

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

Facultad De Ciencias Aplicadas

EAP de Ingeniería Agroindustrial

OPERACIONES UNITARIAS II



CENTRIFUGACION

FACILITADOR : ING. Miguel Angel QUISPE SOLANO

TARMA - PERÚ

2012

CENTRIFUGACIÓN

Es una operación básica de separación de sustancias por medio de la fuerza centrífuga.

La centrifugación es un método mecánico de separación de líquidos no miscibles, o de sólidos y líquidos por la aplicación de una fuerza centrífuga. Esta fuerza puede ser muy grande. Las separaciones que se llevan a cabo lentamente por gravedad pueden acelerarse en gran medida con el empleo de equipo centrífugo.

La centrifugación es una técnica de separación de partículas que se basa en la distinta velocidad de desplazamiento de las partículas en un medio líquido al ser sometidas a un campo centrífugo. Cuando se centrifuga una solución, se rompe la homogeneidad y se produce la separación del soluto y del disolvente.

APLICACIONES DE LA CENTRIFUGACION

- ✓ En Industria lechera: Purificación de leche, descremado.
- ✓ En la industria del azúcar permite separar cristales del licor jarabe.
- ✓ En la industria de aceites permite la separación del aceite de las borras (winterizado)
- ✓ En la clarificación de jugos y néctares
- ✓ Cervecería, separación de levaduras o residuos.

- ✓ Clarificación de vinos
- ✓ Secado de almidón
- ✓ Extracción de aceite esencial de naranja
- ✓ Crio concentración de zumos de fruta
- ✓ Elaboración de margarina
- ✓ Clarificación de vinos

Las centrífugas se usan en diferentes tipos de industrias: Industria química, petroquímica, refinerías, industrias alimenticias, farmacéuticas, textil, azucarera.

FLUJOGRAMA DE ELABORACION DE CERVEZA



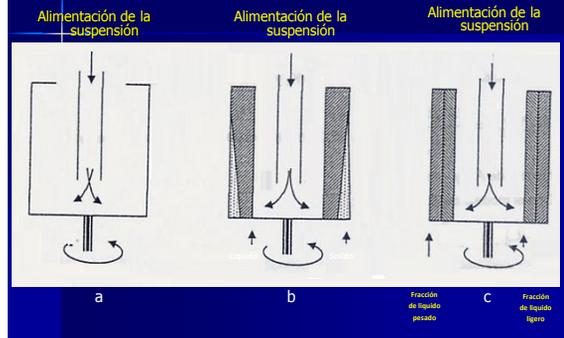
PRINCIPIO DE CENTRIFUGACION

Fuerzas que intervienen en la centrifugación:

Los separadores centrífugos se basan en el principio común de que la rotación de un objeto alrededor de un eje o punto central, a una distancia radial constante desde dicho punto, produce una fuerza que actúa sobre dicho objeto. El objeto que gira alrededor de un eje está cambiando de dirección constantemente, con lo cual se produce una aceleración aun cuando la velocidad rotacional es constante. Esta fuerza centrípeta actúa en dirección hacia el centro de rotación.

Si el objeto que se hace girar es un recipiente cilíndrico, el contenido de fluidos y sólidos desarrolla una fuerza igual y opuesta, llamada fuerza centrífuga, hacia las paredes del recipiente. Esta es la fuerza que causa la sedimentación de las partículas a través de una capa de líquido, o la filtración de un líquido a través de un lecho o torta de filtrado, en el interior de una cámara de rotación perforada.

Figura 1: Diagrama de separación por centrifugación



En la Figura 1, se presenta:

(1a) se muestra un recipiente cilíndrico o taza girando, mientras que la alimentación de una suspensión de partículas sólidas en un fluido penetra por el centro. Al entrar, la alimentación es arrastrada de inmediato hacia las paredes de la taza.

(1b) La fuerza gravitacional vertical y la fuerza centrífuga horizontal actúan sobre el líquido y los sólidos. La fuerza centrífuga suele ser tan grande, que es posible despreciar la fuerza de gravedad. Entonces, la capa líquida asume una posición de equilibrio con su superficie casi vertical. Las partículas se sedimentan horizontalmente hacia fuera, presionándose sobre la pared vertical de la taza.

(1c) Se representa la separación de dos líquidos de densidades diferentes en una centrifuga es mayor sobre el fluido más denso.

Las fuerzas que actúan en la centrifugación son dos:

1) Fuerza centrífuga:

$$F_c = (m)(a_c)$$

$$a_c = v^2/r$$

$$F_c = \frac{mwr^2}{gc} \dots\dots\dots (1)$$

- a_c = aceleración centrípeta.
- v = velocidad tangencial = $(w)(r)$
- w = velocidad angular = $2\pi N$
- m = masa
- N = N° de revoluciones por minuto
- r = radio

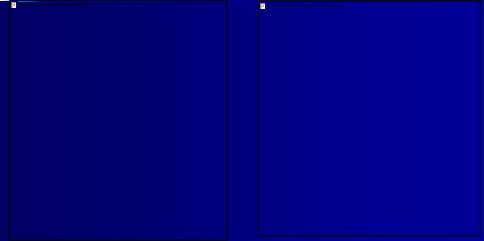
Las fuerzas que actúan en la centrifugación son dos:

1) Fuerza de gravedad (F_g):

$$F_g = (m)(g) \dots\dots\dots (2)$$

Para centrifugación: $F_c / F_g > 1$

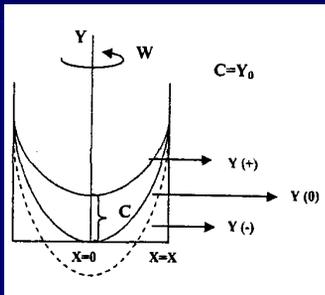
Ecuación de la trayectoria de rotación de la partícula en centrifugación:



Realizando un balance de fuerzas:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$



$$\frac{F_c}{F_g} = \frac{\text{Sen}\theta}{\text{Cos}\theta} = \text{tg}\theta \dots\dots\dots (3)$$

$\text{tg } \theta$: es una derivada que se expresa:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{mw^2r}{mg}$$

$r = x$

Reemplazando (1) y (2) en (3), tenemos:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{w^2x^2}{g}$$

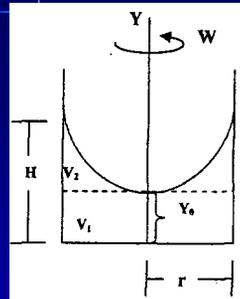
Integrando: $y = \frac{w^2x^2}{2g} + C \dots\dots\dots (4)$

Cuando: en la ecuación (4) cuando $x=0$; $C=y_0$

$$y = \frac{w^2x^2}{2g} + Y_0$$

- > $Y_0 (+)$ la velocidad angular media
- > $Y_0 (-)$ la velocidad angular debe ser alta
- > $Y_0 = 0$

Volumen del liquido en la centrifuga:



Donde:
 H : altura de la centrifuga
 r : radio de la centrifuga
 Cuando: $Y_0 = +$

$$V_T = \pi^2 H - \frac{g\pi}{w^2} (H - Y_0)^2 \dots\dots (5)$$

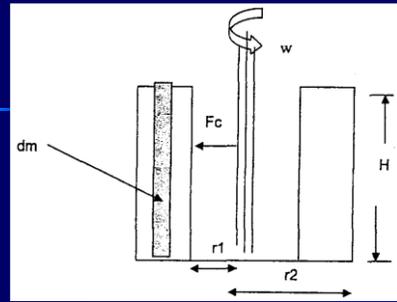
Cuando: $Y_0 = -$

$$V_T = \pi^2 H - \frac{g\pi}{w^2} (H^2) \dots\dots (6)$$

Equilibrio hidrostático en un campo centrífugo

La superficie libre del líquido en un primer momento toma la forma de un paraboloides de revolución, pero a medida que la velocidad angular se va elevando se originan fuerzas centrífugas mayores que la fuerza de la gravedad de modo que la superficie del líquido es virtualmente cilíndrica y coaxial con el eje de rotación.

Toda la masa del líquido gira como un cuerpo rígido, es decir sin deslizamiento. En estas condiciones la distribución de presión en el líquido se puede obtener a partir de los principios de estática de los fluidos.



Donde:

r_1 : Distancia radial desde el eje de rotación a la superficie libre del líquido

r_2 : radio de la centrifuga

En la ecuación (1), derivamos y tenemos:

$$dF_c = \frac{w^2 r dm}{g c} \quad \dots (7)$$

A partir de la densidad del líquido podemos obtener:

$$\rho = \frac{m}{v}, v = \pi H r^2$$

$$dv = \pi H 2 r dr \quad \dots (8)$$

$$dm = \rho \pi H 2 r dr$$

Pero:

$$P = F/A$$

$$dP = dF_c/A, \quad A = 2\pi r H$$

(8) en (7), luego integrando: tenemos

$$dp = \frac{\rho w^2 r dr}{g c}$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{\rho w^2}{2 g c} (r_2^2 - r_1^2) \quad \dots (9)$$

Ecuación de la caída de presión a través de todo el anillo

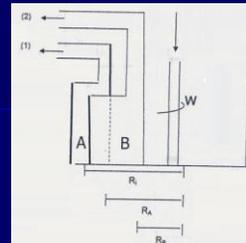
Separación de dos líquidos inmiscibles

En la separación de 2 líquidos inmiscibles la diferencia de densidades es muy importante porque es una característica principal de líquidos inmiscibles.

La separación se realiza en una centrifuga (líquido-Líquido)

Zona A: representa la separación del líquido pesado del ligero (Fracción de líquido pesado).

Zona B: representa la separación del líquido ligero del pesado (Fracción de líquido ligero).



Interfase: la zona de interfase se llama zona neutra, es vertical, ya que la fuerza de la gravedad es despreciable en comparación a la fuerza centrífuga.

También tendremos sus respectivos radios:

r_B : radio de salida del fluido A.

r_A : radio de salida del fluido B.

r_I : radio de la interfase (punto de separación de las dos fases)

Equilibrio Hidrostático:

En un separador de líquidos inmiscibles se cumple la siguiente condición; el equilibrio hidrostático dado por la variación de presión debe ser igual en ambas zonas, es decir:

"El equilibrio hidrostático de la zona A = equilibrio hidrostático de la zona B"

$$\Delta P_{(A-i)} = \Delta P_{(B-i)}$$

Reemplazando y despejando r_i , tenemos:

$$r_i = \sqrt{\frac{(\rho_A r_A^2 - \rho_B r_B^2)}{(\rho_A - \rho_B)}} \quad \dots (10)$$

Sedimentación Centrifuga

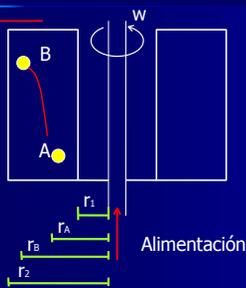
Consiste en la separación de sólidos insolubles contenidos en una suspensión o solución.

En una sedimentación centrifuga se puede calcular exactamente el diámetro de la partícula mas pequeña que puede ser separada.

La entrada de alimentación en un sedimentador centrifugo se realiza por la parte inferior y la descarga por la parte superior.

La ley que rige a la sedimentación centrifuga es la ley de Stokes:

Descarga de liquido



Donde:

- r_1 Distancia radial desde el eje a la superficie del liquido
- r_2 Radio de la centrifuga
- r_A Radio de la posición inicial de la partícula desde el eje
- r_B Radio de la posición final

$$v_t = \frac{D_p^2 g (\rho_p - \rho)}{18\mu} = \frac{D_p^2 \omega^2 r (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

$$g = Ac = v^2/r = \omega^2 r$$

Donde:

- D_p = Diámetro de la partícula mas pequeña
- v_t = Velocidad terminal
- ρ_p = Densidad de las partículas
- ρ = Densidad del liquido
- μ = Viscosidad del liquido
- r = Radio de giro

$$v = \frac{e}{t} \Rightarrow v = \frac{dr}{dt} \Rightarrow dt = \frac{dr}{v}$$

$$\int_{t=0}^{t=1} dt = \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{\frac{D_p^2 \omega^2 r (\rho_p - \rho)}{18\mu}}$$

$$t = \frac{18\mu}{D_p^2 \omega^2 (\rho_p - \rho)} \text{Ln} \frac{r_B}{r_A}$$

Caudal (Q):

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi h (r_2^2 - r_1^2)}{18\mu} \times \text{Ln} \frac{r_B}{r_A}$$

$$\frac{\pi h (r_2^2 - r_1^2) D_p^2 \omega^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu \text{Ln} \frac{r_B}{r_A}}$$

V = Volumen

$r_B < r_2$ = La partícula abandona el recipiente con el liquido-

$r_B = r_2$ = La partícula se deposita sobre la pared del recipiente y es separado del liquido

Filtración Centrífuga

La centrifuga tiene una cesta rotatoria, provista de paredes perforadas o acanaladas cubierta con un medio filtrante, como una tela o una rejilla fina.

La presión producida por la fuerza centrífuga obliga al líquido a pasar a través del medio filtrante dejando atrás a los sólidos.

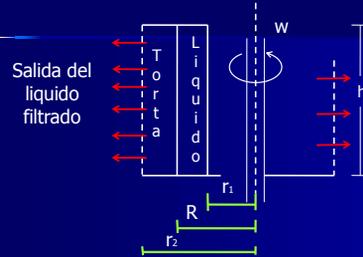
Donde:

r_1 = radio de la superficie del liquido

r_2 = Radio de la centrifuga

R = Radio de la superficie interna de la torta.

h = Altura de la centrifuga



En la filtración:

$$v = \frac{1}{A} \frac{dV_F}{d\theta}$$

$$(-\Delta P_t) = \frac{\mu dV_F}{gc A d\theta} \left[\frac{\alpha w V_F}{A} + Rm \right] \quad \dots (1)$$

En centrifugación:

$$-\Delta P_{1-2} = \frac{\rho w^2}{2gc} (r_2^2 - r_1^2) \quad \dots (2)$$

Se igualan (1) y (2):

$$\frac{u}{gcA} Q \left[\frac{\alpha w V_F}{A} + Rm \right] = \frac{\rho w^2}{2gc} (r_2^2 - r_1^2)$$

$$Q = \frac{\rho w^2 (r_2^2 - r_1^2)}{2u \left[\frac{\alpha w V_F}{A^2} + \frac{Rm}{A} \right]}$$

$$Q = \frac{\rho w^2 (r_2^2 - r_1^2)}{2u \left[\frac{m_c V_F}{A^2} + \frac{Rm}{A} \right]}$$

Donde:

w = sólidos depositados por volumen de filtrado

W^2 = Velocidad angular

A^2 = Torta

A = Medio filtrante

Torta: $A^2 = AL \cdot Aa$

Donde:

AL = Área media logarítmica de la torta

Aa = Área media aritmética de la torta

$$A_L = \frac{2\pi h (r_2 - R)}{\ln \frac{r_2}{R}}$$

$$A_a = \frac{2\pi R + 2\pi h r_2}{2} = \pi h (R + r_2)$$

Medio filtrante = A (área lateral de la centrifuga)

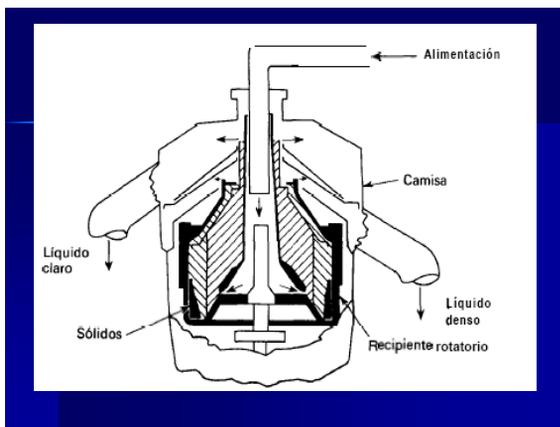
$$A = 2\pi h r_2$$

CENTRIFUGAS

- **CENTRIFUGAS DE DISCOS**
- Separación de Líquidos no miscibles.
- **CENTRIFUGAS CLARIFICADOR**
- Clarificación de Líquidos y eliminación de sólidos.
- **CENTRIFUGAS DECANTADORAS**
- Eliminación de sólidos, de agua

CENTRIFUGA DE DISCOS

- ✓ Efectiva para separaciones líquido –líquido, recipiente bajo y ancho de 0,2 a 12 m de diámetro
 - ✓ El recipiente tiene un fondo plano y un cabezal cónico.
 - ✓ Los discos están colocados uno encima de otro, con perforaciones a través de los cuales pasan los líquidos.
 - ✓ El líquido más pesado es forzado hacia las paredes por la cara inferior de los discos y el líquido menos denso se desplaza hacia el eje vertical por la cara superior de los mismos.
- ✓ Rotación es de 2000 a 7000 rpm. Para:
- Desnatado de leche.
 - Clarificación de aceites
 - Jugos y suspensiones diversas.



CENTRIFUGA SEPARADORA DE LIQUIDO

- Llamada descremadora, tiene un diseño semejante a las clarificadoras centrifugas de platillo. La diferencia estiba en que los platillos troncónicos presentan orificios a través de los cuales entra la mezcla al espacio de separación interplatillos y no es necesario una cámara de acumulación de lodos.

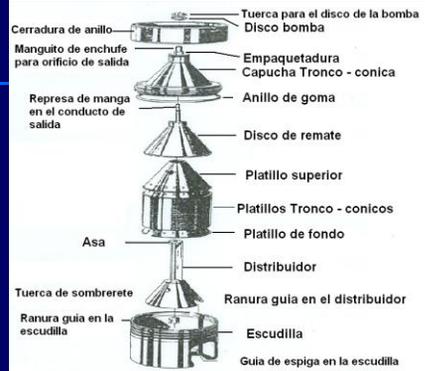
- El movimiento de los glóbulos de grasa en el espacio interplatillos de una separadora centrífuga en operación es un movimiento complejo.
- Se emplea para el desnatado de la Leche, la separación de aceites a partir de mezclas que lo contienen, la separación de componentes de sangre etc.



Centrífuga clarificadora

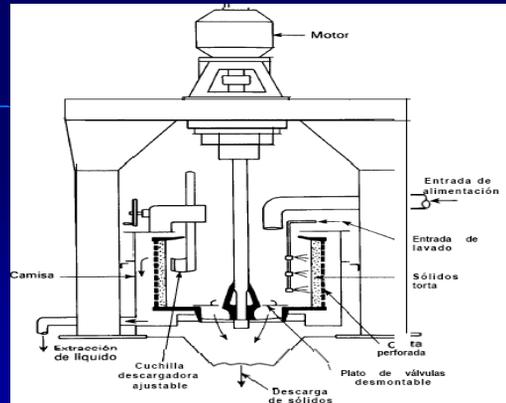
- Consta de una caja o bol, en su interior hay un conjunto de platillos troncocónicos solidarios, los cuales rotan a igual velocidad, pues están colocados unos sobre otros en un eje común, por lo que no se desplaza uno en relación con los otros.

Vista de los platillos de una separadora centrífuga



CENTRIFUGA CLARIFICADORAS

- Centrífuga sólida - líquida, cilíndrico de diámetro 0,6 a 1 m, centrifuga líquidos con concentración de 3% p/p.
- Los sólidos se acumulan en la pared el cual se elimina por la base.
- La pérdida de líquidos con los sólidos se reduce.
- Puede fraccionar el líquido en 3: fase densa, ligera y fase que contiene sólidos.
- Utilizadas para clarificación de jugos, cervezas, aceites, para recuperar levaduras, almidones.
- 300 000 L / h



CENTRIFUGA DECANTADORAS

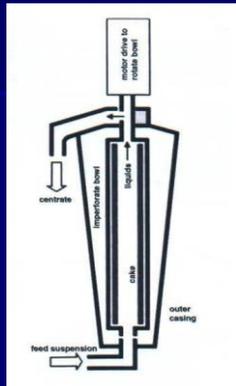
Centrífuga de Cinta. Para líquidos de elevado contenido de sólidos. con cintas de malla transportando los sólidos al extremo de la centrífuga, mientras que la parte líquida se traslada al otro extremo de mayor diámetro, el líquido se puede eliminar por medio de la centrífuga tornillo perforada.

Centrífuga de Cesto, rotatoria provista de paredes perforadas, recubiertas por un medio filtrante, la presión producida por la acción de la centrifuga obliga al líquido a pasar por el medio filtrante, dejando los sólidos retenidos.

El tamaño de las cestas oscilan entre 30 y 48 pulg. de diámetro y entre 18 a 30 pulg. Giran hasta velocidad de 2000 rpm.

Centrifugador de cesta perforada

- Se usa cuando el contenido de sólidos en suspensión es muy alto. Consiste simplemente en una cesta o campana tambor, que normalmente rota en torno a un eje vertical. Los sólidos se acumulan y comprimen debido a la fuerza centrífuga pero no son deshidratados. El líquido residual dreña al parar la rotación. la capa de sólidos se remueve manualmente mediante cepillado o retirada con pala. La descarga se puede conseguir mediante un skimmer y tubería para remover el líquido residual y después mediante la aplicación de una palacuchillo para cortar el sólido formado. Esto evita la parada del sistema para su limpieza.



CENTRIFUGADORA - DECANTADORA

- Consiste en separar los sólidos insolubles contenidos en una suspensión, sustituyendo la fuerza de gravedad por la fuerza centrífuga.
- En la sedimentación centrífuga tenemos los ciclones para retirar partículas de corrientes gaseosas. En este equipo el aire ingresa cargado de polvo recorriendo un camino en espiral alrededor y hacia abajo del ciclón. La fuerza centrífuga desarrollada en el vértice tiende a desplazar radialmente las partículas hacia la pared deslizando hacia dentro del cono, donde se acumula.
- Los ciclones también se utilizan ampliamente para separar sólidos de líquidos, especialmente con fines de clarificación.

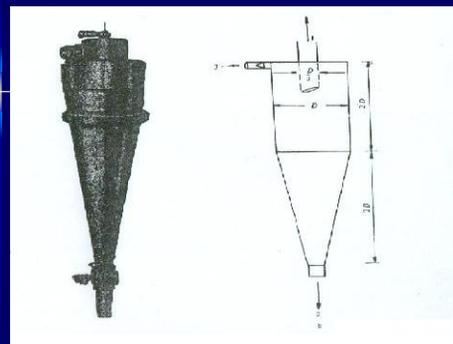
CICLONES

- **Separación de sólidos contenidos en gases; ciclones.** La mayor parte de los separadores centrífugos para retirar partículas de corriente gaseosas no contienen partes móviles. El dispositivo típico es el separador de ciclón que consiste en un cilindro vertical con un fondo cónico, una entrada tangencial cerca de la parte superior y una salida para el polvo situada en el fondo del cono. La entrada generalmente es rectangular. La conducción de salida se prolonga dentro del cilindro para evitar que se forme un cortocircuito de aire desde la entrada hasta la salida de gas.

CICLONES

- Aparatos empleados para separar partículas sólidas suspendidas en el seno de gases cuando el tamaño de partículas es mayor de 25μ . Existe una relación entre el diámetro de partículas sólidas Vs la eficacia del ciclón.
- Se emplean para eliminar los sólidos en las corrientes de aire como una de las etapas en la obtención de aire sanitario. En la industria se pueden ver instalados en posición vertical y horizontal.

- Se instalan ciclones en las tuberías de vapor secundario y en los evaporadores, para evitar el arrastre mecánico de gotas del líquido, con idéntica finalidad se les emplea en las columnas de destilación.
- Aumenta la eficiencia, el empleo de ciclones húmedos, aparatos en los que se realiza la dispersión de agua a la entrada del ciclón.



CICLÓN A) Foto de un ciclón; B) dimensiones características de un ciclón

Hidro ciclones

- Parecido al ciclón, la altura de la parte cilíndrica es generalmente menor y la parte cónica más alargada.
- La eficiencia es buena en diámetro de partículas superior a 25μ .
- El fluido está bajo la acción de una fuerza centrífuga mayor que la de los ciclones.

Criterios de selección de equipos centrífugos

- Magnitud del flujo a operar.
- Fase en que ocurre la separación.
- Concentración y tamaño de las partículas a separar.
- Grado de separación que se requiere.
- Costo de la operación.

Parámetro de diseño de un ciclón.

