180
29.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

ESTUDIO TEORICO-PRACTICO DE LA CENTRIFUGA DEL LABORATORIO MARCA WESTFALIA CON APLICACION EN LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A :

VICTOR MANUEL VILCHIS RUIZ

MEXICO, D. F. 1998

261794

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGÚN EL TEMA:

PRESIDENTE: Prof. VALIENTE BARDERAS ANTONIO

VOCAL: Prof. SILVA. PICHARDO GENOVEVO

SECRETARIO: Prof. GALICIA PINEDA MA. LUISA

1er. SUPLENTE: Prof. LOZADA GOMEZ YOLANDA

2do. SUPLENTE: Prof. PEREZ CAMACHO RICARDO.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio de Ingeniería Química.
Facultad de Química, U.N.A.M.

ASESOR:

I.Q. Ma. Luisa Galicia Pineda.

SUSTENTANTE:

Victor Manuel Vilchis Ruíz.

DEDICATORIAS:

Este trabajo está dedicado para aquellos que han perdido todo y sueñan con lo imposible a DIOS poseedor de todo hasta de lo imposible.

A MI PADRE Y MADRE:

Por su gran apoyo, comprensión y sacrificio durante toda mi trayectoria como estudiante. Cualquier conjunto de palabras se quedarían cortas para expresarles la gratitud que les tengo.

A MI HERMANO:

Por tu amistad, consejos y apoyo desinteresado.

A LA UNIVERSIDAD:

Por haberme dado la oportunidad de realizarme como ser humano.

A MIS PROFESORES:

Por toda su dedicación que pusieron en mi, para ayudarme a ser un excelente profesionista.

A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN 90-94.

Porque haberme ofrecido su amistad y apoyo durante la carrera.

A ENRIQUE VALENZUELA:

Por la paciencia que tuviste conmigo y tu gran comprensión, tus palabras me hicieron reaccionar, gracias.

A LUIS:

Por la confianza que inyectaste en mi y el haberme hecho sentir que yo era capaz de realizar cualquier cosa.

AL PROF. SERAFÍN:

Porque siempre me motivaste a ser el mejor.

A ULISES, ISIDRO, JUANITO, SAUL Y JORGE.

Por su gran amistad y apoyo durante mi estancia en la facultad.

A ADRIANA T.:

Por que tu fuiste la musa en la cual yo me inspire para realizar esté trabajo, que fue hecho con el corazón.

UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL PARA:

LA ING. MARIA LUISA GALICIA PINEDA:

Por su gran apoyo para la realización de está tesis, ya que sin su cooperación no hubiera sido posible llevar acabo esté trabajo.

EL ING. GENOVEVO SILVA PICHARDO Y EL ING. VALIENTE BARDERAS ANTONIO:

Agradezco los comentarios que aportaron a está tesis..

EL ING. AUDRY SÁNCHEZ:

Por la información que me facilitó y la cual fue muy importante para la realización de este trabajo.

LA PROFESORA ESTELA DE LA TORRE SÁNCHEZ DE T.

Agradezco sus comentarios y orientación con respecto al análisis de las muestras de $CaCO_3$.

A WESTFALIA MEXICO Y WESTFALIA ALEMANIA:

Por habernos proporcionado toda la información que les solicitamos.

A ICA-FLUOR DANIEL:

Por todas las facilidades que me dieron para poder desarrollar esté trabajo y en especial al Ing. Gerardo Vasconcelos P. y el Ing. Jose Gonzales P. Sandi.

A ESTHERCITA Y MARU:

Por toda la ayuda que desinteresadamente me brindaron.

INDICE

1) **INTRODUCCIÓN.**

Objetivos. 1

2) **FUNDAMENTO TEÓRICO.**

2.1) Sedimentación natural. 12

2.2) Ley de Stokes para la sedimentación natural. 14

2.3) Separación Centrifuga. 20

2.4) Ley de Stokes para suspensiones en rotación. 23

2.5) Superficie Equivalente. 25

3) **TIPOS DE CENTRIFUGAS.**

3.1) Descarga manual. 30

3.2) Descarga automática intermitente. 33

3.3) Descarga continua. 35

3.4) Tornillo transportador. 37

3.5) Criterios para seleccionar una centrifuga. 38

4) **DESCRIPCIÓN DE LA CENTRIFUGA DE LABORATORIO.**

4.1) Descripción general. 44

4.2) Instalación de la centrifuga. 48

4.2.1) Con tambor de cámaras. 49

4.2.2) Con tambor de discos. 56

4..2.3) Con tambor de toberas. 60

4.3) Mantenimiento de la centrifuga. 67

4.4) Recomendaciones generales. 70

5.-) PARTE EXPERIMENTAL.

5.1) Material. 75

5.2) Procedimiento experimental. 75

6.-)ANALISIS Y RESULTADOS.

6.1) Resultados con el tambor de cámaras. 77

H_2O-$CaCO_3$. 77

H_2O-PVC. 79

H_2O-néctar de jugo. 80

7.-)CONCLUSIONES. 82

ANEXO I. PRACTICA DE CENTRIFIGACIÓN (Tambor de cámaras).

ANEXO II. NOMENCLATURA.

BIBLIOGRAFIA.

I

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS:

1) Se desarrollaran las ecuaciones que describen el comportamiento de la centrifuga de laboratorio Marca Westfalia a partir del estudio de la decantación estática.

2) Se elaborara el manual de operación y mantenimiento de la centrifuga en estudio.

3) Se proporcionaran las condiciones óptimas de operación de la centrifuga para llevar acabo la separación de varios sistemas y hacer la selección de uno de ellos para usarlo en la practica propuesta.

4) Se rediseñara la practica de centrifugación para el laboratorio de procesos de separación I.

La separación centrifuga es desde hace más de un siglo una de las operaciones unitarias más importantes en procesos claves de las industrias químicas, farmacéuticas, tratamiento de efluentes, purificación de aceites combustibles y lubricantes, y de suspensiones en general.

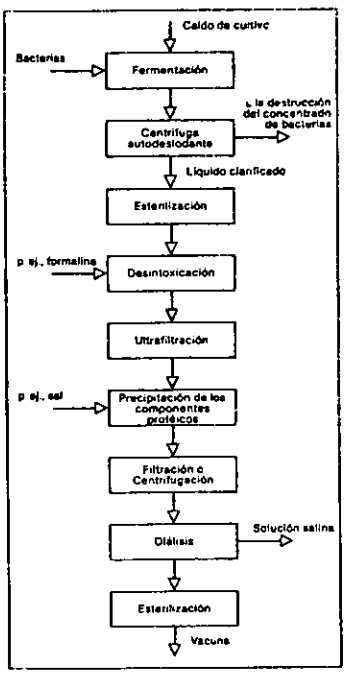
1.5) Campos de aplicación de las centrifugas.

Los campos de aplicación de las centrifugas de descarga manual, autodesiodantes, toberas y decantadores son numerosos, a continuación nos proponemos dar al lector una idea general de algunos de los productos que en el transcurso de su elaboración son clarificados, separados, concentrados ó extraídos mediante una maquina centrifuga:

Vacunas

El esquema 1 corresponde a la preparación y aislamiento de vacunas cuando el antígeno se encuentra presente en el medio de cultivo (difteria y tétano).

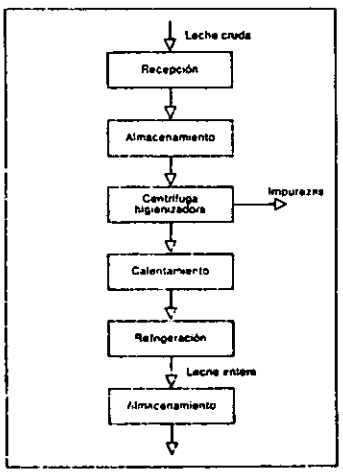
Concluida la fermentación, se separa el concentrado de bacterias por centrifugación y se destruye a continuación. El líquido clarificado se filtra en condiciones estériles, se eliminan las sustancias tóxicas y se concentran por ultrafiltración. luego se concentran los componentes proteicos mediante adición de sal. Posteriormente se filtra de nuevo la solución, se vuelve a concentrar por diálisis y se purifica. Finalmente se efectúa una filtración de esterilización.



Higienización de la leche.

Se obtiene una torta centrifugada equivalente aproximadamente al 0.05-1% de la leche a la entrada de la centrífuga, y constituida en sus dos terceras partes por agua y en el tercio restante, por las partículas anteriormente mencionadas.

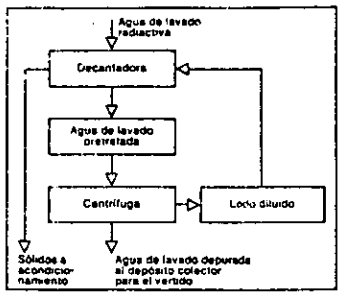
Los sólidos separados por centrifugación suelen someterse a tratamiento químico-térmico en un esterilizador acoplado después de la centrífuga, añadiéndoles sosa cáustica y calentándolos a unos 80°C durante 20 minutos. Después de ello pueden llevarse a una depurada.



Aguas residuales radioactivas.

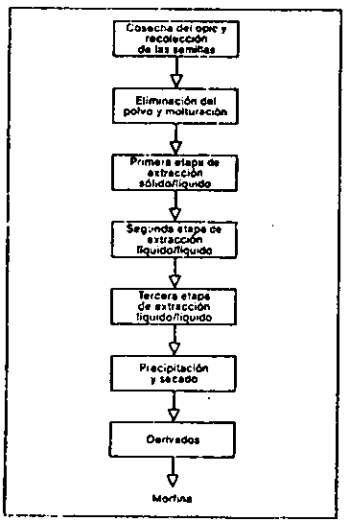
Otro trabajo que se debe de realizar en las centrales nucleares es el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la lavandería y de los aseos. Las prendas para el trabajo tales fundas para el calzado, se lavan en grandes maquinas automáticas después de cada uso. El agua usada contiene posiblemente sustancias radioactivas. Estas aguas usadas pueden tratarse eficazmente con la ayuda de las máquinas centrífugas. Los lodos se concentran en las decantadoras centrifugas, obteniéndose un

fango deshidratado con un contenido de humedad inferior al 5% . Este concentrado se recoge en un sistema cerrado. El empleo de la centrífuga facilita el tratamiento rentable de las aguas. Las aguas residuales tratadas tienen un índice de radiactividad muy inferior a los topes estipulados por la legislación.



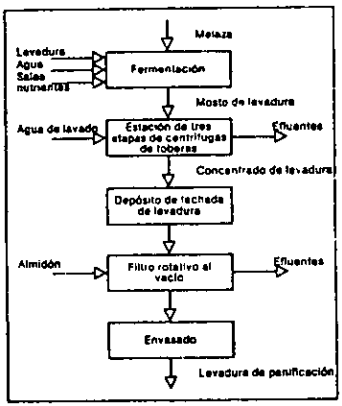
Morfina.

En una primera etapa se limpian las cápsulas, se trituran y se envían neumáticamente a las instalación de extracción. La cascarilla resultante se pesa y se somete a extracción sólido-líquido. El extracto obtenido se clarifica durante varias etapas mediante equipos centrífugos. El extracto acuoso que contiene la morfina se concentra luego mediante extracción líquido-líquido con disolvente. El extracto se vuelve a separar utilizando clarificadoras centrífugas y el disolvente extraído se recicla de nuevo a la extracción La morfina diluida cristaliza en un sistema de precipitación, se separa a continuación por centrifugación y se seca.



Levadura en panificación

La producción industrial de la levadura se remonta al siglo XIX. Posteriormente se introdujeron las separadoras centrífugas para separar la levadura del mosto. La levadura se lava dos veces y se concentra otras tres en una instalación de centrífugas de toberas, de tres etapas El color y la calidad de la levadura se mejoran separando las sustancias adheridas a la membrana celular después de la fermentación.



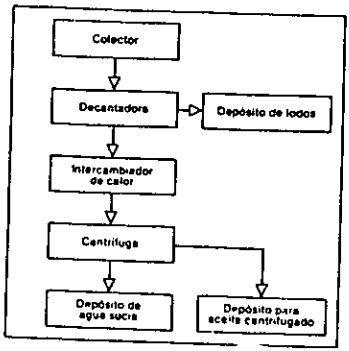
Aceite usado/ lodos aceitosos.

El aceite usado y los lodos aceitosos constituyen desde hace años un serio problema. Las cantidades a tratar son cada vez mayores.

Para la purificación y deshidratación del aceite usado se prestan las decantadoras y centrífugas autodeslodantes. Con las decantadoras se eliminan las impurezas burdas en una primera etapa; la centrífuga autodeslodante de la etapa siguiente separa el agua y los sólidos finos.

Cuando se ha de deshidratar aceites propensos a formar emulsiones, debe mezclarse el aceite usado con un desemulsificador antes de centrifugarlo. Según la viscosidad, la temperatura de separación será de unos 95°C.

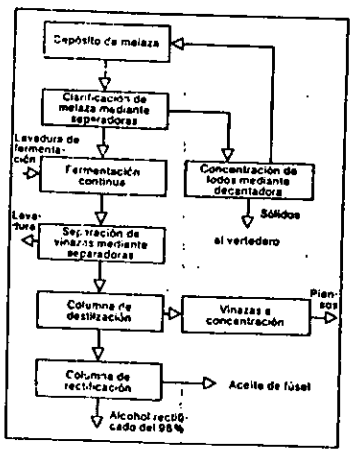
La venta del aceite centrifugado aporta beneficios económicos. Y no hace falta eliminarlo a un costo elevado. Los lodos de la decantadora son pastosos ó sólidos, y pueden incinerarse.



Alcohol potable.

A fin de convertir el alcohol en un producto potable, es preciso eliminar las ceras, gomas, resinas y el calcio contenidos en esa melaza con una alta carga de sustancias orgánicas e inorgánicas.

Se emplean centrifugas para clarificar la melaza. Los lodos resultantes se concentran con una decantadora fin de recuperar el azúcar. Tras la fermentación continua se separan las levaduras de las vinazas en centrifugas especiales. La levadura separada con las centrifugas se recicla totalmente a la fermentación.



Existe una gran variedad de ecuaciones que describen el comportamiento de tal operación unitaria por esto podemos considerar que un punto a tratar importante es la familiarización de los fundamentos de separación centrifuga, los cuales pasan por una comprensión de la decantación estática; para poder desarrollar este trabajo es necesario contar con las ecuaciones adecuadas que representen el comportamiento de la centrifuga de laboratorio marca WESTFALIA LWA-05.

Dentro de los procesos de separación podemos clasificarlos dependiendo si se realiza una separación mecánica o se presenta un cambio de fase. En este capitulo se anexa el diagrama # 1 el cual tiene como finalidad dar una visión más amplia de la operación unitaria principal que se utilizara es esta tesis.

La centrifugación ha adquirido mayor importancia en los ultimos años debido a que en la actualidad, la preocupación por la preservación del medio ambiente aunado a regulaciones ambientales cada vez más estrictas, ha provocado que la mayoria de las empresas tomen las medidas necesarias para evitar el desecho de sustancias y productos toxicos en niveles no permitidos.

La centrifuga WESTFALIA TA-05 es un equipo universalmente ideal para el uso en el laboratorio y pequeñas instalaciones de investigación donde varios problemas de centrifugación pueden ser resueltos utilizando únicamente pequeñas cantidades de líquido disponible. Las posibilidades de uso incluyen la separación de sólidos en líquidos, las recuperación de alguna sustancia valiosa, la separación y purificación de mezclas líquidas y la concentración de sólidos en suspensión.

Este tipo de centrifuga cuenta con los accesorios necesarios para realizar las funciones de centrifuga de cámaras, toberas ó discos, según sea el tipo de separación a realizar.

Uno de los propósitos a seguir en esta tesis es generar el material didáctico y de apoyo necesario para el uso de la centrifuga WESTFALIA. Debido a que el contenido de los actuales programas de estudio abordan el tema de centrifugación dentro de la asignatura de Procesos de Separación I, y en particular, en el tema de Separaciones Mecánicas.

Los aceites lubricantes de los motores diesel se cargan de impurezas durante el servicio. Todas las piezas giratorias ó deslizantes desprenden partículas metálicas que se acumulan en los depósitos junto con los residuos de combustión, el agua de condensación y los productos descompuestos.

Los aceites pueden contener además ácidos , que, junto con las sustancias como catalizadores, provocan el envejecimiento prematuro del aceite.

En los motores diesel, particularmente en las maquinas de pistón de inmersión, llegan al cárter residuos de combustión y componentes incombustibles procedentes del cilindro. Junto con el vapor de agua formado en el cilindro durante la combustión, los residuos sulfurosos y los productos de fraccionamiento del aceite combustible forman agua ácida después de la condensación, lo que produce fuertes corrosiones en cojinetes, émbolos y cilindros.

Las instalaciones motrices dotadas de turbinas de gas funcionan con aceite pesado, aceite diesel ó aceite crudo. Las trazas de algunos elementos tales como el Vanadio, sodio potasio y calcio, producen corrosiones en las turbinas en presencia de elevadas temperaturas del gas, o forman en las palas fuertes incrustaciones. A fin de evitar que estas anomalías sean fuente de perdidas, se desalinan los aceites combustibles de alto contenido de sal destinados a las turbinas de gas.

Los aceites lubricantes para las turbinas de vapor se ensucian durante el servicio. Todas las piezas giratorias o deslizantes desprenden impurezas, las cuales se acomulan en el deposito de aceite junto con el polvo, el agua de condensación y los productos descompuestos. También puede penetrar en el aceite lubricante agua en grandes cantidades, la cual debe ser eliminada.

En México es muy común ver en las carreteras los avisos de DIESEL CENTRIFUGADO donde se vende el carburante purificado por centrifugación. Dichas estaciónes reciben con frecuencia un aceite diesel que contiene agua e impurezas y que sin tratamiento previo no se puede ofrecer al cliente.

Este servicio es de gran importancia, ya que un combustible sin purificar ensucia los filtros, ocasiona fallas en las válvulas de escape, conduce al desgaste rápido de émbolos y camisas de cilindros y sistemas de inyección y es fuente de una combustión defectuosa. De esta forma las centrifugas contribuyen a la rentabilidad y seguridad del transporte.

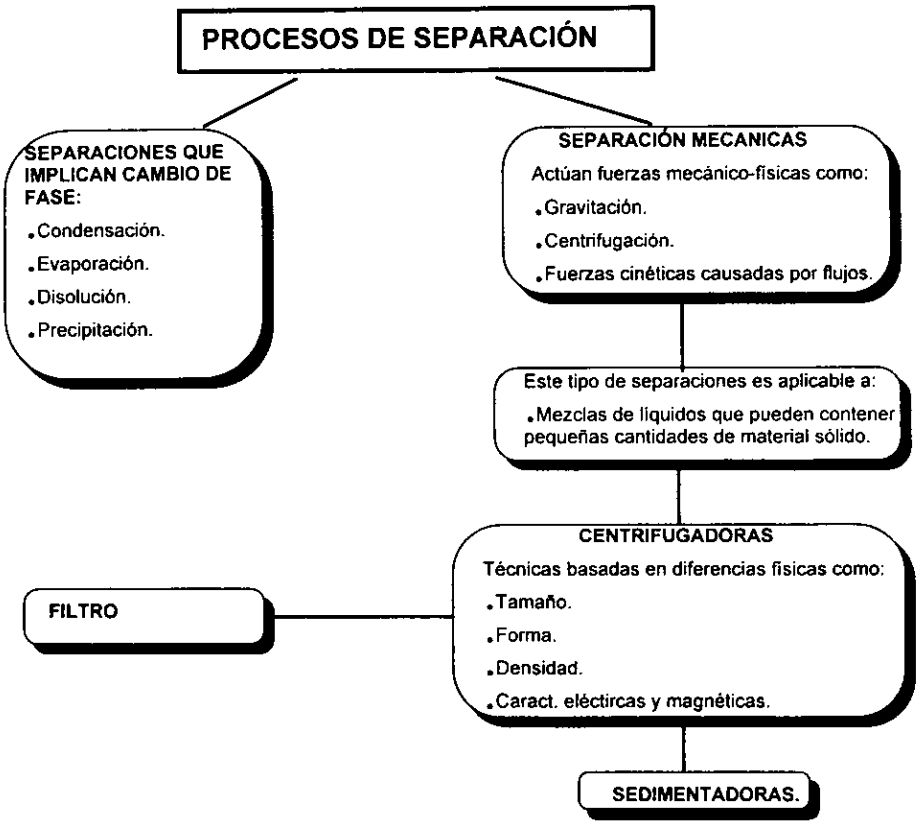
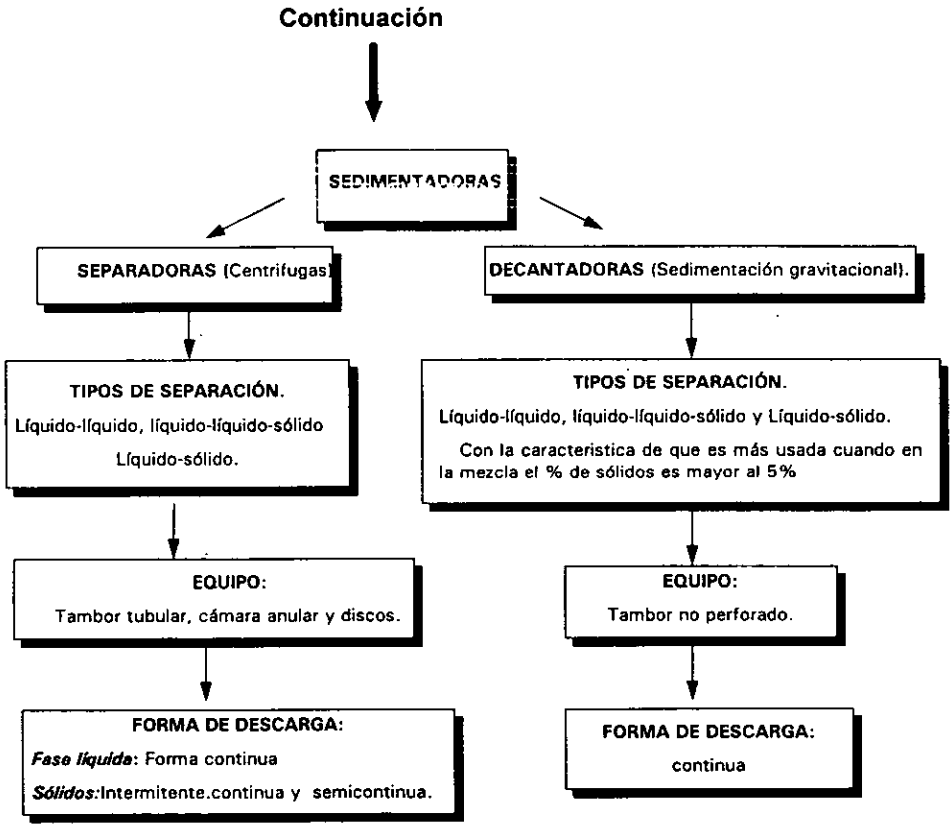

PROCESOS DE SEPARACIÓN
SEPARACIONES QUE IMPLICAN CAMBIO DE FASE:
.Condensación.
.Evaporación.
.Disolución.
.Precipitación.
SEPARACIÓN MECANICAS
Actúan fuerzas mecánico-físicas como:
.Gravitación.
.Centrifugación.
.Fuerzas cinéticas causadas por flujos.
Este tipo de separaciones es aplicable a:
.Mezclas de líquidos que pueden contener pequeñas cantidades de material sólido.
CENTRIFUGADORAS
Técnicas basadas en diferencias físicas como:
.Tamaño.
.Forma.
.Densidad.
.Caract. eléctircas y magnéticas.
FILTRO
SEDIMENTADORAS.

DIAGRAMA # 1



Características principales de las centrifugas sedimentadoras.

DIAGRAMA # 1

II

FUNDAMENTO TEÓRICO

En el campo de la tecnología de separación mecánica, las separadoras y decantadoras se catalogan dentro del grupo de las sedimentadoras. Se emplean para la concentración de sólidos, clarificación de suspensiones y separación de mezclas de líquidos, con eliminación simultánea de sólidos.

Esencialmente, la centrifugación es una decantación selectiva de los componentes insolubles de una mezcla bajo condiciones de gravedad artificial.

En este capitulo se presentan los fundamentos teóricos necesarios para comprender la operación unitaria de centrifugación; así como los ecuaciones más adecuadas, que describan el fenómeno particularmente para la centrifuga en estudio.

2.1)Sedimentación natural

Al sumergir una partícula dentro de un fluido (ver **fig. 2.a**), está sometida principalmente a tres tipos de fuerzas que gobiernan su movimiento, como son:

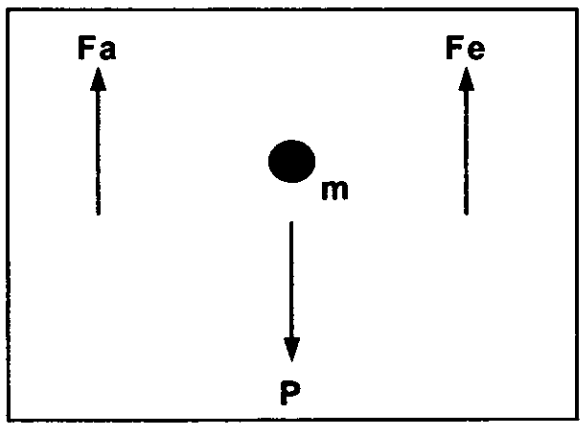


Fig. 2.a: *Fuerzas que gobiernan el movimiento de una partícula dentro de un fluído.*

a) El peso de la partícula:

$$P = mg = V\rho g$$

b) La fuerza debida al empuje de Arquímides (flotación):

$$Fe = V\rho mg$$

c) La fuerza originada por el movimiento del cuerpo dentro del fluido, llamada fuerza de arrastre; la cual esta dada por la siguiente ecuación:

$$Fa = f(Re)\, 0.5\, \rho_m\, v^2\, S$$

Donde:

$f(Re)$ = Coeficiente que toma en cuenta la viscosidad del medio.

$0.5\, \rho_m\, v^2$ = Fuerza debida a la presión dinámica.

$0.5\, \rho_m\, v^2\, S$ = Área transversal a la presión dinámica[1].

Para el caso de partículas esféricas podemos afirmar que el volumen de la partícula (V) es:

$$V = \pi\, d^3 / 6$$

Por lo tanto a partir de lo anterior podemos afirmar que:

a) El peso estará dado por:

$$P = \pi d^3\, \rho g / 6$$

b) Para el empuje de Arquímedes:

$$Fe = \pi\, d^3\, \rho_m\, g / 6$$

[1] PRESIÓN DINAMICA.- Está definida como la fuerza de arrestre sobre el área en la que es aplicada está fuerza.

Aunque en general ***f (Re)*** se calcula en forma experimental, si asumimos que la partícula tiene forma esférica, y para valores de Re < 1,***f (Re)*** tiene una expresión sencilla.

$$f(Re) = 24 / Re = 24\,\eta/(d\,\rho_m\,v).$$

c) Para la fuerza de arrastre:

$$F_a = 3\pi\,\eta\,v\,d$$

De acuerdo con lo anterior la fuerza neta (F) que actúa sobre la partícula en suspensión es:

Fuerza neta = Peso de la particula - Fuerza de Arquimidez - Fuerza de arrastre.

$$F = \pi d^3 \rho g/6 - \{\pi\, d^3 \rho m g/6 + 3\pi\eta v d\} = m \times a \qquad (1)$$

dirigida hacia abajo dirigida hacia arriba.

Donde:
m = Masa de la partícula (kg)
a = Aceleración de la partícula (m / s^2)

2.2.-)Ley de Stokes para sedimentación natural.

Si la partícula está inicialmente en reposo, y su densidad es mayor que la del fluido, la fuerza dirigida hacia abajo será mayor que la fuerza dirigida hacia arriba y debido a esa fuerza neta, la partícula caerá hacia el fondo del tanque con una velocidad cada vez mayor. Sin embargo, está velocidad tiene un límite. En efecto, mientras esto sucede, la fuerza de arrastre va creciendo con la velocidad hasta que llega a ser tal, que la fuerza neta sobre la partícula es prácticamente cero.

A partir de este momento la partícula ya no aumentará su velocidad está continuara su caída con una velocidad constante la cual es conocida como **velocidad de sedimentación (v_s)** (velocidad terminal).

$$v_s = \Delta\rho d^2 g / 18\eta \qquad \textbf{(LEY DE STOKES)} \qquad (2)$$

Esta ecuación es conocida como la **ley de Stokes** para la sedimentación natural.

Donde:

v_s = Velocidad de sedimentación ó velocidad terminal.

$\Delta\rho = \rho - \rho m$ (kg / m^2)

η = Viscosidad del medio (Pa s).

x = Distancia (m)

Al utilizar un tanque para clarificar una suspensión (**fig.2.b.**) podemos observar el siguiente fenómeno:

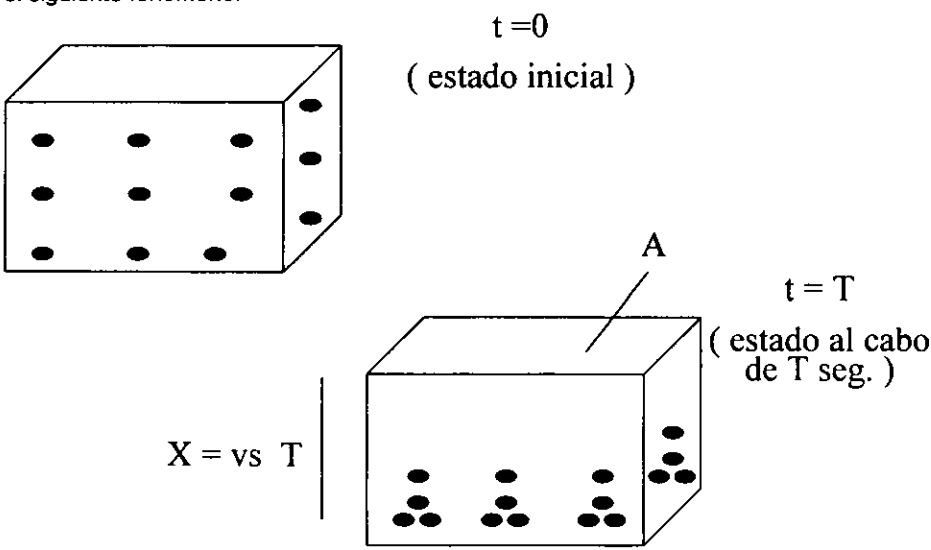


Fig. 2.b: *Representación de un tanque sedimentador.*

Después de haber transcurrido un tiempo **T**, las partículas en suspensión de diámetro **"d"** habrán recorrido una distancia **(x)**

$$x = v_s \cdot T$$

Si el tanque tiene una superficie **A**, en **T** segundos tendremos un volumen disponible $v_s \cdot T \cdot A$ (m^3) de líquido clarificado, o sea:

$$Q = v_s \cdot A \ (m^3/s)$$

Por lo tanto sustituyendo esta ecuación en la ecuación de Stokes para la sedimentación natural tendremos:

$$Q = \Delta\rho \cdot d^2 \cdot g \cdot A / 18\,\eta \quad \text{.....(3)}$$

La ecuación **(3)** nos indica **la capacidad de flujo clarificado** libre de partículas de diámetro " d " que se puede obtener en nuestro tanque de sedimentación. Esta capacidad solo dependera de las características de la suspensión y la superficie del tanque.

De acuerdo a la ecuación **(3)** , la capacidad del tanque de sedimentación se puede incrementar:

a) Disminuyendo la densidad del liquido (ρm **).** Esto lo podemos lograr ya sea diluyendo la suspensión con un líquido miscible en él, con una menor densidad ó aumentando su temperatura (en general) para que su relación masa sobre volumen disminuya

b) Disminuyendo la viscosidad del líquido (η **) .**Podemos aumentar la temperatura del líquido (en general) ó se diluye en un líquido miscible en él, menos viscoso.

c) Incrementando el diámetro de las partículas (d). Se pueden utilizar floculantes.

d) Aumentando la superficie del tanque de sedimentación. (A). De acuerdo a la ecuación **(3)** podemos observar que el caudal a clarificar esta en función del área del tanque y es directamente proporcional a este. por lo tanto, si aumentamos su área, el caudal a clarificar aumentara.

Una manera de aumentar al caudal clarificado, sin alterar las características del producto y sin necesidad de incrementar al área transversal del tanque es realizando unas mejoras al diseño del simple tanque de sedimentación; observemos la **figura 1.c**

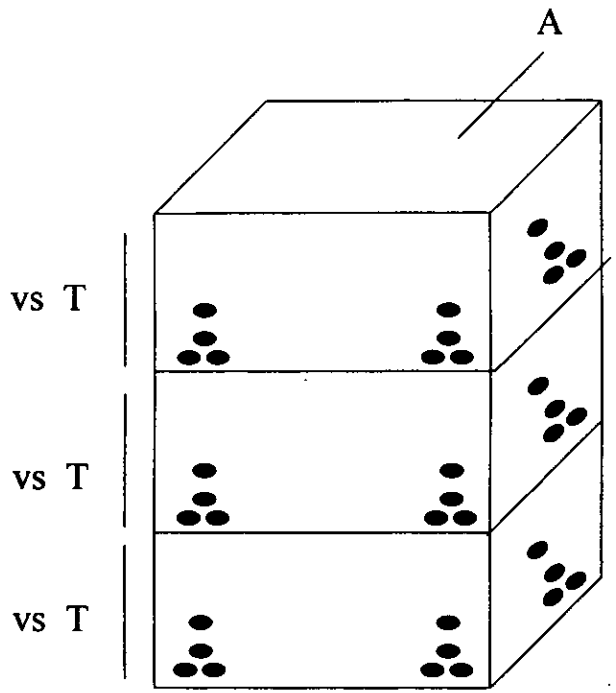


Fig. 2.c: *Representación de un tanque sedimentador con "n" espacios sedimentadores..*

Si observamos detenidamente este diseño, podremos observar que el flujo clarificado se multiplica por 3. En general si contamos con **N** platos espaciadores, el caudal clarificado se multiplica por **N.**

$$Q = \Delta\rho \cdot d^2 \cdot g \cdot A \; N \,/\, 18\,\eta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(clarificado)} \qquad (4)$$

De acuerdo con lo anterior, podemos imaginar un sistema continuo de decantación natural que quizá tendría el aspecto de la **figura 2.d.**

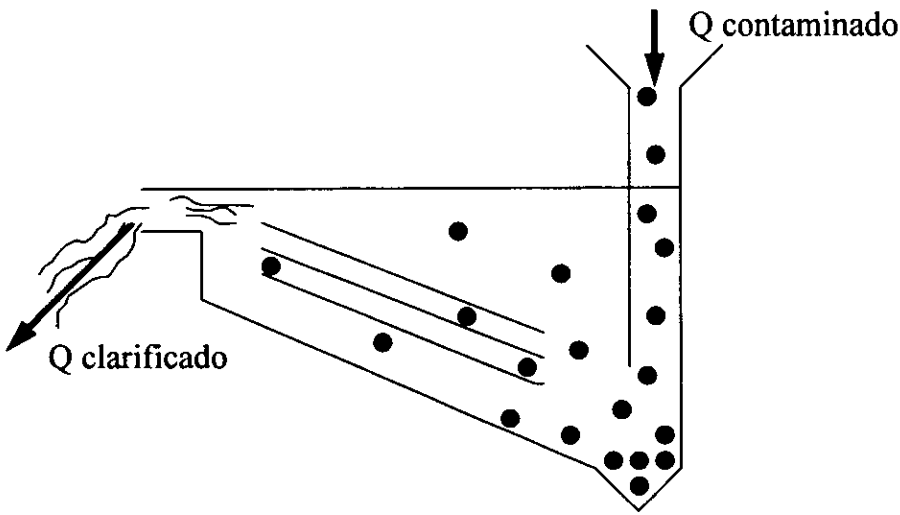


Fig. 2.d.: *Sistema continuo de decantación natural..*

Ahora analicemos la figura **2.e.** , la cual tiene como objetivo ejemplificar lo que sucede en una separación **liquido-liquido.**

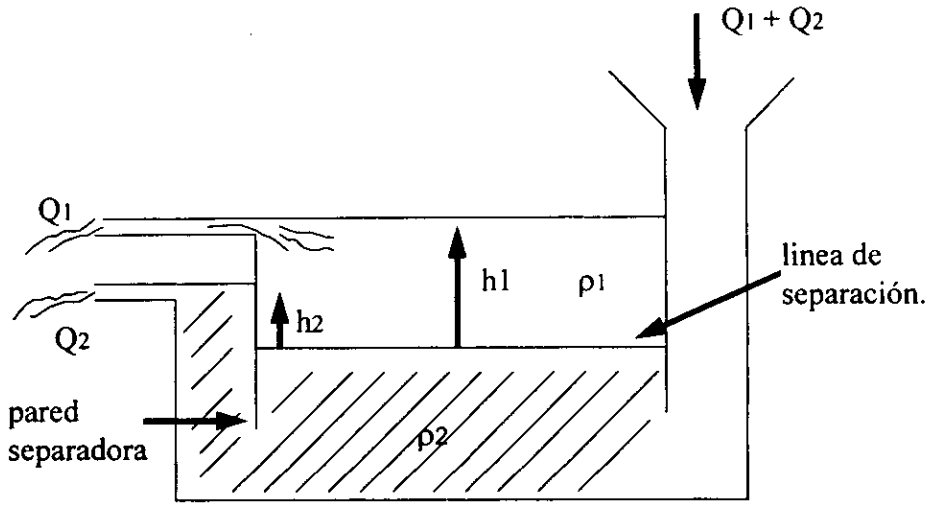


Fig. 2.e. : *Separación líquido-líquido..*

Un tanque como este puede utilizarse para realizar una separación de dos líquidos inmisibles de diferentes densidades ρ_1 y ρ_2. La pared separadora impide que la fase ligera salga por la salida de la fase pesada. Algo importante de hacer mención es que la localización de la interface entre ambas fases no depende de la proporción en que estén presentes cada una de ellas en la mezcla original, sino de la relación de sus densidades y de la posición de sus vertederos **(1)** y **(2)** previstos por cada una de las fases.

En efecto, si la interfase ha de estar en equilibrio, ésta tendrá que estar en una posición tal, que la presión ejercida por el líquido ligero en la cara superior de la interfase.

($P_1 = \rho_1 h_1$)

Sea igual a la presión ejercida por el líquido pesado en su cara inferior

$$(P2 = \rho 2\, h2)$$

La **separación líquido-líquido** puede verse como una sedimentación de partículas del líquido pesado en el líquido ligero, y una división del tanque con varios platos será tan ventajosa como lo fue para la sedimentación de sólidos.

2.3)Separación centrifuga.

Como hemos visto una partícula determinada se sedimenta por acción de la gravedad en un fluido dado con una cierta velocidad de sedimentación. Para aumentar la velocidad de sedimentación, la fuerza de gravedad puede sustituirse por una **fuerza centrífuga** la cual es mucho más intensa. Esta fuerza centrífuga nos permite crear una gravedad artificial, mucho mayor de la normal de la siguiente manera:

Para poder mantener a un objeto de masa **"m"** describiendo una trayectoria circular de radio **"r"** con una velocidad angular **"ω"** es necesario ejercer una fuerza **"F"** hacia el centro de rotación.

$$F= m (\omega^2 r)$$

Observemos la **figura 2.f:**

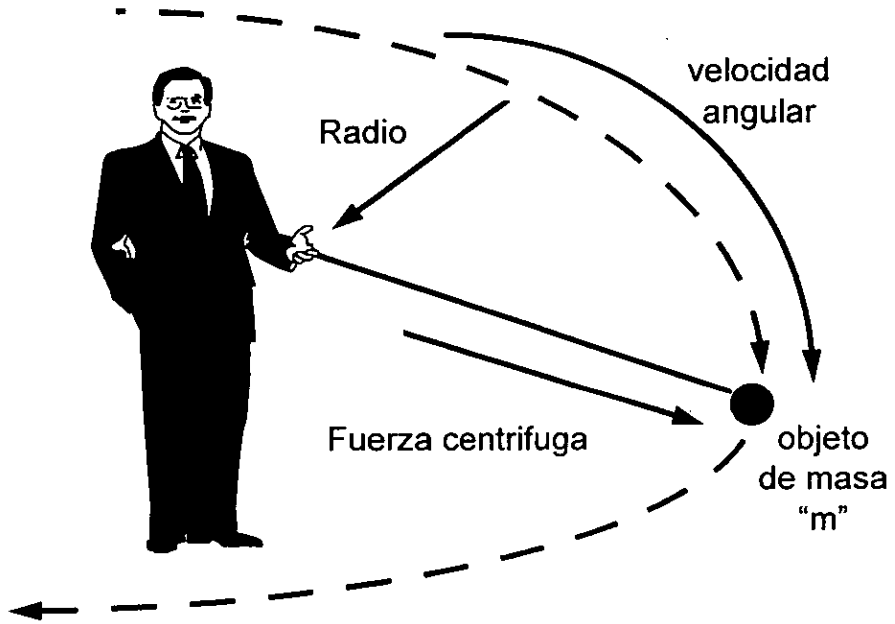


Fig. 2.f. : *Representación esquematica de la fuerza centrifuga presente al hacer girar un objeto de masa "m".*

De acuerdo a la figura **2.f.** podemos situar dos puntos de referencia para analizar el fenómeno:

a) *Punto de referencia del observador inercial.* Si tomamos este punto de referencia podemos afirmar que el objeto sigue una trayectoria circular debido a que se ejerce sobre el una fuerza centripeta.

b)*Punto de referencia del observador situado sobre el objeto.* El objeto se encuentra en equilibrio bajo la fuerza centripeta y otra nueva fuerza de igual magnitud pero en sentido contrario llamada fuerza centrifuga.

Para el caso de una suspensión giratoria la única fuerza que actúa es la **fuerza centrifuga** de magnitud:

$$F=m(\omega^2 r)$$

Se puede demostrar en el caso del empuje de Arquímedes para un líquido giratorio que éste empuje está dirigido hacia el eje de rotación y tiene por valor:

$$Fe= v\rho_m (\omega^2 r)$$

De lo anterior podemos inferir que si ponemos a girar una suspensión, ver la figura **2.g**, las partículas en suspensión emigrarán hacia la periferia del tambor. en vez de hacia abajo. De hecho la sedimentación hacia abajo siempre seguirá presente pero será despreciable a altas velocidades de rotación.

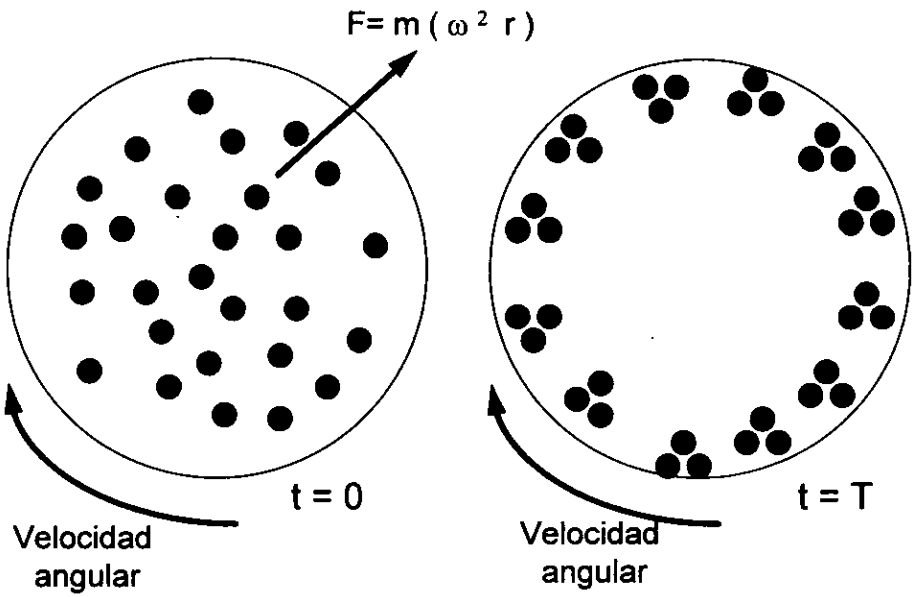


Fig. 2.g. : *Comportamiento de las partículas al hacerlas girar dentro de un tambor.*

2.4) Ley de Stokes para suspensiones en rotación.

De acuerdo a la figura anterior la migración se llevara acabo con una velocidad de sedimentación con los mismos parámetros deducidos en el punto 2.2 excepto que habrá de reemplazar **"g"** por "ω^2 **r**".

$$g = \omega^2 r.$$

También podemos deducir por analogía con la ecuación (2) la velocidad de sedimentación de una partícula en suspensión dentro de un fluido que gira, debería ser:

$$v_s = \Delta\rho\, d^2\, (\omega^2 r) / 18\, \eta \quad \text{.....(5)}$$

Esta ecuación es conocida como la **Ley de Stokes para suspensiones en rotación.**

Está ecuación es una excelente aproximación para diámetros de partícula (**d**) pequeños (**"d"** menor a 0.1mm), lo cual es de hecho el caso en las aplicaciones de nuestro interes.

Lo más significativo de la ecuación **(5)** es que es un **proceso de sedimentación centrifuga**, la velocidad de sedimentación de una partícula en suspensión en un líquido que gira es proporcional a la distancia de la partícula al eje de rotación **(r)** y al cuadrado de la velocidad de rotación del tambor (ω^2). El resto de los factores son los mismos que para la sedimentación natural.

Para un sistema ideal podemos realizar la siguiente suposición:

$$x = s / 2$$

En donde **"s"** es un parámetro del equipo y esto significa que la mitad de las partículas de diámetro **"d"** serán removidas y la otra mitad no. Además de acuerdo a la figura **2.c**. sabemos que:

$$x = v_s \cdot T$$

Por lo tanto la ecuación **(5)** la podemos escribir como:

$$d = (9\eta\, Q\, s / (\Delta\rho\, V\, \omega^2\, r))^{0.5}$$

o bien:

$$Q = (\Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta\,) (V\, \omega^2\, r / s)$$

Siendo el primer grupo del lado derecho de la ecuación los parámetros del sistema que siguen la ley de Stokes $(\Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta\,)$ y el segundo grupo $(V\, \omega^2\, r / s)$, los parámetros del equipo, esto también lo podemos escribir de la siguiente manera:

$$Q = 2\, v_g\, \Sigma$$

En donde:

$$v_g = \Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta \qquad \text{y} \qquad \Sigma = V\, \omega^2\, r / s$$

donde:

$$r/s = (3/2r_2^2 + 1/2r_1^2)/ (r_2^2 - r_1^2)$$

En donde sigma (Σ) tiene dimensiones de $(\text{longitud})^2$ y representa el área equivalente a un tanque de sedimentación teórico capaz de sedimentar la misma cantidad de suspensión

2.5.-) Superficie Equivalente.

La **superficie Equivalente** de una separadora centrífuga se define como la superficie que debería tener un tanque de sedimentación natural para entregar un flujo clarificado (m^3 / h) igual al de la centrífuga en cuestión.

Charles M. Ambler[2] desarrollo para los diferentes tipos de tambores las ecuaciones correspondientes para el calculo de la superficie equivalente:

a) Centrifuga Tubular:

$$\Sigma = (\pi \, l \, \omega^2 / g) * [(r_2^2 - r_1^2) / \ln (2r_2^2 / (r_2^2 - r_1^2))$$

Donde:

r1 = Radio interno de la centrifuga

r2 = Radio externo de la centrifuga

N = Número de discos.

ω = Velocidad angular.

l = Radio de descarga de la fase ligera

θ = Ángulo formado entre los discos.

C = Constante = 1.8

b) Para la centrifuga de discos y de cámaras:

$$\Sigma = 2\pi \omega^2 N (r_2^3 - r_1^3) / (3g \, C \, \tan \theta)$$

Una correlación empírica, que no tiene dimensiones exactas, y es muy utilizada en el diseño de centrifugas de discos es la siguiente.

$$\Sigma = 2\pi \, \omega^{1.5} N(r_2^{2.75} - r_1^{2.75}) / (3g \, C \, \tan \theta)$$

[2] BIBLIOGRAFIA.-Charles M. Ambler. " The fundamentals of separation, including sharples "sigma value" for predicting equipment performance", Industrial and Engineering Chemistry, Vol 53 Num.6 June (1961) pag. 430-433.

De acuerdo con las anteriores ecuaciones la capacidad clarificadora de la centrifuga depende de:

a) El radio interno (r_1) y el radio externo (r_2)

b) El número de discos.

c) La velocidad de rotación del tambor.

d) El ángulo de inclinación con respecto a la horizontal (θ) con un valor aproximado de **45°** .

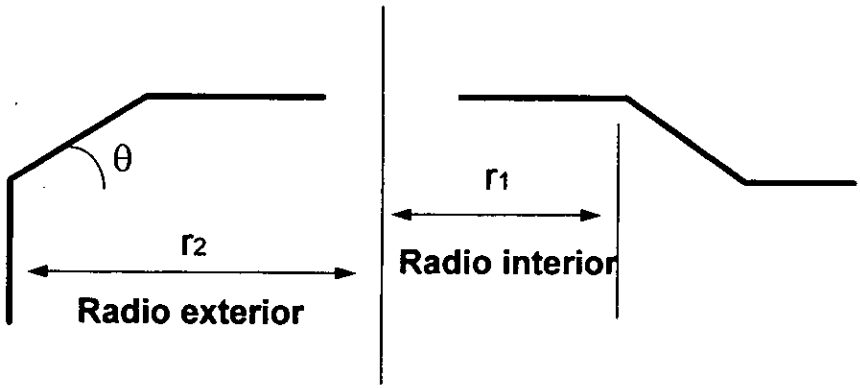
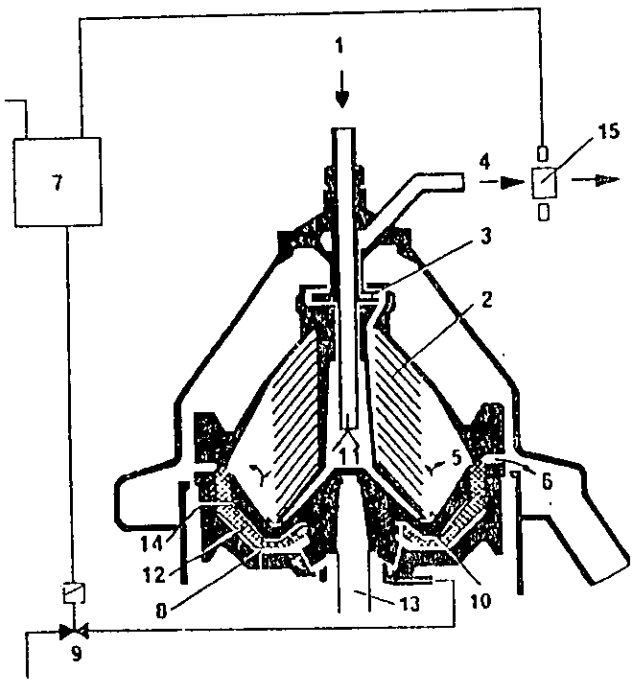


Fig. 2. j. : *Localización del angulo, radio interior y radio exterior de una centrifuga.*

La superficie equivalente es uno de los conceptos más importantes en centrifugación ya que nos permite comparar a 2 centrifugas entre si.

Este escalamiento nos permite seleccionar la centrífuga adecuada para un determinado proceso mediante la realización de pruebas con maquinas pequeñas.

A continuación se presenta la descripción del funcionamiento de una centrifuga cuando se realiza la separación de las partículas **figura 2.h**.



1. Alimentación
2. Discos
3. Rodete de descarga
4. Salida del clarificado
5. Recinto de lodos
6. Orificios de descarga
7. Programador
8. Cámara de cierre
9. Válvula del agua de maniobra
10. Cámara de apertura
11. Distribuidor
12. Pistón axial
13. Eje
14. Orificio de salida
15. Celda fotoeléctrica

Figura 2.h. *Centrifuga de discos*

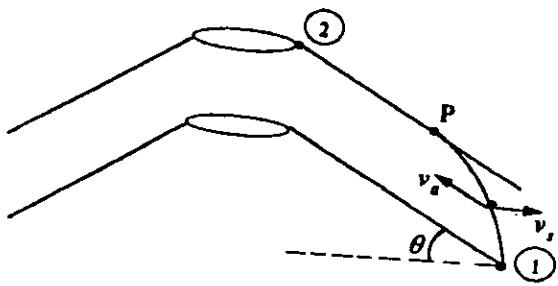
De acuerdo a la **figura 2.h.** podemos observar que la suspensión entra a la máquina por la entrada **(1)** y es acelerada a la velocidad de rotación del tambor en el distribuidor **(11).**

Debido a la fuerza centrifuga presente la suspensión es obligada a viajar de la periferia al centro del tambor a través de una serie de discos **(2)** con un espacio entre cada disco de **0.5mm** para finalmente salir la suspensión ya clarificada por la salida **(4)** vía el rodate de descarga **(3)**

Mientras la fase líquida atraviesa la serie de discos, los sólidos quedan atrapados entre algún par de discos y debido a su velocidad de sedimentación hacia la periferia, se depositan en la cara inferior del disco superior y de ahí deslizan hacia el recinto de sólidos **(5)** donde quedan almacenados en espera de ser desalojados del tambor.

Sea **"Q"** el caudal de alimentación a la centrifuga. Analicemos las fuerzas presentes entre un par de discos de acuerdo a la **figura 1.i**

Figura 1.i



Si realizamos la suma vectorial de ambas velocidades obtenemos la trayectoria de la partícula hasta el punto **"P"** donde esta se adhiere a uno de los discos.

Mientras más pequeña sea la partícula, más pequeña será la compo
nente v_s y más tardara en adherirse a uno de los discos. Las partículas más finas aterrizaran en el punto (2). Sea "d" el diámetro de estas partículas límite. La relación entre "Q" y "d" es la siguiente:

$$Q = (\Delta\rho\, d^2\, g / 18\,\eta)\,[\,(2\pi\,\omega^2\ \tan\phi\ N\,(r_2^3 - r_1^3))/3g\,]$$

En efecto, si una maquina de laboratorio con 1000 m^2 de Superficie Equivalente nos permite clarificar un cierto caudal de una determinada suspensión podemos estimar que una centrífuga que tiene 100,000 m^2 de Superficie equivalente nos permitirá clarificar un caudal 100 veces mayor de la misma suspensión con la misma calidad de clarificación.

Debido a lo anterior podemos realizar la comparación de dos centrífugas debido a que **Q/** Σ=2**Vg** y está es una constante, por lo tanto.

$$\mathbf{Q/}\ \Sigma = \mathbf{Q1/}\ \Sigma 1 = \mathbf{Q2/}\ \Sigma 2 = \mathbf{Q3/}\ \Sigma \mathbf{3} = \ldots = \mathbf{Qn/}\ \Sigma \mathbf{n} = 2\mathbf{Vg}$$

III

TIPOS DE CENTRIFUGAS

En la industria química existe una gran variedad de centrífugas las cuales pueden ser clasificadas de muy diversas formas, en este capitulo se realizara una clasificación tomando como referencia la forma en que son descargados los sólidos de tal manera de que se identifique a la centrífuga en estudio de otras centrífugas que tienen la misma función pero la forma de descargar los sólidos es diferente.

Hay que hacer notar que para la presente clasificación no se tomaron en cuenta las separaciones de gases ya que tales tipos de separación no entran dentro de los objetivos del presente trabajo.

Para realizar esta clasificación se tomaron en cuenta el % de sólidos contenidos en la suspensión:

a) Descarga manual { tambor macizo 0-5% de sólidos } { centrífuga tubular }

b)Descarga automática intermitente. { autodeslodante 0-30% de sólidos } { Centrífuga de discos modificada con un doble recipiente cónico}

c)Descarga continua. { Toberas 0-40 % de sólidos } { Centrifuga de tambor de discos con toberas}

d)Tornillo transportador.{ decantadores 0-65% de sólidos}.

3.1 Descarga manual.

Este tipo de centrifugas es también llamada de **"tambor macizo"**. Se utilizan para separar suspensiones de 0 a 5 % de sólidos. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y deben ser removidos en forma manual parando la maquina y abriendo el tambor.

Un ejemplo típico de este tipo de centrifugas es **la centrifuga tubular. fig. 3-a**

Como se observa en la figura **3.a**, la alimentación de la suspensión entra por una boquilla estacionaria en la parte inferior del equipo, La suspensión entra al recipiente rotatorio el cual gira dentro de un tambor; este recipiente rotatorio es accionado por una banda mediante un motor eléctrico o con una turbina de aire o vapor. La suspensión produce un chorro hacia el interior del recipiente y donde esta se acelera. La fase pesada se recolecta sobre las paredes del recipiente, mientras que la fase ligera forma una capa en la parte interior de la fase pesada. Las gotas de líquido ligero en la fase pesada se mueven hacia el centro del recipiente, y las gotas de líquido pesado se mueven hacia la pared. Las capas se mantienen en el recipiente y su descarga es separada y se controla mediante anillos de salida por la parte superior. No existe un dispositivo para la alimentación de sólidos. Estos se incrustan en las paredes del recipiente, hasta que es detenida para limpiarla manualmente.

El recipiente es alto y estrecho, con un diámetro de **100 a 150 mm** y gira con una velocidad de **15,000 r.p.m.** dentro de una carcaza estacionaria.

VENTAJAS:

1) Fácil desarmado del tambor.
2) Fácil limpieza.
3) Clarificación del flujo alimentado constante.

DESVENTAJAS:

1) Dispone de una área equivalente pequeña.
2) Solo para procesos intermitentes.
3) Muy deficiente en el caso de manejar una gran cantidad de sólidos (más de 5% en sólidos).

Este tipo de centrifuga es utilizada en la purificación de aceite combustible, lubricantes usados y otros aceites industriales, se utiliza también para clarificar productos muy viscosos como son acetato de celulosa y chicle, y la recuperación de bacterias entre otros.

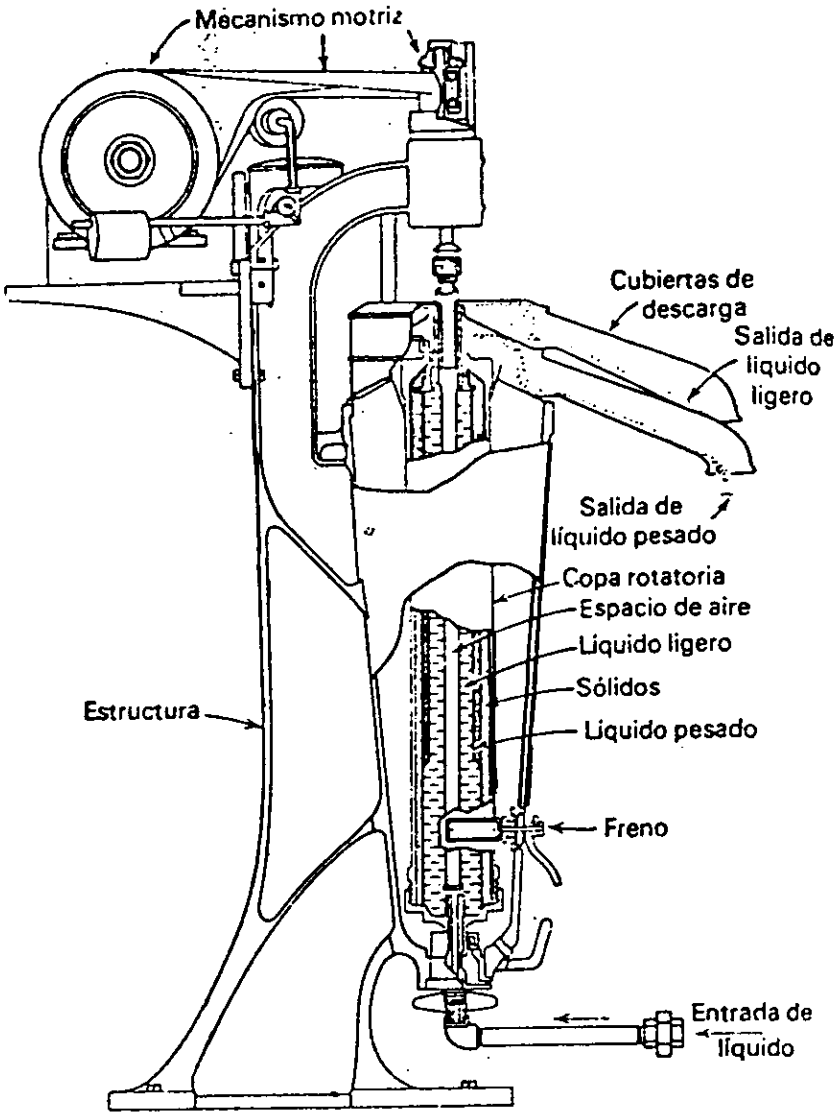


Figura 3.a *Centrifuga tubular de descarga manual*

3.2) De descarga automática intermitente.

Este tipo de centrifugas es también conocida como **"autodeslodantes"**. Son utilizadas para separar suspensiones de 0 a 30% en sólido. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y son expulsados en forma intermitente y automática a través de los orificios de descarga

Las descargas pueden controlarse mediante alguno de los siguientes sistemas:

a) Sensor de túrbidez en el clarificado.
b) Programador de tiempo.
c) Sensor de nivel de sólidos dentro del tambor.

En la figura **3.b.** se muestra una **centrífuga de discos de tambor autodeslodantes.**

Este separador es una centrífuga de discos modificada con un doble recipiente cónico. La parte central del recipiente opera en la misma forma que la centrifuga de discos normal. Los sólidos son desplazados hacia la periferia del recipiente y salen de forma continua a través de la parte llamada expulsión del concentrado con una considerable cantidad de líquido. En algunos diseños, parte de la suspensión descarga desde la expulsión de concentrado y es reciclada a través del recipiente para aumentar la concentración de sólidos.

En el diámetro máximo de la periferia del recipiente hay una serie de pequeños orificios con un diámetro del orden de 3 mm. Algunos modelos descargan en un periodo de 0.13 a 0.30 segundos.

Se han utilizado en gran medida para aplicaciones tan diversas como la separación de cremas, separación de catalizadores, deshidratación de aceites lubricantes marinos y refinación de aceites de pescado

1) Alimentación.

2) Descarga de la fase liquida ligera.

3) Descarga de la fase líquida pesada.

4) Rodate para líquido pesado.

5) Rodate para líquido ligero.

6) Platos

7) Distribuidor

8) Canales ascendentes.

9) Plato separador.

10) Cámara de concentrado.

11) Expulsión de concentrado.

12) Pistón deslizante.

13) Válvula de pistón.

14) Salida del lodo.

15) Cámara de agua de cierre.

16) Conducto de agua de apertura.

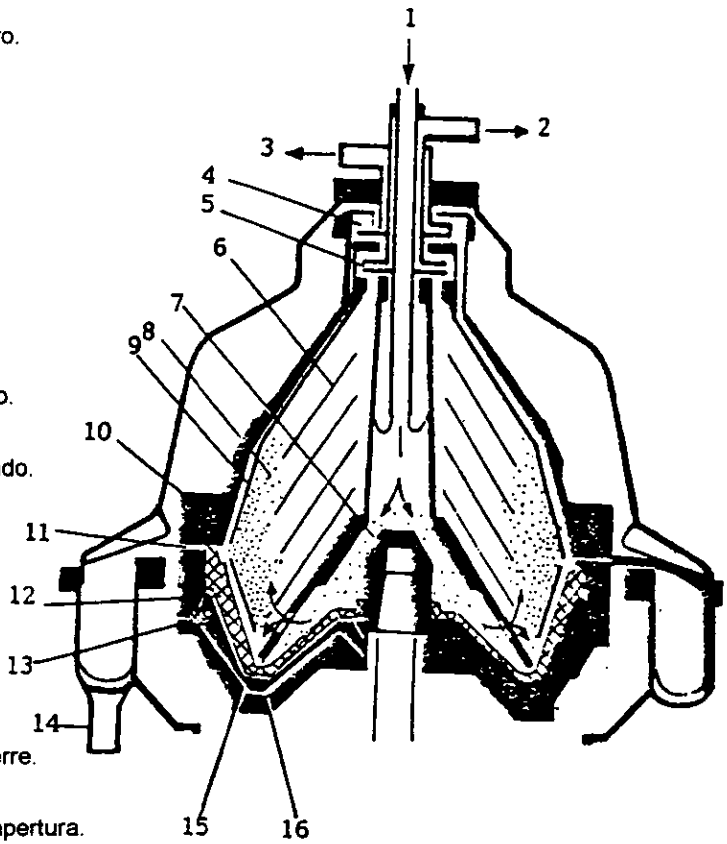


Figura 3. b. *Centrifuga de discos de tambor autodeslodante.*

3.3)Descarga continua.

Este tipo de centrifugas también son conocidas dentro de la industria química como de **"toberas"**. Estas centrifugas son utilizadas generalmente para separar suspensiones de **0 -40%** de sólidos. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y se expulsan en forma continua a través de toberas de descarga.

La **figura 3.c.** representa una **centrifuga de tambor de discos con toberas**; este tipo de separador descarga sólidos continuamente, en forma de lodo, a través de toberas localizadas en el tambor de mayor diámetro. Debido a que este tipo de centrifugas descarga gran cantidad de sólidos y por lo tanto requiere del doble de potencia que para una centrifuga de discos.

En la industria existe un tipo de centrifugas de toberas las cuales están diseñadas para concentrar el sólido al ser reciclado.

Este tipo de centrifugas ha sido diseñada para minimizar el taponamiento, erosión y manejo de sólidos compactos. Para evitar el taponamiento, la alimentación es tamizada; para protegerla de la erosión las toberas son recubiertas con materiales como Tungsteno, Carburo de Boro, Zafiro ó materiales cerámicos.

Existen centrifugas de **2 a 24 toberas**, esto depende del tamaño de la centrifuga.

VENTAJAS:

a) El costo es bajo respecto a una autodeslodante.
b) Es limpiable en su sitio.
c) Maneja grandes cantidades de sólido en suspensión

DESVENTAJAS

a) Requieren de una gran potencia.
b) Este tipo de centrifuga es utilizada para recuperar sólidos como almidón, arcilla, levadura, proteínas, vegetales y lodos residuales.

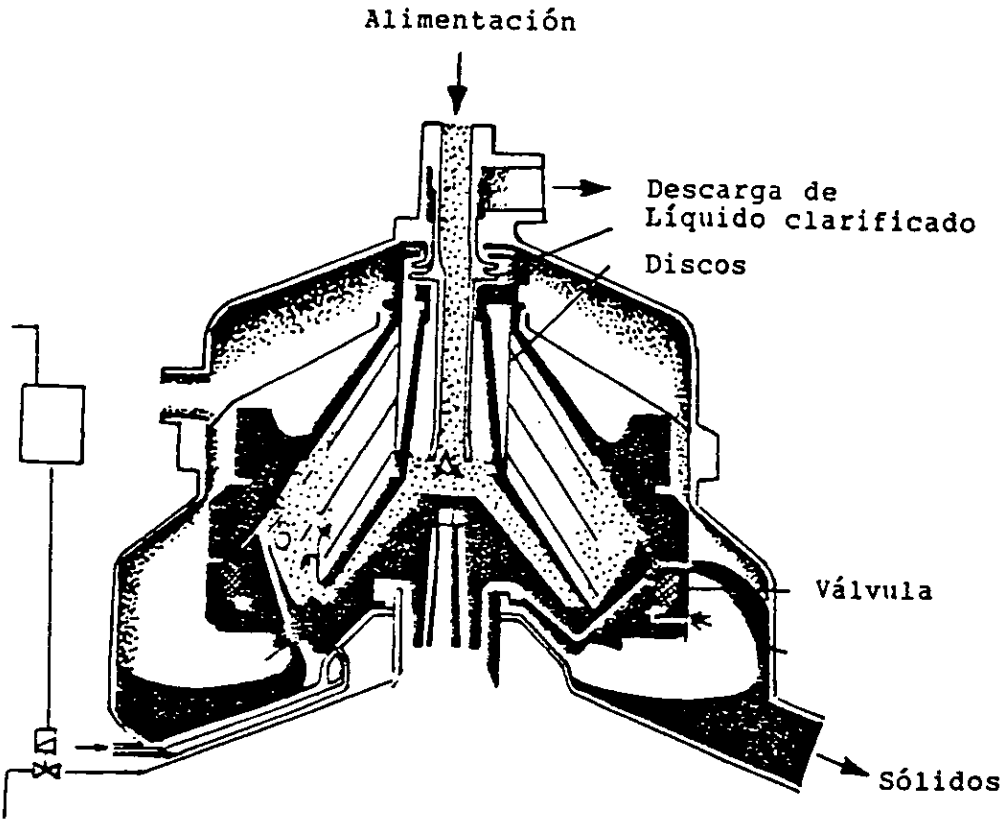


Figura 3.c. *Centrifuga de tambor con toberas y válvulas*

3.4) tornillo transportador

Este tipo de centrifugas es también conocida como **"decantadores"**. Maneja suspensiones de **0-65%** en sólido.

Tiene un diseño completamente diferente a las demás centrifugas. Están equipadas con un tornillo transportador que les permite descargar en forma continua los sólidos.

Las decantadoras tienen un poder clarificador en general menor al de las centrifugas verticales debido a que no tienen discos. Sin embargo el tornillo transportador les permite manejar suspensiones hasta con un 65% de sólidos, y la zona de playa con que cuentan permite un secado óptimo de los sólidos antes de ser descargados. En la **figura 3.d.** se muestra la figura de una **decantadora.**

En esta decantadora la alimentación entra a través de una tubería axial estacionaria y se proyecta en forma de lluvia en una capa anular de liquido dentro del recipiente cilíndrico. El liquido claro fluye a través de unos orificios situados en la placa que cubre extremo no cónico.

Este tipo de centrifugas es utilizada para el tratamiento de aguas residuales, en la industria del vino y la cerveza; en el manejo de ácidos, sales resinas, lodos con catalizadores, en insulina, vitaminas, así como en la industria del almidón, etc.

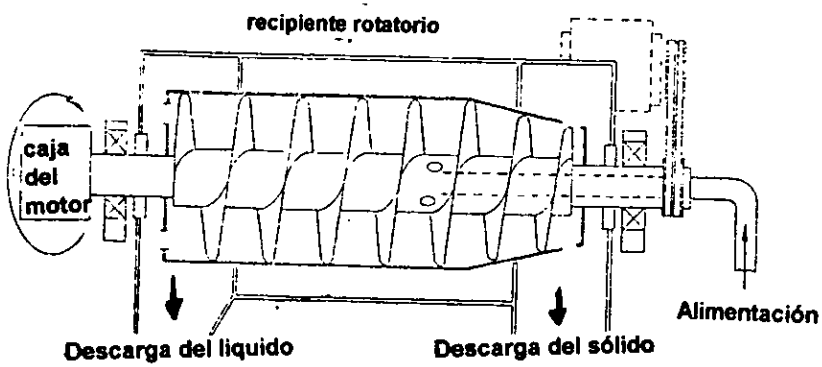


Figura 3.d. *Centrifuga de tornillo transportador*

3.5.-) Criterios para seleccionar una centrifuga.

Algunos de los métodos para la selección de centrifugas se presentan en este párrafo:

Normalmente se realizan los siguientes pasos:

1.-) Se investigan a los fabricantes de centrifugas.

2.-) Un cuestionario como lo muestra la **figura 3.e** es llenado por el comprador.

3.-) Examinar el equipo. El comprador sugiere un pequeño muestreo al fabricante para examinar y probar la centrifuga.

4.-) Examen de campo ó planta piloto. En algunos casos al examinar el equipo es suficiente para darnos el fabricante una firme recomendación. En otros casos, el fabricante puede recomendar una planta piloto ó examen de campo con equipo a escala.

5.-) Duplicación previo del proceso. En algunos casos la instalación de la centrifuga se hace conociendo el producto ó por duplicación de un proceso existente.

Muchas veces, toda la información que se pide en el cuestionario no esta disponible, debe de realizarse un esfuerzo para llenarlo completamente, si es posible con la ayuda en la evaluación del problema.

Una revisión de los muchos tipos de centrifugas que hay disponibles, esto es importante para una **selección correcta** en un trabajo especifico. Para escoger el tipo de centrifuga podemos decir que depende del factor económico y también de los

siguientes factores:

1.-) Tipo de separación.

2.-) Tamaño de partícula de los sólidos.

3.-) Contenido de sólidos en la alimentación.

4.-) Densidad relativa de los componentes.

5.-) Capacidad deseada.

6.-) Consideraciones especiales.

Los **factores que gobiernan la selección** de una centrifuga:

Si la **separación** requerida es **líquido-líquido, ó líquido-sólido** va a ser determinado por el tipo básico de centrifugas a ser aplicado la figura siguiente muestra varios tipos de centrifugas disponibles y sus limitaciones en sus resultados de operación. La mayoría de las centrifugas son utilizadas para las separaciones sólido-liquido un pequeño número para separaciones líquido-líquido-sólido.

Para operaciones que requieren la separación de sólidos, **el tamaño de partícula** será un factor a considerar para determinar el tipo de centrifuga a utilizar, otros factores importantes a considerar son la viscosidad del medio y densidad.

Consideraciones especiales:

Hay un número de **factores importantes** de la suspensión a centrifugar que se pueden tener en mente **cuando las centrifugas son seleccionadas**, ellos son:

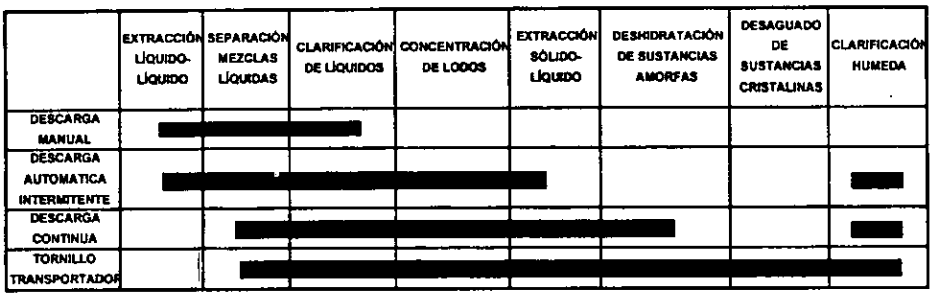
1.-) **pH.** Determinara los materiales de construcción a ser utilizados

2.-) La **temperatura** puede afectar la velocidad de corrosión, presión de vapor, etc.

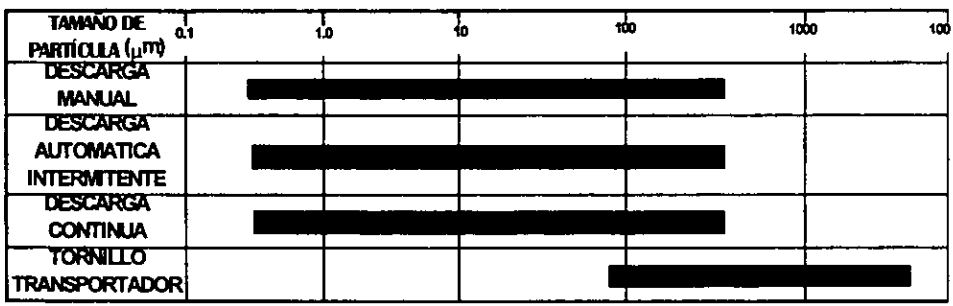
3.-) Manejo de **sustancias explosivas**, o mezclas de vapores tóxicos.

Estos son algunos factores que pueden hacer que la centrifuga tenga una corta vida ó fracase.

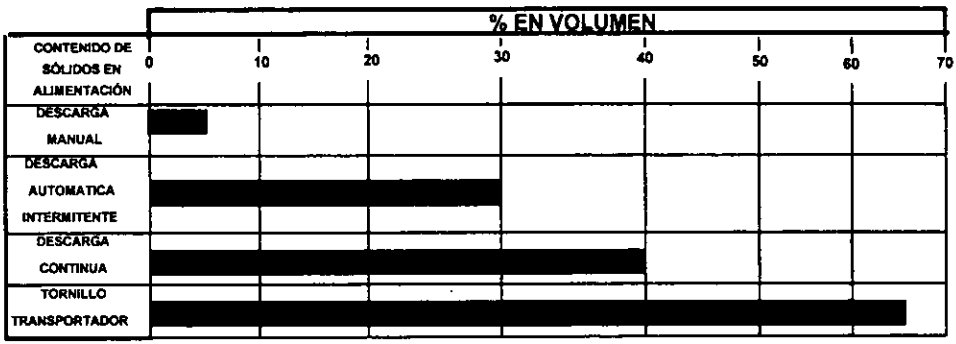
CAMPOS DE APLICACIÓN



TAMAÑO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS



CONTENIDO DE SÓLIDOS EN LA ALIMENTACIÓN



De acuerdo con lo anterior podemos decir que la centrifuga en estudio la podemos clasificar dentro del grupo de descarga manual, ya que es necesario detener la maquina y abrir el tambor para poder remover los sólidos acumulados en el recinto de lodos.

La centrifuga westfalia LWA-05 no maneja concentraciones mayores al 5% en sólidos para el caso de los tambores de discos y de cámaras.

En esencia este equipo es una versátil e ideal herramienta, conveniente para todos los tipos de operación en el laboratorio e investigación, resuelve varios problemas de centrifugación existentes, y su función esta dentro de los procesos piloto. Los posibilidades que tiene son las siguientes: remueve sólidos indeseables del líquido, separa mezclas de líquido, simultáneamente remueve sólidos, recobra sólidos deseables, y concentra suspensiones.

Uno de los aspectos importantes a considerar es la selección del separador centrifugo más adecuado para llevar acabo una separación determinada. Normalmente los fabricantes disponen de los datos sobre el equipo más adecuado a problemas de separación ya conocidos, para realizar la selección es necesario incluir el material de construcción de la centrifuga.

El ingeniero que promueve la venta del equipo realiza una recomendación basada en la experiencia, el conocimiento del equipo, la comprensión del proceso que involucra la separación mecánica, los parámetros de higiene seguridad y rendimiento, el conocimiento de los servicios auxiliares y la evaluación del personal disponible.

Es imposible presentar un sistema absoluto para realizar la selección de un equipo centrifugo. Es necesario realizar un análisis del problema basado en la experimentación y la teoría así como en el criterio propio para realizar la selección más adecuada. Como hemos visto se involucran una gran cantidad de factores y variables que realizar una selección no es sencillo.

Figura 3.e. Cuestionario para la compra de una centrifuga.

Planta y cliente **Datos:**

COMPAÑIA_____

DIRECCIÓN_____.

HOMBRE CONTACTADO_____TITULO_____.

DIRECCIÓN DE LA PLANTA_____.

ESTÁ SEPARACIÓN AUN SE PUEDE REALIZAR_____COMO?_____.

CUALES SON LOS RESULTADOS?_____.

DONDE EXISTEN PROBLEMAS? CAPACIDAD____EFICIENCIA____ARMAZÓN____.

METALURGIA_____ELASTOMEROS_____.

ELECTRICIDAD____VOLTS____CICLOS____FASES ☐ TEFC ☐ PRUEBA DE EXPLOSIÓN.

MATERIALES.

COMPOSICIÓN QUIMICA___
CANTIDAD / HORA_____
GRAVEDAD ESPECIFICA___
VISCOSIDAD Y TEMP._____
pH_____
PUNTO DE INFLAMACION__
TOXICO?_____
CORROSIVO?_____
ESPUMA?_____

ALIMENTACION	LIQ1	LIQ2	SÓLIDOS

TEXTURA DE SÓLIDOS Barro ☐ Irregular ☐ Abrasivo ☐ Blando ☐

CONDICIONES

DE OPERACIÓN:

TEMPERATURA: Preferida_____°F.Máx._____°F. Min._____°F. Presión_____

OPERACIÓN CONTINUA_____Horas / dia.

OPERACIÓN BACH. Tamaño_____gal. Frecuencia_____.

Está disponible una muestra si se necesita?_____Los residuos van a ser descargados_____.

RESULTADOS DESEADOS.

Máx. líquido requerido en sólidos

Máx. sólidos de líquido 2 en liq. 1.

Máx. sólidos de líquido 1 en liq. 2.

Otro_____.

Rotulo_____

IV

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

4.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL.

El equipo que se utilizo para llevar acabo las pruebas fue una centrifuga de laboratorio marca westfalia separator modelo LWA-205 el cual se encuentra dentro del laboratorio de ingeniería química.

Este separador centrifugo es una máquina universalmente ideal para el uso en laboratorios y para realizar investigaciones donde varios problemas de centrifugación pueden ser resueltos utilizando pequeñas cantidades de suspensión de tal manera de que los costos por investigación para una empresa sean mínimos.

La centrifuga marca westfalia separator modelo LWA-205 cuenta con varios accesorios de tal manera de que esta pueda realizar las funciones de varios tipos de centrifugas; cuenta con accesorios que se pueden adaptar ya sea para utilizarla como centrifuga de cámaras, de discos o de toberas según sea la investigación que se requiera realizar.

Para el caso de esta centrifuga puede desarrollar una velocidad de hasta **12000 r.p.m.** y cuenta con un motor eléctrico trifasico de **0.45 kw.** para **220/380 V**

A continuación se presentan las **características generales de la construcción** de la centrifuga westfalia

a) Estructura.

Pieza fundida de acero, que al final es calentada en un horno con un esmalte blanco, la cual fue diseñada para darle un mantenimiento y limpiado fácil. La superficie

interior usa una capa con un laqueado especial, la cual la hace resistente para varios materiales. El aro del tambor está protegido por un anillo de acero inoxidable.

b) Tambor.

Todas las partes del tambor son fabricados con acero inoxidable **316** (Material Num. **4571** ó **4405**)

c) Recipiente de alimentación y colectores.

El recipiente de alimentación y los colectores que se ensamblan en el tambor son fabricados con acero inoxidable **316** (Material Num. **4401**)
Estas superficies fueron pulidas y son fáciles de limpiar.

d) Engrane.

Resistente, en donde los elementos que forman el engrane tienen una larga vida, el vástago del tambor tiene un acero de alta calidad, una alta precisión en los engranes y chumaceras, cuenta con un autoajustado de las chumaceras dando un balance de modo uniforme al arrancar el tambor. El sellado para las chumaceras evita la entrada de líquido e impurezas dentro del engrane del tambor.

e) Motor.

Motor blindado conectado directamente a la transmisión horizontal de la flecha. Se pueden utilizar motores a prueba de explosiones.

f) Lubricación automática.

Sistema de lubricación de barboteo, asegura una larga vida de los engranes y chumaceras. El vidrio de la mira permite checar visualmente el nivel del lubricante.

g) Datos técnicos.

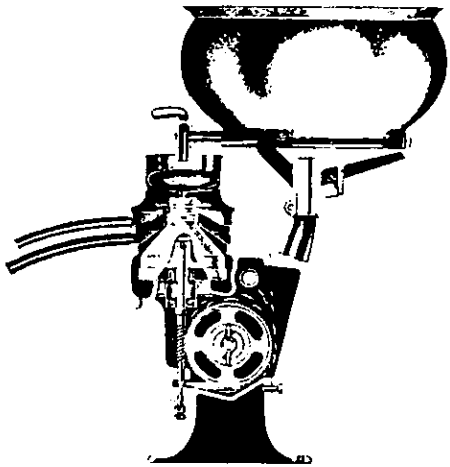


Fig. 4.a. *Vista sección trasversal de la centrifuga*

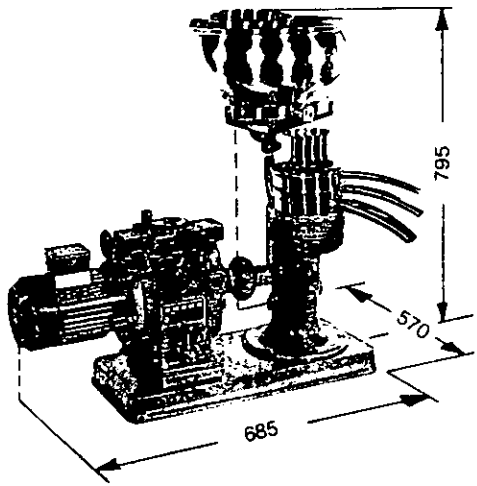
Tambor	
Velocidad[1]	12,000 rev/min.
-Tambor de discos	0.4 ltr.
- tambor de cámaras	0.45 ltr.
Espacio para retener sedimentados.	
1) Tambor de discos	0.18 ltr.
2) Tambor de cámaras	0.32 ltr.
Número de toberas	
Internas	2
Externas	4
Motor trifasico A.C.	
Eléctrico	0.55 kw.
Velocidad a 50 Hz	1455 l/min.
Velocidad a 60 Hz	1745 l/min.
Diseño	IMB 3
Documento	IP55

[1] Si la gravedad especifica es mayor de 1.1 la velocidad del tambor puede reducirse como consecuencia de esto.

Peso y dimensiones del equipo.

-Peso de la maquina completa.

Neto	76 kg.
Bruto	96 kg
Dimensiones de la maquina.	
(largo, ancho y alto)	685 x 570 x 795 mm.
Volumen del equipo	0.3 m^3
Capacidad volumetrica[2]	240 l / min.



Dimensiones en mm.

h) Localización dentro del laboratorio de Ingenieria Química.

El equipo que se describe en este trabajo se encuentra localizado en la parte norte del laboratorio de Ingeniería Química, junto a los clasificadores de grano y al molino.

Para utilizar la centrifuga de laboratorio WESTFALIA no requiere de alguna instalación especial solo necesita:

a) Una conexión trifasica para el motor.
b) Una mesa con superficie plana y nivelada con respecto al piso.

[2] La capacidad por hora de la centrifuga es generalmente baja, esto depende de los productos de alimentación y el grado de clarificación requerido. La capacidad del tambor es la maxima capacidad volumetrica.

4.2.-) INSTALACIÓN DE LA CENTRIFUGA

La centrifuga en estudio cuenta con los accesorios necesarios para realizar las funciones de:

a) Centrifuga de cámaras.

b) Centrifuga de discos

c) Centrifuga de toberas.

Para realizar el armado de los diferentes tambores es necesario revisar las figuras anexas en este capitulo.

A continuación se presenta la descripción y las instrucciones necesarias para realizar la instalación de el tambor en sus tres modalidades.

4.2.1) Con tambor de Cámaras.

Para esta modalidad, el tambor macizo es provisto con una cámara insertada **(2,3)** la cual cuenta con un gran espacio para separar sólidos en suspensión en comparación con el tambor de discos. La corriente de entrada es clarificada a través de dos cámaras en la parte externa. El líquido clarificado se descarga libremente del tambor.

Este tipo de centrifuga es utilizada únicamente para remover sólidos de liquido. Una parte importante de este tipo de centrifugas es el diseño que las caracteriza. Consta de varias cámaras concéntricas conectadas en serie lo cual logra un aumento en el área equivalente, en donde el líquido fluye desde la cámara interna hasta la cámara externa lográndose así un tiempo de residencia mayor dentro del equipo.

Debido a que la fuerza centrifuga aumenta de cámara a cámara, tendremos que en el caso de la cámara interna se depositaran las partículas más pesadas mientras que en la cámara más externa tendremos las partículas más finas.

Las aplicaciones de este tipo de centrifuga es en la clarificación de los diferentes líquidos en la industria de las bebidas, en plantas de alimentos, y en laboratorios farmacéuticos.

En la **figura 4.b.**se muestran las partes más importantes de una centrifuga de cámaras:

1.-) Alimentación.
2.-) Cámara I
3.-) Cámara I I
4.-) Eje de rotación
5.-) Descarga de líquido clarificado.

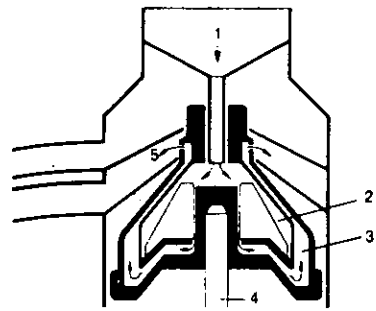


Fig 4.b. *Centrifuga de cámaras*

ACCESORIOS DEL TAMBOR DE CÁMARAS ASI COMO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA DESCARGA

NO. DE LA FIGURA	NOMBRE DE LA PIEZA	NO. DE PIEZAS
1	Empaque de hule	1
2	Ala interior	1
3	Campana interior	1
4	Cubierta del tambor	1
5	Base del tambor	1
6	Tuerca del tambor	1
8a	Colector de líquidos pesados	1
8b	Colector de líquidos ligeros	1
8c	Colector de inundación	1
8d	Recipiente interior.	1

Fig. 4.2.1.a

a.-) Centrifuga de cámaras (Armado del tambor de cámaras).

Para realizar el armado de la centrifuga de cámaras en necesario revisar las figuras 4.2.1.a, 4.2.1.b, 4.2.1.c y 4.2.1.d

1.-) Instalar el empaque de hule (1) en la ranura de la base del tambor.

2.-) Colocar el ala interior (2)

3.-) Colocar la cámara interior (3) de tal forma que su guía embone con la de la ala (2).

4.-) Colocar la cubierta del tambor (4) y apretar la tuerca (6) con la llave correspondiente.

5.-) Colocar el tambor armado en el eje asegurándose que entre en la ranura de este.

6.-) Una vez armado el tambor, es necesario ensamblar los siguientes accesorios:

Colector de líquidos pesados.	(8a)
Colector de líquidos ligeros	(8b)
Colector de inundación	(8c)
Recipiente interior	(8d)
Recipiente de alimentación	(9b)

PARTES DEL TAMBOR DE CAMARAS.

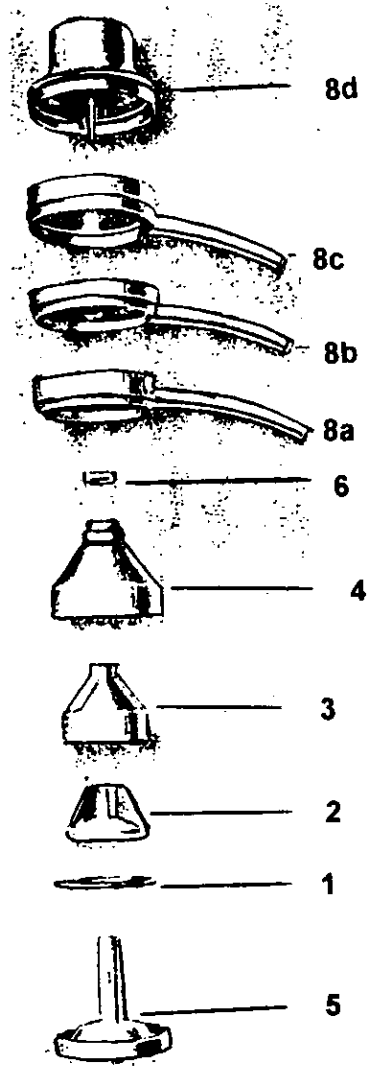


Fig. 4.2.1.b

a.-) Centrifuga de cámaras (Armado del tambor de cámaras).

Para realizar el armado de la centrifuga de cámaras en necesario revisar las figuras 4.2.1.a, 4.2.1.b, 4.2.1.c y 4.2.1.d

1.-) Instalar el empaque de hule (1) en la ranura de la base del tambor.

2.-) Colocar el ala interior (2)

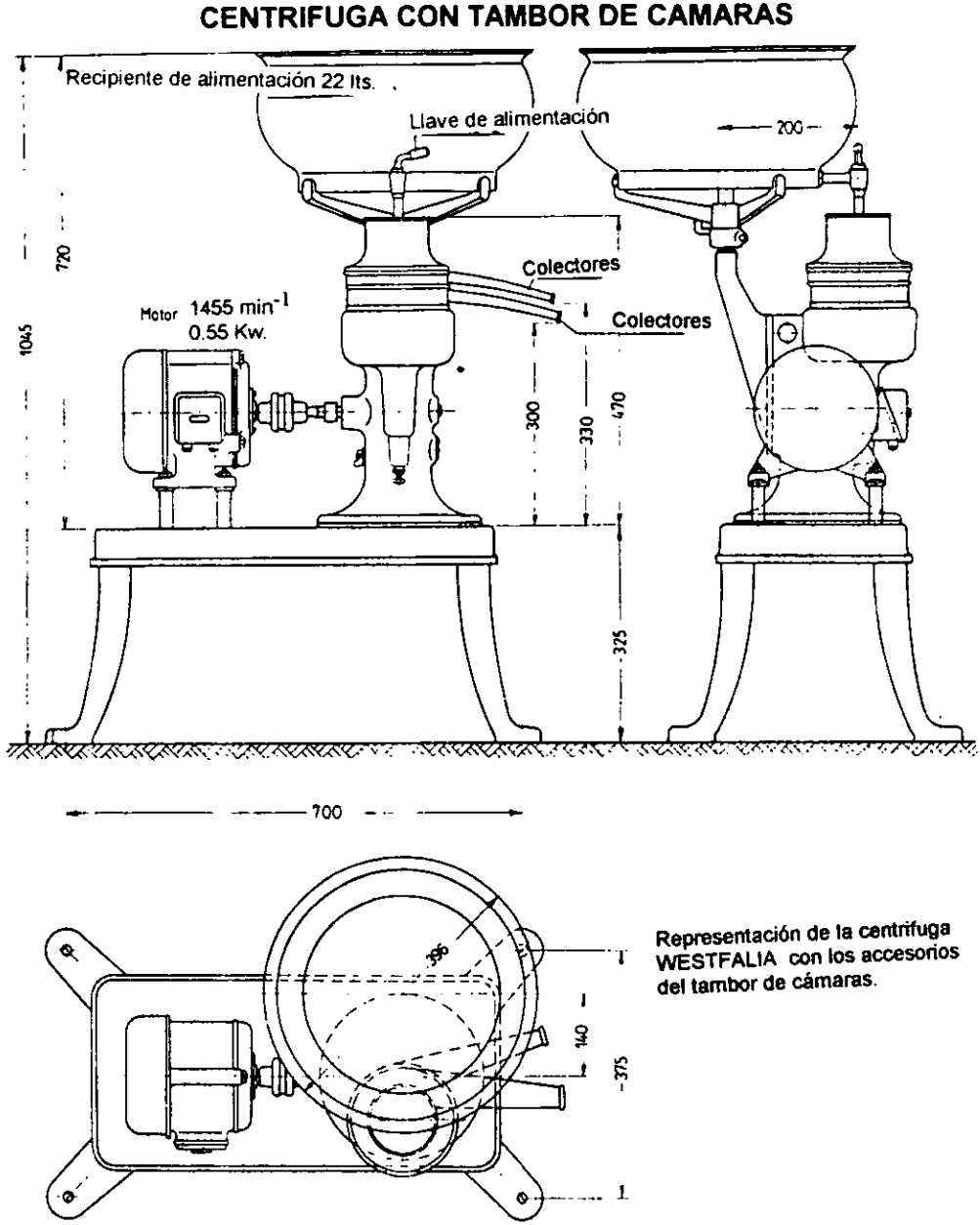
3.-) Colocar la cámara interior (3) de tal forma que su guía embone con la de la ala (2).

4.-) Colocar la cubierta del tambor (4) y apretar la tuerca (6) con la llave correspondiente.

5.-) Colocar el tambor armado en el eje asegurándose que entre en la ranura de este.

6.-) Una vez armado el tambor, es necesario ensamblar los siguientes accesorios:

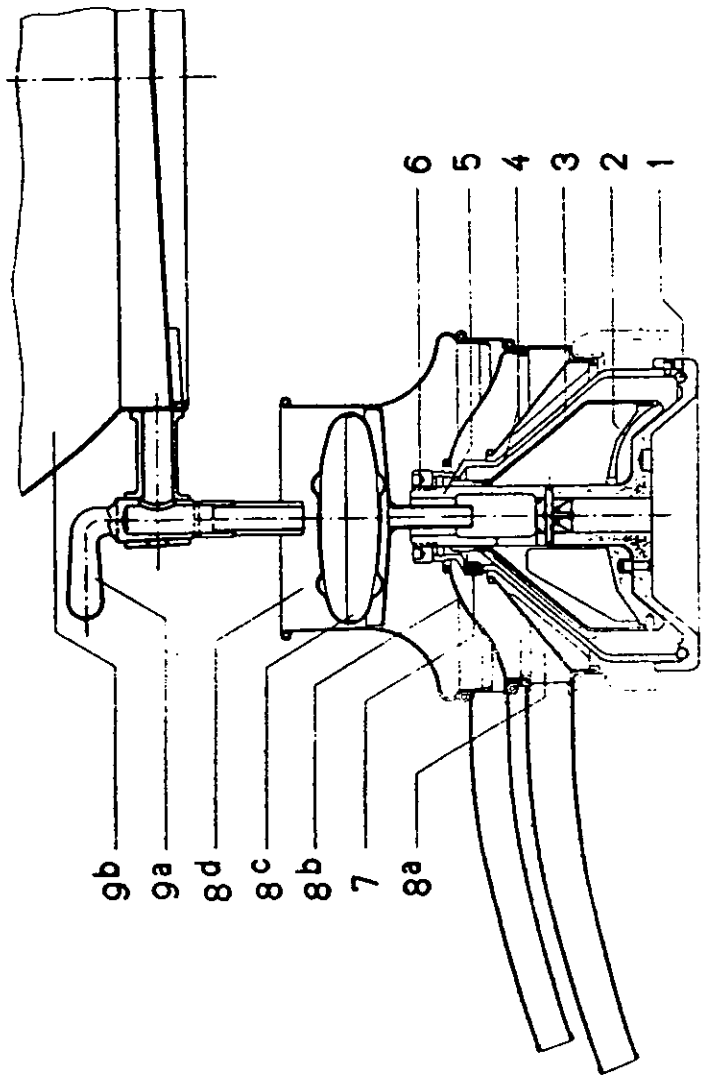
Colector de líquidos pesados.	(8a)
Colector de líquidos ligeros	(8b)
Colector de inundación	(8c)
Recipiente interior	(8d)
Recipiente de alimentación	(9b)



Representación de la centrifuga WESTFALIA con los accesorios del tambor de cámaras.

Fig. 4.2.1.C. Dimensiones de la centrifuga de cámaras

TAMBOR DE CÁMARAS



Localización de los accesorios de la descarga y alimentación de la centrifuga de cámaras.

Fig. 4.2.1.d

4.2.2.-) Con tambor de discos.

Esta es una centrifuga de tambor macizo ó de descarga manual con discos separadores.

El producto fluye a través del recipiente de alimentación **(1)** entra por la abertura del tambor. En los discos separadores, el liquido es separado en componentes ligero y pesado donde pequeñas cantidades de sólido pesado presentes son separados en el recolector de lodos. La fase liquida ligera fluye por la parte interna, la fase pesada por la parte externa. Ambos componentes son colectados en receptores de metal **(6,5)** y descargados por gravedad.

Este diseño es usado para separar mezclas de líquidos insolubles, consistiendo de **2** componentes de diferente densidad y no se utilicen sustancias que produzcan alguna explosión y no se produzcan gases tóxicos. Para este tipo de centrifugas podemos utilizar una mezcla de aceite y agua ó plasma y sangre, etc.

En la **figura 4.b.** se muestra la centrifuga WESTFALIA con las partes más importantes para la centrifuga de discos:

1.-) Alimentación
2.-) Discos separadores.
3.-) Eje
4.-) Espacio de sedimentación
5.-) Descarga de la fase pesada.
6.-) Descarga de la fase ligera.

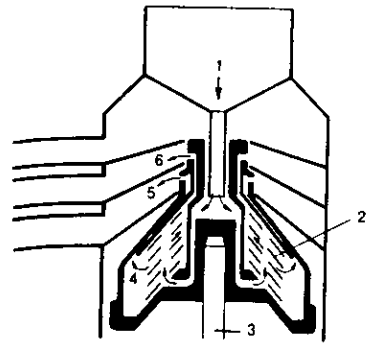


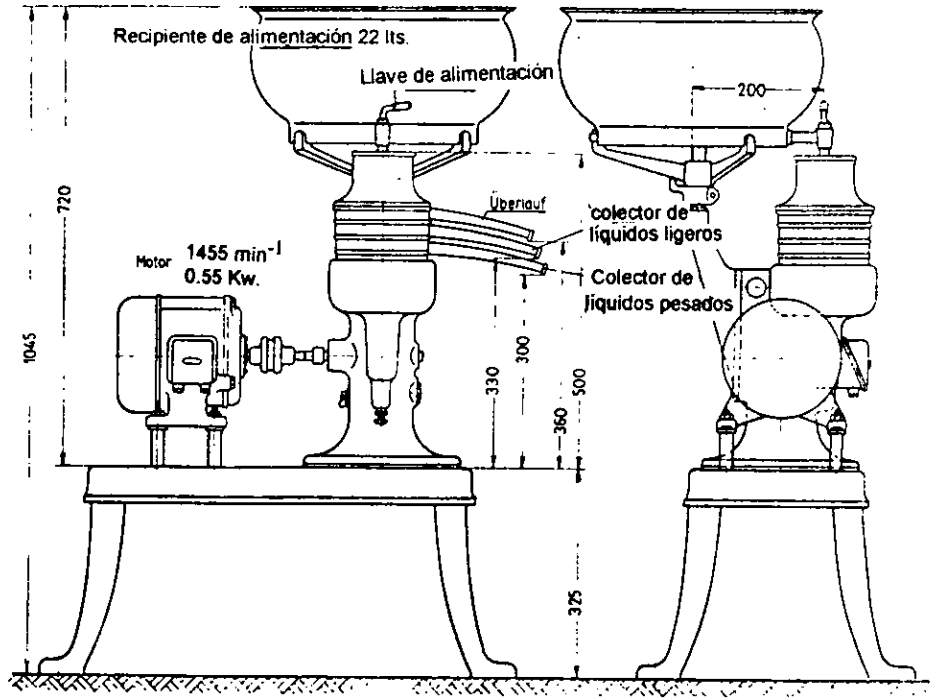
Fig. 4.e. *Centrifuga de discos*

ACCESORIOS DEL TAMBOR DE DISCOS ASI COMO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA DESCARGA

NO. DE LA FIGURA	NOMBRE DE LA PIEZA	NO. DE PIEZAS
1	Empaque de hule	1
2	Distribuidor	1
3b	Discos	16-18
4	Disco separador	1
5	Cubierta del tambor	1
6	Tuerca del tambor	1
7	Base del tambor	1
9a	Colector de líquidos pesados	1
9b	Colector de líquidos ligeros	1
9c	Colector de inundación	1
9d	Recipiente interior	1

Fig 4.2.2a.

CENTRIFUGA CON TAMBOR DE DISCOS



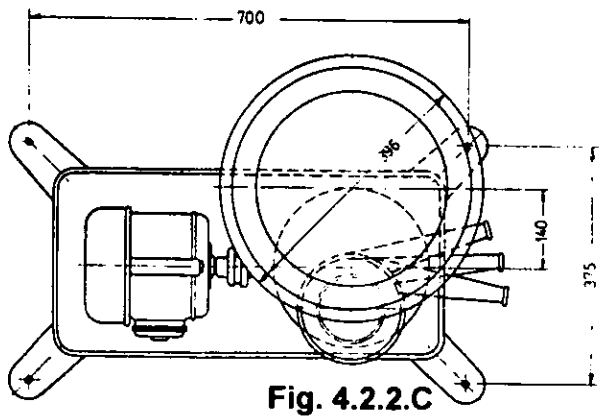


Fig. Representación de la centrifuga WESTFALIA con los accesorios del tambor de discos.

Fig. 4.2.2.C

TAMBOR DE DISCOS

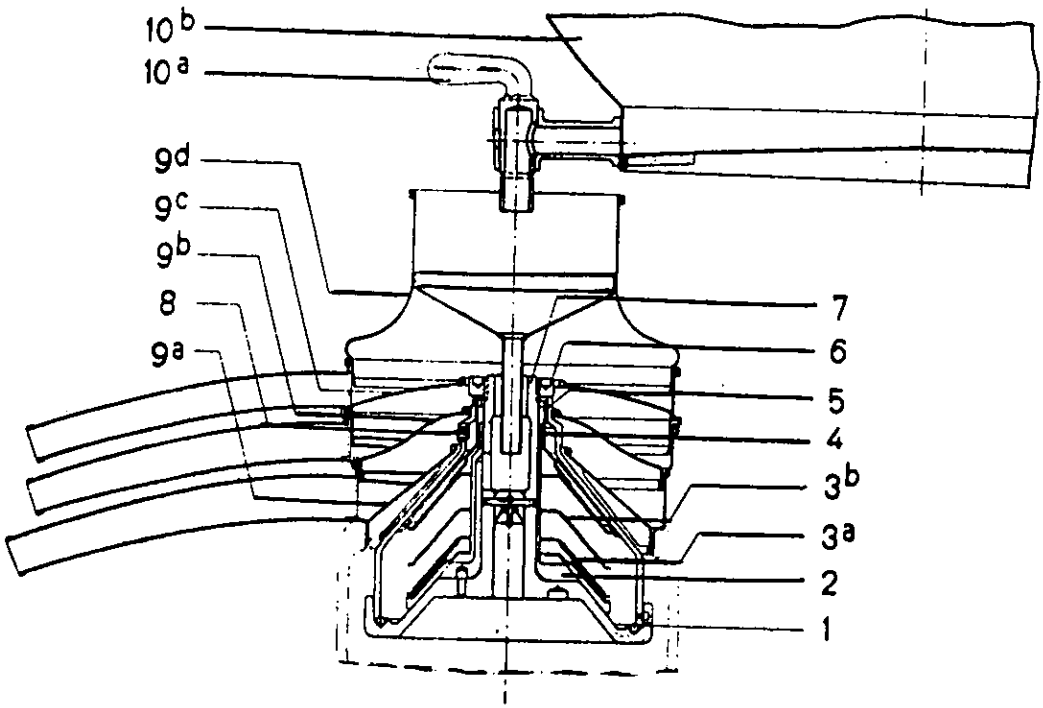


Fig. 4.g. Localización de los accesorios de la descarga y alimentación de la centrifuga de discos.

Fig. 4.2.2.d

4.2.3.-) Centrifuga de toberas

Esta modalidad es una centrifuga clarificadora con tambor macizo, discos separadores **(3)**, interna **(9)** y extemamente **(4)** se localizan toberas. La corriente de alimentación es clarificada en la sección de discos separadores y el sólido es separado y descargado a través de las toberas. El líquido clarificado fluye libremente por la parte exterior **(2)** y el concentrado desciende **(6)** hasta el respectivo receptor.

Las aplicaciones para esta modalidad son para realizar la concentración y lavado de espumas, almidón y sustancias orgánicas similares las cuales sean lo suficientemente finas para ser descargadas por la tobera.

La **figura 4.h.** muestra el tambor de toberas:

1) alimentación
2) Descarga de líquido clarificado.
3) Discos separadores.
4) Tobera (interna)
5) Espacio compacto
6) Salida del concentrado
7) Eje
8) Descarga del concentrado
9) Tobera (exterior)

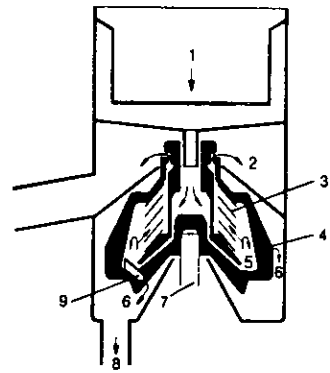


Fig 4.h *Centrifuga de toberas*

c.-) Centrifuga de toberas (Armado del tambor de toberas).

Para realizar el armado de estos tambores es necesario revisar las figuras 4.2.3.a, 4.2.3.b, 4.2.3.c y 4.2.3.d.

1) Colocar el receptor de lodos (10) en la canasta de la centrifuga.

2) Colocar el empaque (2) en la ranura de la base del tambor (1).

3) Colocar el distribuidor con los discos en la base del tambor, asegurándose que el disco inferior esté en el fondo. Este disco cuenta con espaciadores en ambos lados.

4) Colocar el disco superior (4c). Este disco no tiene separadores en la cara superior.

5) Colocar la cubierta del tambor (5) y apretar la tuerca (6) con la llave correspondiente.

6) Colocar el tambor completo en el eje asegurándose que la guía del tambor entre en la ranura del eje.

7) Una vez armado el tambor es necesario colocar los siguientes accesorios.

Colector de líquido clarificado	(12)
Recipiente interior	(14)
Recipiente de alimentación	(16)

ACCESORIOS DEL TAMBOR DE TOBERAS ASI COMO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA DESCARGA

NO. DE LA FIGURA	NOMBRE DE LA PIEZA	NO. DE PIEZAS
1	Base del tambor	1
2	Empaque de hule	1
3	Distribuidor	1
4	Discos	1
5	Cubierta del tambor	1
6	Tuerca del tambor	1
9	Conducto para lodos	1
10	Colector de lodos	1
11	Tubo de descarga	1
12	Colector de líquido clarificado	1
13	Recipiente interno	1

Fig. 4.2.3.a

PARTES DEL TAMBOR DE TOBERAS.

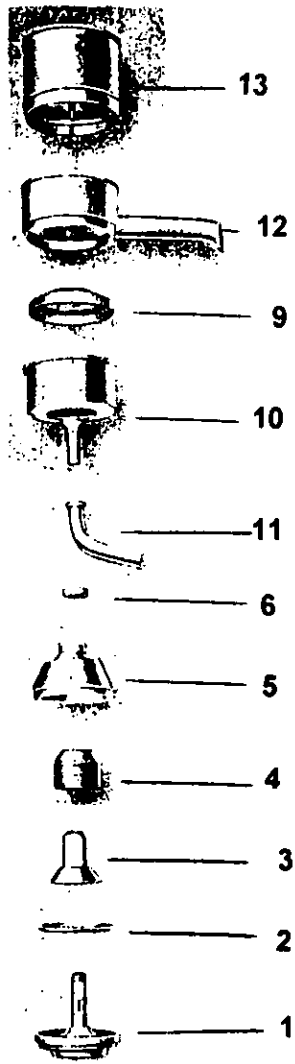


Fig. 4.2.3.b

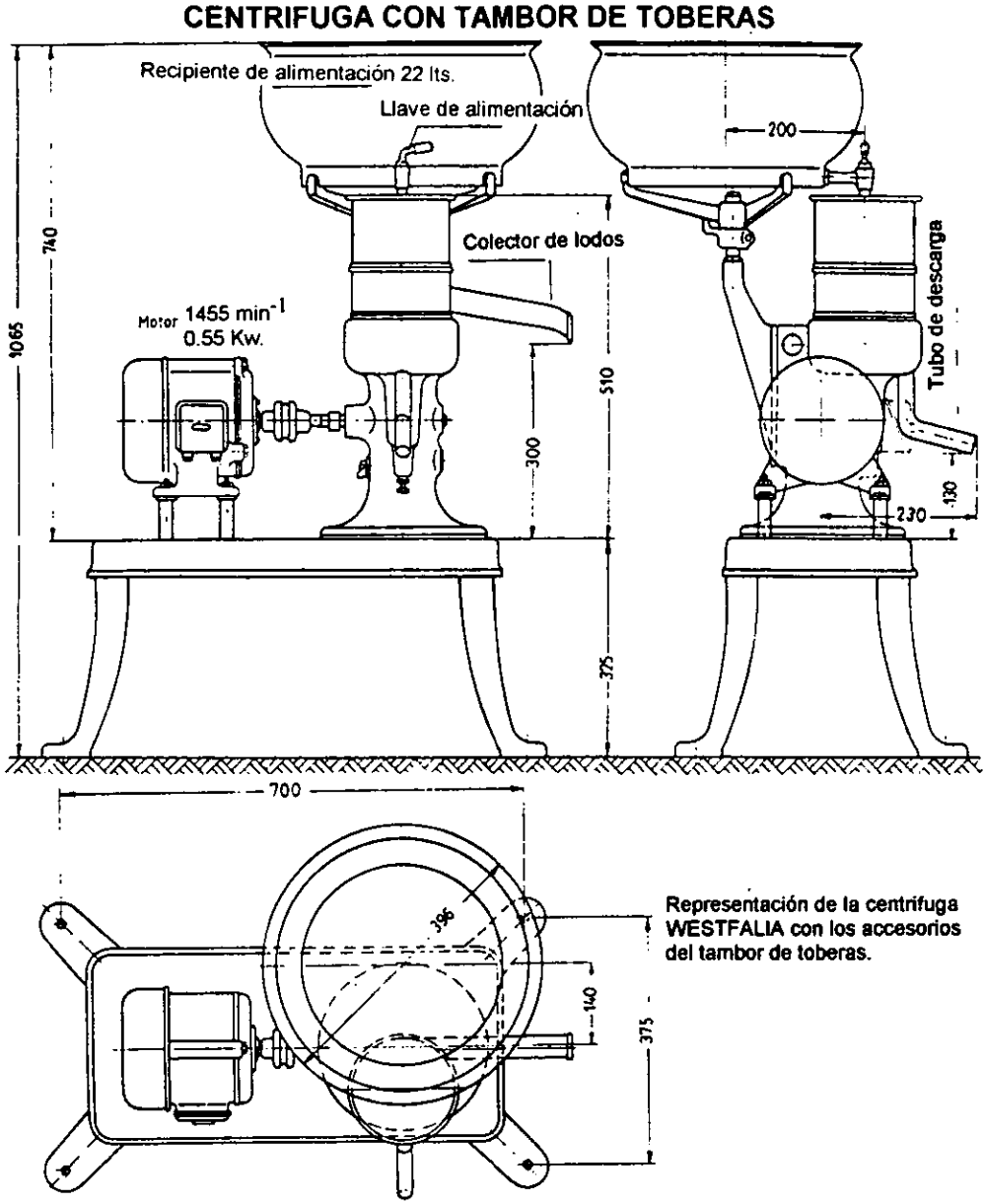


Fig. 4.2.3.C. Dimensiones de la centrifuga de toberas

c.-) Centrifuga de toberas (Armado del tambor de toberas).

Para realizar el armado de estos tambores es necesario revisar las figuras 4.2.3.a, 4.2.3.b, 4.2.3.c y 4.2.3.d.

1) Colocar el receptor de lodos (10) en la canasta de la centrifuga.

2) Colocar el empaque (2) en la ranura de la base del tambor (1).

3) Colocar el distribuidor con los discos en la base del tambor, asegurándose que el disco inferior esté en el fondo. Este disco cuenta con espaciadores en ambos lados.

4) Colocar el disco superior (4c). Este disco no tiene separadores en la cara superior.

5) Colocar la cubierta del tambor (5) y apretar la tuerca (6) con la llave correspondiente.

6) Colocar el tambor completo en el eje asegurándose que la guía del tambor entre en la ranura del eje.

7) Una vez armado el tambor es necesario colocar los siguientes accesorios.

Colector de líquido clarificado	(12)
Recipiente interior	(14)
Recipiente de alimentación	(16)

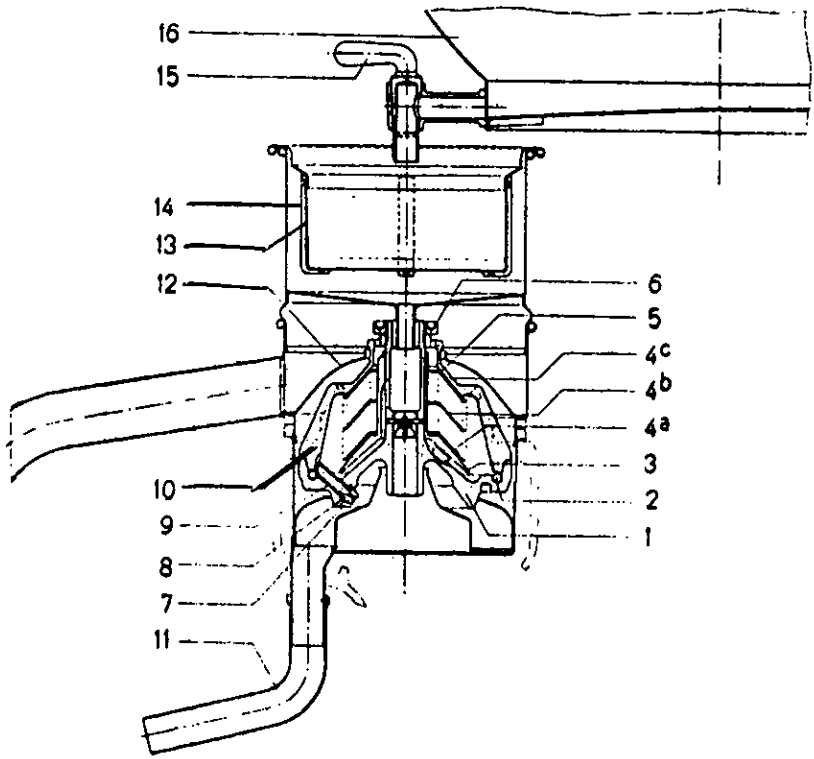


Fig. 4.2.3.d. Localización de los accesorios de la descarga y alimentación de la centrifuga de toberas.

4.3 .-) MANTENIMIENTO DE LA CENTRIFUGA.

Una de las partes importantes a considerar es lo que respecta al mantenimiento que es necesario proporcionar a la centrifuga, algunas de las consideraciones más importantes se sugieren en el siguiente párrafo:

a) **Lubricación.**- El aceite es necesario cambiarlo cada 14 días de operación. Se sugiere que el aceite no sobrepase la mitad del nivel de la mirilla. Al realizar el cambio de aceite es recomendable limpiar la cámara con gasolina antes de agregar el aceite. Se puede utilizar aceite de automóvil tipo SAE 40.

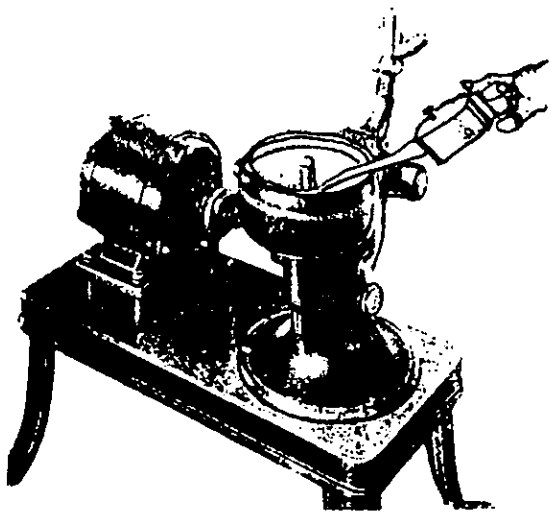


Fig 5.e *Representación esquemática del cambio de aceite necesario hacer a la centrifuga.*

b) Eje. El eje debe de girar en el sentido de las manecillas del reloj, para poder observar esto con mayor claridad es necesario colocar el tambor.

Es conveniente cubrir el eje cuando la maquina sea limpiada ó se encuentre fuera de servicio.

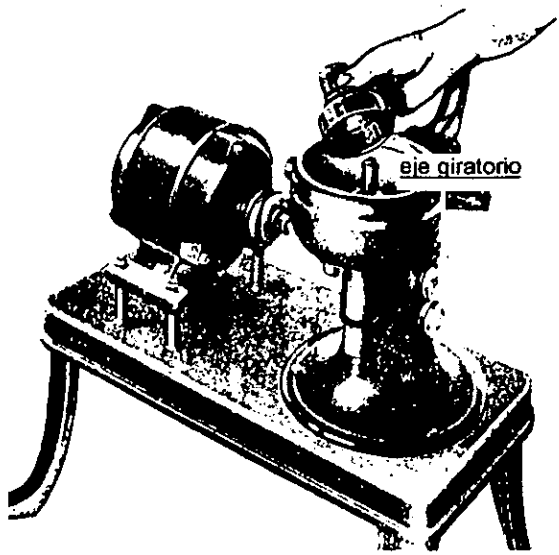


Figura 5.f. *Localización del eje giratorio*

c) **Velocidad del tambor.** Antes de agregar la suspensión a centrifugar dentro del tambor es necesario esperar a que el tambor de la centrifuga alcance su velocidad máxima; la cual es de 12,000 r.p.m. , esta velocidad se alcanza cuando la suspensión a tratar tiene una densidad relativa menor a 1.1 por lo tanto se recomiendan este tipo de suspensiones.

d) Cuando se trabaje con la centrifuga es necesario que se encuentre sobre una mesa nivelada al piso, para evitar que el cascabeléo que produciría la maquina al utilizarse.

La **fig. 5.d.** muestra la parte final del armado del tambor. La cual consiste en colocar la cubierta del tambor y ser apretada la tuerca con la llave correspondiente, el tambor es el accesorio que se cambia ya sea en el caso de necesitar una centrifuga de cámaras, toberas ó discos según sea el tipo de separación a realizar.

Fig. 5.d. Parte final del armado del tambor

4.4..-)RECOMENDACIONES GENERALES.

Este apartado pretende dar las principales recomendaciones al hacer uso de la centrifuga, algunas de estas recomendaciones se obtuvieron a través de la experiencia obtenida al hacer uso del equipo.

a.-) La suspensión a centrifugar es necesario realizarle un tamizado, ya que para este equipo no puede centrifugar suspensiones que tengan un diámetro de partícula mayores a 1 μm. Debido a que si se utiliza partículas mayores a este diámetro, estas chocaran con las paredes del equipo produciendo abolladuras en este y por lo tanto deteriorándolo.

b.-) Para evitar que el tambor sufra algún deterioro debe de armarse de acuerdo a las instrucciones anteriores verificando que las partes a utilizar sean las correctas, así como el embone entre las piezas sea la adecuada. Es conveniente verificar que el tambor este bien apretado antes de colocarlo sobre el eje de la centrifuga, evitar tocar la centrifuga y sus partes durante la operación y esperar a que la centrifuga se detenga por completo cuando se requiera quitar el tambor.

c.-) Es necesario esperar a que la centrifuga halla alcanzado su velocidad máxima la cual es de 12,000 r.p.m. esta velocidad normalmente se alcanza a los 5 min. de haber encendido la centrifuga. Una vez que a alcanzado esta velocidad se podrá ya vertir la suspensión a centrifugar.

d.-) Evitar utilizar suspensiones con una densidad relativa mayor a 1.1 debido a que con una densidad mayor el equipo no logra mantener su velocidad de tambor constante.

Tambor de discos. Al hacer uso de este tambor, los sólidos a centrifugar se sedimentaran en las paredes internas de este por lo que el efecto de clarificación disminuye conforme el espacio para sólidos se va llenando. Debido a esto la eficiencia de separación depende del flujo, por lo tanto podemos recomendar que en el caso de tener una eficiencia de clarificación no adecuada, es necesario reducir el flujo.

Al hacer uso de este tambor es necesario llenarlo primero de agua, debido a que esto crea un sello líquido entre la pared del tambor y los discos.

Tambor de toberas. Se recomienda que las toberas deban de tener siempre todas la misma apertura. Si al estar utilizando el equipo de pruebas se obtiene una concentración muy pobre, es necesario verificar que las toberas no se encuentren bloqueadas.

V

PARTE EXPERIMENTAL

El equipo en el que se llevo acabo la parte experimental es la centrifuga de laboratorio marca Westfalia Separator modelo LWA-205 el cual se encuentra dentro del laboratorio de ingeniería química. Las actividades que se realizaron para la parte experimental fueron:

1.- Conocimiento del equipo.

2.- Identificación de todas sus partes que componen a la centrifuga en sus tres versiones.

3.- Recopilar la información para la instalación, operación correcta y revisión del equipo mediante visitas realizadas a proveedores.

4.- Durante las pruebas preliminares se identifican fallas en el sistema rotativo de la centrifuga por lo cual se necesito una reparación y servicio de mantenimiento por parte de los fabricantes del equipo.

5.- Se realiza una investigación del tipo de mezclas y las características físicas y químicas que deben de tener estas para poder ser utilizadas en la centrifuga de tal manera que el equipo no sufra algún deterioro físico.

6.- Se realiza una selección de las mezclas basándonos en el criterio de costo y que cumplieran con las condiciones requeridas para realizar la separación.

7) Se probaron varias suspensiones tales como:

a) Almidon-agua.

b) Jabon-agua.

c) Aceite-agua.

e) Leche.

f) Diesel-partículas en suspensión.

Entre otras, las cuales no presentaron buenos resultados, debido a que para este tipo de mezclas se requieren condiciones de operación diferentes a las condiciones del medio ambiente, lo cual dificulta en forma significativa el manejo de la mezcla.

8.- Se probaron mezclas de CaCO3-H2O y PVC- H2O a una concentración alta del 8% en peso, las cuales presentaron problemas de sedimentaron dentro del recipiente de alimentación y lo cual ocasiona obtener resultados erróneos sobre la eficiencia de la centrifuga.

Se encontró que las concentraciones a manejar por centrifugaron son bajas ya que aquí es donde es útil esta operación, ya que de lo contrario la sedimentaron resultaría muy lenta.

9.- Se procedió a realizar pruebas variando la concentración del sólido y se determino que para el CaCO3-H2O y PVC-H2O debe de ser menor al 1.5% en peso.

10.- Otra mezcla con la cual se realizaron pruebas fue H2O-nectar de jugo ya que cumple con los criterios establecidos como son objetividad, fácil separación, no tóxico, no necesita de condiciones de operación diferentes a las ambientales, su costo es bajo en comparación con otras mezclas.

Este equipo cuenta con tambores de cámaras y discos los cuales se pueden adaptar según sea la investigación que se requiera realizar.

Para encontrar las condiciones optimas de operación de los distintos sistemas en estudio utilizando la centrifuga Westfalia LWA05 se emplearon el **tambor de cámaras** para los sistemas CaCO3-H2O y PVC-H2O y H2O-nectar de jugo.

Experimentos con el tambor de cámaras.

1.- Este tambor se utiliza únicamente para remover sólidos. Para realizar el armado del tambor e instalarlo en la estructura debe realizarse de acuerdo a la figura 4.D del capitulo anterior.

Uno de los problemas a resolver fue la evaluación de la concentración final del efluente por un método cuantitativo y así encontrar las condiciones de flujo y concentración de operación mas adecuadas para realizar la practica.

Para el caso de la determinación de CaCO3 del efluente se utilizo el procedimiento de titilación de carbonatos usando EDTA al 5% mol. Estas técnicas se describen a continuación:

TITULACION DE EDTA.

Tomar una muestra del efluente; agitar la solucion con un agitador magnetico y agregar aproximadamente 30 ml de la solucion de etilendiaminotetraacetato de sodio contenido en una bureta de 50 ml. Agregar 15 ml de hidroxido de sodio o la cantidad necesaria para que la solucion tenga un pH=11, y 5 ml de solucion reguladora de Hidroxido de amonio cloruro de amonio, y 300 mg de indicador de azul de hidroxinaftol, continuar con la titulacion con la solucion de etilendiaminotetraaetato de sodio, hasta la aparicion del color azul.

REACCION:

Dado que el quelato de Ca^{2+} es más estable que el de Na^{2+} tiene la siguiente reacción de sustitución:

$$Ca^{2+} + NaY^{2-} \longrightarrow CaY^{2-} + Na^{2+}$$

TURBIDIMETRIA.

a) Se realizaron diluciones de $CaCO_3$ en tubos de ensayo desde el 1% hasta agua.

b) Se toma una muestra de la suspension centrifugada y se compara contra el patron anterior.

Para realizar el armado del tambor e instalarlo en la estructura debe realizarse de acuerdo al capitulo #4, se sugiere revisar los temas de mantenimiento y recomendaciones generales.

Para esta modalidad de centrifuga se emplearon los siguientes sistemas:

1.- $CaCO_3/H_2O$

2.- PVC/H_2O

3.- H_2O/nectar de jugo.

Material utilizado.

- Vaso de precipitado de 250 ml (4)
- Vaso de precipitado de 1000 ml (2)
- Cubeta de plástico (3)
- Probeta graduada de 2000 ml. (2)
- Probeta graduada de 1000 ml. (1)
- Densimetro (0.8-2.0 dens. Rel.) (1)
- Agitador de vidrio (1)
- Balanza granataria sin pesas
- Espatula (1)
- Cronometro (1)
-

SUSTANCIAS.

PVC.
$CaCO_3$
Nectar de Jugo.

Procedimiento Experimental

1.-Determinar la densidad del sólido ó líquido a separar.

2. Preparar suspensiones a una concentración dada (se recomiendan 5 litros de suspensión).

3.- Armar la centrifuga de acuerdo al manual y verificar que las piezas embonen perfectamente

4. Llenar el tambor de la centrífuga con agua.

5. Vaciar una de las suspensiones en el recipiente de alimentación de la centrífuga[1]

6. Conectar la centrífuga y esperar a que alcance su velocidad máxima (5 min.).

7. Abrir la válvula de alimentación totalmente y tomar el tiempo con que empieza a caer el líquido.

8. El efluente de la centrifuga se recoge en una cubeta.

9.-Agitar el efluente y tomar una muestra representativa en un vaso de precipitados.

10. Cuando la alimentación ha cesado se determina el tiempo y se apaga el equipo.

11. Se determina la densidad relativa del efiente

12. Cuando la centrífuga se ha detenido desarmar el tambor y limpiarlo.

13. Para la misma concentración realizar 4 corridas más, variando la apertura de la válvula del recipiente de alimentación.

[1] Verificar que la válvula de alimentación se encuentre cerrada.

14.-Determinar la concentración del efluente por medio de turbidimetría.

15.-Para el caso del $CaCO_3$ determinar la concentración de de cada una de las muestras por medio de una titulación con EDTA al 0.05% Molar y por turbidimetría.

Experimentos con el tambor de cámaras.

Este tambor se utiliza únicamente para remover sólidos. Para realizar el armado del tambor e instalarlo en la estructura debe realizarse de acuerdo a la figura **4.D** del capítulo anterior.

Para este tipo de centrífuga se utilizaron los siguientes sistemas:

1. **H_2O - $CaCO_3$**
2. **H_2O - PVC**
3. **H_2O - néctar de jugo.**

Para el caso de la determinación de la concentración de $CaCO_3$ del efluente se utilizó el procedimiento de titulación de carbonatos usando EDTA al 0.05% mol.

PRIMEX® : **Resinas de PVC.**
PVC Resins.

PROPIEDADES TIPICAS	VISCOSIDAD RELATIVA*	VALOR K FIKENSTCHER	DENSIDAD APARENTE gr/cm³ MIN.	VOLATILES (%)MAXIMO	GRANULOMETRIA	
					RET MALLA 40 MAX.	A TRAVES MALLA 200 MAX
TYPICAL PROPERTIES	*RELATIVE VISCOSITY**	*K VALUE FIKENSTCHER*	*BULK DENSITY gr/cm³ MIN.*	*VOLATILE MATTER% MAX.*	*ON MESH 40 MAX.*	*THROUGH 200 MESH MAX*
P-180	1.82 ± 0.02	57 ± 1	0.54	0.3	0.05	7
P-225-1	2.28 ± 0.02	68 ± 1	0.48	0.3	0.05	4
P-225-2	2.17 ± 0.02	66 ± 1	0.54	0.3	0.05	4
P-250	2.38 ± 0.02	70 ± 1	0.47	0.3	0.05	4
METODOS ***METHODS***	ASTM D-2857-87	* *	ASTM D-1895-B-89	ASTM D-3030-84	ASTM D-1921-A-89	ASTM D-1921-A-89

VI
ANÁLISIS Y RESULTADOS.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capitulo presentamos los resultados experimentales de cada una de las pruebas realizadas y que ya fueron enumeradas en la parte experimental.

TAMBOR DE CÁMARAS

H_2O - $CaCO_3$ (a concentraciòn constante y flujo variable)

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos al realizar las pruebas variando el flujo de alimentaciòn de la suspensión (**0.00762, 0.00942, 0.01503, 0.0213 y 0.0352 litros/seg**.) y **manteniendo constante la concentración a 1% en volumen.** Al realizar la centrifugación se observan algunas partículas suspendidas en la fase efluente; por lo que al determinar el % de separación de una suspensiòn en forma cuantitativa realizando determinaciones por turbidimetría y por titulación de carbonatos utilizando EDTA al 0.05 molar para determinar la concentración de $CaCO_3$ del líquido efluente. Las ecuaciones para determinar la velocidad gravitacional (Vg) y el diametro de partícula (Dp) se describen en el capitulo #1.

UTILIZANDO TURBIDIMETRÍA

TABLA #1

Corrida	Flujo (l/s)	Conc. Inic. %peso	ρ kg/m^3	VgxE9 m/s	DpxE7 m	conc. turb g/l	% sep turbidim
1	0.00762	1	A-1000 Sól.-2770	7.62	1.96	0	100
2	0.00942	1	A-1000 Sól.-2770	9.42	2.18	0.15	98.5
3	0.01503	1	A-1000 Sól.-2770	15.03	2.76	0.2	98
4	0.0213	1	A-1000 Sól.-2770	21.3	3.29	0.2	98
5	0.0352	1	A-1000 Sól.-2770	35.2	4.23	0.3	97

UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN DE EDTA AL 0.05 MOLAR
TABLA #2

Corrida	Flujo (l/s)	Conc. Inic. %peso	ρ kg/m^3	VgxE9 m/s	DpxE7 m	Conc titul g/l	% sep. titulación
1	0.00762	1	A-1000 Sól.-2770	7.62	1.96	0	100
2	0.00942	1	A-1000 Sól.-2770	9.42	2.18	0.2	98
3	0.01503	1	A-1000 Sól.-2770	15.03	2.76	0.2	98
4	0.0213	1	A-1000 Sól.-2770	21.3	3.29	0.25	97.5
5	0.0352	1	A-1000 Sól.-2770	35.2	4.23	0.5	95

H_2O - $CaCO_3$ (a flujo constante y concentraciòn variable).

En la tabla siguiente se muestran los resultados, en este caso **se varió la concentración** de la suspensión (**0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 % en peso**), obteniéndose un liquido parcialmente clarificado y una torta de **$CaCO_3$** adherida a la pared interna del tambor. Para casos de concentraciones superiores al 1% en peso se presenta sedimentación de la suspensión lo cual dificulta el análisis de los resultados. Las ecuaciones para determinar la velocidad gravitacional (Vg) y el diametro de particula (Dp) se describen en el capitulo #1.

TABLA #3

Corrida	Flujo (l/s)	Dens. kg/m^3	VgxE9 m/s	DpxE7 m	Conc. turb g/l	% sep.	Conc EDTA g/l	% sep.
1	0.00942	A-1000 Sól-2770	9.42	2.18	0	100	0	100
2	0.00931	A-1000 Sól-2770	9.31	2.17	0.1	97.5	0.1	97.5
3	0.00926	A-1000 Sól-2770	9.26	2.17	0.15	97.5	0.2	96.6
4	0.00948	A-1000 Sól-2770	9.48	2.19	0.15	98	0.2	97.5
5	0.00941	A-1000 Sól-2770	9.41	2.18	0.3	97	0.5	95

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

H_2O - PVC (a concentraciòn constante y flujo variable).

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos al realizarse las pruebas **variando el flujo** de la suspensión (**0.0052, 0.0098, 0.0123, 0.0190, 0.0252** y **0.0360**) manteniendo constante la concentración e igual al **2% en peso**. Al realizar la centrifugación se sedimentó en algunos casos parcialmente el **PVC** en la pared interna del tambor mientras que el líquido sale con algunas partículas de **PVC**. El % de separación se determinó de una forma cuantitativa utilizando el procedimiento turbidimétrico. Las ecuaciones para determinar la velocidad gravitacional (Vg) y el diametro de particula (Dp) se describen en el capitulo #1.

TABLA #4

Corrida	Flujo (l/s)	Vol. H_2O inicial (l)	PVC inicial (gr)	Vg x E9 m/s	Dp x E7 m	Conc g/l	% sep.
1	0.0052	4	80	5.2	2.89	0.0	100
2	0.0098	4	80	9.8	3.97	0.1	99.5
3	0.0123	4	80	12.3	4.44	0.2	99
4	0.0191	4	80	19.1	5.54	0.2	99
5	0.0252	4	80	25.2	6.36	0.3	98.5
6	0.0360	4	80	36	7.6	0.6	97

H_2O - PVC (a flujo constante y concentraciòn variable).

En la tabla siguiente se muestran los resultados **variándose en este caso la concentración** de la suspensión (**0.5, 1.0, 1.5, 2.0** y **2.5 % en peso**), obteniendo un líquido en algunos casos clarificado y una torta de **PVC** adherida a la pared interna del tambor. Se utiliza un método turbidimétrico para determinar la concentración final de PVC. Las ecuaciones para determinar la velocidad gravitacional (Vg) y el diametro de particula (Dp) se describen en el capitulo #1.

TABLA #5

Corrida	Flujo (l/s)	Vol. H_2O inicial (l)	PVC inicial (gr)	dens. kg/m^3	VgxE9 m/s	DpxE7 m	Conc g/l	% sep.
1	0.0191	4	20	A-1000 PVC-1560	19.1	5.54	0.	100
2	0.0192	4	40	A-1000 PVC-1560	19.2	5.55	0.1	99
3	0.0189	4	60	A-1000 PVC-1560	18.9	5.51	0.2	98.6
4	0.0191	4	80	A-1000 PVC-1560	19.1	5.54	0.2	99
5	0.0194	4	100	A-1000 PVC-1560	19.4	5.58	0.5	98

H_2O - néctar de jugo al 8% en Vol. (Este se probò con la finalidad de separar la pulpa del agua).

Se alimentó jugo en baja concentración a la centrífuga en estudio, realizando **variaciones de flujo** volumétrico (**0.0098, 0.0232, 0.0310, 0.0420** y **0.0560 litros/seg.**) obteniéndose como efluente un líquido claro con muy pequeñas cantidades de partículas en suspensión y con una densidad relativa muy aproximada a la del agua mientras que el interior del tambor se aprecian una torta de sólidos correspondiente a la pulpa de color amarillo altamente concentrados

TABLA #6

Corrida	Flujo (l/s)	Vol. jugo inicial (l)	Densi. Rel. jugo	Masa de jugo (Kg.)	Dens. Rel. Efluente	Vol. final (l)	Masa Efluente (Kg.)
1	0.0089	2	1.5	2.058	1.01	1.86	1.86
2	0.0232	2	1.5	2.058	1.01	1.86	1.86
3	0.0310	2	1.5	2.058	1.01	1.87	1.87
4	0.0420	2	1.5	2.058	1.01	1.86	1.87
5	0.0560	2	1.5	2.058	1.01	1.87	1.88

Para el tambor de cámaras:

a) H_2O-PVC.

b)H_2O-$CaCO_3$.

En las tres mezclas se observa que en el efluente hay presencia de partículas suspendidas.

Se realizo una comparación cuantitativa tomando muestras de cada una de las corridas y se pudo concluir que:

Para la mezcla **H_2O - $CaCO_3$** obtenemos una clarificación satisfactoria con un flujo volumétrico menor a **0.01 l/s** y una concentración menor a **1%** en peso de **$CaCO_3$** ya que para concentraciones mayores este se sedimenta en el recipiente de alimentación.

En el caso de la mezcla **H_2O - PVC** basándonos en los resultados obtenidos podemos afirmar que se obtiene una buena separación con un flujo volumétrico menor a **0.019 l/s.** y para concentraciones menores a **2 %** en peso de **PVC**.

Para la mezcla de **H_2O - néctar de jugo al 8% en vol.** se determino que el flujo volumétrico debe de ser menor a **0.03 l/s**

Podemos afirmar que el sistema más adecuado es el de H_2O-PVC debido a que el experimento se lleva acabo en menor tiempo, ya que al realizar la centrifugación la fase sólida obtenida en el interior de las cámaras forma una torta la cual es fácil de desprender (es más permeable que el $CaCO_3$.). Además de ser el PVC una sustancia no tóxica, de alta permeabilidad y adecuada para la reproducción de datos confiables. Es importante mencionar que el PVC no es tóxica a menos que se incinere ya que libera "dioxinas" a la atmósfera y cloruro de hidrogeno. Para el uso propuesto en esta tesis el PVC no se incinera por lo tanto no presenta ningún riesgo su uso.

Para las tres mezclas se muestra una separación apreciable de la fase sólida con la fase líquida. Son mezclas que no producen algún tipo de corrosión en la centrifuga.

VII

CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas en este trabajo son las siguientes:

Las particulas a centrifugar no deben de tener un diametro mayor a 100 μm para evitar que debido a la fuerza centrifuga estas choquen con las paredes del equipo y lo desgasten.

Es necesario cambiar el aceite cada 14 dias de operacion, para evitar alguna averia por falta de lubricacion en los engranes. Para el uso que se le da en el laboratorio se recomienda cada semestre al finalizar el periodo de practica.

El armado de la centrifuga debe de realizarse como se indica el capitulo #4 para evitar que el equipo sufra un desvalanceo con severas consecuencia.

El valor del area equivalente solo depende de los parametros del equipo.

Entre mayor sea el flujo volumetrico hacia el tambor, mas gruesa sera la capa de liquido lo cual ocacionará una disminucion en la eficiencia de la centrifuga.

El contenido de las ecuaciones que describen la operacion unitaria de centrifugacion complementa el contenido de los actuales programas de estudio que abordan el tema de centrifugacion dentro de las separaciones mecanicas para las asignaturas de procesos de separacion I.

Esta tesis cumple el objetivo de hacer un estudio de la teoria basica, el funcionamiento, condiciones de operacion y mantenimiento de la centrifuga, para prevenir los accidentes más comunes y el poder hacer uso del equipo de una manera adecuada para evitar gastos de reparacion considerables.

APORTACIONES.

Se disena una practica didactica y que presenta objetividad con respecto al fenomeno en estudio y la cual se puede llevar acabo sin ocacionar un gasto excesivo.

Capitulo 7. *Conclusiones.*

Se genera el material de apoyo para el profesor para la realizacion de esta practica. Se realiza un paquete el cual contiene una memoria de cálculo y la resolucion del problema que se pide en la practica.

ANEXO I

PRACTICA DE CENTRIFUGACION.

OBJETIVO:
Que el alumno determine el área equivalente (Σ) de un equipo de mayor capacidad mediante pruebas experimentales realizadas en la centrifuga de laboratorio.

FUNDAMENTO TEÓRICO.

La separación centrifuga es desde hace más de un siglo una de las operaciones unitarias más importantes en procesos claves de las industrias químicas, farmacéuticas, tratamiento de efluentes, purificación de aceites combustibles y lubricantes y suspensiones en general.

En el campo de la tecnología de la separación mecánica las separadoras y decantadoras se catalogan dentro de las centrifugadoras, se emplean para la concentración de sólidos, clarificación de suspensiones y separación de mezclas de líquidos con eliminación simultánea de sólidos.

Esencialmente la centrifugación es una decantación selectiva de los componentes insolubles de una mezcla bajo condiciones de gravedad artificial.

En la industria existe una gran variedad de centrifugas las cuales pueden ser clasificadas de muy diversas formas, a continuación se realiza una clasificación de solo un pequeño grupo de centrifugas conocidas como sedimentadoras y se realiza esta clasificación tomando como referencia la cantidad de sólidos a la entrada de la centrifuga:

- **Descarga manual** **0-5% de sólidos.**

Este tipo de centrifuga es también llamada de tambor macizo. Los sólidos se acomulan en el recinto de lodos y deben de ser removidos en forma manual parando la maquina y abriendo el tambor.

- **Descarga automática intermitente 0-30% de sólidos.**

También son conocidas como autodeslodantes. Los sólidos se acomulan en el recinto de lodos y son expulsados en forma intermitente y automática a través de los orificios de descarga.

- **Descarga continua** **0-40% de sólidos.**

Dentro de la industria química es conocida como de toberas . Los sólidos se acomulan en el recinto de lodos y se expulsan en forma continua a través de toberas.

- **Tornillo transportador** **0-65% de sólidos.**

Este tipo de centrifuga es también conocida como decantador. Tienen un diseño completamente diferente a las demás centrifugas. Están equipadas con un tornillo transportador que les permite descargar en forma continua los sólidos.

TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN CENTRIFUGA.

La ecuación para la sedimentación natural de una particula es:

$$vs = \Delta\rho d^2 g / 18\eta \qquad (1)$$

Esta ecuación es conocida como la **ley de Stokes** para la sedimentación natural.

Para aumentar la velocidad de sedimentación la fuerza gravitacional (**g**) puede sustituirse por una gravedad artificial conocida como fuerza centrifuga (ωr). Podemos deducir por analogía de la ecuación (1) la velocidad de sedimentación de una partícula en suspensión dentro de un fluido que gira es:

$$vs = \Delta\rho\, d^2 (\omega^2 r) / 18\eta \qquad (2)$$

Esta ecuación es conocida como la **Ley de Stokes para suspensiones en rotación.**

Si consideramos que $vs = x/t$. En donde el tiempo **t** representa el tiempo en que el líquido está en el tambor y $t = V/Q$ en donde **V** es el volumen del líquido a un tiempo determinado y **Q** es el flujo del líquido a través del tambor.

$$x = vs\, t = (\Delta\rho\, \omega^2\, r\, V\, d^2 / (18\, \eta\, Q))$$

Si se considera al líquido en el tambor como una capa líquida de espesor **s** y si **x** es mayor que la distancia inicial de la partícula desde la pared del tambor, será la partícula separada de la fase líquida, de otra forma permanecerá en suspensión. En un sistema ideal $x = s/2$ la mitad de las partículas de diámetro **d** serán separadas de la suspensión y la otra mitad no. Por lo tanto si ordenamos la ecuación anterior:

$$Q = (\Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta)\, (V\, \omega^2\, r / s)$$

Siendo el primer grupo del lado derecho de la ecuación los parámetros del sistema que siguen la ley de Stokes ($\Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta$) y el segundo grupo ($V\, \omega^2\, r / s$), los parámetros del equipo, esto también lo podemos escribir de la siguiente manera:

$$Q = 2\, vg\, \Sigma$$

En donde:

$$vg = \Delta\rho\, d^2 / 9\, \eta$$

y

$$\Sigma = V\, \omega^2\, r / s$$

En donde sigma (Σ) tiene dimensiones de **(longitud)**^{2} y representa el área equivalente de un tanque de sedimentación teórico capaz de sedimentar la misma cantidad de suspensión

La **superficie Equivalente** (Σ) de una separadora centrífuga se define como la superficie que debería tener un tanque de sedimentación natural para entregar un flujo clarificado **(m^3 / h)** igual al de la centrífuga en cuestión de cualquier suspensión.

COMPARACIÓN DE CENTRIFUGAS.

Bajo el fundamento anterior podemos realizar la comparación de dos centrífugas debido a que **Q/ Σ=2Vg** y está es una constante, por lo tanto.

$$Q/\Sigma = Q_1/\Sigma_1 = Q_2/\Sigma_2 = Q_3/\Sigma_3 = \ldots = Q_n/\Sigma_n = 2Vg$$

Para calcular el área equivalente de la centrifuga de discos del laboratorio contamos con la siguiente relación empírica:

$$\Sigma = 2\pi\ \omega^2\ N\ (\ r_2^3 - r_1^3\ )\ /\ (\ 3g\ C\ \tan\theta\ )$$

Descripción del equipo:

La centrifuga marca westfalia separator modelo **LWA-205** cuenta con varios accesorios de tal manera de que esta pueda realizar las funciones de varios tipos de centrifugas; cuenta con accesorios que se pueden adaptar ya sea para utilizarla como centrifuga de cámaras, de discos o de toberas según sea la investigación que se requiera realizar.

Para el caso de esta centrifuga puede desarrollar una velocidad de hasta **12000 r.p.m.** y cuenta con un motor eléctrico trifasico de **0.45 kw.** para **220/380 V**

Para realizar está practica se utilizara el tambor de cámaras.

Centrifuga de cámaras (Armado del tambor de cámaras).

Para realizar el armado de la centrifuga de cámaras en necesario revisar la tabla # 1, figuras 1,2 y 3.

1.-) Instalar el empaque de hule (1) en la ranura de la base del tambor.

2.-) Colocar el ala interior (2)

3.-) Colocar la cámara interior (3) de tal forma que su guía embone con la de la ala (2).

4.-) Colocar la cubierta del tambor (4) y apretar la tuerca (6) con la llave correspondiente.

5.-) Colocar el tambor armado en el eje asegurándose que entre en la ranura de este.

6.-) Una vez armado el tambor, es necesario ensamblar los siguientes accesorios:

Colector de líquidos ligeros.	(8a)
Colector de líquidos pesados	(8b)
Colector de inundación	(8c)
Recipiente interior	(9)
Recipiente de alimentación	(10b)

ACCESORIOS DEL TAMBOR DE CÁMARAS ASI COMO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA DESCARGA

NO. DE LA FIGURA	NOMBRE DE LA PIEZA	NO. DE PIEZAS
1	Empaque de hule	1
2	Ala interior	1
3	Campana interior	1
4	Cubierta del tambor	1
5	Base del tambor	1
6	Tuerca del tambor	1
7	Tornillo regulador de efluente	1
8a	Colector de líquidos pesados	1
8b	Colector de líquidos ligeros	1
8c	Colector de inundación	1
8d	Recipiente interior.	1
9a	Llave de alimentación	1
9b	Recipiente de alimentación	1

tabla 1.

PARTES DEL TAMBOR DE CAMARAS.

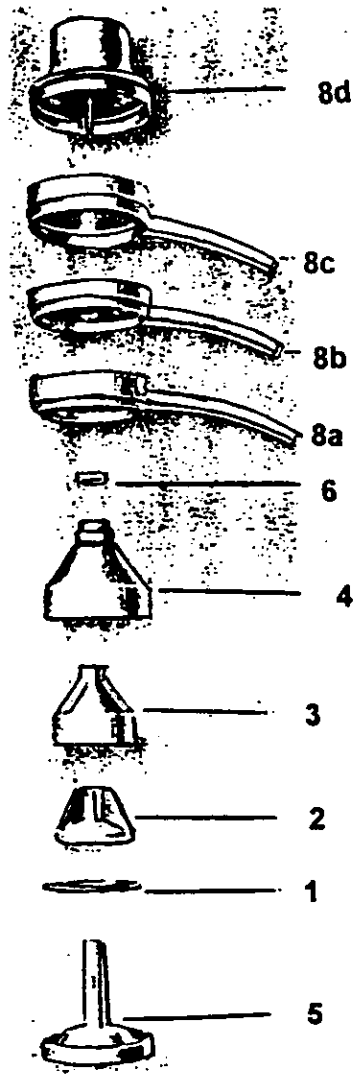
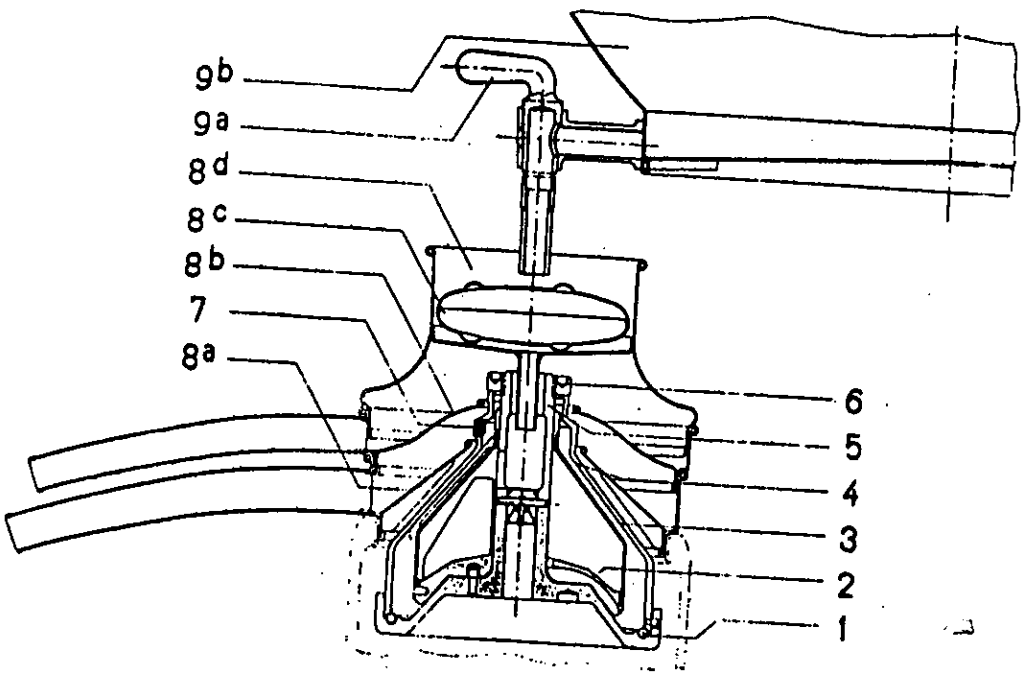


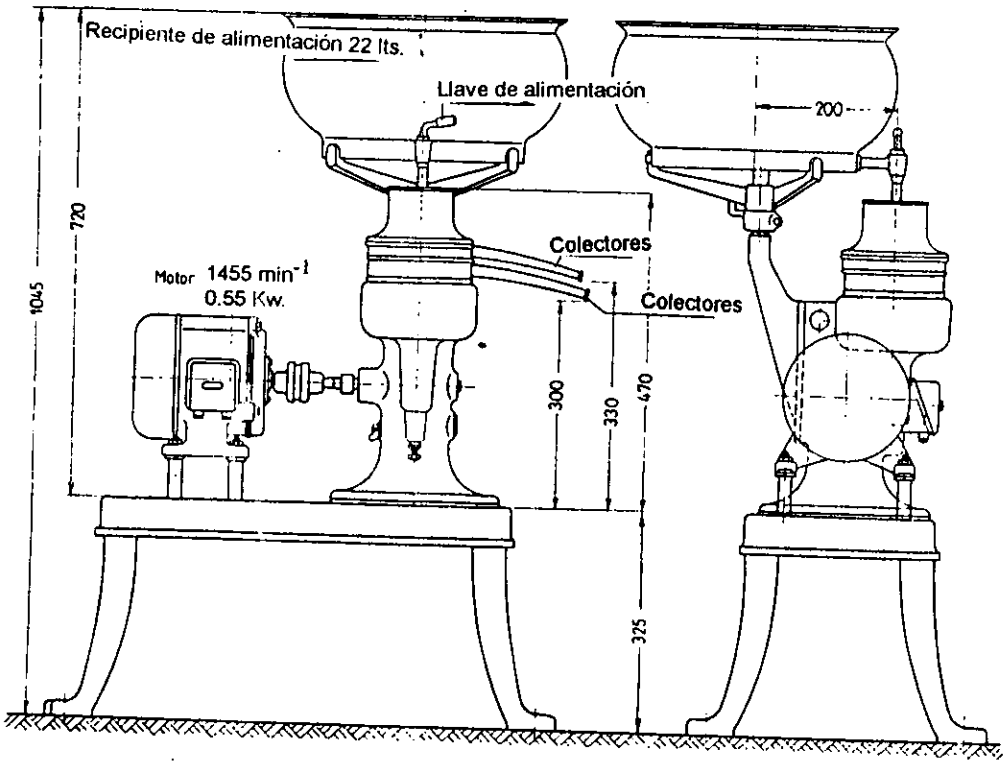
Figura #1

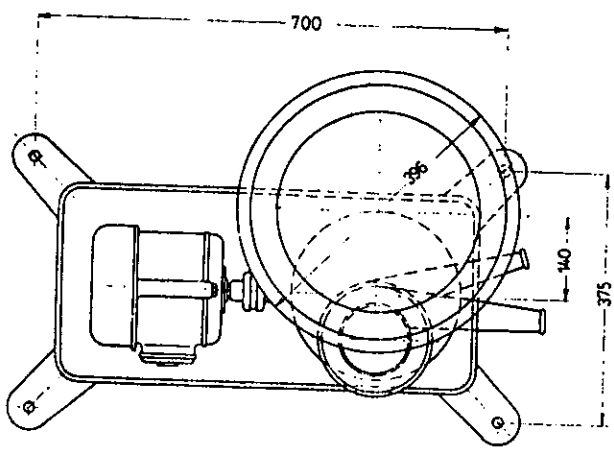
CENTRIFUGA CON TAMBOR DE CAMARAS



Localización de los accesorios de la descarga y alimentación de la centrifuga de cámaras.

FIGURA #2





Representación de la centrifuga WESTFALIA con los accesorios del tambor de cámaras.

Figura #3

Material

- Vaso de precipitado de 250 ml. (4)
- Vaso de precipitado de 1000 ml. (2)
- Cubeta de plástico (3)
- Probeta graduada de 2000 ml. (2)
- Probeta graduada de 1000 ml. (1)
- Densímetro (0.8 - 2.0 dens. Rel.) (1)
- Agitador de vidrio (1)
- Balanza granataria sin pesas
- Espátula (1)
- Cronómetro (1)

SUSTANCIAS.

PVC.
$CaCO_3$

Procedimiento Experimental

1.-Determinar la densidad del $CaCO_3$ sólido.

2. Preparar suspensiones al 1% en peso de $CaCO_3$.(se recomiendan 5 litros de suspensión).

3.- Armar la centrifuga de acuerdo al manual y verificar que las piezas embonen perfectamente 4. Llenar el tambor de la centrifuga con agua.

5. Vaciar una de las suspensiones en el recipiente de alimentación de la centrífuga[1]

6. Conectar la centrífuga y esperar a que alcance su velocidad máxima (5 min.).

7. Abrir la válvula de alimentación totalmente y tomar el tiempo con que empieza a caer el líquido.

8. El efluente de la centrífuga se recoge en una cubeta.

9.-Agitar el efluente y tomar una muestra representativa en un vaso de precipitados.

10. Cuando la alimentación ha cesado se determina el tiempo y se apaga el equipo.

11. Se determina la densidad relativa del efluente

12. Cuando la centrífuga se ha detenido desarmar el tambor y limpiarlo.

[1] Verificar que la válvula de alimentación se encuentre cerrada.

13. Para la misma concentración realizar 4 corridas más, variando la apertura de la válvula del recipiente de alimentación.

14.-Determinar la concentración de $CaCO_3$ de cada una de las muestras por medio de una titulación con EDTA al 0.05% Molar y por turbidimetría.

TRABAJO PREVIO A LA PRACTICA.

1.- ¿ En que consiste la ley de Stokes para suspensiones en rotación ?.

2.- ¿ Cual es el concepto de área equivalente ?

3.- ¿ Cuales son las principales aplicaciones de las centrifugas ?

4.- ¿ Cuales son los riesgos a la salud si se utiliza PVC ó $CaCO_3$?

5.- ¿ Mencione tres recomendaciones para prevenir un accidente al utilizar una centrifuga ?

TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA.

1.- ¿ Con cual de los tres flujos volumétricos hay mayor separación de la suspensión en la centrifuga ?.

2.- ¿ Cual es el valor del área equivalente del tambor de cámaras?

3.- ¿ Realiza una gráfica entre el flujo volumétrico y diámetro de partícula ?.

4.- ¿ Como podemos aumentar la capacidad clarificadora de la centrifuga ?

5.- ¿ Determina el valor del área equivalente para una centrifuga capaz de manejar 30 veces el flujo experimental que proporcionó la mayor separación en m^3/s ?.

6.- Llenar la hoja de especificación de compra de la centrifuga requerida.

Bibliografía:

1.- Ambler, C:M: " The evaluation of centrifuge of performance" Chem. Eng. Prog. 48, 3 (1952). pag. 150-154

2.- Foust Alan S. "Pricipies of unit operations" John Wiley & Sons, United States of American" 1965, pag. 458-465.

3.- **Tesis.** Optimización de las condiciones de operación de la centrifuga WESTFALIA del laboratorio de Ingenieria Química. Victor Manuel Vilchis Ruíz. 1997.

NOMENCLATURA

A = Superficie (m^2).

C = Parametro que depende de la geometria del equipo y va de 1-1.8..

d = Diametro de la particula.

F = Fuerza neta.

F_a = Fuerza de arrastre (kg m / s^2).

F_e = Fuerza debida al empuje de Arquimides (kg m / s^2).

g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m / s^2

l = Radio de descarga de la fase ligera.

m = Masa de la particula (kg).

N = Número de discos.

P = Peso de la partícula.

Q = Flujo volumetrico (m^3 / s).

r_1 = Radio interno (m).

r_2 = Radio externo (m).

Re = Número de Reynolds = v d ρ_m / η.

S = Area transversal de la partícula.

T = Tiempo.

v_s = Velocidad de sedimentación.

V = Volumen de la partícula (m^3)

x = Distancia (m).

NOMENCLATURA (Letras griegas).

ρ = Densidad de la particula (kg / m^2).

ρ_m = densidad del fluido (kg / m^3).

$\Delta\rho = \rho - \rho_m$ (kg / m^3).

Σ = Area equivalente (m^2).

η = Viscosidad del fluido (Pa s).

ω = Velocidad angular (1 / s^2).

Figura 3.e. Cuestionario para la compra de una centrifuga.

Planta y cliente **Datos:**

COMPAÑIA_____

DIRECCIÓN_____.

HOMBRE CONTACTADO_____TITULO_____.

DIRECCIÓN DE LA PLANTA_____.

ESTÁ SEPARACIÓN AUN SE PUEDE REALIZAR_____COMO?_____.

CUALES SON LOS RESULTADOS?_____.

DONDE EXISTEN PROBLEMAS? CAPACIDAD____EFICIENCIA____ARMAZÓN____.

METALURGIA_____ELASTOMEROS_____.

ELECTRICIDAD____VOLTS____CICLOS_____FASES ☐ TEFC ☐ PRUEBA DE EXPLOSIÓN.

MATERIALES.

COMPOSICIÓN QUIMICA__
CANTIDAD / HORA_____
GRAVEDAD ESPECIFICA___
VISCOSIDAD Y TEMP._____
pH_____
PUNTO DE INFLAMACION__
TOXICO?_____
CORROSIVO?_____
ESPUMA?

ALIMENTACION	LIQ1	LIQ2	SÓLIDOS

TEXTURA DE SÓLIDOS Barro ☐ Irregular ☐ Abrasivo ☐ Blando ☐

CONDICIONES

DE OPERACIÓN:

TEMPERATURA: Preferida_____°F.Máx._____°F. Min._____°F. Presión_____

OPERACIÓN CONTINUA_____Horas / dia.

OPERACIÓN BACH. Tamaño_____gal. Frecuencia_____.

Está disponible una muestra si se necesita?_____Los residuos van a ser descargados_____.

RESULTADOS DESEADOS.

Máx. líquido requerido en sólidos

Máx. sólidos de líquido 2 en liq. 1.

Máx. sólidos de líquido 1 en liq. 2.

Otro_____.

Rotulo_____

ANEXO I I

NOMENCLATURA.

NOMENCLATURA

A = Superficie (m^2).

C = Parametro que depende de la geometria del equipo y va de 1-1.8..

d = Diametro de la partícula.

F = Fuerza neta.

F_a = Fuerza de arrastre (kg m / s^2).

F_e = Fuerza debida al empuje de Arquimides (kg m / s^2).

g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m / s^2

l = Radio de descarga de la fase ligera.

m = Masa de la partícula (kg).

N = Número de discos.

P = Peso de la partícula.

Q = Flujo volumetrico (m^3 / s).

r_1 = Radio interno (m).

r_2 = Radio externo (m).

Re = Número de Reynolds = v d ρ_m / η.

S = Area transversal de la partícula.

T = Tiempo.

v_s = Velocidad de sedimentación.

V = Volumen de la partícula (m^3)

x = Distancia (m).

NOMENCLATURA (Letras griegas).

ρ = Densidad de la partícula (kg / m^2).

ρ_m = densidad del fluido (kg / m^3).

$\Delta\rho = \rho - \rho_m$ (kg / m^3).

Σ = Area equivalente (m^2).

η = Viscosidad del fluido (Pa s).

ω = Velocidad angular (1 / s^2).

BIBLIOGRAFIA

1) CHARLES M. AMBLER. **"The fundamentals of separation, including sharples "sigma value" for predicting equipment performance "** , Industrial and engineering chemistry, Vol. 53 Num. 6 June (1961) pag. 430-433.

2) D. M. LANDIS. , **"Process control of centrifuge operations"** Chemical Engineering Progress, Vol. 66 Num. 1 Junuary (1970) pag. 51-53.

3) FRANK M. TILLER and N. B. HSYUNG **" How does porcent solid affect centrifuge cakes".** Chemical Enginnering Progress", August (1993) pag. 20-28

4) AMBLER C.M. **"Centrifuges" Figures 19-115. Chemical Enginnering Handbook",** 5ta. ed. R,H. Perry and C. H. Chilton eds., Mc. Graw Hill. New York (1973).

5) THEODORE J. DE LOGGIO AND ALAN LETKI. **"New directions in centrifuging. Chemical Enginnering"**, January 1994, pag. 70-76.

6) ROGER W. DAY **"Techniques for selecting centrifuges".** Chemical Enginnering, Vol. (13) May 1974 pag. 98-104

7) JULIAN C. SMITH. **" Selection of centrifuges for Chemical Processing".** Industrial Enginnering Chemistry Vol. (39) Num.4 April 1947 pag. 474-479.

8) JOSEPH B. BANGE AND RICHARD H. OSMAN. **" Select the right centrifuge drives for bach processes"** Chemical Enginnering Progress. August 1993 pag. 34-37.

9) H. L. CROSBY. **" Suppressing centrifuge Chatter".** Chemical Enginnering Progress October 1979 pag. 92-94.

10)C. A. WILLUS. " **Separations via centrifuges".** Chemical Enginnering Progress. April 1978, pag 94.

11)TORE H. LINDSTROM AND REZA HASHEMI. **"Successfully Cope with FCC Catalist".** Chemical Enginnering Progress. August 1993 pag. 29-33

12) CHEMENTOR **"Centrifuges small size is a big benefit in oil rigs"** Chemical Enginnering. November 1990 pag. 21.

13)Macbe & Smith, **"Unit Operations of Chemical Engineering"**. McGarw-Hill, México 1965. pp. 394-416

14) Foust Alan S. **"Principles of unit operations"** John Wiley & Sons, United States of American" 1965, pag. 458-465

15) CHEMENTOR. **" Putting a spin on liquids separation".** Chemical Engineering. February, 1991, pag 21.

16) WESTFALIA SEPARATOR. Hanno R. Lehmann, Ernst Dolle, **"Separator Tecnical Scientific Documentation Num. 12".** Second edition 1991.

17) WESTFALIA SEPARATOR. **Westfalia laboratory Centrifuge for Bench and pilot-Scale operations model LWA-205.**

18) WESTFALIA SEPARATOR. **Labor separatoren** type LWA-205. Oelde (westf.) Gebrauchsanweisung.

19) WESTFALIA SEPARATOR. Laboratory centrifuges. **Data Sheet.**

20) WESTFALIA SEPARATOR **Lost Ihre Schleuderprobleme in eine maschine laborseparator** Modell LWA 205.

21) WESTFALIA SEPARATOR. " **Nociones basicas de centrifugación"** Elizabeth Ocampo 1992.

21) TESIS. " **DISEÑO DE UNA PRACTICA DE CENTRIFUGACION PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA"**. Carlos Hernandez Martinez 1989.