabajar a no más de 75 % de inundación ni a más de 200 Pa/m.
4. Repita la parte a, pero con una alimentación para producir 10 000 kg/d.

### 1.1 Datos EVL para el sistema etanol-agua a 1 atm, fracciones molares. (Fuente: Tabla 2-1 Wankat 2a ed.)

$x_{EtOH}^*$	$x_{H_2O}^*$	$y_{EtOH}^*$	$y_{H_2O}^*$	$T^*/(\text{degC})$
0.000000000000000	1.000000000000000	0.000000000000000	1.000000000000000	100.0000000000000
0.019000000000000	0.981000000000000	0.170000000000000	0.830000000000000	95.5000000000000
0.072100000000000	0.927900000000000	0.389100000000000	0.610900000000000	89.0000000000000
0.096600000000000	0.903400000000000	0.437500000000000	0.562500000000000	86.7000000000000
0.123800000000000	0.876200000000000	0.470400000000000	0.529600000000000	85.3000000000000
0.166100000000000	0.833900000000000	0.508900000000000	0.491100000000000	84.1000000000000
0.233700000000000	0.766300000000000	0.544500000000000	0.455500000000000	82.7000000000000
0.260800000000000	0.739200000000000	0.558000000000000	0.442000000000000	82.3000000000000
0.327300000000000	0.672700000000000	0.582600000000000	0.417400000000000	81.5000000000000
0.396500000000000	0.603500000000000	0.612200000000000	0.387800000000000	80.7000000000000
0.519800000000000	0.480200000000000	0.659900000000000	0.340100000000000	79.7000000000000
0.573200000000000	0.426800000000000	0.684100000000000	0.315900000000000	79.3000000000000
0.676300000000000	0.323700000000000	0.738500000000000	0.261500000000000	78.7400000000000
0.747200000000000	0.252800000000000	0.781500000000000	0.218500000000000	78.4100000000000
0.894300000000000	0.105700000000000	0.894300000000000	0.105700000000000	78.1500000000000
1.000000000000000	0.000000000000000	1.000000000000000	0.000000000000000	78.3000000000000

```
# ===== Datos del enunciado =====
```

```
W_D      = 1000/24/3600      # [kg/d] --> [kg/s]
```

```
x_D      = 0.80              # [mol/mol] (fracción)
```

```
R_D      = 2.0
```

```
P_t      = 101.325          # [kPa]
```

```
R        = 8.3145           # [kJ/(kmol K)]
```

```
M_EtOH   = 46               # [u]
```

```
M_H2O    = 18               # [u]
```

```
mu_L     = 0.52*10^-3      # [cP] --> [Pa s] a 80 °C
```

```
rho_L    = 820              # [kg/m³]
```

```
D_p      = 16/1000         # [mm]
```

```
# ===== Solución =====
```

```
html('<h2>Solución</h2>') # Solo es útil para el índice
```

```
C_f      = 97               # [ft²/ft³] Tabla 10-3 Wankat
```

```
print "C_f =", C_f, "ft²/ft³"
```

```
# ***** Datos de la gráfica de Eckert para una caída de presión de\
200 Pa/m *****
```

```
# Leídos de la Figura 6.34 de Treybal (1980)
```

```
Eckert_Flv = [0.012, 0.015, 0.020, 0.030, 0.040, 0.060, 0.080, \
0.100, 0.150, 0.200, 0.300, 0.400, 0.600, 0.800, 1.000, 1.5000, \
2.0000, 3.0000, 4.0000, 5.0000, 6.0000, 8.0000, 10.0000]
```

```
Eckert_200 = [0.054, 0.053, 0.052, 0.049, 0.047, 0.044, 0.041, \
```

```

    0.039, 0.035, 0.031, 0.026, 0.022, 0.017, 0.014, 0.011, 0.0077, \
    0.0057, 0.0038, 0.0026, 0.0020, 0.0016, 0.0011, 0.0008]
Eckert_In  = [0.321, 0.318, 0.311, 0.296, 0.278, 0.250, 0.226, \
    0.206, 0.165, 0.133, 0.099, 0.077, 0.053, 0.041, 0.032, 0.0201, \
    0.0140, 0.0087, 0.0055, 0.0041, 0.0032, 0.0021, 0.0015]
datos_200  = zip(Eckert_Flv, Eckert_200) # Forma pares de datos (\
    x,y)
datos_Inun = zip(Eckert_Flv, Eckert_In)
Fc_200     = spline(datos_200)          # Spline para interpolar
Fc_Inun    = spline(datos_Inun)

# ***** Interpolación de temperatura de equilibrio vs composición \
    del vapor *****
datos_yT    = zip(y_eq_EtOH, T_eq)
T_eq_y     = spline(datos_yT)

# ***** Balance de masa *****
M_D         = M_EtOH * x_D + M_H2O * (1-x_D) # [kg/kmol]

y_V = x_L = x_D          # Condensador total ==> x0 = y1
M_L = M_V = M_D          # [kg/kmol]

F_D         = W_D/M_D     # [kmol/s], flujo molar destilado
F_L         = R_D * F_D   # [kmol/s], flujo molar reflujo
F_V         = F_L + F_D   # [kmol/s], flujo molar vapor

W_L         = F_L * M_L   # [kg/s], flujo másico líquido tope
W_V         = F_V * M_V   # [kg/s], flujo másico vapor tope

print "M_L = M_V =", M_V.n(digits=3), "kg/kmol"

# ***** Propiedades del vapor *****
T_V         = T_eq_y(y_V) # [°C]
rho_V       = P_t*M_V/(R*(T_V+273.15)) # [kg/m³]
print "T_V     = %.3g °C" %T_V
print "rho_V   = %.3g kg/m³" %rho_V

# ***** Parámetro de flujo *****
F_lv        = W_L/W_V * sqrt(rho_V/(rho_L-rho_V))
print "F_lv    =", F_lv.n(digits=3)

print "===== \nParte a) 75 % de la inundació\
n \n===== "
f_inun      = 0.75
F_c         = numerical_approx(Fc_Inun(F_lv), digits = 3)
A_C_inun    = numerical_approx(sqrt(W_V^2*C_f*mu_L^0.1/(rho_V*(rho_L-\

```

```

    rho_V)*F_c)), digits=3) # [m²]
A_C      = numerical_approx(A_C_inun/f_inun, digits = 3) # [m²]
D_C      = numerical_approx(sqrt(4*A_C/pi), digits = 3) # [m]

print "F_c      =", F_c
print "A_C_in  =", A_C_inun, "m²"
print "A_C      =", A_C, "m²"
print "D_C      =", D_C, "m <----- Respuesta"
print "Dc/Dp    =", D_C/D_p

if D_C/D_p < 8:
    print "Posible canalización hacia las paredes"
elif D_C/D_p >= 40:
    print "Posible mala distribución de líquido y vapor"
else:
    print "Relación OK"

A_C_parte_a = A_C
D_C_parte_a = D_C

print "===== Parte b) Caída de \
presión de 200 Pa/m \n===== "
F_c      = numerical_approx(Fc_200 (F_lv), digits=3)
A_C      = numerical_approx(sqrt(W_V^2*C_f*mu_L^0.1/(rho_V*(rho_L-\
rho_V)*F_c)), digits=3) # [m²]
D_C      = numerical_approx(sqrt(4*A_C/pi), digits = 3) # [m\
]

print "F_c      =", F_c
print "A_C      =", A_C, "m²"
print "D_C      =", D_C, "m <----- Respuesta"
print "Dc/Dp    =", D_C/D_p

if D_C/D_p < 8:
    print "Posible canalización hacia las paredes"
elif D_C/D_p >= 40:
    print "Posible mala distribución de líquido y vapor"
else:
    print "Relación OK"

print "===== Parte c) Inundación \
y caída de presión \n===== "
print "Los cálculos son los mismos de las partes a y b."
print "Se toma el caso que de el diámetro mayor para cumplir ambas \
condiciones."
if A_C_parte_a > A_C:
    print "Define la fracción de inundación"

```

```

    A_C    = A_C_parte_a
    D_C    = D_C_parte_a
else:
    print "Define la caída de presión"

print "A_C    =", A_C, "m²"
print "D_C    =", D_C, "m <----- Respuesta"

print "=====\\nParte d) f_inun= 75\\
      %, F_D = 10 000 kg/d\\n=====
W_D      = 10000/24/3600    # [kg/d] --> [kg/s]

F_D      = W_D/M_D        # [kmol/s]
F_L      = R_D * F_D      # [kmol/s]
F_V      = F_L + F_D      # [kmol/s]
W_L      = F_L * M_L      # [kg/s]
W_V      = F_V * M_V      # [kg/s]

# F_lv y F_c son igual a la parte a porque se mantiene la misma \
  relación de flujos
F_c      = numerical_approx(Fc_Inun(F_lv), digits = 3)
A_C_inun = numerical_approx(sqrt(W_V^2*C_f*mu_L^0.1/(rho_V*(rho_L-\\
  rho_V)*F_c)), digits=3) # [m²]
A_C      = numerical_approx(A_C_inun/f_inun, digits = 3) # [m²]
D_C      = numerical_approx(sqrt(4*A_C/pi), digits = 3) # [m]

print "F_c    =", F_c
print "A_C_in =", A_C_inun, "m²"
print "A_C    =", A_C, "m²"
print "D_C    =", D_C, "m <----- Respuesta"
print "Dc/Dp  =", D_C/D_p

if D_C/D_p < 8:
    print "Posible canalización hacia las paredes"
elif D_C/D_p >= 40:
    print "Posible mala distribución de líquido y vapor"
else:
    print "Relación OK"

# ***** Final del código *****_n

```

## 1.2 Solución

$$C_f = 97 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$$

$$M_L = M_V = 40.4 \text{ kg/kmol}$$

$$T_V = 78.3 \text{ °C}$$

$$\rho_V = 1.4 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{lv} = 0.0276$$

=====  
 Parte a) 75 % de la inundación  
 =====

$$F_c = 0.300$$

$$A_{C_{in}} = 0.0126 \text{ m}^2$$

$$A_C = 0.0168 \text{ m}^2$$

$$D_C = 0.146 \text{ m} < \text{----- Respuesta}$$

$$D_c/D_p = 9.15$$

Relación OK  
 =====

Parte b) Caída de presión de 200 Pa/m  
 =====

$$F_c = 0.0497$$

$$A_C = 0.0310 \text{ m}^2$$

$$D_C = 0.199 \text{ m} < \text{----- Respuesta}$$

$$D_c/D_p = 12.4$$

Relación OK  
 =====

Parte c) Inundación y caída de presión  
 =====

Los cálculos son los mismos de las partes a y b.

Se toma el caso que de el diámetro mayor para cumplir ambas condiciones.

Define la caída de presión

$$A_C = 0.0310 \text{ m}^2$$

$$D_C = 0.199 \text{ m} < \text{----- Respuesta}$$

=====  
 Parte d)  $f_{inun} = 75 \%$ ,  $F_D = 10\,000 \text{ kg/d}$   
 =====

$$F_c = 0.300$$

$$A_{C_{in}} = 0.126 \text{ m}^2$$

$$A_C = 0.168 \text{ m}^2$$

$$D_C = 0.463 \text{ m} < \text{----- Respuesta}$$

$$D_c/D_p = 28.9$$

Relación OK

## 2 Problema N° 2

**Valor: 5 puntos**

**Referencia: Problema 10.D5 Wankat (2008)**

Se está probando un nuevo tipo de relleno. Se destila una mezcla de metanol-agua a reflujo total a 101,3 kPa, la columna empleada utiliza un rehervidor parcial. La sección rellena tiene 1 m de longitud. Medimos una concentración molar de metanol de 96 % en el líquido que sale del condensador y de 4 % molar de metanol en el líquido del vaporizador. ¿Cuál es la HETP de este relleno, con este flujo de gas?

```

# Datos de EVL para el sistema metanol-agua a 1 atm, fracciones \
  molares (Fuente: Tabla 2-7 Wankat 2a ed.)
xe_metanol = [0.000, 0.020, 0.040, 0.060, 0.080, 0.100, 0.150, \
  0.200, 0.300, 0.400, 0.500, 0.600, 0.700, 0.800, 0.900, 0.950, \
  1.000]
ye_metanol = [0.000, 0.134, 0.230, 0.304, 0.365, 0.418, 0.517, \
  0.579, 0.665, 0.729, 0.779, 0.825, 0.870, 0.915, 0.958, 0.979, \
  1.000]
T_e      = [100.0, 96.4, 93.5, 91.2, 89.3, 87.7, 84.4, \
  81.7, 78.0, 75.3, 73.1, 71.2, 69.3, 67.6, 66.0, 65.0, \
  64.5]

# Datos del enunciado
p_t      = 101.3      # [kPa]
H_C      = 1         # [m]
x_D      = 0.96      # [mol/mol] (fracción)
x_B      = 0.04      # [mol/mol] (fracción)

# ***** Solución *****
html('<h2>Solución</h2>')

# Ajuste de datos de equilibrio
datos_eq = zip(xe_metanol, ye_metanol)      # Crea lista con \
  cada par de valores (x*, y*)
y_eq     = spline(datos_eq)

# Composiciones de entrada y salida
y_fondo  = y_eq(x_B)
x_fondo  = y_fondo
y_tope   = x_D

# Etapas
# Cálculo de composiciones (escalera)
xy_etapas = [(x_B, x_B), (x_B, y_fondo), (y_fondo, y_fondo)]
N_i = 0
x_n   = y_fondo
while x_n < x_D:
  y_n   = y_eq(x_n)
  xy_etapas.append((x_n, y_n))
  x_1   = x_n
  x_n   = y_n
  xy_etapas.append((x_n, y_n))
  N_i += 1

# Cálculo del número de etapas (incluyendo la fracción)
N_etapas = N_i + (x_D - x_1) / (x_n - x_1)

```

```

N_p      = N_etapas - 1

# Cálculo del HETP
HETP     = numerical_approx(H_C / N_p, digits = 3)

# ***** Mostrar resultados *****
# Gráficas
# Gráfica de McCabe-Thiele
graf_eq   = scatter_plot(datos_eq, facecolor = "none", axes_labels\
    = [ "$x_{\mathrm{metOH}}$", "$y_{\mathrm{metOH}}$" ]) \
    + line([(0,0),(1,1)], color = "black") \
    + plot(y_eq, xmin = 0, xmax = 1, color = "red")

# Líneas de composición de destilado y fondos
graf_comp = line([(x_B,0),(x_B,x_B)]) + line([(x_D,0),(x_D,y_tope)\
    ]) + text("$x_B$", (x_B,-0.05)) + text("$x_D$", (x_D,-0.05))

# Escalera
graf_escal = line(xy_etapas, color = "purple") + text("R", ((x_fondo\
    +x_B)/3, (x_B+y_fondo)/1.8))

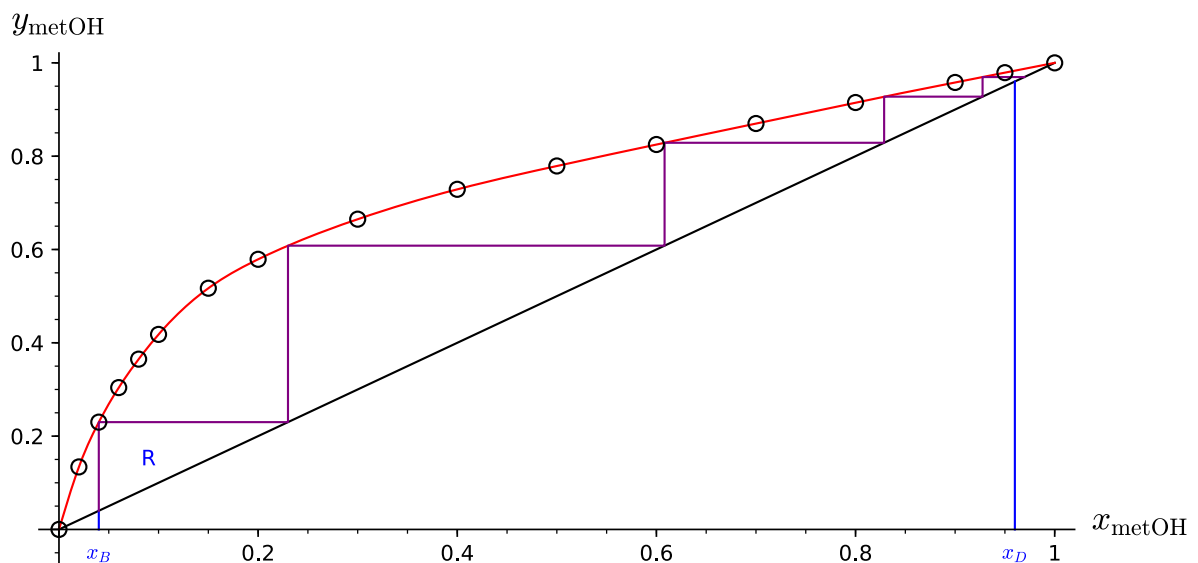
graf_eq + graf_comp + graf_escal

print "Número de etapas =", numerical_approx(N_etapas, digits = 3)
print "Número de platos =", numerical_approx(N_p, digits = 3)
show("$HETP = H_C/N_p =", HETP, "m")

# ***** Final del código *****

```

## 2.1 Solución





Número de etapas = 4.77

Número de platos = 3.77

$$HETP = H_C/N_p = 0.265 \text{ m}$$