

ARTICULO CIENTIFICO
SEDIMENTACIÓN

Carlos Espinosa – Karen Martínez-Sergio Rodríguez- Mónica V Rojas

Operaciones con Solidos

Ing. Químico: Iván Ramírez

Fundación Universidad de América

Noviembre 12 de 2012

RESUMEN

El siguiente trabajo muestra las generalidades de una operación unitaria de gran importancia a nivel industrial, es decir, la sedimentación, además que se hace énfasis en los diferentes equipos que se utilizan para dicho proceso puntualizando en las diferentes características, ventajas y desventajas con respecto a otros equipos y los costos actuales con los que se maneja en las diferentes empresas ya sean pequeñas, medias o grandes, tanto a nivel nacional como internacional.

Palabras claves: Sedimentación, separación, floculación, flotación, ciclón, espesador, clarificador, centrifugación.

ABSTRACT

The following paper reviews the main unit operation of great importance in industry, sedimentation, and that emphasizes the different equipment used for this process pointing in different features, advantages and disadvantages over other equipment and ongoing costs with which is handled in the different companies whether small, medium or large, both nationally and internationally.

Keywords: Sedimentation, separation, flocculation, flotation, cyclone, thickener, clarifier centrifuge

MARCO TEORICO

La sedimentación es la operación unitaria encargada de la separación de las fases sólida y líquida por acción de la gravedad de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro. Dentro de esta operación unitaria encontramos otras operaciones unitarias basadas en el principio de sedimentación que se nombrarán a continuación con los respectivos equipos de cada una de estas.

ESPEPAMIENTO

El espesamiento es una operación unitaria que se basa en el principio de sedimentación por gravedad y sedimentación por medio del uso de un floculante; la principal diferencia entre el espesamiento y otras operaciones de sedimentación, radica en que este hace referencia a las operaciones en las cuales es de importancia la obtención de un sólido más concentrado a partir de la solución (Perry, 1997). Con este motivo se pueden encontrar diferentes formas de funcionamiento que estarán destinadas a distintos usos como las siguientes:

1. ESPESADORES CONVENCIONALES:

Los espesadores convencionales son los más comunes de uso en la industria, se basan en el principio de la agitación para hacer que las partículas en suspensión sedimenten (Halbertal, s.f.). De ahí que se hable de las siguientes características:

- Son equipos muy grandes
- Funcionan en lotes
- Los hay de tipo puente o de columna, cuya principal diferencia es en la estructura de soporte del espesador

- Son de fácil mantenimiento y control
- Bajo consumo energético al utilizar muy pocas revoluciones en la agitación
- No funcionan en continuo debido a que tienen un tiempo de residencia bastante grande
- Están destinados a grandes empresas debido a su alto costo de instalación y el espacio que pueden llegar a ocupar
- Son ampliamente usados en el tratamiento de aguas y en la industria minera
- Pueden manejar material de tipo biológico

En cuanto al costo se puede apreciar que al ser equipos de gran tamaño su costo también será grande pero además se debe recalcar que estos acarrearán costos de instalación además de otros costos operativos; su costo ronda desde 16800 USD hasta los 600000USD.

2. ESPESADORES DE ALTA CAPACIDAD

Los espesadores de alta capacidad son aquellos en los que se busca hacer que la sedimentación y concentración de los sólidos se dé a mayor velocidad, para ello se pueden usar técnicas como aumentar la velocidad de las aspas o usar floculante (Halbertal, s.f.). Pueden presentar las siguientes características:

- Son generalmente más pequeños que los convencionales debido a que se buscan un tiempo de residencia bajo
- Tienen un mayor consumo de energía al llegar a utilizar velocidades más altas de operación
- Permiten el uso del floculante
- Se pueden utilizar en continuo y por ello se pueden automatizar
- Son de un control estricto

- Se usan en procesos en los cuales se requiere de una sedimentación rápida como la industria química y en el tratamiento de aguas.

En cuanto a costo se puede decir que estos tienen un costo más alto que los convencionales principalmente debido a que poseen sistemas de control más complejos que los anteriores; por ello su costo puede rondar entre los 20000USD y los 500000USD

3. ESPESADORES DE TAMBOR GIRATORIO

Los espesadores de tambor giratorio son equipos en los que se utiliza un tambor con pequeños orificios y además se le añade floculante para hacer que las partículas precipiten por acción de la fuerza y de la gravedad, estos equipos son más baratos y además poseen las siguientes características:

- Tienen un principio de funcionamiento similar al del filtro de tambor solo que en este se busca la recuperación del sólido y además se sedimenta
- Ocupan espacios pequeños
- Son equipos de fácil control y mantenimiento
- No permiten altos caudales
- Se puede automatizar
- Se usan en pequeñas y medianas empresas
- Tienen un bajo consumo energético comparado con los dos anteriores

En cuanto al costo se sabe que este equipo es mucho más barato que sus contrapartes y su costo esta entre 1680 USD y 20000USD

FLOCULACION

La floculación es la precipitación de un componente sólido de una disolución líquida por medio de la adición de un componente químico aglomerante conocido como floculante (Lenntech, s.f.) Que hace que las partículas formen los flocs; para ello se pueden usar compuestos como los siguientes:

- Sulfato de aluminio
- Sulfato de amonio
- Silica activado
- Almidón

Como se puede denotar hay varios compuestos de diferentes naturalezas que se usan como floculantes pero a pesar de ello aun en la industria se usan muchas las sales de aluminio.

CLASIFICADORES MECANICOS

En el proceso de clasificación mecánica la separación se hace por tamaño de partícula, las partículas gruesas se llaman arena y las finas limos, el objetivo del proceso es que las arenas sedimenten y los limos no, por lo que se controla entre otros la velocidad del fluido para que los limos no sedimenten (McCabe, Smith, & Harriot, 1991). Con lo anterior se puede hacer que los limos salgan con el líquido efluente y las arenas queden en el fondo.

1. CLASIFICADORES DE RASTRILLO

Los clasificadores de rastrillo son aquellos que utilizan un mecanismo de tornillo sin fin para separar los limos de las arenas, y tienen las siguientes características:

- Son dispositivos de fácil control de la separación
- Tienen un mantenimiento muy sencillo
- Tienden a presentar pérdidas en el flujo
- Son de gran tamaño
- Se usan en la industria minera principalmente debido al gran tamaño que estos tienen y también en el tratamiento de aguas
- Aplican a medianas y grandes empresas

En cuanto al costo del equipo se puede decir que es un equipo costoso por su tamaño y su valor puede rondar desde los 3000USD hasta los 30000USD

2. CLASIFICADORES DE TANQUE CILINDRICO

Como tal se usan para la clasificación de aguas y la decantación de finos y pueden presentar características como las siguientes:

- En el fondo del tanque se pueden encontrar rastrillos giratorios
- La eficiencia del equipo es baja por lo que se usa para volúmenes grandes de material a clasificar
- Se utiliza en medianas y grandes empresas

En cuanto a costo se puede hablar que como son equipos de baja eficiencia su costo será medio ya que no es conveniente obtener un equipo con baja eficiencia por un alto costo; su costo ronda los 2000USD y puede llegar a costar máximo 100000USD

3. CLASIFICADORES DE CONO

Son dispositivos en los cuales la descarga de los sólidos de gran tamaño se hace por la parte inferior debido a la acción de la gravedad, estos pueden presentar las siguientes características:

- La eficiencia es superior a las del tanque cilíndrico
- Se utiliza en medianas y grandes empresas
- Se utiliza la sedimentación por gravedad para retirar los sólidos más finos.

El costo del equipo depende del tamaño del mismo y puede rondar desde 1600USD hasta 100000USD.

FLOTACION

La flotación es la operación unitaria en la cual se añade a una mezcla de sólidos un líquido que posee una densidad intermedia entre ambos tipos de sólidos con lo que se consigue que las partículas más pesadas precipiten se puedan retirar de una manera simple y con ello también se retiran las partículas más finas (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

Este método presenta la ventaja, en principio, de que la separación depende solo de la diferencia de densidades de las dos sustancias y es independiente del tamaño de las partículas. Este método también se denomina separación de líquido espeso (Itescam , s.f.).

La principal desventaja en la utilización de flotación es la elección de un medio líquido con la densidad adecuada para que el material ligero flote y el pesado se hunda. Lo más frecuente es utilizar un pseudolíquido consistente en una suspensión acuosa de partículas finas de un mineral pesado.

Deben existir dispositivos para introducir la mezcla a separar, para retirar las corrientes superior e inferior y para recuperar el fluido de separación que puede ser relativamente caro en comparación con los materiales a tratar.

CLARIFICADORES

Los clarificadores son dispositivos en los cuales se utiliza un sistema en el cual se retira como producto primordial el líquido clarificado, es decir, el objetivo principal del clarificador es retirar la contaminación por sólido del líquido en cuestión (Perry, 1997).

Estos dispositivos se utilizan generalmente con suspensiones diluidas, normalmente corrientes de procesos industriales y residuos domésticos municipales, su principal propósito es producir un efluente superior relativamente claro. Básicamente, son idénticos a los espesadores en diseño y funcionamiento, excepto que los clarificadores emplean un mecanismo de construcción más ligera y un mecanismo de transmisión de impulso con menor capacidad de torsión. El coste de instalación de un clarificador es de 10 a 100 veces menor que la de un espesador.

Entre los clasificadores se pueden encontrar de muchos tipos como lo son:

1. CLARIFICADORES CIRCULARES

Los clarificadores circulares son dispositivos en los cuales se encuentran dispositivos desnatadores, es decir que retiran el líquido clarificado del efluente y los sólidos saldrán por la parte inferior del clarificador; este se parece mucho a un espesador y posee las siguientes características:

- Poseen una caja recolectora de espuma
- Se utilizan en el tratamiento de aguas y residuos orgánicos

- Se utilizan principalmente en medianas y grandes empresas

Están provistos generalmente de rodillos de plástico en las cuchillas de raspado de los brazos de arrastre (Perry, 1997), ya que es deseable que el fondo este limpio para evitar la acumulación de solidos orgánicos, con el consiguiente mal olor y la flotación del mineral descompuesto.

Su costo varía dependiendo de su tamaño por lo que se debe tener en cuenta el valor de la construcción del mismo y su costo va desde los 10000USD a 100000USD.

2. CLARIFICADORES RECTANGULARES

Los clarificadores rectangulares son dispositivos que funcionan por sistema de arrastre en cadena (Perry, 1997), estos pueden tener las siguientes características:

- Tienen buena eficiencia
- Se usan en múltiples empresas como los son las e tratamiento de aguas y la industria minera
- Debido al costo y a su condición operativa aplican para grandes empresas

Este tipo de clarificador se usa en procesos tales como separaciones preliminares de aceite y agua en refinerías y en clarificación de corrientes residuales en fábricas siderúrgicas. La calidad o transparencia del efluente superior obtenida con estos clasificadores no es tan buena como con los clarificadores circulares, debido principalmente al reducido perímetro de rebose por área equivalente.

Su costo puede rondar desde los 5000USD a los 50000USD

SEDIMENTACION CENTRIFUGA

En la sedimentación centrífuga, las partículas se separan del líquido por acción de la gravedad con una velocidad máxima constante. Los diferentes separadores centrífugos han sustituido en gran parte a los separadores por gravedad en las operaciones de producción debido a su mayor efectividad con gotas finas y partículas. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991). A continuación se especificaran algunos de los equipos correspondientes a la sedimentación centrífuga.

1. CICLONES: separación de solidos contenidos en gases.

Los ciclones son uno de los equipos más empleados dentro de las operaciones de separación de partículas sólidas de una corriente gaseosa (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

El funcionamiento de este equipo consiste en el transporte de las partículas por el gas debido a su inercia, se mueven alejándose del centro de rotación, por acción de las líneas de fuerza del campo centrífugo, alcanzando las paredes internas del barril hacia el cono y desde allí hacia el fondo del ciclón. Este tipo de equipo tiene las siguientes características:

- Este equipo es de fácil mantenimiento.
- Permite la separación en condiciones drásticas de temperatura y presión.
- Tiene un bajo costo de inversión y mantenimiento, pues el costo del equipo oscila entre 5mil a 10mil dólares.
- Puede ser construido de varios materiales como: cerámica, aleaciones, aceros, hierro fundido, aluminio y plásticos.
- Tiene elevadas condiciones de sanidad y limpieza.

- Una desventaja es que la fricción de las partículas sólidas erosionan severamente las paredes interiores del ciclón (UNLP, s.f.).

Se suelen emplear para el control de la contaminación del aire de determinadas fuentes, tales como plantas generadoras de electricidad a partir de combustibles fósiles, en hornos de tostación, refinerías petrolíferas, molinos de pasta de papel e incineradores (Itescam, s.f.).

Se suelen emplear en secadores farmacéuticos, procesamiento de minerales, nano partículas, procesos de calcinación, recuperación catalítica y procesos de separación a alta temperatura.

2. HIDROCICLONES: separaciones liquido-sólido

Los hidrociclones son utilizados para separar sólidos a partir de líquidos. La separación se logra haciendo uso de la fuerza centrífuga que empuja las partículas sólidas en un espiral hacia abajo hasta el recolector, mientras el fluido sube a través de la salida superior (Odis, s.f.). El fluido en movimiento actúa como medio de filtración para las partículas más finas, mejorando así el proceso de separación. Las partículas recogidas son desechadas automáticamente por una válvula hidráulica que se activa en intervalos predeterminados. Este tipo de equipos se caracterizan por:

- Su costo va de 1000 a 60000 USD.
- Son unidades pequeñas que permiten un ahorro de espacio.
- Pueden colocarse en paralelo para aumentar así su capacidad de separación.
- Tienen facilidad de construcción, instalación y mantenimiento.

- Este equipo no sirve para eliminar partículas de naturaleza orgánica como bacterias, algas y materia orgánica dispersa debido a que presentan una densidad específica menor a los sólidos en suspensión (Galeon.com, s.f.).

Son utilizados en la decantación de la arena y otros contaminantes, sólidos del agua destinada a uso doméstico, agrícola o industrial. Como consecuencia de lo anterior, se consigue la protección de bombas, válvulas y sistemas de control contra los desgastes causados por los sólidos.

3. DECANTADORES CENTRIFUGOS

Los decantadores de centrífugo se aplican para la separación de las mezclas de los líquidos; para la separación de las mezclas de los sólidos con los líquidos; para la deshidratación, la concentración y la clasificación de las mezclas de los sólidos con los líquidos; y para la extracción de los componentes específicamente se utilizan para separar dos o más fases de peso específico diferente, es decir, en los procesos de clarificación de un líquido en los que se presentan materiales sólidos en suspensión. (HAUS Tecnologías de Centrifugo. , 2013)

La separación de la fase sólida de la líquida se realiza en el interior de un tambor rodante de forma tronco - cónica y cilíndrica. La fase sólida, más pesada, se deposita sobre las paredes internas del tambor, siendo constantemente raspada por la cóclea interna hasta expulsarla a través de los orificios situados al final de la sección tronco - cónica. (HAUS Tecnologías de Centrifugo. , 2013)

Las partes principales de la centrifuga son dos tambores coaxiales, cónico-cilíndricos que tienen un sentido acorde de giro, pero con una mutua diferenciación de revoluciones. Un caracol

está soldado sobre el tambor interno de la centrifuga. El tambor externo tiene la envoltura completa.

Ambos tambores son colocados en cojinetes de rodillos cónicos en caballetes de soporte. Esos son constituidos sobre un bastidor de base, que es soldado de perfiles laminados.

La propulsión de ambos tambores se ejecuta a través de una transmisión especial que asegura la diferencia de revolución de ambos tambores o motores de tres fases para el tambor tanto como el caracol conducido por un convertidor de frecuencias. Las partes rotantes de la centrifuga están equipadas con cubiertas durante la operación. Una parte del equipo es un distribuidor de mando, en el cual están colocados los elementos de mando y protección. (PBS Velká Bítes , 2013)

El decantador ofrece la ventaja de funcionamiento con rendimiento eficaz en comparación con los sistemas convencionales de descomposición. Los gastos de mano de obra y la necesidad de aumentar la capacidad. De igual forma tienen la ventaja de presentar gran flexibilidad en las aplicaciones y en las buenas condiciones de procesamiento y automoción, los decantadores con excelente diseño y con capacidad superior de procesar necesitan mucho menos espacio. Estos ofrecen soluciones idóneas para procesos y áreas industriales como: (HAUS Tecnologías de Centrifugo. , 2013)

- Área industrial de aguas: potable y residuales.
- Industria de bebidas y alimentos
- procesamiento de grasas y aceites
- área del petróleo.

El costo de los decantadores centrífugos oscila entre 7000 y 9000 USD, por esta razón es usado en medianas y grandes empresas.

4. CENTRIFUGA TUBULAR

Las centrífugas tubulares son utilizadas para la separación continua de líquidos inmiscibles de densidades diferentes. También son utilizadas para separar cantidades limitadas de sólidos contenidos en líquidos. En general son utilizadas en procesos donde se requiere un alto nivel de centrifugación. (Grupo Sigma- Centrifugas , 2013)

En este tipo de centrifuga la alimentación entra desde una boquilla estacionaria insertada a través de la abertura situada en el fondo del recipiente, y se espera en dos concéntricas de líquido en el interior del recipiente. La capa más ligera sobresale en un vertedero situado en la parte superior del recipiente, es llevada hacia afuera y depositada dentro de un compartimiento de descarga y luego es descargada en una tubería. El líquido más pesado fluye por otro vertedero, situado dentro de un compartimiento separado. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

5. CENTRÍFUGA DECANTADORA ESPECIAL:

Fabricada especialmente para la separación continua de líquidos y sólidos de tipo gelatinoso. Opcionalmente se puede incorporar un sistema con bomba centrípeta para descarga de líquidos. Ejemplos de aplicación: desgomado y refinación de aceites vegetales, etc. (Grupo Sigma- Centrifugas , 2013)

6. CENTRÍFUGA DECANTADORA TRICANTER:

Diseñada para la separación de productos que contengan 3 (tres) fases, de diferentes densidades, por ejemplo: un sólido, agua y aceite. Ejemplos de aplicación: efluentes industriales, subproductos animales, grasas de lana, etc. (Grupo Sigma- Centrifugas , 2013)

7. CENTRIFUGA DE DISCOS

Son ideales para una gran variedad de aplicaciones de separación, concentración de sólidos menores y partículas y gotas de menor tamaño. Se emplean en la separación tanto de fases líquidas como de líquidos y sólidos. (Grupo Sigma- Centrifugas , 2013)

En este tipo de centrifuga la alimentación entra por arriba a través de una tubería estacionaria y se sitúa en el cuello del recipiente. Dentro del recipiente y girando con él, existen DISCOS espaciados estrechamente que en realidad son conos de lámina metálica colocados unos encima de otros. En la operación, la alimentación líquida entra por el fondo del recipiente, y fluye por los canales y asciende sobre los discos. El líquido más pesado es forzado hacia afuera desplazando el líquido ligero hacia el centro del recipiente. Durante su recorrido, el líquido más denso choca muy rápido contra la cara inferior de un disco y fluye sobre ella hasta la periferia del recipiente donde se encuentra nada más de líquido ligero. De manera análoga el líquido ligero fluye hacia dentro y hacia arriba sobre las superficies superiores de los discos. Las centrifugas de discos son valiosas cuando la finalidad de la centrifuga no es la separación completa, sino la concentración de una fase fluida, como en el caso de la separación de la crema de leche o la concentración de látex de caucho. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

8. CENTRIFUGA DE ESPIRAL

En este tipo de centrifugas, la mezcla entra en la máquina a través de un eje hueco que descarga cerca de uno de los extremos del recipiente; en las suspensiones espesas se facilita el flujo por medio de un mecanismo de tornillo sin fin. (Coulson & J.F. Richardson, 1981)

9. CENTRIFUGA DE BOQUILLAS DE DESCARGA

Este separados es un tipo de centrifuga modificada de discos con un doble recipiente cónico, la parte central del recipiente opera en la misma forma que en la centrifuga de discos normal, rebosando una o dos de las corrientes de líquidos clarificados. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

El costo de los diferentes equipos de centrifuga como la centrifuga tubular oscila entre 29000 y 290000 USD, por esta razón son usados en grandes empresas.

Referencias

Grupo Sigma- Centrifugas . (1 de noviembre de 2013). Obtenido de

<http://www.gruposigmasrl.com.ar/maquinas-centrifugas.htm>

HAUS Tecnologías de Centrifugo . (1 de Noviembre de 2013). Obtenido de <http://prosec->

[es.net/folletos/HAUS_DECANTADORDECENTRIFUGO_SPANISH.pdf](http://prosec-es.net/folletos/HAUS_DECANTADORDECENTRIFUGO_SPANISH.pdf)

PBS Velká Bítes . (1 de noviembre de 2013). Obtenido de <http://www.pbsvb.es/centrifugas->

[decantadoras](http://www.pbsvb.es/centrifugas-decantadoras)

Coulson, J. M., & J.F.Richardson. (1981). *Ingeniería química, Operaciones Básicas* . Barcelona :

Reverté, S.A .

Galeon.com. (s.f.). *Hidrociclón*. Obtenido de <http://galeon.com/elregante/hidrociclón.html>

Itescam . (s.f.). Obtenido de

<http://www.itscam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r59542.PDF>

Itescam. (s.f.). *Syllabus-Ciclones*. Obtenido de

<http://www.itscam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r60775.PDF>

Lenntech. (s.f.). *Coagulantes y floculantes*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/coagulantes-y->

[floculantes.htm](http://www.lenntech.es/coagulantes-y-floculantes.htm)

Odis. (s.f.). *Hidrociclón*. Obtenido de <http://www.odis.com.mx/hidrociclón.html>

Perry, J. (1997). *Manual del Ingeniero Químico*.

UNLP. (s.f.). *Ciclones-Apuntes*. Obtenido de

<http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Ciclones.pdf>

Halbertal, J. (s.f.). *Engineering Aspects in Solid-Liquid Separation*. Obtenido de <http://www.solidliquid-separation.com/thickeners/thickener.htm>

Lenntech. (s.f.). *Coagulantes y floculantes*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/coagulantes-y-floculantes.htm>

McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw Hill.

ANEXOS



Imagen 1. Clarificador circular



Imagen 2. Clarificador rectangular

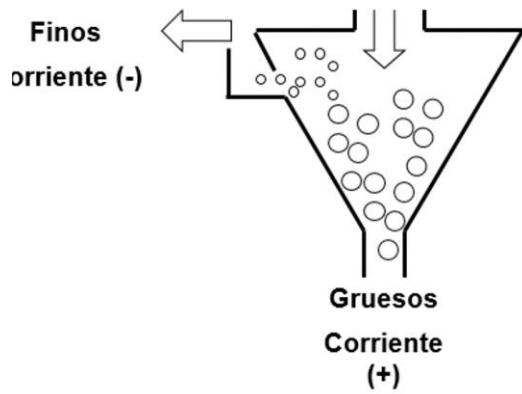


Imagen 3. Clasificador de cono

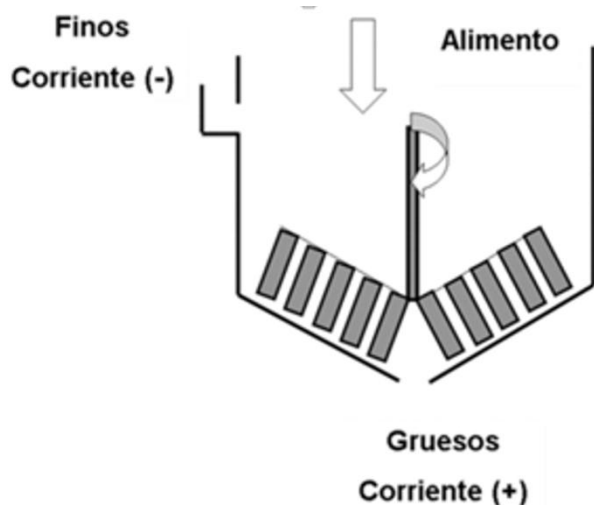


Imagen 4. Clasificador de tanque cilíndrico



Imagen 5. Clasificador por rastrillo

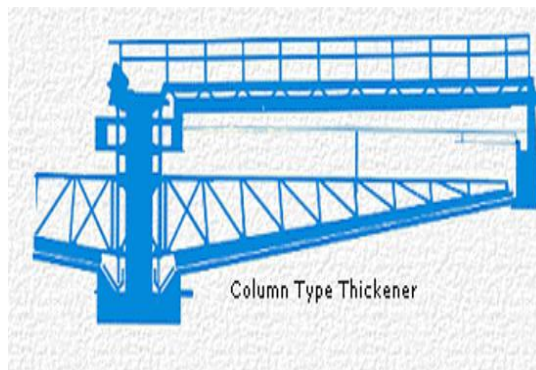


Imagen 6. Espesador convencional por columna



Imagen 7. Espesador convencional por puente.

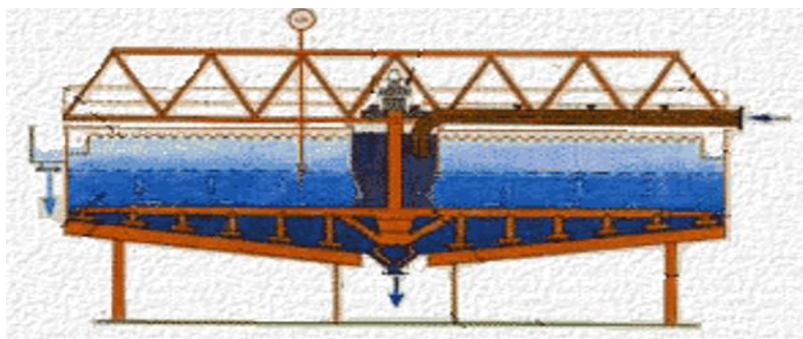


Imagen 8. Espesador de alta capacidad



Imagen 9. Espesador de tambor

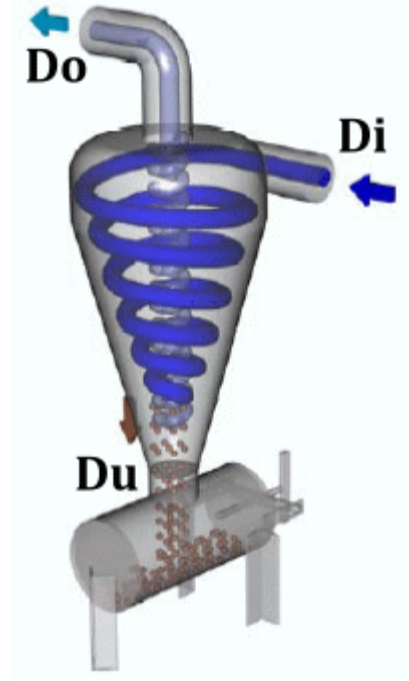


Imagen 10. Hidrociclones



Imagen 11. Decantadora



Imagen 12. Decantadora tubular



Imagen 13. Decantador centrifugo

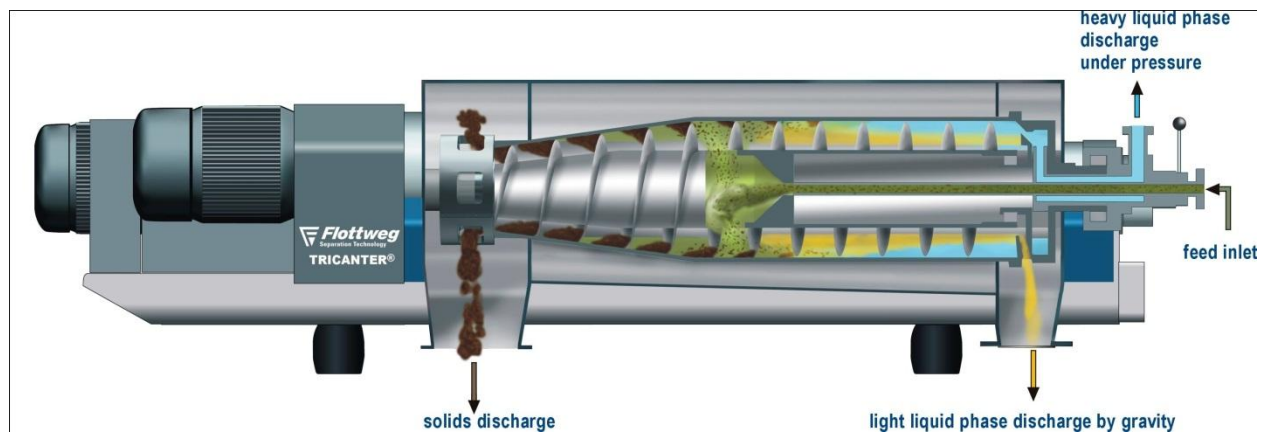


Imagen 14. Decantador tricanter