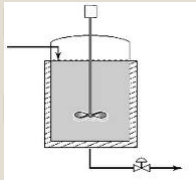
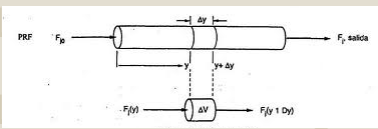


FLUJO NO IDEAL

MODELOS de FLUJO IDEAL



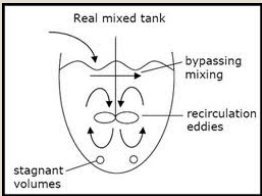
MEZCLA COMPLETA



FLUJO PISTÓN

FLUJO REAL

+ Si hay Reacción química, se obtienen conversiones menores a las calculadas mediante un flujo ideal





Desviaciones de la idealidad, por:

- Canalizaciones
- Zonas muertas o estancadas
- Cortocircuitos

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

¿COMO PREDECIR LA CONVERSION ESPERADA EN UN REACTOR CON FLUJO REAL

Caso A

DETERMINACION DEL FLUJO REAL, curva DTR, MEDIANTE EXPERIMENTOS CON TRAZADOR Y SIN RQ

Caso B

El parámetro del modelo de flujo se puede estimar mediante correlaciones en función de las variables (velocidad, propiedades del fluido etc)

Uso de la información directa, curva DTR, (n=1, Macromezcla)

+ Información Cinética

Propuesta de un modelo de flujo: cálculo del parámetro del modelo

Balance al reactivo, con el modelo de circulación real

+ Información Cinética

Conversión real esperada

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

En el laboratorio, los objetivos son:

- Determinar la curva DTR de una instalación
- Caracterizar sus momentos y diagnosticar su funcionamiento
- Proponer un modelo de flujo y determinar el parámetro del modelo, para explicar los resultados obtenidos

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL



DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ Curva DTR: técnica estímulo-respuesta.

- Consiste en estudiar la respuesta transitoria a un cambio brusco de la concentración a la entrada del reactor, en ausencia de reacción química, con el fin de caracterizar el tipo de flujo en un reactor real.
- Para ello se introduce al reactor una cantidad de trazador y se determina su concentración en la corriente de salida en función del tiempo $c(t)$.
- Trazador: sustancia inerte (no reactiva, ni se adsorbe). Debe ser fácil de detectar, tener propiedades físicas parecidas a la de la corriente, y ser completamente soluble en ella.
- Trazadores típicos: colorantes, ácidos, bases, sales, isótopos radiactivos, etc.
- Analizado la $c(t)$ vs. t se obtiene la distribución de tiempos de residencia (DTR).

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

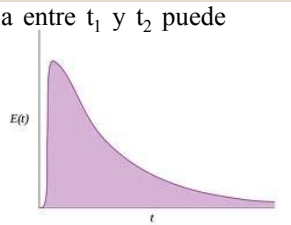
✓ **Curva E**

- La curva E es una función de distribución normalizada de tiempos de residencia con dimensiones de tiempo⁻¹.
- La fracción fluido introducido al reactor que permanece en éste un tiempo entre t y t + dt en el reactor será:

$$E(t) \cdot dt$$
- Si todos los elementos del fluido que entran, atraviesan el reactor (sin cortocircuito):

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$$
- La fracción de fluido con un tiempo de residencia entre t₁ y t₂ puede obtenerse de:

$$\int_{t_1}^{t_2} E(t) dt$$



INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEG

FLUJO NO IDEAL

IRQ 11/12

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ **Curva F y J**

- Fracción de fluido introducido al reactor que ha salido entre 0 y t, y se calcula por tanto integrando la curva E(t):

$$F(t) = \int_0^t E(t) dt$$
- La fracción de fluido que permanece entre t e ∞ será:

$$J(t) = \int_t^{\infty} E(t) dt$$
- y si todo el fluido pasa por el sistema:

$$J(t) = 1 - F(t)$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ **Curva DTR en función del tiempo adimensional.**

- La curva DTR puede expresarse en función del tiempo adimensional:

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} \quad \text{siendo} \quad \bar{t} = \frac{V}{Q} = \frac{L}{u}$$

donde

$$E(\theta)d\theta = E(t)dt$$

$$E(\theta) = E(t) \frac{dt}{d\theta} = E(t) \frac{V}{Q}$$

y por tanto:

$$E(\theta) = \bar{t} E(t)$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ **Momentos de una distribución normalizada**

- Primer momento: El tiempo de residencia es el centroide de la DTR y se define como el tiempo medio que una molécula de trazador que entra al reactor permanece en éste hasta que sale:

$$\mu_1 = \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tE(t)dt}{\int_0^{\infty} E(t)dt} \quad \mu_1 = \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} (1-F)dt}{J_{t=0}}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

FLUJO NO IDEAL

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ **Momentos de una distribución normalizada**

- Segundo momento: el segundo momento se toma respecto al tiempo medio y se denomina "varianza".

$$\mu_2 = \frac{\int_0^{\infty} t^2 E(t) dt}{\int_0^{\infty} E(t) dt} \quad \mu_2 = \frac{2 \int_0^{\infty} (1-F) dt}{J_{t=0}}$$

- La varianza es una indicación de la amplitud o dispersión de la distribución con respecto al tiempo medio.

$$\sigma^2 = \mu_2 - \mu_1^2 = \frac{\int_0^{\infty} (t - \mu_1)^2 E(t) dt}{\int_0^{\infty} E(t) dt}$$

- En función del tiempo adimensional:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{t_E^2}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓ **Momentos de una distribución normalizada**

- Momento n:

$$\mu_n = \frac{\int_0^{\infty} t^n E(t) dt}{\int_0^{\infty} E(t) dt} \quad \mu_n = n \frac{\int_0^{\infty} t^{n-1} J(t) dt}{J_{t=0}}$$

- La media y las varianzas tienen propiedades aditivas.

✓ **Diferencias causadas por el volumen muerto y cortocircuitos.**

$$\mu_1 = \frac{V_u}{Q_u} \quad \begin{array}{l} V_u = \text{volumen útil} \\ Q_u = \text{caudal útil} \end{array}$$

$$\theta = \frac{t}{V_R / Q_T} = \frac{t}{t_E} \quad \begin{array}{l} V_R = \text{volumen teórico} \\ Q_T = \text{caudal total teórico} \\ t_E = \text{tiempo residencia teórico} \end{array}$$

Si no hay volumen muerto: $V_u = V_R$ Si hay volumen muerto: $V_u + V_d = V_R$ Si no hay cortocircuito: $Q_u = Q_T$

$V_d = \text{volumen muerto}$

Si no hay volumen muerto, ni cortocircuito: $\mu_1 = t_E$ La fracción de zona muerta se calcula por: $\frac{V_d}{V_R} = 1 - \frac{\mu_1}{t_E} = 1 - \frac{V_u}{V_R}$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ Tipos de perturbación

- ✓ **Entrada en escalón**, en el que la concentración de un trazador en el influente al reactor cambia de un estado estacionario a otro distinto.
- ✓ **Entrada en impulso**, en el que una cantidad relativamente pequeña de trazador se inyecta a la corriente alimento instantáneamente.
- ✓ **Entrada periódica o sinusoidal**, en el que se cambia la frecuencia de una variación sinusoidal.
- ✓ **Entrada al azar**, el caudal de trazador introducido en la corriente alimento varía al azar.

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ Impulso

- ✓ Un impulso de trazador supone que a tiempo 0, y de forma instantánea, se inyecta una cantidad de trazador N_0 a la entrada al reactor.
- ✓ En este caso se mide la concentración de trazador a la salida, $c(t)$.
- ✓ La fracción de trazador inyectado que permanece un tiempo entre t y $t+dt$ en el reactor será $E(t) \cdot dt$, y en este caso se calcula como:

$$E(t)dt = \frac{Qc(t)dt}{N_0}$$

donde Q es el caudal que atraviesa el reactor y N_0 la cantidad de trazador introducida al sistema.

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ **Impulso**

➤ Si no hay cortocircuito (es decir todo el trazador inyectado atraviesa el reactor):

$$N_o = \int_0^{\infty} Qc(t) dt$$

➤ En ausencia de cortocircuito las curvas E(t) y C coinciden, siendo la curva C(t):

$$C(t) = \frac{c(t)}{\int_0^{\infty} c dt}$$

➤ Si la propiedades que se miden (en este caso, absorbancia) tienen una relación lineal con la concentración, se puede emplear la siguiente ecuación:

$$C(t) = \frac{Abs(t)}{\int_0^{\infty} Abs * dt}$$

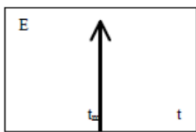
INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

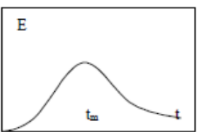
TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ **Impulso**

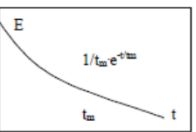
Recipientes sin cortocircuito : curva E = curva C



Flujo en pistón



Flujo real



Flujo en mezcla completa

✓ **Flujo pistón:** todos los elementos de fluido tienen el mismo tiempo de residencia

✓ **Flujo en un tubular real:** normalmente presenta un comportamiento intermedia al pistón y mezcla completa.

✓ **Flujo en mezcla completa:** las moléculas del fluido se mezclan uniformemente con las moléculas que se encuentran en el reactor, de forma que unas saldrán casi inmediatamente, mientras que otras permanecerán más tiempo en el reactor.

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ **Perturbación en Escalón**

$Q \rightarrow$
 $t < 0 \ C_0 = 0$
 $t \geq 0 \ C_0 = C_0$

reactor

$Q \rightarrow$
 $C(t)$

- ✓ Un escalón de trazador supone introducir al reactor, a tiempo 0, un caudal con una concentración de trazador constante, C_0 .
- ✓ En este caso se obtiene directamente **la curva F**. $F(t) = \frac{c(t)}{C_0}$

Flujo en pistón

Flujo en mezcla completa

Flujo arbitrario

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

TIPOS DE ENSAYO ESTÍMULO-RESPUESTA

❖ **Perturbación en Escalón inverso**

$Q \rightarrow$
 $t < 0 \ C_0 = C_0$
 $t \geq 0 \ C_0 = 0$

reactor

$Q \rightarrow$
 $C(t)$

- ✓ Un escalón inverso de trazador supone introducir al reactor un caudal con una concentración de trazador constante, C_0 , y a tiempo 0, se reemplaza esta corriente de entrada por otra con el mismo caudal pero con concentración de trazador cero.
- ✓ En este caso se obtiene directamente **la curva J**. $J(t) = \frac{c(t)}{C_0}$
- ✓ La curva E, de acuerdo a su relación general con J, se calcula derivando la curva J:

$$E(t) = -\frac{dJ(t)}{dt}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO REAL

❖ Tipos de modelos de flujo real.

- ✓ Los reactores ideales (mezcla completa y flujo de pistón) representan dos modelos extremos.
- ✓ Los reales tienen un comportamiento intermedio para cuya descripción se han desarrollado diferentes modelos, como por ejemplo:
- ✓ Modelos sin parámetros ajustables: Permiten estimación directa de la conversión, cuando hay Reacción Química (RQ) a partir de los datos de DTR:
 - ✓ Modelo de segregación completa.
 - ✓ Modelo de mezcla máxima.
- ✓ Modelos con un parámetro ajustable:
 - ✓ Flujo disperso en pistón (para pequeñas desviaciones con respecto a Flujo Pistón). Parámetro Modulo de Dispersión D/uL
 - ✓ Tanques en serie (permite considerar desviaciones, mayores o menores, respecto a flujo pistón). Parámetro: Número de Tanques. J
 Ambos describen desviaciones de flujo pistón.

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO REAL (NO IDEAL)

❖ Modelo de segregación completa.

- ✓ Permite *estimar directamente la conversión esperada en un reactor* a partir de los datos de DTR obtenida con trazadores al mismo caudal.
- ✓ Supone que no existe mezcla entre elementos de fluido de diferente edad hasta que el fluido abandona el reactor. Los elementos de fluido se encuentran como pequeños agregados que permanecen dentro del reactor diferentes intervalos de tiempo. Cada agregado se comporta como un pequeño reactor intermitente.

$$\bar{x}_A = \int_0^{\infty} x_A(t) E(t) dt$$

$x_A(t)$ representa la conversión alcanzada por los elementos de fluido con una edad t de permanencia en el reactor.

Obtenida de experimentos con trazador al mismo caudal, sin RQ

El reactor se considera como un reactor discontinuo tipo batch.

- ✓ En función de la concentración:

$$1 - x_A = \int_0^{\infty} \left(\frac{C_A(t)}{C_{A0}} \right) E(t) dt$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

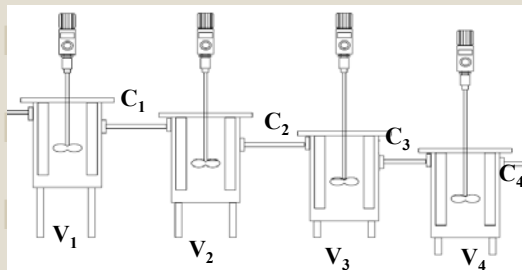


FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO REAL (NO IDEAL)

❖ Modelo de Tanques en serie



- Modelo que permite describir el flujo real en el reactor como desviación de un flujo pistón ideal.
- Supone que el reactor no ideal se comporta como una batería de reactores continuos de mezcla perfecta en serie, todos del mismo tamaño.
- El parámetro a ajustar es el número de tanques en serie, N . Mezcla completa $N=1$, flujo pistón $N=\infty$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO REAL (NO IDEAL)

❖ Modelo de Tanques en serie

- En este sistema, se puede demostrar que la curva de DTR corresponde a:

$$E(t) = \frac{t^{N-1}}{(N-1)! \bar{t}_j^N} e^{-t/\bar{t}_j}$$

- Donde el tiempo de residencia, primer momento, corresponde a :

$$\mu_1 = \frac{NV_j}{Q} = N\bar{t}_j$$

j = tanque j ,
 N = número de tanques,
 V_j = Volumen de un tanque
 $\bar{t}_j$ = tiempo de residencia en el tanque j

- En el tiempo adimensional: $\theta = \frac{t}{\mu_1}$

$$E(\theta) = \frac{N(N\theta)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N\theta}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL IRQ 10/11

MODELOS DE FLUJO REAL (NO IDEAL)

 ❖ **Modelo de Tanques en serie**

➤ El cálculo de la varianza de la curva $E(\Theta)$ obtenida experimentalmente proporciona el número de tanques en serie que originan una DTR semejante:

$$N = \frac{1}{\sigma_{\theta}^2} = \frac{\mu_1^2}{\sigma_1^2}$$

➤ Se asume comportamiento de flujo pistón ideal cuando:

$$N > 20 \quad \text{ó} \quad \sigma_{\theta}^2 < 0.05$$

Aunque para $N > 8$ ya hay una buena aproximación a flujo pistón. Si se obtuviera $N=1$, significaría mezcla completa del fluido

➤ Con el número de tanques y para una cinética de primer orden, se podría calcular la conversión esperada:

$$X_A = 1 - \frac{C_A}{C_{A0}} = 1 - \frac{1}{(1 + k\tau_j)^N}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

 ❖ **Modelo de dispersión**

✓ Supone un proceso similar a la difusión superpuesto al flujo pistón. Esto produce mezcla con las secciones anteriores y posteriores a la posición del reactor tubular considerada

✓ El modelo supone también que, a una longitud dada, la velocidad y concentración de los reactantes son constante con el diámetro de la conducción.

✓ La magnitud de la dispersión, medida por un coeficiente de dispersión, D , se considera independiente de la posición dentro del recipiente.

✓ Por lo tanto, según este modelo, no habrá ni regiones estancadas, ni cortocircuitos de fluido.

✓ El fenómeno de dispersión se describe de forma análoga a la ley de Fick. Al realizar un balance de trazador, sin RQ, en el tubo y en no estacionario, aparecerán los términos de convección y dispersión:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u \frac{\partial c}{\partial x}$$

u = velocidad de paso del fluido
 x : longitud en el reactor
 c = concentración de trazador

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

FLUJO NO IDEAL IRQ 11/12

 MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ **Modelo de dispersión, Sin RQ**

✓ El modelo tiene la forma de una ecuación unidimensional con un término convectivo. Definiendo variables adimensionales posición y tiempo:

$$z = x / L$$

$$\theta = t / t_E = t \frac{L}{u}$$

El balance al trazador en el tubular, con este modelo se puede escribir como:

$$\frac{dc}{d\theta} = \left(\frac{D}{uL} \right) \frac{d^2c}{dz^2} - \frac{dc}{dz}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

FLUJO NO IDEAL

 MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ **Modelo de dispersión**

✓ El grupo adimensional (D/uL) es el módulo de dispersión.

✓ El número de Peclet se define como el inverso del módulo de dispersión.

$$P_e = \frac{uL}{D} \quad \text{Número de Peclet}$$

✓ Se observa que cuando:

$$\frac{1}{P_e} = \frac{D}{uL} \rightarrow 0 \quad (\text{dispersión despreciable}), \text{ se tiende a flujo pistón}$$

$$\frac{1}{P_e} = \frac{D}{uL} \rightarrow \infty \quad (\text{dispersión grande}), \text{ se tiende a flujo en mezcla completa}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA 

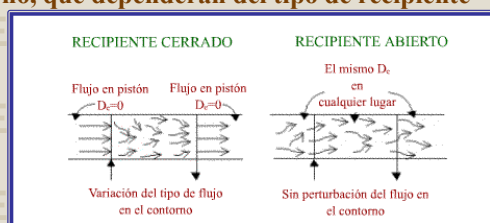
FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ Modelo de dispersión

Para resolver el balance de materia, hay que considerar las condiciones de contorno, que dependerán del tipo de recipiente



➤ El flujo no se ve afectado al pasar a través de la entrada y la salida del sistema (**recipiente abierto**)

➤ Hay un cambio en el patrón de flujo en las fronteras (**recipiente cerrado**).

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL



MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ Modelo de dispersión

Recipiente abierto

✓ Se obtiene una expresión analítica para la curva E no muy compleja. A partir de esta expresión se determina la varianza,

$$E(\theta) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\theta/P_e}} e^{\left[-\frac{P_e(1-\theta)^2}{4\theta}\right]}$$

$$\sigma_\theta^2 = 2\left(\frac{D}{uL}\right) + 8\left(\frac{D}{uL}\right)^2 = \frac{2}{P_e} + \frac{8}{P_e^2}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA



FLUJO NO IDEAL

MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ **Modelo de dispersión**

Recipiente cerrado

✓ En este caso, al resolver el balance al trazador con las condiciones de contorno, se obtiene que la varianza es

$$\sigma_{\theta}^2 = 2\left(\frac{D}{uL}\right) - 2\left(\frac{D}{uL}\right)^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{uL}{D}\right)\right)$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ **Modelo de dispersión, sin RQ**

Si el grados de dispersión es pequeño:

$$\frac{D}{uL} < 0.01 \quad P_e > 100$$

✓ La solución de ecuación diferencial adimensional para el trazador es:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{2\sqrt{\pi/P_e}} e^{\left[-\frac{P_e(1-\theta)^2}{4}\right]}$$

✓ Y la relación del Pe con la varianza puede simplificarse a

$$\sigma_{\theta}^2 = 2\left(\frac{D}{uL}\right) = \frac{2}{P_e}$$

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

MODELOS DE FLUJO NO IDEAL

❖ **Modelo de dispersión con reacción química**

Recipiente cerrado

✓ Balance de materia al reactivo A en el reactor tubular, en estado estacionario

$$A \longrightarrow \text{productos} \quad -r_A = kC_A^n$$

entrada = salida + desaparición por reacción + acumulación

$$\frac{D}{uL} \frac{d^2 C_A}{dz^2} - \frac{dC_A}{dz} - kC_A^n = 0$$

Para reacción de primer orden y desviaciones pequeñas respecto del flujo pistón:

$$\frac{C_A}{C_{Ao}} = \exp \left[-kt_E + (kt_E)^2 \frac{D}{uL} \right]$$

Obtenido de experimentos con trazador al mismo caudal, sin RQ

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

FLUJO NO IDEAL

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

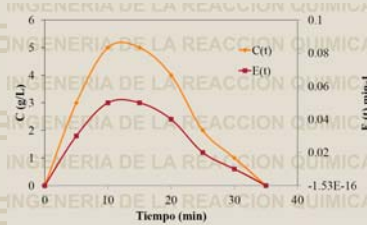
✓ **Ejemplo: Cálculo de DTR a partir de datos experimentales, perturbación en impulso, sin RQ, datos c salida vs. t**

Tiempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	35
c (g/L)	0	3	5	5	4	2	1	0

Sin Cortocircuito:

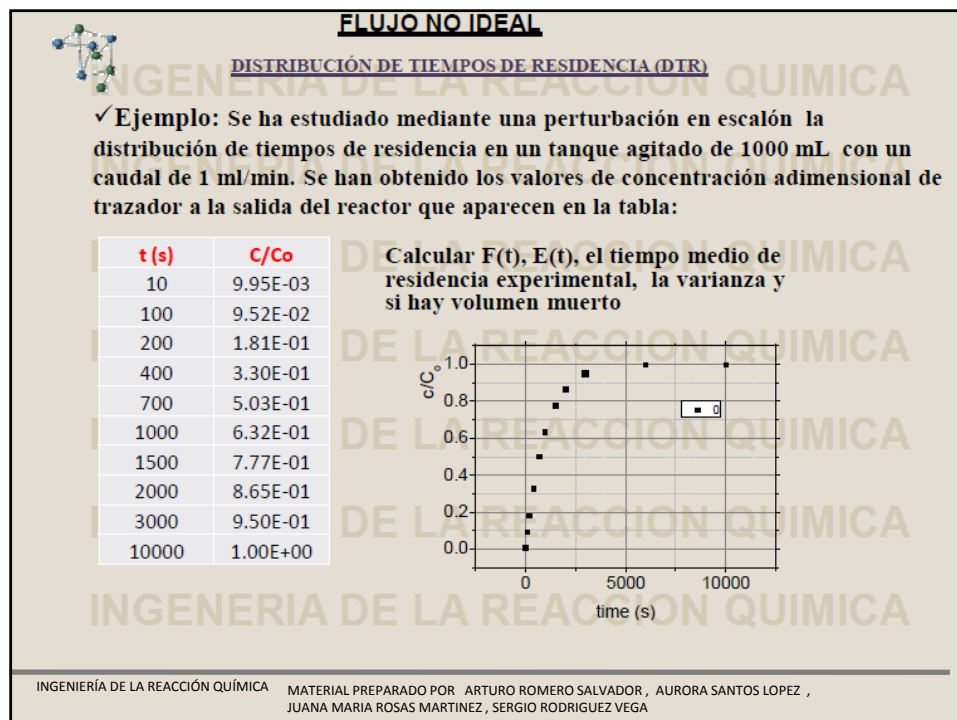
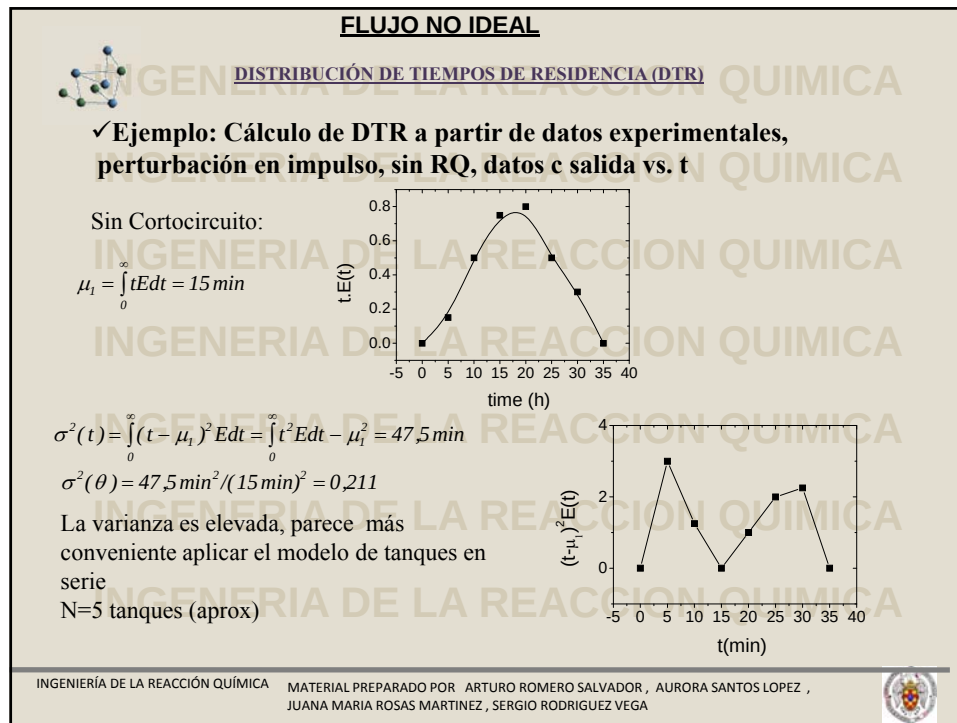
$$E(t) = \frac{c}{\int_0^\infty c dt}$$

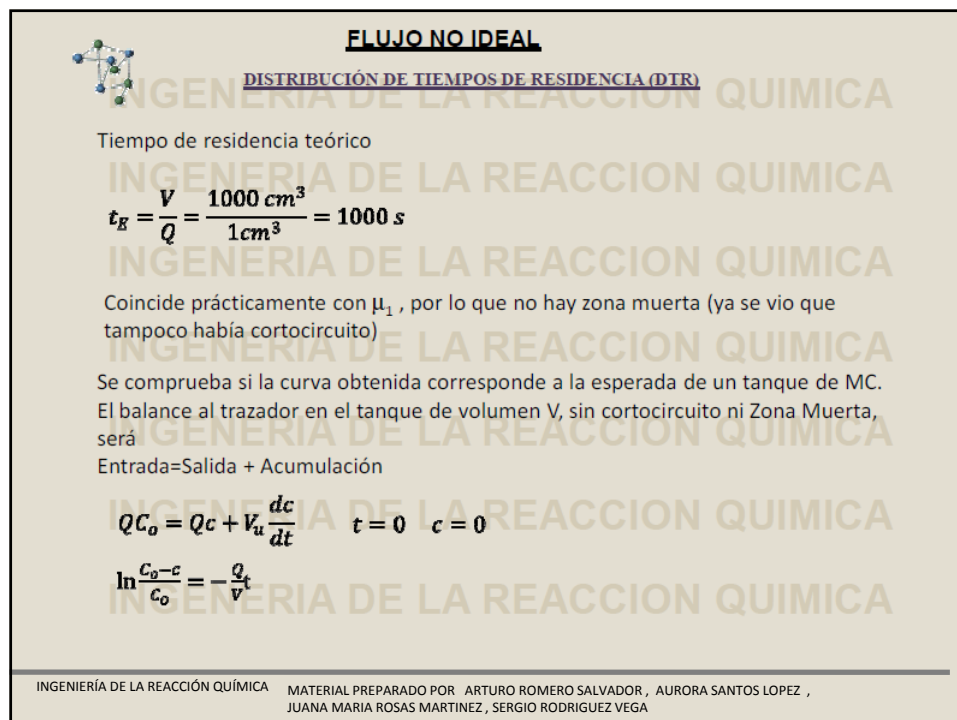
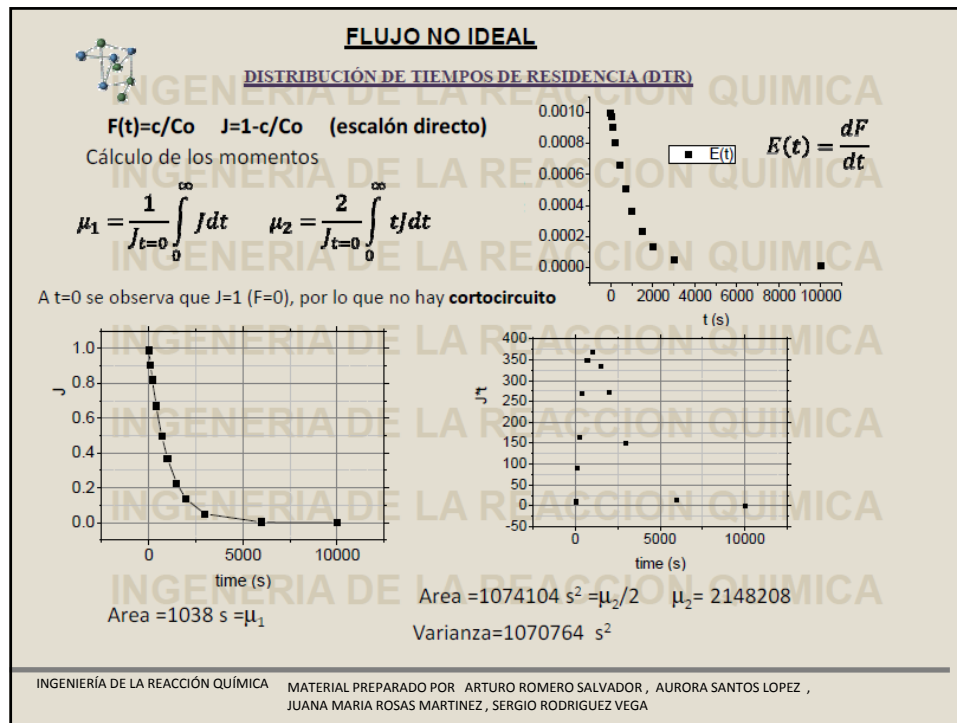
Area c vs. t = 100g·min/ litro

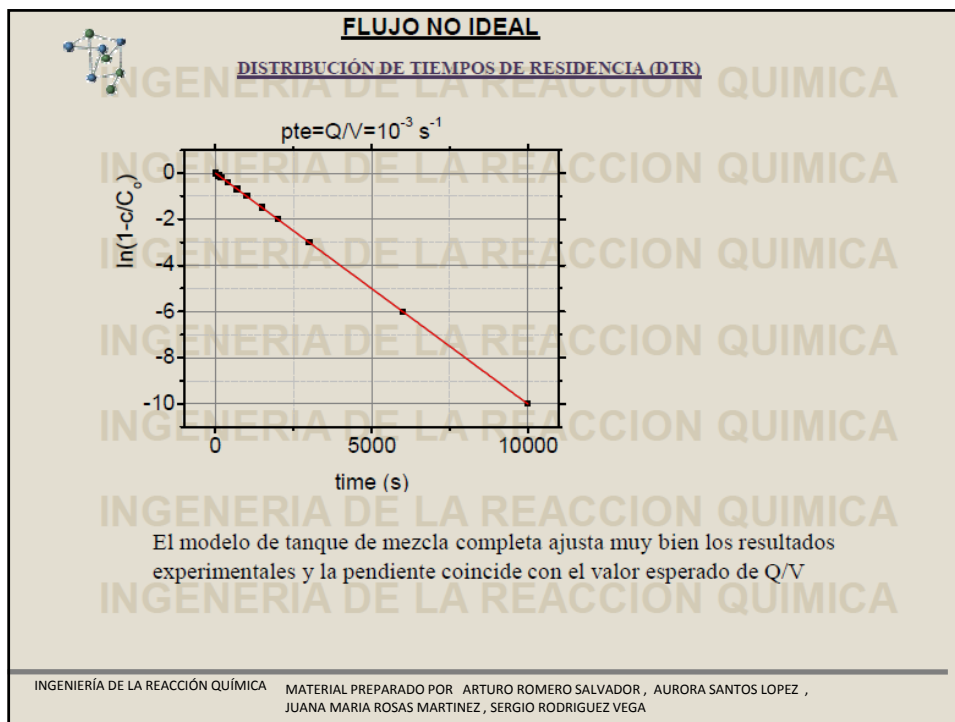


Tiempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	35
E(t) (min⁻¹)	0	0.03	0.05	0.05	0.04	0.02	0.01	0

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA







FLUJO NO IDEAL

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR)

✓Ejemplo: Se ha estudiado mediante una perturbación en escalón inverso la distribución de tiempos de residencia en un tanque agitado de 100 mL a 300 r.p.m, con un caudal de 1 ml/min. Se han obtenido los valores de concentración de trazador a la salida del reactor que aparecen en la tabla:

Tiempo (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
c (g/L)	1	0.846	0.717	0.607	0.513	0.435	0.368	0.311	0.264

Tiempo (min) Cont.	135	150	165	180	195	210	225	300
c (g/L) Cont.	0.223	0.189	0.160	0.135	0.115	0.097	0.082	0.036

Calcular $F(t)$, $E(t)$, el tiempo medio de residencia experimental, la varianza y el volumen muerto

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA MATERIAL PREPARADO POR ARTURO ROMERO SALVADOR, AURORA SANTOS LOPEZ, JUANA MARIA ROSAS MARTINEZ, SERGIO RODRIGUEZ VEGA

