

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACAP – EAP DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
CURSO: OPERACIONES UNITARIAS II
CATEDRATICO: ING. MIGUEL ANGEL QUISPE SOLANO**

**LABORATORIO N° 6
AGITACION Y MEZCLADO DE LIQUIDOS**

I. OBJETIVOS:

El presente laboratorio busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Comprender la importancia y los principios básicos del mezclado y/o agitación de líquidos
- Distinguir los diferentes diseños de agitadores
- Visualizar las trayectorias de flujo de los líquidos agitados con distinta geometría
- Capacidad para calcular la potencia del agitador requerida

II. FUNDAMENTO:

El mezclado y/o agitación de líquidos miscibles o de sólidos en líquidos se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo. Dicho flujo es producido por medios mecánicos generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles o sólidos en líquidos se puede lograr un mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de mezclado logrado es menor.

La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado.

Los materiales a ser mezclados pueden ser líquidos de muy baja viscosidad hasta pastas altamente viscosas. Esencialmente existen dos tipos de sistemas de mezclado:

- 1) Tanque estacionario conteniendo un sistema de impulsión montado en un eje, que rota. Para líquidos poco viscosos se emplean impulsores de tipo paleta (Fig. 1a) o propelas tipo marino (Fig. 1b, c) montados en tanques verticales. Suspensiones líquido-sólido fluidas o para la dispersión de gases en líquidos.

Para mezclar líquidos de alta consistencia como líquidos viscosos, pastas, grasas, etc., se emplean impulsores tipo agitador de ancla, de paletas contrarrotatorias o de compuerta (Fig. 1d, e, f).

- 2) Tanque móvil con impulsor móvil y/o estacionario, generalmente utilizado para materiales altamente consistentes como masa o plásticos fundidos.

En éste resumen tan solo consideraremos los sistemas de mezclado para líquidos de baja o moderada viscosidad.

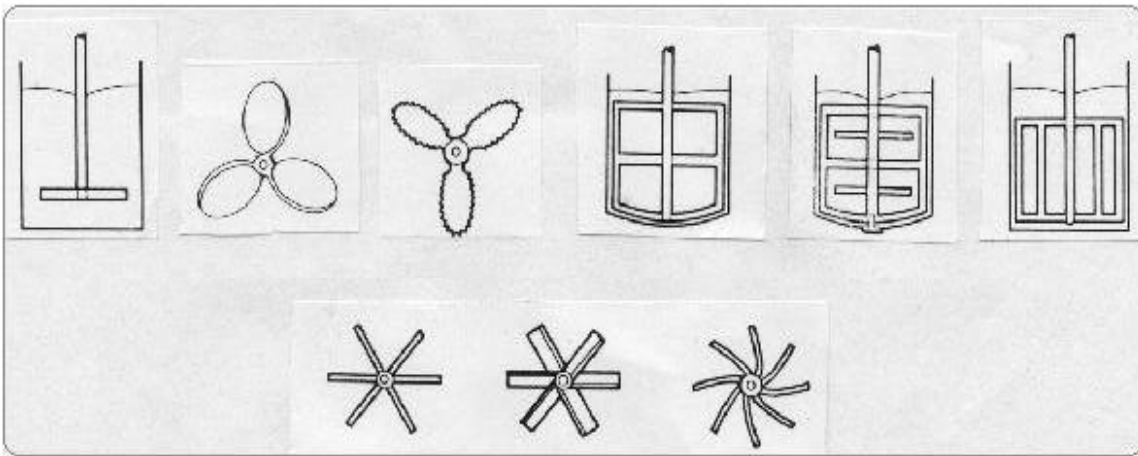


Fig. 1: Algunos impulsores típicos: (a) de paleta, (b) propela marina, (c) propela marina dentada, (d) de ancla, (e) de paletas contrarrotatorias, (f) de compuerta, (g) turbina recta, (h) turbina inclinada, e i) turbina curva.

Agitación de líquidos poco viscosos

Generalmente los líquidos se agitan en tanques cilíndricos, en donde el líquido ocupa en forma aproximada una altura equivalente al diámetro del tanque. Un motor eléctrico impulsa al propulsor agitador que está montado en un eje (Fig.2), vertical u horizontal. Los agitadores de uso común para líquidos de baja viscosidad son el agitador tipo marino de tres aspas (Fig.1), que puede ser introducido en el tanque lateralmente por medio de una plataforma móvil o puede montarse en la pared del tanque en posición desplazada del centro. Estos agitadores giran a velocidades de 400 a 1750 rpm.

Cuando se tienen materiales más viscosos tipo pastas de almidón, adhesivos, pinturas y cosméticos es conveniente el utilizar agitadores de paleta (Fig.1d, e, f) que giran a velocidades de 20 a 200 rpm. Los agitadores pueden contener de 2 a 4 paletas, la longitud total del propulsor de paletas mide 60-80% del diámetro del tanque y la anchura mide de 1/6 a 1/10 de la longitud.

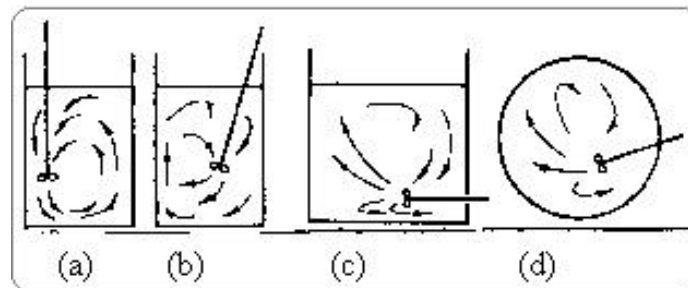


Fig. 2: Arreglos de tanques cilíndricos con el agitador montado: (a) verticalmente descentrado, (b) inclinado, (c) centrado con entrada lateral, (d) descentrado con entrada lateral.

Cuando se procesan líquidos con amplia variedad de viscosidades se usan turbinas (Fig. 1 h, i, j), que tienen un diámetro de 30 a 60% el diámetro del tanque. Las aspas de la turbina pueden ser planas, inclinadas o curvas. Giran a una velocidad de 30-500 rpm. Generalmente están montadas en un eje vertical y centradas en el tanque.

Trayectorias del flujo en la agitación

Cualquiera que sea el tipo de impulsor propulsor seleccionado éste debe crear condiciones turbulentas dentro de la corriente móvil del fluido.

La velocidad de un líquido en un tanque agitado tiene 3 componentes: a) una radial que actúa en una dirección perpendicular al eje, b) una longitudinal que actúa paralela al eje y

c) una rotacional que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje. Las dos primeras componentes generalmente contribuyen al mezclado pero la tercera puede no hacerlo. Cuando los impulsores-agitadores se montan verticalmente en el centro del tanque, casi siempre se desarrolla una trayectoria de flujo circular tipo remolino, que desarrolla un vórtice (Fig.3 a) y que atrapa aire, lo cual es indeseable generalmente.

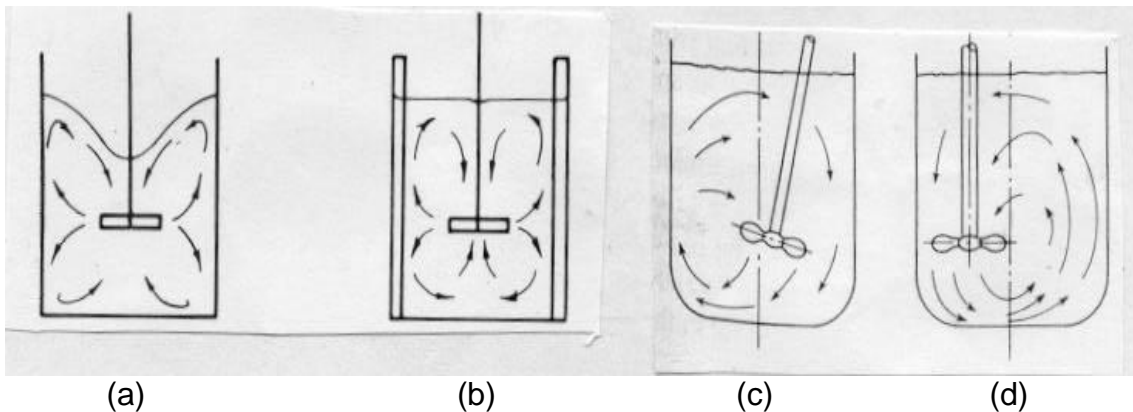


Fig. 3: Trayectorias de flujo en tanques cilíndricos: (a) formación de vórtice con agitador centrado con deflector, (b) con agitador centrado con deflectores, (c) con agitador inclinado, (d) con agitador vertical descentrado.

Los vórtices causan un desbalance de fuerzas y limitan severamente el uso de las potencias suministradas. Una forma de romper éste vórtice es el de colocar al propulsor agitador en una posición angular (Fig. 3 c) o desplazada del centro (Fig. 3 d). Otra manera es el emplear deflectores (Fig.3 b), que se montan en forma vertical en las paredes de los tanques, casi siempre son 4 y tienen una anchura de alrededor de $1/8$ del diámetro del tanque.

Potencia consumida en tanques agitados.

La potencia introducida a un sistema de mezclado de líquidos por medio de un agitador se determina por su velocidad de rotación, la configuración del mezclador y las propiedades físicas de la mezcla. Por medio de un análisis dimensional se pueden relacionar estos parámetros a la potencia requerida. Si las dimensiones lineales tales como la profundidad del líquido en el tanque, el diámetro del tanque, el número, dimensiones y posición de los deflectores se encuentran en una relación geométrica con el diámetro del impulsor, entonces el suministro de potencia al agitador puede expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{D^5 N^3 \ell} = C \left(\frac{D^2 N \ell}{\mu} \right)^a \left(\frac{DN^2}{g} \right)^b \quad (1)$$

En donde a, b y c dependen del sistema y su geometría; $P / D^5 N^3 \ell$ es el número potencial adimensional (N_P); $D^2 N \ell / \mu$ es el número de Reynolds (N_{Re}); y DN^2 / g es el número de Froude (N_{Fr}).

El N_{Re} representa la relación de la fuerza aplicada a las fuerzas viscosas de resistencia.

El N_{Fr} representa la relación de las fuerzas aplicadas a las fuerzas gravitacionales. Como la formación de un vórtice es debido a fuerzas gravitacionales, si se suprime el vórtice el N_{Fr} puede ignorarse. El N_{Fr} puede despreciarse; 1) en sistemas con deflectores; y 2) cuando el $N_{Re} < 300$.

Para estas condiciones la ecuación de potencia se puede escribir como:

$$\frac{P}{D^5 N^3 \ell} = c \left(\frac{D^2 N \ell}{\mu} \right)^a \quad (2)$$

Gráficas de N_P v.s. N_{Re} en coordenadas log. log. se denominan como curvas de potencia y se encuentran reportadas en la literatura para configuraciones específicas de impulsores.

En la Fig. 4 se muestra una curva de potencia obtenida a partir de resultados experimentales para propelas tipo marino.

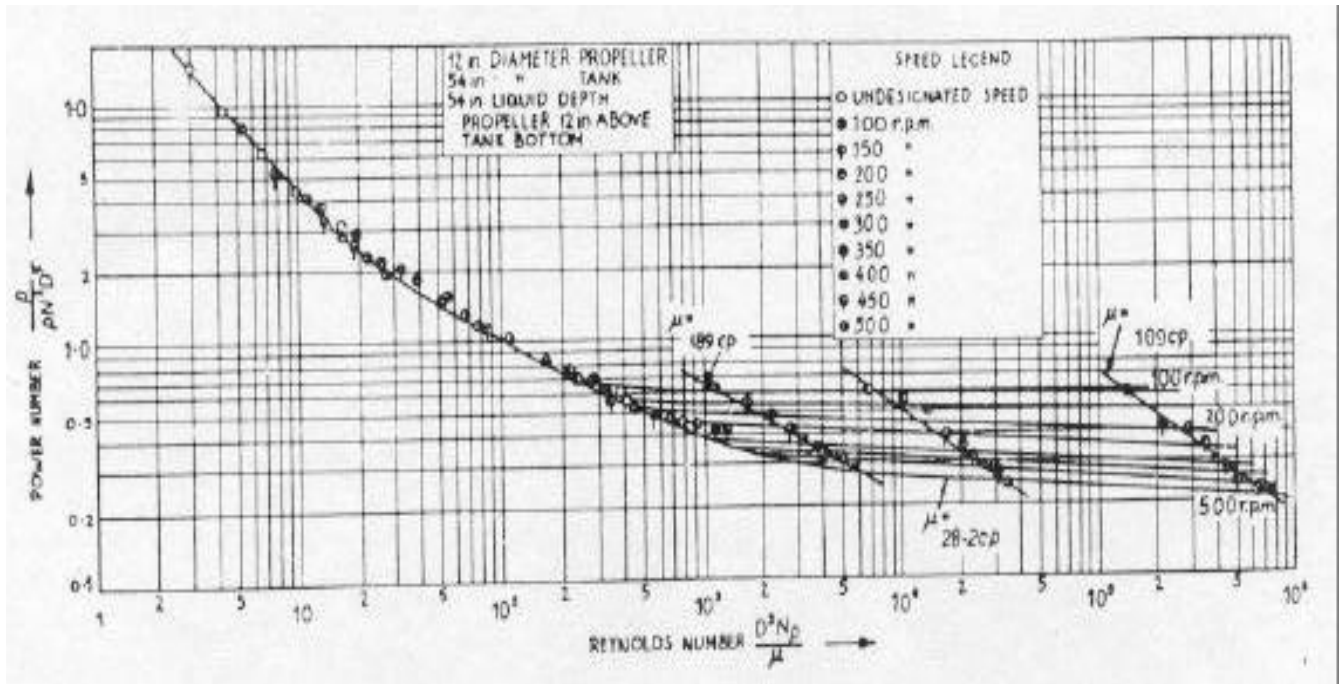
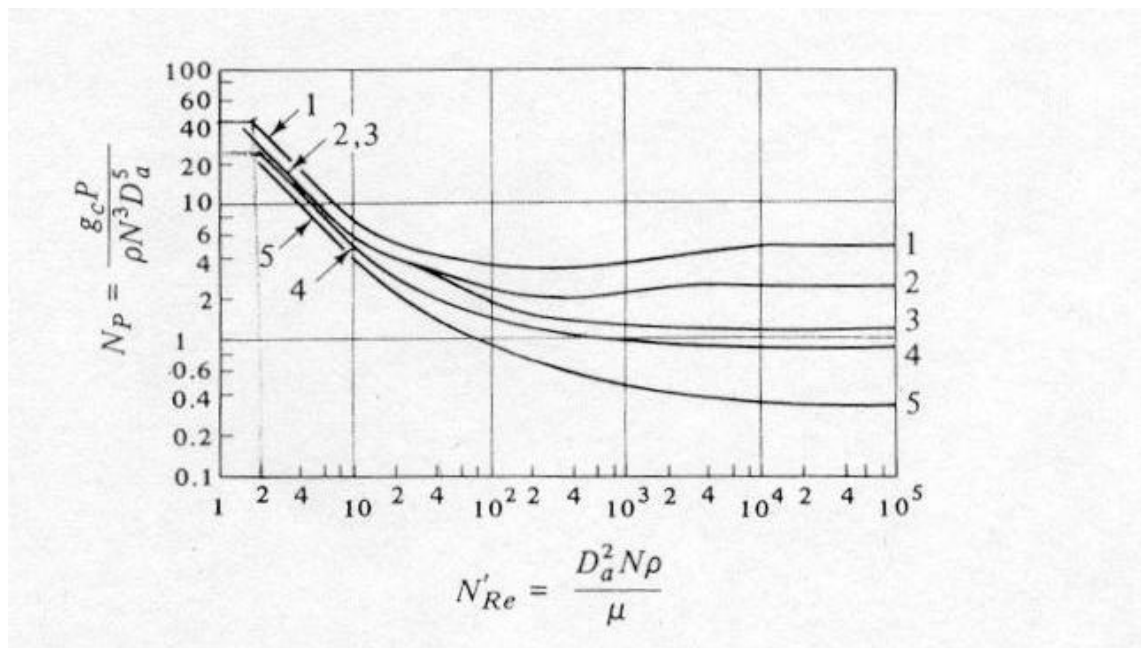


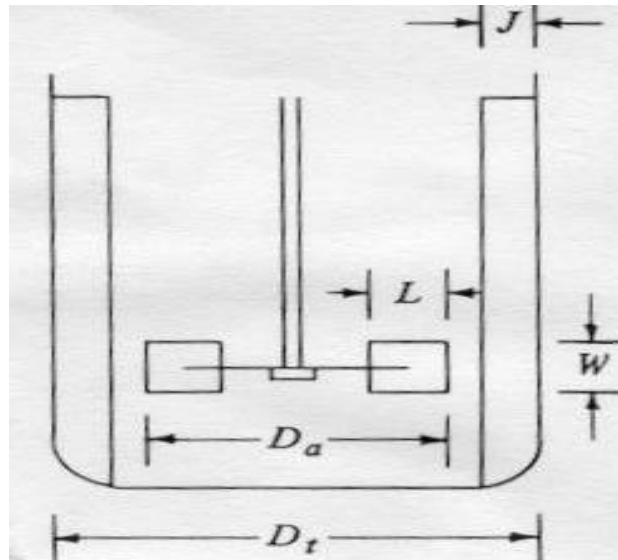
Fig.4: Correlaciones de potencia para propelas marinas

Para propelas con una inclinación en el tanque igual a su diámetro $C=41$ y $a=-1$.

En la Fig. 5.a. se muestran curvas de potencia para varias turbinas y propulsores en tanques con deflectores, y en la Fig. 5.b. se muestran dimensiones características de tanques e impulsores.



(a)



(b)

Fig. 5: (a) Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores. Curva 1. Turbina de 6 aspas planas, $Da/W=5$, 4 deflectores con $Dt/J=12$. Curva 2. Turbina abierta de 6 aspas planas, 4 deflectores $Dt/J=12$. Curva 3. Turbina abierta con 6 aspas a 45° , $Da/W=8$, $Dt/J=12$. Curva 4. Propulsor, inclinación $2Da$, 4 deflectores $Dt/J=10$. Curva 5. Propulsor, inclinación $= Da$, 4 deflectores con $Dt/J=10$.

(b) Dimensiones características de tanque e impulsor.

Tasa de mezclado.

El grado de mezclado logrado en un tanque agitado no es tan solo función de la potencia suministrada. Ha resultado sumamente difícil el definir una escala para expresar el grado de mezclado a un tiempo dado, y la decisión final de cuando un material se encuentra mezclado está todavía sujeta a la habilidad, experiencia y juicio del operador. Por ello se ha recurrido al uso de pruebas empíricas como el mejor método para estimar el grado de mezclado obtenido. No existe un criterio generalizado para determinar la efectividad del mezclado. Algunos métodos que han sido empleados son:

- la tasa de dispersión de un electrolito, tal como una solución salina, en agua.
- la tasa de distribución de arena en agua, y
- la tasa de disolución de sólidos en distintos solventes.

III. MATERIALES Y METODOS:

Materiales:

- Refractómetro
- Termómetro
- Vasos de precipitación de 250 ml
- Agitadores de diferentes modelos
- Deflectores
- Motor

- Tanque cilíndrico con motor: El equipo consiste en un tanque cilíndrico abierto, donde el impulsor se introduce al tanque por medio de una plataforma. Se tienen distintas geometrías de propelas y al tanque se le pueden montar deflectores.

El motor que proporciona la energía para hacer rotar al impulsor tiene un programador en donde se puede establecer la velocidad de rotación del impulsor.

Metodología:

- Pesar la cantidad necesaria de pectina en polvo para obtener una solución teórica del 5% cuando se agrega al volumen de agua contenido en el tanque de agitación.
- Usando distintas geometrías de propelas agitar la pectina sin deflectores con el impulsor colocado, 1) verticalmente y centrado; 2) verticalmente en una orilla; y 3) inclinado.
- Repetir el experimento antes mencionado con los deflectores colocados y el impulsor colocado verticalmente y centrado.
- Todos los experimentos deben de efectuarse con una profundidad de líquido igual al diámetro del tanque.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES:

- a) Para cada corrida experimental hay que reportar los siguientes datos.
Diámetro del tanque.
Diámetro del propulsor.
Velocidad rotacional empleada.
Densidad del líquido (medido o de Tablas)
Viscosidad del líquido (medido o de Tablas)
- b) Tomar mediciones a distintos intervalos de tiempo de la concentración de la pectina en la solución acuosa por medio de un refractómetro ABBE. Considerar la lectura de los °Brix como el equivalente de la concentración. Cuando no se detecten cambios en la lectura de los °Brix, podemos considerar que ya ocurrió el grado de mezclado obtenible con el sistema utilizado. Tomar la penúltima lectura como el tiempo de mezclado, y la relación de los °Brix leídos / concentración teórica X 100 como la eficiencia del mezclado.
- c) Calcular el N_{Re} y el N_{Fr} (si se requiere) para cada corrida experimental.
- d) Calcular el N_P y la Potencia requerida para cada corrida experimental.
- e) Establecer el cantidad de energía suministrada con cada sistema para lograr la eficiencia de mezclado correspondiente.
- f) Concluir cual sistema de agitación fue el más eficiente.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Geankoplis, J.C. (1995). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 2ª Ed. CECSA México.
- Mc Cabe, W.L., Smith, J.C. y Harriott, P. (1985). Unit Operations of Chemical Engineering. 4ª Ed. Mc Graw-Hill International Editions. Nueva York.

CUESTIONARIO

1. Explique 4 casos aplicativos donde se aplica las operaciones de mezclado y agitación.
2. Explique el control experimental de la operación de mezclado y agitación que se aplique a un proceso agroindustrial.