

**Tabla 26.19**  
*Dosis de polímero para diferentes lodos*

Tipo de lodo	Para filtración al vacío g/kg	Para filtros prensa de correa, g/kg
Primario crudo	1-	1-4
Lodo activado	7,5-15	4-10
Primario + lodo activado	5-10	2-8
Primario digerido anaerobiamente	3,5-7	2-5
Primario + LA, digerido anaerobiamente	1,5-8,5	1,5-8,5
Digerido aerobiamente	7,5-25	---

En la dosificación de polímeros, la mezcla es de importancia fundamental; debe ser intensa, para dispersar apropiadamente el polímero viscoso, e inmediata para que la neutralización de carga sea completa antes de empezar la floculación. Si se usan polímeros aniónicos y catiónicos simultáneamente, el aniónico se puede agregar primero que el catiónico; pero, en general, se usan sobre todo los catiónicos. Un esquema típico de dosificación de polímero seco se muestra en la figura 26.20.

### **Acondicionamiento térmico**

El tratamiento de lodos con calor es un proceso de estabilización y acondicionamiento que supone calentar el lodo a presión durante un periodo apropiado. La temperatura requerida para el proceso es de 176 a 260°C, durante 15 a 30 minutos, a presiones de diseño de 3,4 Mpa con aire o de 2,4 Mpa sin aire. Su uso es limitado por su costo. Existen diferentes procesos de tratamiento térmico de lodos, pero el más usado es el Zimpro. El lodo acondicionado térmicamente puede secarse mediante filtración al vacío, centrifugación, filtros prensa de correa o lechos de secado.

El proceso permite obtener un lodo concentrado, esterilizado, fácil de desaguar porque tiene una resistencia específica de filtración entre  $2 \times 10^{12}$  y  $4 \times 10^{12}$  m/kg y porque permite reducir la cantidad de lodo disponible al hacer factible la obtención de tortas con mayor concentración de sólidos.

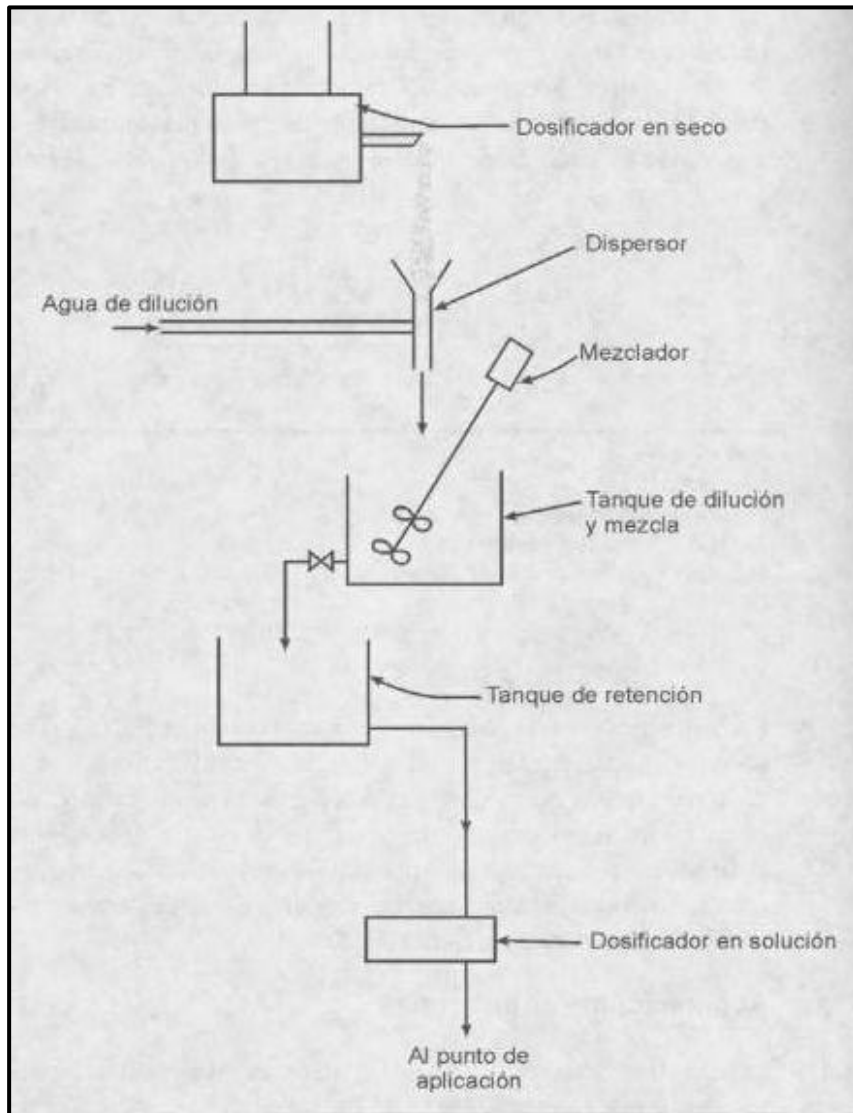


Figura 26.20 Esquema de un sistema típico de dosificación de un polímero seco

## Elutriación

La elutriación es una operación mediante la cual un sólido o una solución sólido-líquido es mezclada completamente con un líquido. El propósito de la elutriación es transferir ciertos componentes al líquido, es decir, es una operación de lavado del lodo. El ejemplo típico es el lavado de lodo digerido, antes de su acondicionamiento químico, para remover compuestos solubles orgánicos e inorgánicos que de otra manera consumirían grandes cantidades de acondicionador químico. Se usa poco porque los sólidos finos lavados del lodo pueden no ser retenidos en el tratamiento del recirculado y deterioran la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **Acondicionamiento con permanganato potásico**

El permanganato de potasio se utiliza como ayuda de acondicionamiento de lodos y como medio de control de olores. El permanganato de potasio se utiliza como ayuda de acondicionamiento de lodos y como medio de control de olores. El permanganato oxida sustancias causantes de olores, como el  $H_2S$  y forma  $MnO_2$  insoluble, de gran área superficial, que actúa como coagulante.

## **26.11.Secado de Lodos**

El proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas de desaguado de lodos que buscan reducir el contenido del agua del lodo a, menos de un 85 %. En la selección del método de secado de un lodo hay que tener en cuenta la naturaleza del lodo, los procesos subsiguientes de tratamiento y el método de disposición final. Los objetivos del secado de lodos son, principalmente, los siguientes:

- Reducir los costos de transporte del lodo al sitio de disposición
- Facilitar el manejo del lodo. Un lodo seco permite su manejo con cargadores, garlanchas, carretillas, etc.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario.
- En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

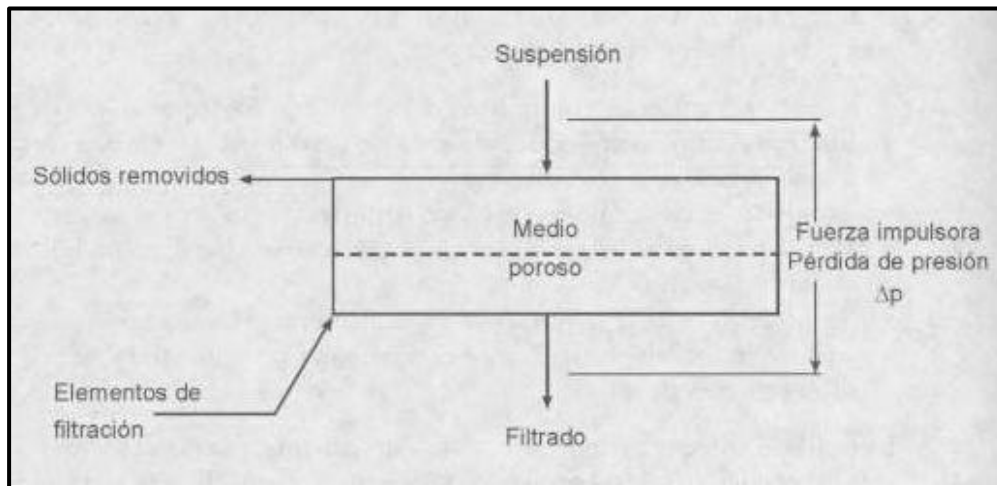
La facilidad con que un lodo seca varía ampliamente, pues la magnitud del secado es función de la forma como se encuentra el agua. El agua se halla en diferentes formas, con propiedades distintas formas, con propiedades distintas que influyen en el grado de secado que se puede obtener. En general se considera que el agua en los lodos existe en cuatro formas diferentes: agua libre, agua intersticial, agua vecinal y agua de hidratación.

El agua libre es el agua no asociada al lodo ni influida por sus partículas suspendidas. El agua intersticial se encuentra entre las cavidades e intersticios de los flocs y de los organismos; puede convertirse en agua libre si el floc se destruye o si se elimina el confinamiento físico. El agua vecinal es la formada por capas de moléculas fuertemente adheridas a la superficie de las partículas por enlaces de hidrógeno, no tiene libertad de movimiento y permanece adherida a las superficies. El agua de hidratación es la asociada químicamente a las partículas y sólo se puede remover con energía térmica.

En el secado de lodos el agua fácil de remover, es decir, el agua libre, se elimina por drenaje, espesamiento o secado mecánico. El agua intersticial se puede remover destruyendo o comprimiendo el floc mediante energía mecánica como la de los filtros al vacío, filtros prensa y centrífugas. Sin embargo, el agua vecinal no puede removerse mecánicamente y constituye una de las fracciones de mayor importancia en el límite obtenible de secado de lodos.

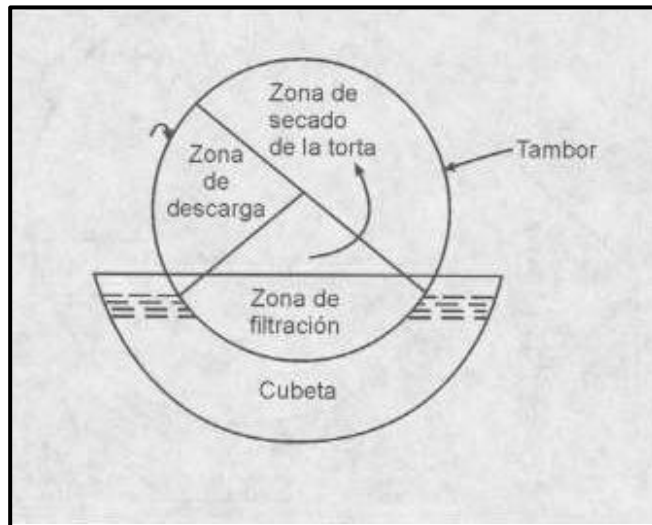
## Filtración al vacío

La filtración puede definirse como la remoción de sólidos de una suspensión al pasarla a través de un medio poroso que retiene los sólidos. En la figura 26.21 se representa esquemáticamente un sistema de filtración.

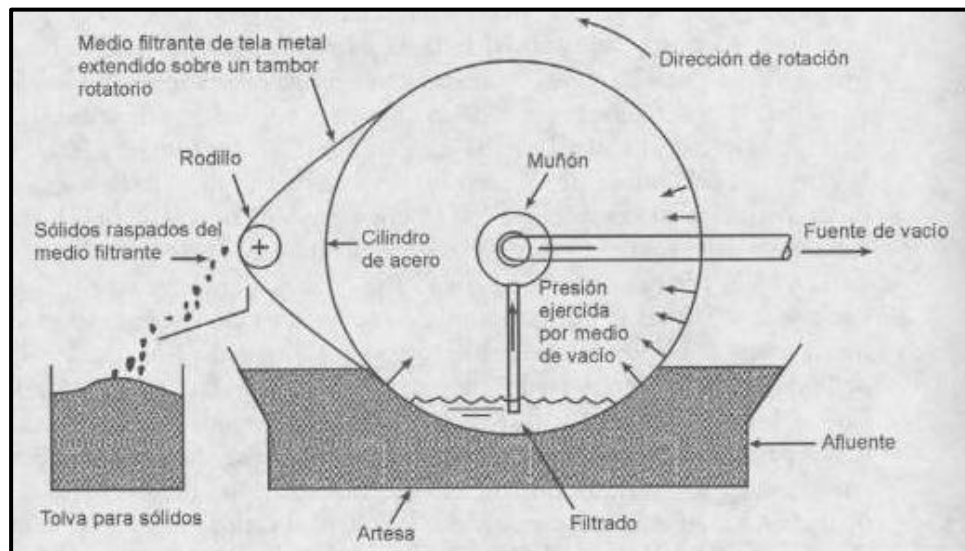


**Figura 26.21** Esquema de un sistema de filtración

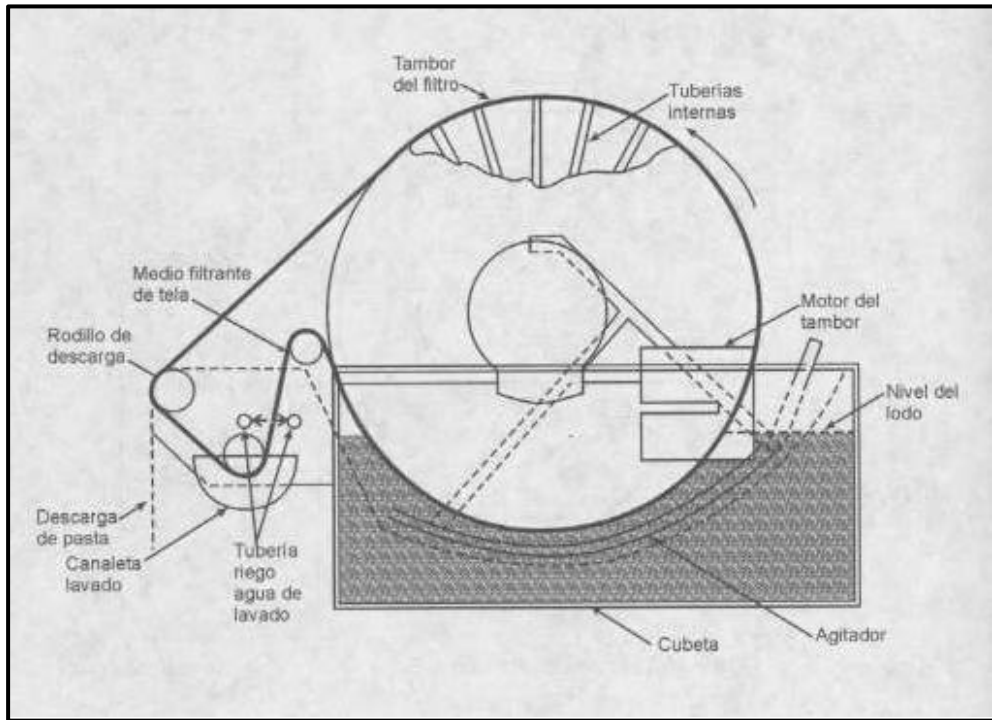
En la filtración al vacío la caída de presión se provee creando un vacío sobre un lado del medio poroso. El filtro al vacío consiste básicamente en un tambor cilíndrico que rota, parcialmente sumergido, en una cubeta de lodo acondicionado. Entre 10 y 40 % de la superficie del tambor está sumergida en la cubeta y se denomina zona de filtración o zona de formación de torta. El vacío aplicado a la sección sumergida del tambor hace que el filtrado pase a través del medio y se forme la torta sobre el medio. A medida que el tambor rota cada sección pasa por la zona de secado, la cual también está al vacío. La zona de secado la constituye un 40 a 60 % de la superficie del tambor. En la zona final del ciclo del filtro de descarga, una válvula expone la superficie del tambor a presión atmosférica y la torta es separada del medio poroso del filtro y conducida al sitio pertinente (figuras 26.22 y 26.23.). Para maximizar el secado hay que asegurar que las zonas al vacío sean máximas y, por tanto, minimizar la zona de descarga. Existen básicamente 2 tipos de medio filtrante en los filtros al vacío: los de tela de fibra natural o sintética y los de resorte espiral (figuras 26.24 y 26.25.). En los Estados Unidos los filtros al vacío son el método mecánico más usado para secar lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en los últimos años su uso ha declinado por su alto costo de operación y mantenimiento; en general los filtros al vacío, con alimentación de lodos con 2,5 a 15 % de sólidos, acondicionados químicamente, permiten obtener tortas con 13 y 45 % de sólidos. Las producciones oscilan entre 5 a 50 kg de sólidos secos/m<sup>2</sup>.h. En la tabla 26.20 se incluyen producciones típicas de filtros al vacío, en tanto que en la figura 26.26 se muestra un proceso de filtración al vacío.



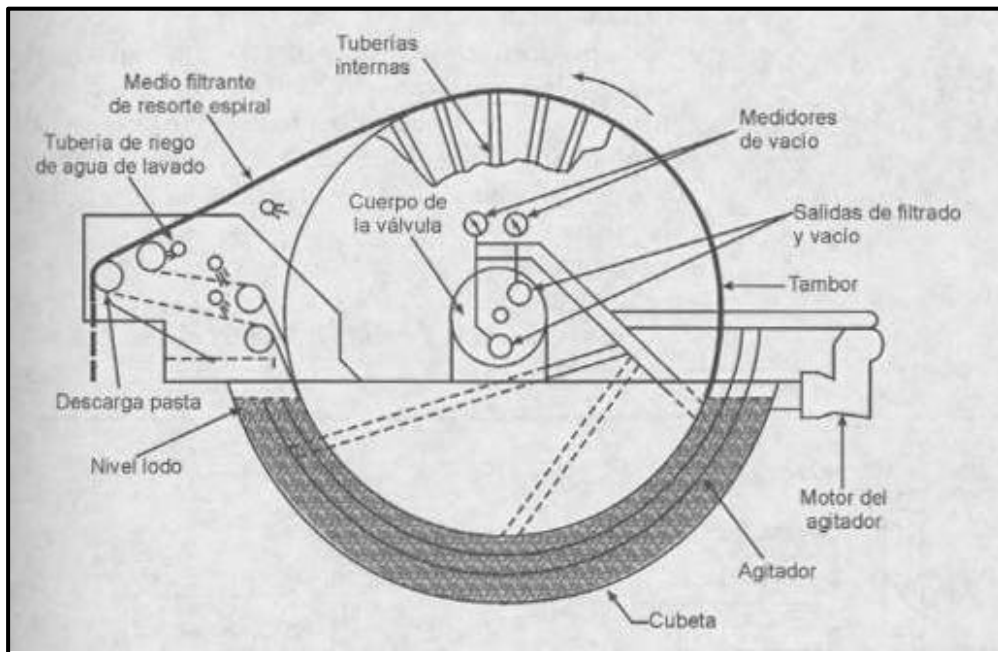
**Figura 26.22** Zonas de operación de un filtro rotatorio al vacío



**Figura 26.23** Esquema de un filtro al vacío



**Figura 26.24** Vista en corte de un filtro al vacío rotatorio tipo correa de tela



**Figura 26.25** Vista en corte de un filtro al vacío tipo correa de resorte espiral

**Tabla 26.20.**  
*Producciones típicas de filtros al vacío.*

Tipo de Lodo	% de ST en la pasta	Producciones kg/m <sup>2</sup> h
Primario crudo	25-30	24-49
Primario crudo y filtro percolador	20-26	15-29
Primario crudo y lodos activados	16-24	10-24
Lodo activado crudo	12-18	5-10
Primario digerido y filtro percolador	20-28	20-29
Primario digerido y lodo activado	18-24	15-24

Cuando la resistencia del medio filtrante es pequeña comparada con la de torta se puede usar la expresión 26.25. para calcular la producción del filtro.

$$L = 484,8 \left( \frac{x r w}{m r q} \right)^{1/2}$$

Donde:

**L = Producción del filtro, kg de sólidos secos/m<sup>2</sup>h**

**w = masa de sólidos secos por unidad de volumen de filtrado, kg/m<sup>3</sup>**

**r = presión, N/m<sup>2</sup>**

**x = tiempo de filtración/tiempo de rotación o tiempo para una revolución del tambor. El tiempo de filtración es el tiempo durante el cual un punto de la circunferencia del tambor está sumergido en la cubeta. El tiempo de secado es aquel durante el cual la torta permanece por encima de la cubeta.**

**m = viscosidad del filtrado, Ns/m<sup>2</sup>**

**r = resistencia específica, m/kg**

**q = tiempo para una revolución del tambor, minutos.**

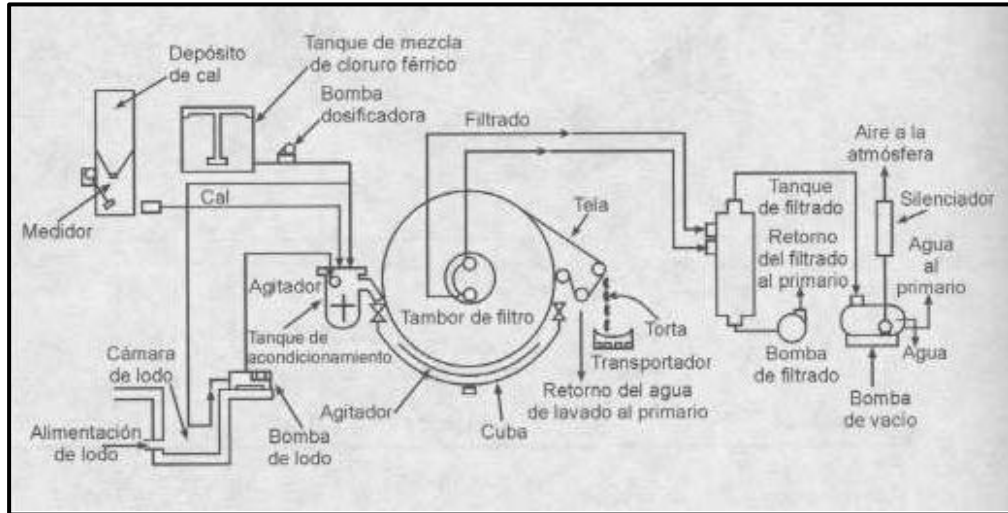


Figura 26.26 Proceso de filtración a vacío

La producción del filtro al vacío se puede modificar alterando la succión, la velocidad de rotación, el tiempo de filtración y la permeabilidad de la torta.

### Ejemplo

Calcular la producción de un filtro al vacío que opera en las condiciones siguientes:

- Resistencia específica del lodo,  $r = 3,0 \times 10^{11} \text{ m/kg}$
- Presión de vacío =  $P = 625 \text{ mm Hg} = 83.300 \text{ N/m}^2$
- Masa de sólidos en el filtrado =  $64 \text{ kg/m}^3 = w$
- Temperatura de filtración de lodo =  $25^\circ\text{C}$
- Tiempo para una revolución del tambor =  $q = 6 \text{ minutos}$
- Tiempo de filtración = 3 minutos.

### Solución:

De acuerdo con la ecuación 26.25 se tiene:

$$L = 484,8 \left( \frac{x p w}{m r q} \right)^{1/2}$$

$$X = \frac{3}{6} = 0,5$$



$$m = 8,9 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2 \text{ (se toma la del agua a } 25^\circ \text{ C)}$$

$$L = 484,8 \left( \frac{0,5 \times 83.300 \times 64}{8,9 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{11} \times 6} \right)^{1/2}$$
$$L = 19,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

### Centrifugación

El secado por centrifugación es un proceso en el cual se aplica la fuerza centrífuga al lodo para separar la fracción sólida de la fracción líquida. La centrífuga separa el lodo en una pasta desaguada y en un “centrato” clarificado con base en la diferencia de densidad existente entre los sólidos y el líquido circundante. La centrífuga utiliza el mismo principio de la separación por gravedad en un sedimentador, pero con fuerza centrífuga de 500 a 3000 veces la fuerza de gravedad.

En la actualidad la centrífuga usada para secado de lodos es la de tazón sólido o de camisa maciza. Existen 2 tipos exitosos de centrifugas de tazón sólido (figura 26.27): la de flujo a contracorriente y la de flujo concurrente. En la centrífuga de flujo concurrente, la fase sólida viaja en una trayectoria paralela a la de la fase líquida. Mediante conductos se remueve el líquido y se descarga sobre vertederos. En la centrífuga a contracorriente el lodo entra por la unión de la sección cónica cilíndrica; los sólidos viajan hasta el extremo cónico de la máquina y el líquido lo hace en dirección opuesta. Una centrífuga para 760 a 2600 L/min de lodo ocupa un área aproximada de 40 m. La dosis de polímero para acondicionamiento del lodo varía entre 1 y 7,5 g/kg de sólidos. Los rendimientos de las centrifugas son muy variables, dependiendo del tipo de lodo dosificado y de su acondicionamiento. En la tabla 26,21 se incluyen datos de rendimiento de este tipo de centrifugas.

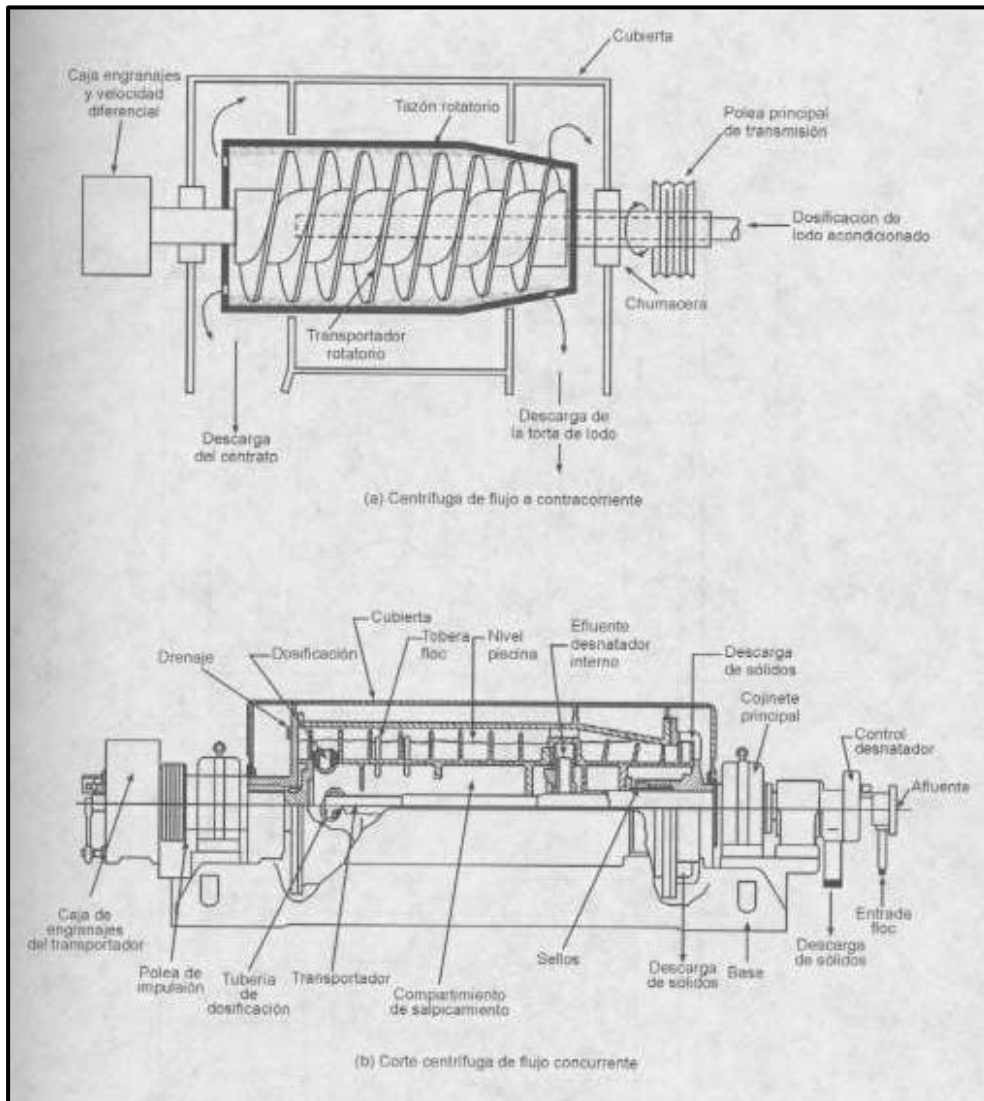
**Tabla 26.21**  
*Rendimientos típicos de centrifugas de tazón sólido*

Tipo de Lodo	% de sólidos del lodo afluente	% de sólidos de la torta	Polimero requerido g/kg de sólidos
Lodo primario crudo	5--8	28-36	0
		25-36	0,5-2,5
Lodo primario digerido anaerobiamente	9--12	30-35	0
		25-30	0,5-1,5
	2--5	28-35	3-5
Lodo activado crudo	0,5--3	8-12	5-7,5
Lodo activado digerido aerobiamente	1--3	8-10	1,5-3
Lodo primario + filtro percolador	7--10	35-40	0
		30-35	1-2
Lodo primario + lodo activado	4--5	18-25	1,5-3,5
Lodo primario + lodo activado,	2--4	15-18	3,5-5
digeridos anaerobiamente.	4--7	17-21	2-4

### **Filtros de presión de correa**

Los filtros de presión de correa ( o banda) son equipos que emplean generalmente una correa doble para desaguar continuamente lodos mediante una combinación de drenaje por gravedad y de compresión. El proceso incluye básicamente tres etapas operacionales: acondicionamiento químico del lodo, desaguado por gravedad hasta una consistencia no fluida y compactación del lodo en una zona de corte y presión. ( figura 26.28)

Un buen acondicionamiento químico es importante para un rendimiento apropiado del filtro. Los lodos floculados químicamente ingresan en la zona de drenaje por gravedad. Esta zona posee una correa porosa continua, de gran área superficial, a través de la cual ocurre el drenaje por gravedad. El filtrado de la zona por gravedad se recoge y envía al sistema de drenaje, al tiempo que el lodo espesado abandona la zona por gravedad e ingresa en la zona de compresión para desagüe adicional mediante prensado entre las 2 correas porosas. El incremento de presión se inicia en la zona de cuña y aumenta a medida que el lodo pasa hacia la zona de presión. La tensión sobre las correas desarrolla una acción de prensado sobre la torta, y a medida que disminuye el diámetro de los rodillos se incrementa la presión. Finalmente, la torta se remueve de las correas por cuchillas doctor.



**Figura 26.27** Esquema de las centrífugas de tazón sólido

El rendimiento de un filtro de correa es muy variable y difícil de predecir, pues en función del método de acondicionamiento del lodo, de la presión desarrollada, de la configuración del filtro, de la velocidad de la correa y de la tasa y tipo de aplicación del lodo. En general el filtro de correa es capaz de producir tortas con 18 a 25 % de sólidos para lodos primarios combinados con lodos secundarios. En la tabla 26.22. se incluyen rendimientos típicos de filtros prensa de correa.