

Tarea 5.1 | Secado

Esteban Richmond-Salazar

6/6/2018

Contents

1 Problema N° 1	1
1.1 Referencia: Adaptado de Ocón y Tojo (1965b)	1
1.2 Solución	3
2 Problema N° 2	5
2.1 Referencia: Adaptado de Ejemplos 18.7 y 18.8 Seader, Henley & Roper (2011)	5
2.2 Solución	8

1 Problema N° 1

1.1 Referencia: Adaptado de Ocón y Tojo (1965b)

En las experiencias de secado efectuadas en condiciones constantes de secado sobre un material dispuesto en planchas de dimensiones 20 cm * 30 cm * 1 cm, se han obtenido los siguientes datos:

DATOS

La masa del sólido seco es de 350 g.

1. Construya la curva de velocidad de secado en las condiciones de experimentación, si el secado se efectúa por ambas caras (no hay secado por los costados).
2. Calcule las humedades crítica y de equilibrio.
3. Estime el valor de la rapidez de secado en el periodo constante (antecrítico).
4. Estime el tiempo que se requerirá para secar 500 kg de material desde 35 % hasta 20 % de humedad si se mantiene la misma relación de superficie de secado por masa de sólido seco y se considera que la curva anterior es aplicable.

```
html('<h2>Solución</h2>')
```

```
##### Datos de la curva de secado
```

```
datos_t = [ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, \
           90, 100, 110, 120] # min
datos_m = [532, 523, 514, 496, 483, 470, 462, 454, 449, 443, \
           440, 436, 434, 431] # g
```

```

##### Datos del enunciado
l_x      = 20      # cm
l_y      = 30      # cm
l_z      = 1       # cm
m_Ss     = 350     # g

m_S_esc  = 500     # kg
x_in     = 0.35    # kg/kg
x_fin    = 0.20    # kg/kg

#####
A_sec    = 2*l_x*l_y # cm2
X_in     = x_in/(1-x_in)
X_fin    = x_fin/(1-x_fin)

datos_X  = [(m_Sh-m_Ss)/m_Ss for m_Sh in datos_m]
datos_tX = zip(datos_t, datos_X)
sp_tX    = spline(datos_tX)

%var b, m, t, X
datos_R  = [-m_Ss/A_sec*sp_tX.derivative(t) for t in datos_t]
datos_XR = zip(datos_X, datos_R)
datos_XRinv = [(datos_X[i], 1/datos_R[i]) for i in range(len(datos_t)\
    )]]

sp_XRinv = spline(datos_XRinv)
ABC       = sp_XRinv.definite_integral(X_fin, min([X_in, max(\
    datos_X)]))
t_sec    = m_Ss/A_sec * ABC

n_C      = 3      # Dato que define último punto antes del valor \
    crítico
R_c      = mean([datos_R[i] for i in range(n_C)])

modelo(X) = m*X+b
ajuste    = find_fit([datos_XR[i] for i in range(n_C, len(datos_t)\
    )], modelo, solution_dict=True)
R_f(X)    = modelo(m=ajuste[m], b=ajuste[b])
X_c       = find_root(R_f == R_c, 0, X_in)
X_eq      = find_root(R_f == 0, 0, X_in)

graf_tX   = scatter_plot(datos_tX, axes_labels=['t$/min', '$X$']) \
    + plot(sp_tX, min(datos_t), max(datos_t), title='Curva de secado \
    (humedad)')
graf_XR    = scatter_plot(datos_XR, axes_labels=['$X$', '$R$'], \

```

```

    title='Curva de rapidez de secado') + plot(R_f, xmin=max(0, X_eq\
    *0.9), xmax=X_c, ymin=0) + line([(X_c, R_c), (X_in, R_c)])
graf_XRinv = scatter_plot(datos_XRinv, axes_labels=['$X$', '$1/R$'])\
    + plot(sp_XRinv, min(datos_X), max(datos_X)) + plot(sp_XRinv, \
    X_fin, min([X_in, max(datos_X)]), fill=True, title='NTU')

print "a) Curva de velocidad de secado"
graf_tX.show(figsize=(6,4))
graf_XR.show(figsize=(6,4))

print ""
print "b) Humedades crítica y de equilibrio"
print "X_c      = %6.2f kg/kg" %X_c
print "X_eq     = %6.2f kg/kg" %X_eq

print ""
print "c) Rapidez de secado constante"
print "R_c      = %6.4f g/(cm² min) = %.2g kg/(m² s)" %(R_c, R_c/6)

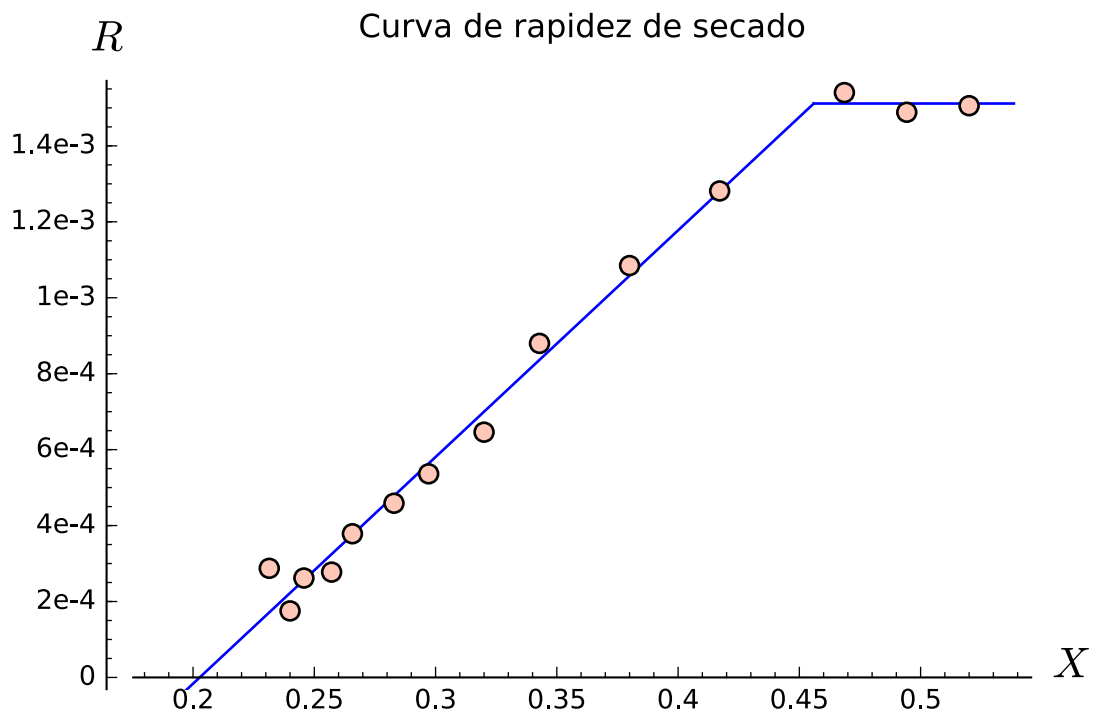
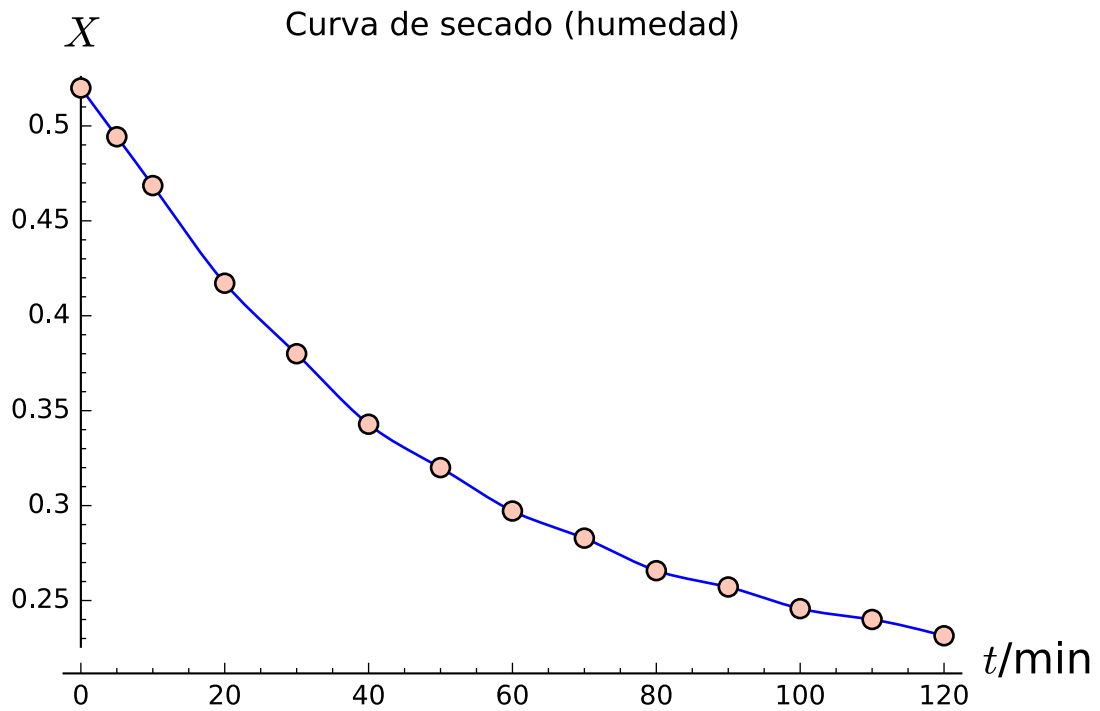
print ""
print "d) Tiempo para secar lote"
print "X_in     = %6.2f kg/kg" %X_in
print "X_fin    = %6.2f kg/kg" %X_fin
graf_XRinv.show(figsize=(6,4))
print ""
print "t_sec    = %.2g min" %t_sec

# ***** Final del código

```

1.2 Solución

a) Curva de velocidad de secado



b) Humedades crítica y de equilibrio

$$X_c = 0.46 \text{ kg/kg}$$

$$X_{eq} = 0.20 \text{ kg/kg}$$

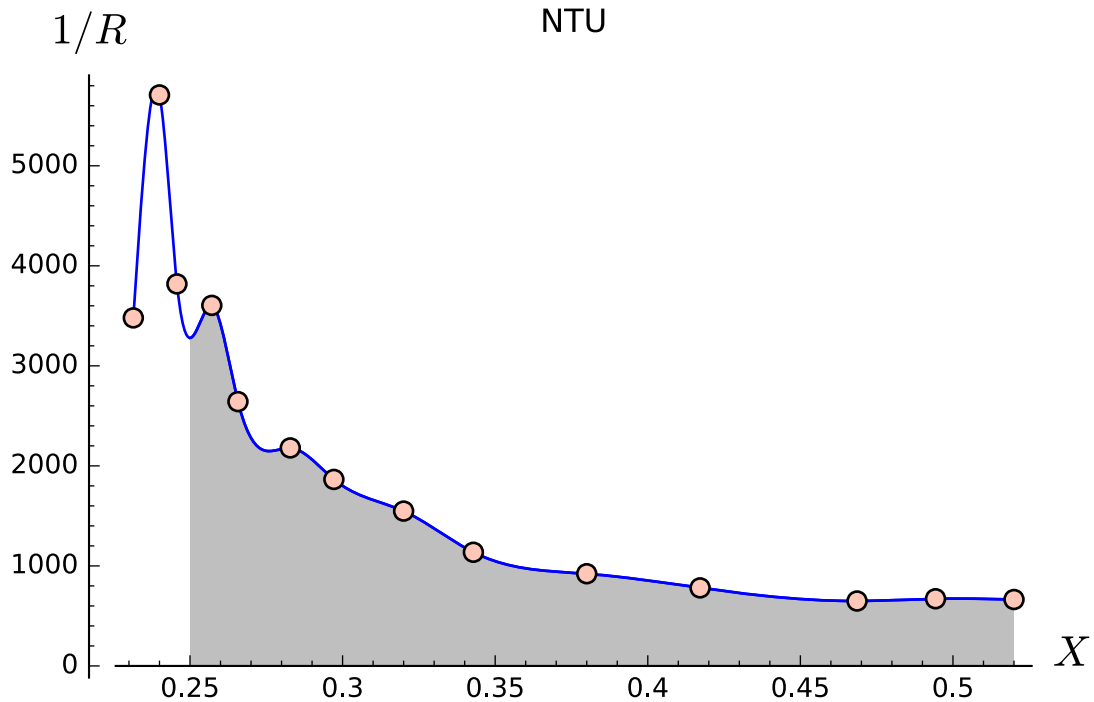
c) Rapidez de secado constante

$$R_c = 0.0015 \text{ g}/(\text{cm}^2 \text{ min}) = 0.00025 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$$

d) Tiempo para secar lote

$$X_{in} = 0.54 \text{ kg}/\text{kg}$$

$$X_{fin} = 0.25 \text{ kg}/\text{kg}$$



$$t_{sec} = 96 \text{ min}$$

2 Problema N° 2

2.1 Referencia: Adaptado de Ejemplos 18.7 y 18.8 Seader, Henley & Roper (2011)

Se va a secar una torta de filtración de CaCO_3 mediante aire a 1 atm y 77°C con una humedad relativa del 10 %. El contenido de humedad de la torta es del 30 % en base seca. Para las siguientes dos condiciones estime el tiempo, en minutos, requerido para alcanzar el contenido crítico de humedad, determinado experimentalmente en 10 % en base seca, si se desprecia el periodo de precalentamiento y los efectos de la radiación y la conducción a través del sólido.

1. Se hará el secado en una bandeja mediante circulación paralela desde la superficie. Cada bandeja es de 2,5 cm de alto, con un área de $1,5 \text{ m}^2$, y está llena con 75 kg de torta húmeda. La velocidad del aire que pasa a través del sólido húmedo es de 4 m/s.
2. La torta será extruida en piezas cilíndricas de 6,35 mm de diámetro y 12,7 mm de largo para formar un lecho de $1,5 \text{ m}^2$ de área de sección transversal y 5 cm de profundidad, con una porosidad externa del 50 %. El aire pasará a través del lecho a una velocidad superficial de 2 m/s (velocidad intersticial promedio de 4 m/s).

Se conocen las siguientes relaciones empíricas para determinar el coeficiente de transferencia de calor (h en $W\ m^2/K$, G' en $kg/(h\ m^2)$, d_p en m). Circulación paralela sobre placas planas: $h = 0.0204G'^{0,8}$ Circulación a través, lechos de partículas: $h = 0.151G'^{0,59}/d_p^{0,41}$ ($N_{Re} > 350$)
 $h = 0.214G'^{0,49}/d_p^{0,51}$ ($N_{Re} < 350$)

Donde $N_{Re} = d_p G' / \mu$, d_p es el diámetro de una esfera con igual área superficial que la partícula. La viscosidad del aire bajo esas condiciones es aproximadamente 0,02 cP.

```
html(' <h2>Solución</h2>')
```

```
##### Datos de enunciado
```

```
p_t      = 101.325      # kPa
t_G_entra = 77         # °C
Y_R_entra = 0.10       # Pa/Pa
X_in      = 0.30       # kg/kg
X_c       = 0.10       # kg/kg
mu_Gs     = 0.02*10^-3 # Pa s
```

```
##### Datos adicionales
```

```
R        = 8.314      # kJ/(kmol K)
t_0      = 0.01       # °C
N_Le     = 0.855
M_A      = 18.01      # agua
M_B      = 28.84      # aire
```

```
p_A_sat(t) = 10^(10.79586*(1-273.16/(t+273.15)) + 5.02808*\
log_b(273.16/(t+273.15),10) + 1.50474*10^-4 * (1-10^(-8.29692*((t\
+273.15)/273.16 - 1))) + 4.2873*10^-4 * (10^(4.76955*(1-273.16/(t\
+273.15))) - 1) + 2.786118312) / 1000 # kPa
```

```
lambda_(t) = 2501.6 + 2.2908456564*t - 0.0015914753*t^2 # [kJ\
/kg]
```

```
C_pBG(t) = R/M_B * (3.355 + 0.575*10^-3*(t+273.15) - \
0.016*10^-5/(t+273.15)^2) # [kJ/(kg K)]
```

```
Y_s(t, p) = M_A*p_A_sat(t)/(M_B*(p-p_A_sat(t)))
```

```
##### Condiciones del aire de entrada
```

```
p_A_sat_entra = p_A_sat(t_G_entra) # kPa
p_A_entra     = Y_R_entra * p_A_sat_entra # kPa
Y_entra       = p_A_entra/(p_t-p_A_entra) * M_A/M_B
v_H_entra     = R*(t_G_entra+273.15)/p_t * (1/M_B+Y_entra/M_A)
```

```
##### Temperatura de bulbo húmedo
```

```
%var tw
```

```
t_w = find_root(t_G_entra-tw == lambda_(tw)/(C_pBG(\
t_G_entra)*N_Le^(2/3)) * (Y_s(tw, p_t) - Y_entra), 0, t_G_entra)
```

```

print "p_A_sat      = %6.3f kPa" %p_A_sat_entra
print "p_A_entra    = %6.3f kPa" %p_A_entra
print "Y'entra      = %6.3f kg/kg" %Y_entra
print "v_H,entra    = %6.3f m³/kg" %v_H_entra

print "\nCondición 1: Placas\n=====
l_z      =      0.025      # m
A_sec    =      1.5        # m²
S_h      =      75        # kg
u_G      =      4          # m/s

S_s      = S_h*(X_in/(1+X_in))
G_s      = u_G*3600/v_H_entra # kg/(m² h)
h        = 0.0204*G_s^0.8    # W/(m² K)
R_c      = h*(t_G_entra-t_w)/lambda_(t_w)/1000
rho_Ss   = S_s/(A_sec*l_z)   # kg/m³

##### Periodo constante
t_sec    = S_s/(A_sec*R_c) * (X_in-X_c)

print "S's        = %8.4g kg/(m² h)" %S_s
print "S's/A      = %8.4g kg/m²" % (S_s/A_sec)
print "G's        = %8.4g kg/(m² h)" %G_s
print "h          = %8.4g W/(m² K)" %h
print "t_w        = %8.4g °C" %t_w
print "lambda_w    = %8.3g kJ/kg" %lambda_(t_w)
print "R_c        = %8.3g kg/(m² s)" %R_c
print "t = %0.4g s = %0.3g h" %(t_sec, t_sec/3600), "<----- Respuesta"
print "rho_Ss     = %8.3g kg/m³" %rho_Ss

print "\nCondición 2: Extrusión\n=====
d_pe     =      0.00635    # m, diámetro extrusiones
l_pe     =      0.0127    # m, largo cilindro
A_lecho  =      1.5        # m²
z_lecho  =      0.05      # m de profundidad
eps_e    =      0.50
u_s      =      2          # m/s
u_int    =      4          # m/s

V_pe     = pi/4 * d_pe^2 * l_pe # m³
d_p      = (6*V_pe/pi)^(1/3)    # m
V_lecho  = A_lecho*z_lecho     # m³
N_piezas = V_lecho*(1-eps_e)/V_pe # número de piezas
A_pe     = 2*(pi/4 * d_pe^2) + pi*d_pe*l_pe # m²
A_sec    = N_piezas*A_pe

```

```

S_s      = N_piezas*V_pe*rho_Ss # kg
G_s      = u_int/v_H_entra      # kg/(m² s)
N_Re     = d_p*G_s/mu_Gs

if N_Re > 350:
    h      = 0.151*G_s^0.59/d_p^0.41
else:
    h      = 0.214*G_s^0.49/d_p^0.51

t_sec    = S_s/(A_sec*R_c) * (X_in-X_c)

print "V_pe      = %8.3g m³" %V_pe
print "d_p      = %8.3g mm" %(d_p*1000)
print "V_lecho  = %8.3g m³" %V_lecho
print "N_piezas = %8.4g" %N_piezas
print "A_pieza  = %8.3g m²" %A_pe
print "A_secado = %8.3g m²" %A_sec
print "S's      = %8.4g kg" %S_s
print "S's/A    = %8.4g kg/m²" %(S_s/A_sec)
print "G's      = %8.4g kg/(m² h)" %G_s
print "N_Re     = %8.4g" %N_Re
print "h        = %8.4g W/(m² K)" %h
print "R_c      = %8.3g kg/(m² s)" %R_c
print "t = %.4g s = %.3g h" %(t_sec, t_sec/3600)," <----- Respuesta"

```

2.2 Solución

```

p_A_sat = 41.897 kPa
p_A_entra = 4.190 kPa
Y'entra = 0.027 kg/kg
v_H,entra = 1.039 m³/kg
Condición 1: Placas
=====
S's      = 17.31 kg/(m² h)
S's/A    = 11.54 kg/m²
G's      = 1.386e+04 kg/(m² h)
h        = 41.97 W/(m² K)
t_w      = 36.98 °C
lambda_w = 2.58e+03 kJ/kg
R_c      = 0.00065 kg/(m² s)
t = 3550 s = 0.986 h <----- Respuesta
rho_Ss   = 462 kg/m³
Condición 2: Extrusión
=====
V_pe     = 4.02e-07 m³
d_p      = 9.16 mm
V_lecho  = 0.075 m³

```


$$N_{\text{piezas}} = 9.324e+04$$

$$A_{\text{pieza}} = 0.000317 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{secado}} = 29.5 \text{ m}^2$$

$$S's = 17.31 \text{ kg}$$

$$S's/A = 0.5862 \text{ kg/m}^2$$

$$G's = 3.849 \text{ kg/(m}^2 \text{ h)}$$

$$N_{\text{Re}} = 1763$$

$$h = 2.291 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$R_c = 0.00065 \text{ kg/(m}^2 \text{ s)}$$

$$t = 180.4 \text{ s} = 0.0501 \text{ h} <----- \text{ Respuesta}$$