

DISEÑO DE UNA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN Y SECADO DE LODOS  
INDUSTRIALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE UN HORNO  
INCINERADOR DE LA EMPRESA PROSARC S.A ESP

LUISA FERNANDA PINZÓN OSORIO  
LAURA ALEJANDRA TELLEZ MORALES

Proyecto integral de grado para optar a título de  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C

2022

*Nota de aceptación*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre: Orlando Castiblanco

Firma del director

Nombre

Firma del presidente jurado

---

Nombre

Firma del jurado

---

Nombre

Firma del jurado

**Bogotá D.C, noviembre 2021**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1. Contexto general de los lodos	13
1.2. Clasificación de los lodos	13
1.2.1 Lodos Aprovechables	13
1.2.2 Lodos No Aprovechables	13
1.2.3 Lodos Peligrosos	14
1.2.4 Lodos primarios	14
1.2.5 Lodos secundarios	14
1.2.6 Lodos terciarios	14
1.3. Composición general de los lodos	14
1.3.1 Residuales urbanos	14
1.4. Proceso de incineración en los lodos	15
1.5. Proceso de enfriamiento	16
1.6. Tecnologías de deshidratación de lodos	17
1.6.1 Filtro prensa	17
1.6.2 Filtro banda	18
1.6.3 Centrifugación	20
1.6.4 Etapas de la deshidratación con centrífugas	21
1.7. Procesos de filtración	22
1.7.1 Ultrafiltración	22
1.7.2 Nanofiltración	23
1.7.3 Microfiltración	24
1.8. Secado de lodos	25
1.8.1 Adiabáticos	26
1.8.2 No adiabáticos	27
1.9. Destino final de los lodos	27
1.9.1 Valorización de materia	28
2. METODOLOGÍA	30
2.1. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de un horno incinerador	30
2.2. Origen y diagrama de proceso de los lodos	30

2.3. Pruebas fisicoquímicas	32
2.3.1 <i>Determinación del porcentaje de humedad</i>	32
2.3.2 <i>Determinación de la densidad aparente</i>	36
2.4. Contenido de sólidos presentes	38
3. TECNOLOGÍAS PARA DESHIDRATAR Y SECAR LOS LODOS	40
4. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO PARA LA DESHIDRATACIÓN Y SECADO DE LOS LODOS	49
4.1. Era de secado	49
4.1.1 <i>Funcionamiento</i>	50
4.2. Aspectos para tener en cuenta en la selección del equipo	50
4.2.1 <i>Deshidratador de lodos con tornillos</i>	51
4.2.2 <i>Características</i>	52
4.2.3 <i>Descripción técnica del equipo</i>	52
5. DESCRIPCIÓN TECNICA COMPLETA Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO VOLUTA MYDL101	57
5.1. Balance de materia	58
5.1.1 <i>Balance global</i>	58
5.1.2 <i>Balance por componente</i>	59
5.2. Balance de energía	62
6. ANÁLISIS ECONÓMICO GASTOS OPERACIONALES ACTUALES VS IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DESHIDRATADOR PARA LA EMPRESA PROSARC S.A.	65
6.1. Estudio económico de los procesos de deshidratación	65
6.2. Estimación de costos para la implementación del tornillo deshidratador para la empresa PROSARC S.A	66
6.3. Características del equipo:	66
6.4. Estimación de costos de mantenimiento	68
6.5. Determinación de costos mantenimiento preventivo y predictivo	70
6.6. Cálculos financieros propuesta actual VS nueva propuesta	71
7. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	79

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de un proceso de enfriamiento	16
<b>Figura 2.</b> Funcionamiento filtro prensa	18
<b>Figura 3.</b> Esquema de flujo de un filtro banda	19
<b>Figura 4.</b> Representación centrífuga	21
<b>Figura 5.</b> Procesos actuales de filtración	22
<b>Figura 6.</b> Proceso de ultrafiltración	23
<b>Figura 7.</b> Proceso de nanofiltración	24
<b>Figura 8.</b> Proceso de microfiltración	25
<b>Figura 9.</b> Procedimiento de secado de lodos	26
<b>Figura 10.</b> Diagrama de flujo de obtención de lodos	31
<b>Figura 11.</b> Muestras de lodo en mufla	32
<b>Figura 12.</b> Muestras de lodo en desecador	33
<b>Figura 13.</b> Muestras de lodo secas	33
<b>Figura 14.</b> Peso picnómetro vacío	36
<b>Figura 15.</b> Peso picnómetro con agua	36
<b>Figura 16.</b> Peso picnómetro con lodo	37
<b>Figura 17.</b> Tecnologías para deshidratar lodos	40
<b>Figura 18.</b> Representación de una era de secado	49
<b>Figura 19.</b> Tornillo deshidratador	53
<b>Figura 20.</b> Proceso dentro del Tornillo deshidratador	54
<b>Figura 21.</b> Partes del Tornillo deshidratador	55
<b>Figura 22.</b> Inversión actual	72
<b>Figura 23.</b> Propuesta nueva	73

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág</b>
Tabla 1.Componentes del lodo	15
Tabla 2.Réplicas de humedad de la muestra de lodo	35
Tabla 3.Muestra de lodo con su respectivo porcentaje de sólidos totales	39
Tabla 4.Matriz de decisión	41
Tabla 5.Matriz pugh	48
Tabla 6.Relaciones de caudal, potencia y materia seca	51
Tabla 7.Descripción técnica y dimensionamiento del equipo	57
Tabla 8.Balance de materia y energía corriente F1	59
Tabla 9.Balance de materia y energía corriente F2	60
Tabla 10.Balance de materia y energía corriente F3	60
Tabla 11.Balance de materia y energía corriente F3	61
Tabla 12.Balance de materia y energía corriente F4	61
Tabla 13.Balance de materia y energía corriente F5	61
Tabla 14.Balance de materia y energía corriente F5	62
Tabla 15.Balance de materia y energía corriente F6	62
Tabla 16.Balance de materia y energía corriente F6	63
Tabla 17 Balance de energía por corriente	63
Tabla 18.Inversión para el inicio de operaciones	65
Tabla 19.Precio del tornillo deshidratador	67
Tabla 20.Valor Técnicas de mantenimiento	71



## RESUMEN

Hoy en día existe la necesidad de minimizar residuos, así como darles una correcta y segura disposición, siendo estos dos aspectos bastante relevantes a nivel mundial, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y más estables para su correcta disposición o reaprovechamiento.

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación se estudió particularmente el tratamiento de los lodos para la empresa PROSARC S.A., la cual trata residuos químicos, biológicos e industriales; con el fin de implementar una planta o equipo que permitiese la deshidratación y secado de estos lodos, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y los gastos operacionales generados actualmente por parte de un tercero, lo cual se ve reflejado en el balance general anual entregado por la empresa.

En primera instancia se realizó una revisión bibliográfica donde se abordan diferentes conceptos importantes que complementan la presente investigación e introducen al lector en el tema que se va a tratar, esta primera fase es importante ya que le permitirá comprender de manera más sencilla lo descrito más adelante.

Seguido de esto, se realizó un análisis fisicoquímico de los lodos provenientes del horno incinerador, donde se tomó cuatro réplicas para determinar el porcentaje de humedad y la densidad relativa de los lodos. Teniendo en cuenta esta información, se procedió a realizar la búsqueda y análisis de las diferentes tecnologías que se encuentran actualmente en la industria para deshidratar y secar los lodos, la cual tendría que cumplir con los parámetros establecidos por la empresa, innovación y sostenibilidad.

Con base a esto, se procede a realizar una matriz donde se analizan diferentes aspectos incluyendo descripción técnica, ventajas de funcionamiento, impacto ambiental y económico.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se analizó cada uno de los aspectos de las tecnologías de deshidratación y secado más conocidas y utilizadas actualmente en la industria con el fin de seleccionar la alternativa que más se adecue a la empresa y que cumpliera con los requerimientos establecidos; análogamente para llevar a cabo la toma de esta decisión se empleó

una matriz pugh a la cual se le definió ciertos criterios de partida para proceder a la evaluación y toma de decisión.

Una vez tomada la decisión de cuál sería el equipo más conveniente, se conduce a realizar una explicación detallada de este, en donde se tiene en cuenta especificaciones técnicas, de funcionamiento y características.

Finalmente, se presenta un análisis financiero donde se realiza un presupuesto para la posible implementación del equipo, junto con la proyección anual donde se evalúan los costos presentes y futuros, teniendo en cuenta los gastos operacionales como lo son mantenimiento y servicios generados por el equipo, con el fin de observar a largo plazo la reducción del costo actual por el tratamiento del tercero y un ahorro en una proyección a 15 años.

#### PALABRAS CLAVE:

Lodo, deshidratación, secado, agua, residuo

## INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo se ha producido una cantidad más elevada de residuos biológicos, industriales, sanitarios, etc. Como consecuencia de su actividad, debido al desarrollo de la industria y del crecimiento demográfico desmedido, esto trae consigo el incremento de producción de residuos de todo tipo y con ello una serie de problemas económicos, sociales y medioambientales.

En Colombia, el manejo de los lodos es un aspecto descuidado ya que pocas son las plantas industriales que le dan un buen manejo y disposición a estos, por este motivo se han creado alternativas bastante eficientes a la hora de realizar algún procedimiento que altere la condición normal del lodo, como por ejemplo la humedad, concentración o algunas propiedades químicas.

Es por ello que los lodos son el producto de la descomposición o incineración de varios tipos de residuos orgánicos e inorgánicos generados durante los procesos de depuración, existen varios métodos para tratar estos lodos los cuales están enfocados directamente en dos aspectos fundamentales: la reducción del volumen que puede ser obtenido mediante un proceso de espesamiento, deshidratación, secado mecánico o térmico, entre otros, y por otro lado la reducción del poder de estabilización obtenida mediante digestión aerobia o anaerobia, estabilización química o incineración.

Dicho esto, actualmente varias empresas de la industria química presentan ciertos inconvenientes con estos lodos, generalmente por la alta concentración de humedad que presentan, este factor ocasiona un aumento en los costos y una mayor contaminación a corto plazo.

Es por esto por lo que el proyecto propone el diseño de una planta de deshidratación y secado de lodos industriales provenientes del proceso de enfriamiento de un horno incinerador de la empresa PROSARC S.A ESP, con el fin de disminuir el porcentaje de humedad para reducir costos y convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una planta de deshidratación y secado de lodos industriales provenientes del proceso de enfriamiento de un horno incinerador de la empresa PROSARC S.A ESP.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar fisicoquímicamente la materia prima del proceso de entrada a la planta de secado y deshidratación de lodos industriales.
- Establecer el proceso de deshidratación y secado de lodos industriales provenientes de la etapa de enfriamiento de un horno incinerador.
- Seleccionar los equipos que se implementarán para el proceso de deshidratación y secado de lodos industriales.
- Evaluar financieramente el proyecto de inversión actual comparando el costo de operación anual con respecto a la propuesta planteada.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Contexto general de los lodos

Primero que todo se sabe que un lodo es una mezcla de agua y sólidos separados del agua residual, estos lodos provienen ya sea de procesos naturales o artificiales. Estos lodos se caracterizan por poseer un alto porcentaje de líquido (más de un 95%), además de esto su composición puede variar y depende tanto de la carga de contaminación del agua residual como del tratamiento que requiera llevarse a cabo, como los tratamientos concentran la contaminación presente en el agua, los lodos contienen una alta diversidad de componentes suspendidos o disueltos. Pueden tener materia orgánica, metales pesados, algunos macro y micronutrientes y hasta agentes patógenos [1].

Por otro lado, es importante mencionar que se busca una minimización de las cantidades generadas ya que con esto se reduciría el impacto ambiental que se está causando por las grandes cantidades de lodos. Esto se logra disminuyendo la cantidad de carga contaminante en las aguas residuales por medio de los sistemas de saneamiento existentes [1].

### 1.2. Clasificación de los lodos

En principio, los lodos pueden ser clasificados en tres categorías: aprovechables, no aprovechables y peligrosos.

#### *1.2.1 Lodos Aprovechables*

Son los lodos provenientes de un proceso de tratamiento que puede ser reutilizado directa o indirectamente en reciclaje, compostaje y generación de energía.

La mayoría de los lodos provenientes de los procesos de tratamiento aerobios y anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una vez estabilizados, pueden ser utilizados como abono, acondicionadores y restauradores de suelos [2].

#### *1.2.2 Lodos No Aprovechables*

Son lodos que no tienen características aceptables para algún aprovechamiento, por ejemplo, tienen muy poca o nula carga orgánica o poder calorífico muy bajo, estos pueden ser desechados junto con los residuos sólidos de origen doméstico en rellenos municipales o mono rellenos. En esta categoría se encuentran los retenidos por rejillas gruesas y finas de las plantas de tratamiento [2].

### ***1.2.3 Lodos Peligrosos***

Son aquellos que contienen sustancias que pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente que deben ser dispuestos en sitios especiales con las medidas adecuadas de seguridad [3].

### ***1.2.4 Lodos primarios***

Son comúnmente producidos durante el proceso de decantación primaria por medio del proceso de separación por gravedad de los sólidos en suspensión de las aguas residuales Este tipo de lodo contiene gran cantidad de carga orgánica, vegetal, fruta, papel, etc y tiene un porcentaje de humedad entre el 93 y 97% [3].

### ***1.2.5 Lodos secundarios***

Se producen a partir de procesos que son realizados en las estaciones de depuración de las aguas residuales los cuales son separados mediante la decantación secundaria, están compuestos por bacterias, microorganismos, proteínas, etc, los cuales confieren las características propias de estos lodos. Tienen un porcentaje de humedad entre 98 y 99% [3].

### ***1.2.6 Lodos terciarios***

Cuando a la línea de aguas residuales son aplicados procesos fisicoquímicos, se producen este tipo de lodos terciarios por la adición de sustancias como sales de aluminio o hierro y cal, los cuales son añadidos con el fin de mejorar el rendimiento en la reducción de concentraciones de materia orgánica en suspensión presente en el agua [3].

## **1.3. Composición general de los lodos**

### ***1.3.1 Residuales urbanos***

Los lodos de depuradora se componen de muchos elementos químicos, cuyos rangos varían según el tipo de lodo. Estos elementos químicos son importantes al considerar los usos finales de los lodos tratados. La siguiente tabla muestra los rangos de valores y los valores típicos de los elementos químicos que componen el lodo crudo [4]:

**Tabla 1.**

*Componentes del lodo*

<b>Compuesto</b>	<b>Composición %</b>
Carbono	50-70%
Hidrógeno	6,5-7,3 %
Oxígeno	21-24 %
Nitrógeno	15-18%
Fosforo	1-1,5%
Sulfuro	0-2,4%

**Nota.** Estos son algunos de los componentes principales del lodo junto a su respectiva composición en porcentaje. Tomado de <https://www.lenntech.es/lodos-componentes.htm>

Los oligoelementos en el lodo son aquellos elementos químicos que son vitales para las plantas y los animales en cantidades muy pequeñas. Algunos ejemplos de oligoelementos son nitrógeno, fósforo y potasio, ya que la concentración de estos elementos es importante para saber si un lodo es un buen fertilizante agrícola o no [4].

Es importante tener en cuenta que una alta concentración de cualquiera de estos oligoelementos en el lodo puede ser nocivo y puede convertir el lodo en un material tóxico, imposibilitando su aplicación en suelos (tanto agrícolas como de otros usos). Los elementos químicos que pueden provocar esto son los metales pesados [4].

#### **1.4. Proceso de incineración en los lodos**

La incineración de los lodos es el proceso de estabilización de sólidos más completo, ya que durante este proceso se oxida completamente la materia orgánica, cualquier tipo de olor es eliminado y los agentes patógenos son destruidos. Este proceso es llevado a cabo a temperaturas por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno con el fin de conseguir la degradación de los compuestos orgánicos [5].

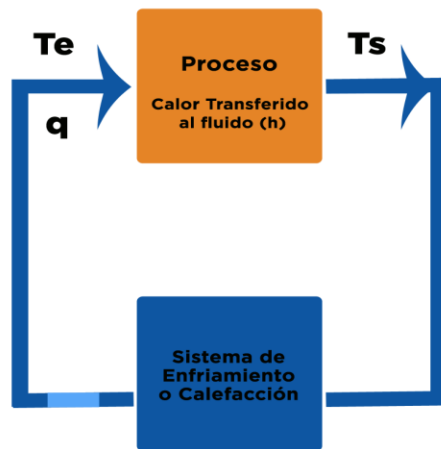
Es importante tener en cuenta la composición del lodo durante este proceso no sólo por su valor calorífico sino también por la presencia de metales pesados y materia orgánica tóxica, ya que estos contaminantes pueden ser emitidos durante la salida de los gases de combustión y esto puede ocasionar problemas de calidad en el aire [5].

## 1.5. Proceso de enfriamiento

Este proceso básicamente requiere de una transferencia de calor donde mediante algún mecanismo la idea es disipar el calor absorbido durante el proceso ya sea hacia el medio ambiente u otro fluido como por ejemplo el aire [6].

**Figura 1.**

*Diagrama de un proceso de enfriamiento*



*Nota.* Sistema de enfriamiento o calefacción generado. Tomado de F. comercial., "Sistemas de Enfriamiento Para Procesos Industriales", *Blog.froztec.com*, 2021. [Online]. Available: <https://blog.froztec.com/sistemas-de-enfriamiento-para-procesos-industriales-es>. [Accessed: 09- Nov- 2021]

Es importante tener en cuenta algunos factores para elegir correctamente un sistema de enfriamiento, como lo son [6]:

- La temperatura a la salida del sistema
- Condiciones ambientales básicas
- Consumo energético eficiente
- Una buena disponibilidad de suministro eléctrico



- Espacio disponible
- Sistema de regulación medioambiental

## **1.6. Tecnologías de deshidratación de lodos**

Existen varias tecnologías de deshidratación de lodos las cuales dependen tanto del terreno disponible como de los costos relacionados a su principal fin, en este caso la deshidratación de lodos provenientes de un proceso de enfriamiento de un horno incinerador de residuos peligrosos.

Para ello se presentan las siguientes tecnologías de deshidratación:

### ***1.6.1 Filtro prensa***

Metcalf & Eddy, (2003, 4ta Edición). Indican que la deshidratación mediante el filtro prensa, es lograda, sometiendo al lodo a altas presiones. Teniendo como ventajas, el obtener una torta con altas concentraciones de sólidos, buena claridad del filtrado y la capacidad de tratar sólidos difíciles de deshidratar. Como desventaja se puede citar, que incluye mecanismos relativamente complejos [7].

Su funcionamiento se basa en bombear los lodos a través de una bandeja suspendida de una varilla metálica horizontal y cubierta por ambos lados por una tela filtrante (la bandeja se utiliza, aunque la finalidad sea la limpieza). La prensa se alimenta desde un extremo fijo y pasa a través del dispositivo. A medida que la placa se cierra y se forman lodos entre las cámaras, la presión disminuye gradualmente. El agua pasa a través de la tela del filtro, pero los sólidos se retienen para formar una pasta en la superficie de la placa del filtro. La masa del plato se recoge en un recipiente [7].

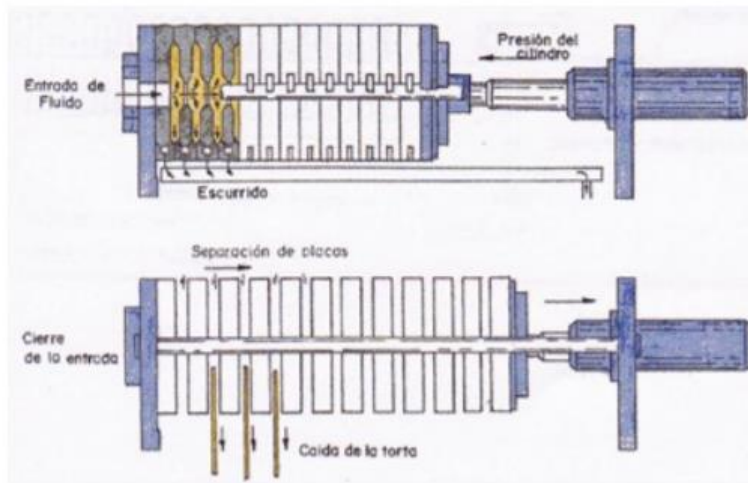
La superficie del filtro prensa es de hasta 400m<sup>2</sup> y la superficie de la bandeja es de 2 m<sup>2</sup>. Estos filtros suelen constar de 100 o más placas. El proceso de filtrado varía en aproximadamente 25 horas, dependiendo de la duración de las diversas fases que se enumeran a continuación [7].

1. Llenado
2. Filtrado
3. Descarga
4. Limpieza

Con este proceso de tratamiento de lodos se consigue una estanqueidad del 35-45%, según las características del lodo a tratar. Se necesita personal especializado y cualificado para su mantenimiento y explotación [7].

### **Figura 2.**

#### *Funcionamiento filtro prensa*



**Nota.** Equipo de filtro prensa utilizado para la deshidratación de lodos. Tomado de "Filtro de prensa para el tratamiento de lodos", *Lenntech.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>. [Accessed: 09- Nov- 2021].

### **1.6.2 Filtro banda**

Los filtros de banda son adecuados para plantas de tratamiento de lodos medianos. Este sistema se instala típicamente al final de una línea de tratamiento de lodos y consta de un marco con dos paneles laterales resistentes bien conectados, un tanque de almacenamiento y escape para agua filtrada y dos fundentes con lodo conjugado. Una serie de rodillos que realizan las funciones de deshidratación, drenaje, compresión de lodos, tensión de correas, centrado, alimentación de correas, sistemas de limpieza mediante boquillas en cada correa y variaciones del motor [8].

La serie de rodillos consta de un rodillo de gran diámetro para drenaje, un rodillo de baja presión y seis rodillos de alta presión, dos de los cuales son rodillos de retorno, dos rodillos tensores, dos

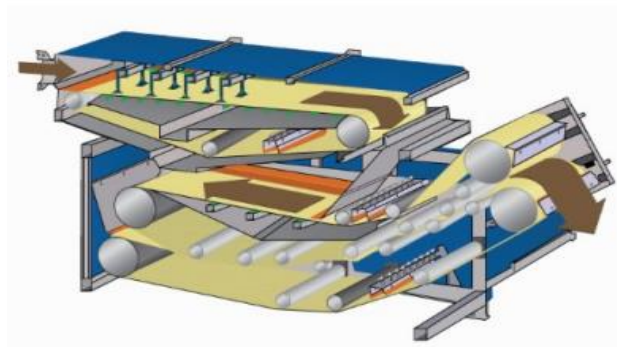
rodillos de centrado de banda y tres rodillos de transporte. Uno es un rodillo que entra al área de actividad, la lechada ingresa a la tolva del filtro del transportador a través del tubo de descarga y se distribuye a la banda inferior a través del deflector. Luego, se encontrará con la web de arriba y pasará por el desplazamiento de entrada hasta el área comprimida. La lechada está en contacto con el rodillo de drenaje y el gran diámetro del rodillo de drenaje permite la primera compresión ligera [8].

Como resultado, la suspensión está expuesta a una compresión creciente hasta que alcanza la región de alta presión. Una vez eliminado el lodo, se limpian las dos bandas para eliminar el residuo. Un convertidor motorizado transmite el movimiento a los dos rodillos de retorno permitiendo ajustar la velocidad del transportador según el tipo de lodo a manipular. La característica principal de este tipo de máquina es la compacidad y estructura completamente cerrada, lo que garantiza la higiene del lugar de instalación, evitando salpicaduras [8].

El modelo estándar incluye un marco de acero al carbono galvanizado en caliente y todas las partes que entran en contacto con el agua, bandeja y todos los rodillos de acero inoxidable; Además, la transmisión por correa y los rodillos de centrado están cubiertos con una capa de goma para garantizar la fricción necesaria para la transmisión y el control [8].

### **Figura 3.**

*Esquema de flujo de un filtro banda*



**Nota.** Funcionamiento interno de un filtro de banda.

Tomado de F. Banda, "Filtro Banda - Tratamiento de Aguas", *Tratamiento de Aguas*, 2021. [Online]. Available: <https://tratamientodeaguas.com.co/servicio/filtro-banda/>.

[Accessed: 09- Nov- 2021].

La deshidratación con filtros de banda consta de las siguientes fases [9]:

- **Floculación:** la mayor parte del lodo residual requiere la adición de polielectrolitos orgánicos para obtener la floculación y una primera y rápida separación de la mezcla.
- **Pre-Deshidratación:** la primera fase de separación se realiza en la zona de deshidratación, donde gran parte del filtrado escurre por gravedad a través de la cinta.
- **Filtración:** se realiza en la zona de paso de la banda entre tambores perforados y rodillos de diámetro decreciente a lo largo de una pista en forma de “S”.
- **Compactación y drenaje:** se obtiene cuando las dos bandas y la torta pasan en la zona de alta presión donde la presión y el esfuerzo cortante que se transmite alcanza su valor máximo.
- **Descarga:** para la descarga de los sólidos deshidratados se consigue separando las dos bandas y colocando en cada una de ellas una cuchilla longitudinal que impide que ningún trozo quede sin descargarse.
- **Limpeza:** para evitar el ensuciamiento de la banda asociada a una reducción gradual de sus prestaciones, se realiza un lavado continuo y a presión de todo su ancho.

### ***1.6.3 Centrifugación***

La centrifugación es un proceso de separación que utiliza la acción de la fuerza centrífuga para acelerar la aceleración de partículas en una mezcla sólido-líquido. Durante la centrifugación, se forman dos fases diferentes en el recipiente [10].

El método de separación es similar a la separación por gravedad. La fuerza motriz es mayor al ser resultado de la rotación del líquido: en el caso de la sedimentación, donde la fuerza motriz es el resultado entre las diferencias en densidad de las partículas sólidas y líquidas, la separación se logra con una fuerza del orden de 1000 a 20000 veces mayor que la gravedad [11].

El sedimento generalmente no tiene una estructura uniforme y el centrifugado o el concentrado es el líquido flotante.

Las centrífugas constan de un tornillo con forma de hélice que gira alrededor de su eje encerrado en una cubeta de forma cilíndrico-cónica que gira a menor velocidad. El fango se introduce por el eje y, debido a la fuerza centrífuga, la parte sólida se recoge de las paredes de la cubeta de forma separada al agua. El fango acumulado es arrastrado hacia el fondo cónico gracias al giro del

tornillo, consiguiendo una compactación adicional. Seguidamente, los sólidos son extraídos de la centrífuga [11].

**Figura 4.**

*Representación centrífuga*



*Nota.* Representación de un equipo de centrífuga industrial. Tomado de D. Productos, E. Industriales, E. Lavar and S. Industrial, "Secador centrífugo Máquina/Secador Industrial la máquina lavadora / secadora Hydro", *Made-in-China.com*, 2021. [Online]. Available: [https://es.made-in-china.com/co\\_jstongyang/product\\_Centrifugal-Dryer-Machine-Industrial-Dryer-Machine-Laundry-Hydro-Dryer\\_enhyoreyg.html](https://es.made-in-china.com/co_jstongyang/product_Centrifugal-Dryer-Machine-Industrial-Dryer-Machine-Laundry-Hydro-Dryer_enhyoreyg.html). [Accessed: 10- Nov- 2021].

**1.6.4 Etapas de la deshidratación con centrífugas**

Estas son algunas etapas necesarias para la deshidratación con centrífuga [11]:

- El fango acondicionado se introduce en el equipo.
- Un distribuidor giratorio reparte el fango hacia la periferia y lo impulsa en el espacio anular entre la cubeta y el tornillo.
- Por el efecto de la fuerza centrífuga, las partículas pesadas decantan y se depositan contra la pared interior de la cubeta.

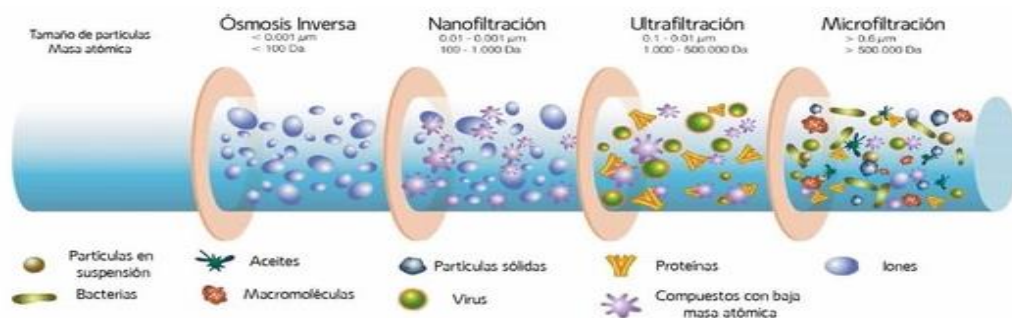
- El tornillo transportador raspa las partículas y las envía en continuo hacia la parte cónica.
- Valoración de los procesos de deshidratación de lodos de depuradora
- Los sedimentos compactados en el cono son evacuados por un extremo y recogidos en una tolva de descarga.
- La alimentación continua empuja el líquido que se evacua hacia la zona de recogida de efluentes mediante colectores regulables.

## 1.7. Procesos de filtración

La filtración se conoce como una técnica para separar sólidos suspendidos en un líquido (líquido o gas) utilizando un medio de filtrado hecho de un material poroso llamado tamiz, este filtro atrapa sólidos más grandes y permite el paso de partículas pequeñas y líquidos, a continuación, se muestra en la figura 5 los procesos de filtración más utilizados actualmente [12].

**Figura 5.**

*Procesos actuales de filtración*



**Nota.** Se muestran los distintos procesos de filtración con el tipo y tamaño de partícula correspondiente permitido. Tomado de 2021. [Online]. Available:

<https://www.bluegold.es/comparativa-de-membranas-para-el-tratamiento-de-aguas/>.

[Accessed: 10- Nov- 2021].

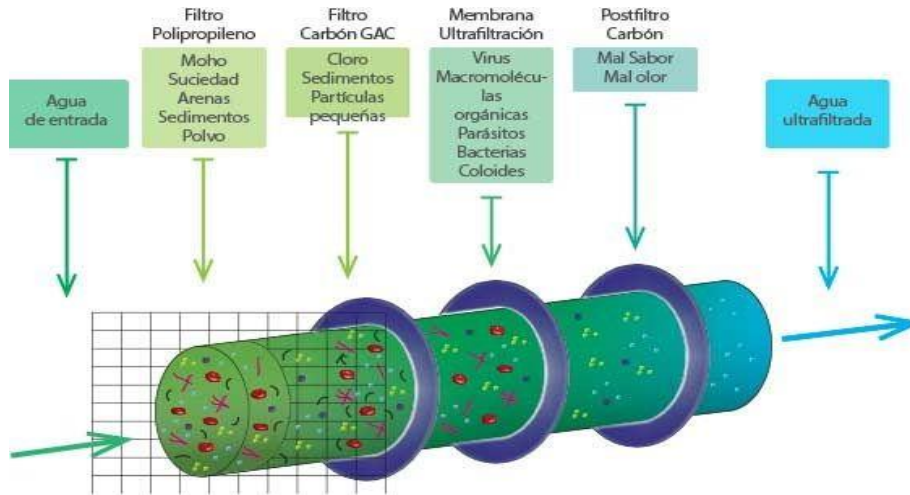
### 1.7.1 Ultrafiltración

Es un proceso de separación por membranas porosas que tienen un tamaño de poro entre 0,04 y 0,1  $\mu\text{m}$ , que permite la separación mecánica de sólidos disueltos o suspendidos por medio de un tamiz, además de esto tiene una diferencia de presión requerida bastante baja, esta tecnología es

aplicada a la eliminación de sustancias orgánicas en el tratamiento de aguas o para tratamiento de lodos si cumple con el tamaño del poro para su implementación [13].

**Figura 6.**

*Proceso de ultrafiltración*



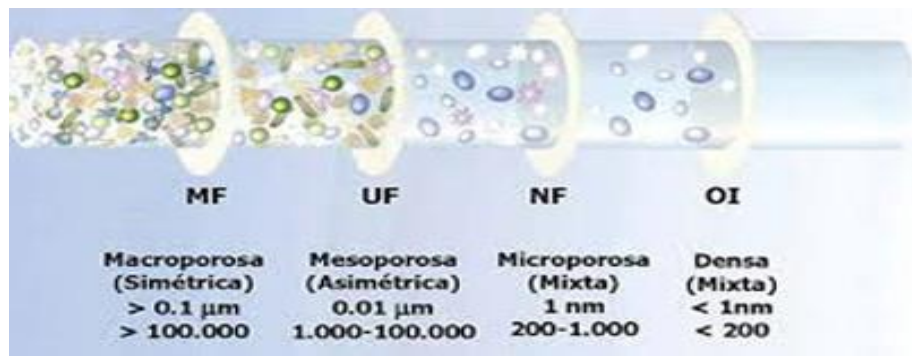
**Nota.** Funcionamiento interno de una membrana de ultrafiltración con sus respectivas especificaciones. Tomado de 2021. [Online]. Available: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/ultrafiltracion-definicion-caracteristicas-ventajas-desventajas/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].

### **1.7.2 Nanofiltración**

Es el proceso mediante el cual se hace pasar un fluido a través de una membrana semipermeable a una determinada presión de forma que se produce una separación basada en el tamaño de las moléculas que pueden atravesar dicha membrana entre 0.001 y 0.01 mm. En este proceso se obtienen dos corrientes del fluido a la entrada, el permeado y el concentrado. El permeado, es el fluido que ha pasado a través de la membrana y al cual se le han retirado los componentes cuyo peso molecular es mayor que el tamaño de poro de la membrana, y el concentrado, corresponde al fluido que no ha atravesado la membrana y que concentra los componentes de la corriente principal.

**Figura 7.**

*Proceso de nanofiltración*



*Nota.* Membrana de nanofiltración con sus tamaños de partícula permitidos.

Tomado de 2021. [Online]. Available:

<https://blog.fibrasnormasdecolombia.com/nanofiltracion-definicion-caracteristicas-ventajas-desventajas/>. [Accessed: 09- Nov- 2021]

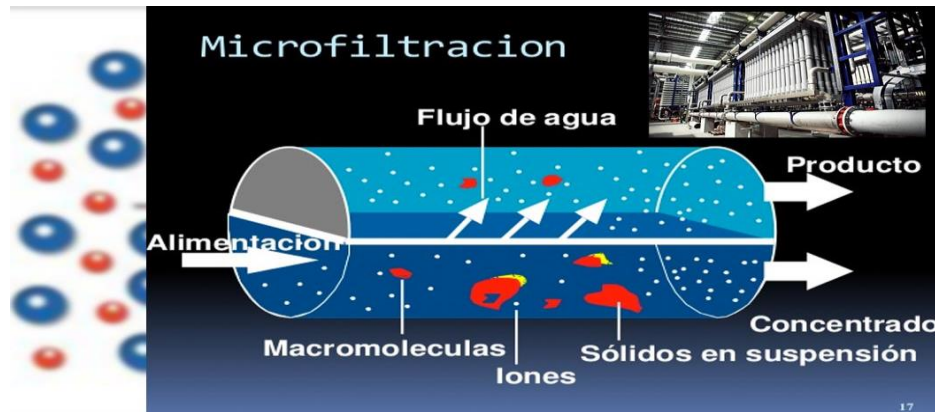
### ***1.7.3 Microfiltración***

Se trata de un proceso de filtración por medio de una membrana micro porosa que elimina los contaminantes de un fluido. El tamaño de poro de la membrana oscila desde 0.1 hasta 1  $\mu\text{m}$ . La microfiltración consigue la eliminación absoluta de contaminantes de una corriente de alimentación por un proceso de separación basado en la retención de contaminantes sobre una superficie de membrana [14].



**Figura 8.**

*Proceso de microfiltración*



*Nota.* Funcionamiento de una membrana de microfiltración. Tomado de "Microfiltración (MF)", *Sistemajpii.blogspot.com*, 2021. [Online]. Available: <https://sistemajpii.blogspot.com/2017/11/microfiltracion-mf.html>. [Accessed: 10- Nov- 2021].

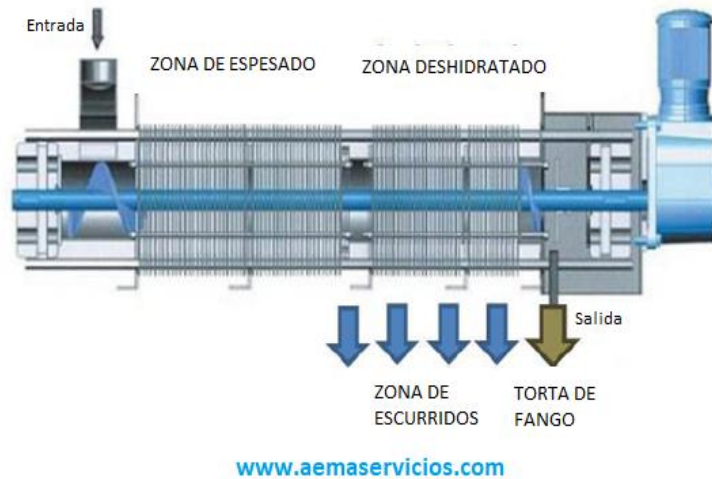
### **1.8. Secado de lodos**

La eliminación de lodos posee una etapa básica y fundamental, existe una gran variedad de materiales que secan y muchos tipos de equipos utilizados para este proceso, las variaciones posibles en forma y tamaño de los materiales, de la humedad de equilibrio, de los mecanismos del flujo de humedad a través del sólido, así como en el mecanismo de transmisión de calor que se requiere para la vaporización, impiden que se pueda hacer un tratamiento unificado [15].

La gran mayoría de los secadores industriales operan con partículas de sólidos ya sea durante toda o una sola parte del ciclo de secado, por ello existen dos tipos adiabáticos y no adiabáticos [15]:

## Figura 9.

### Procedimiento de secado de lodos



*Nota.* Paso a paso del funcionamiento de un equipo de secado de lodos. Tomado de "Grupo Aema", *GRUPO AEMA*, 2021. [Online]. Available: <https://www.aemaservicios.com/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].

### 1.8.1 Adiabáticos

En el cual los sólidos están expuestos al gas mediante diferentes formas [16]:

«El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina del sólido, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. Este proceso se llama secado con circulación superficial.»

«El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre una rejilla. Recibe el nombre de secado con circulación a través. Como en el caso del secado con circulación superficial, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas.»

«Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas.»

«El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho, inevitablemente se produce arrastre de las partículas más finas.»

«Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y neumáticamente transportados desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico.»

### ***1.8.2 No adiabáticos***

En este medio el único gas a separar es el agua o disolvente que se vaporiza, los secadores no adiabáticos difieren de los adiabáticos en la forma en la que los sólidos son expuestos a la superficie caliente u otra fuente de calor, puede ser algunas de las siguientes [16]:

«Los sólidos se esparcen sobre una superficie horizontal estacionaria o que se desplaza lentamente y se “cuecen” hasta que se secan. La superficie puede calentarse eléctricamente o mediante un fluido de transmisión de calor tal como vapor de agua o agua caliente. Alternativamente, el calor puede aplicarse por medio de un calentador radiante situado encima del sólido.»

«Los sólidos se mueven sobre una superficie caliente, generalmente cilíndrica, por medio de un agitador o un transportador de tornillo o de palas.»

«Los sólidos se deslizan por gravedad sobre una superficie inclinada caliente o bien son transportados en sentido ascendente por la superficie y deslizándose posteriormente hasta una nueva localización.»

### **1.9. Destino final de los lodos**

Tradicionalmente, el destino de los lodos era ser enviados a un vertedero en el que eran almacenados. En los últimos años, esta tendencia está cambiando, buscando la reducción del volumen de los lodos y su posterior reutilización [17].

Los principales destinos de los lodos de depuradora son:

### ***1.9.1 Valorización de materia***

- **Uso agrícola:**

Los fertilizantes orgánicos son productos debidamente compostados y estabilizados que, aplicados al suelo, activan principalmente procesos microbianos, al mismo tiempo que promueven su estructura, aireación, retención de humedad, aumentando el pH y aportando pequeñas cantidades de nutrientes. Incluye subproductos animales, fertilizantes, residuos vegetales y vermicompost. Los fertilizantes orgánicos tienen un alto contenido de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros nutrientes para las plantas, como potasio, calcio y magnesio. Mejorar propiedades físicas, infiltración de agua, estructura del suelo y conductividad hidráulica; reducen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven una mejor condición fitosanitaria de las plantas [18].

- **Incineración:**

Consiste esencialmente en dos procesos: evaporación del agua y combustión de la sustancia seca con una cierta adición de combustible, en el caso de que el contenido de calor de la sustancia seca no proporcione el calor necesario para la evaporación, es decir, digamos que la combustión es la destrucción completa de materiales a través del calor hasta sus componentes inertes. Cabe destacar que, con este proceso, dependiendo del modo de operación, se produce ceniza que requiere una eliminación final [17].

- **Fijación química:**

Consiste en el mezclado de lodo deshidratado, con agentes estabilizadores tales como el cemento, silicato de sodio, materiales puzolánicos (silicatos finos) y cal, para que reaccione químicamente con el lodo y lo bloquee. El proceso puede generar un producto de elevado pH, que inactiva las bacterias patógenas y virus [17].

- **Relleno:**

Existen dos opciones de disposición de los lodos generados en plantas de tratamiento: relleno sanitario y mono relleno. Para ello, existen una serie de parámetros a considerar en

su implementación de tal forma que garanticen tanto el adecuado funcionamiento como la salud pública de la población y el ambiente [18].

- **Reverdecimiento de las tierras estériles:**

La industria causa graves daños ambientales, más comúnmente la escoria de las minas a través de desechos metálicos o la descarga de desechos domésticos. Por ello, se ha intentado cubrirlas con humus para que puedan sembrar hierbas y otras plantas en él. Dependiendo de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas del suelo y el lodo, este último puede ser útil en la recuperación ecológica de ecosistemas como la alta montaña [18].

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de un horno incinerador**

Para diseñar la propuesta de planta para el secado y deshidratación de los lodos es necesario caracterizar el tipo de lodo que se va a tratar, es decir, analizar su clasificación, procedencia, grado de corrosión, entre otras características.

Es por esta razón que se ha creído conveniente direccionar el primer capítulo de este proyecto hacia el análisis de las variables físicas y químicas de los lodos provenientes de la empresa PROSARC S.A con el fin de establecer el porcentaje de humedad actual, densidad aparente y volumen en base a la muestra recogida del horno incinerador, se procede a realizar un análisis experimental ejecutado en las instalaciones de la Fundación Universidad de América.

Para llevar a cabo el desarrollo de este capítulo se contextualiza al lector con el tipo de lodo que se va a tratar en este trabajo de investigación.

A continuación, se prosigue con el análisis fisicoquímico realizado a una muestra de lodo para que posterior a esto se de inicio con la búsqueda de sistemas / equipos alternos adecuados para la deshidratación y secado del lodo para el diseño posterior del mismo.

### **2.2. Origen y diagrama de proceso de los lodos**

Inicialmente llegan a la planta varios tipos de residuos peligrosos tales como hospitalarios, cosméticos, farmacéuticos, químicos, del sector petrolero, textil, entre otros. La termo destrucción se realiza inmediatamente cuando el residuo entra en proceso a diferencia de otros métodos que requieren de un tiempo para la degradación de este [19].

El proceso que ocurre para la generación de lodos es el siguiente:

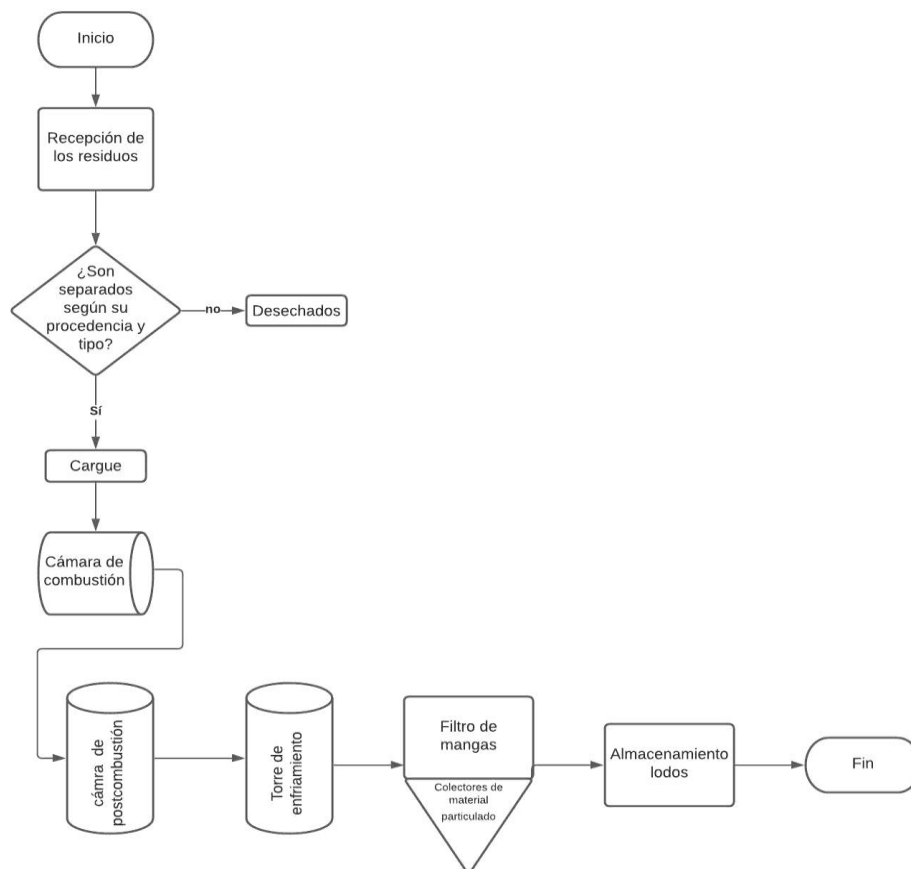
El material cargado es quemado dentro de la cámara de combustión y por acción de la gravedad y la rotación del horno, las cenizas caen hasta el extremo opuesto a donde ingresaron, este lugar es conocido como cenicero, que es la zona donde caen las cenizas de los materiales cargados generadas por el proceso de combustión [19].

Los gases generados en la etapa anterior pasan mediante extracción desde el horno rotatorio hacia la cámara de postcombustión, donde se aumenta la temperatura gracias a unos quemadores de inyección de aire, logrando la desintegración y oxidación de la corriente gaseosa [19].

Inmediatamente, la corriente gaseosa continúa su flujo mediante un sistema de ductos, los cuales son recubiertos en material refractario, estos gases luego ingresan al sistema de enfriamiento, el cual se encarga del descenso de la temperatura de la corriente gaseosa permitiendo disminuir la temperatura de los gases para que estos puedan ser filtrados mediante un filtro de mangas, el cual cuenta con unas mangas filtrantes que permiten la retención de material particulado, finalmente se obtienen los llamados lodos. Este proceso se puede evidenciar mediante el siguiente diagrama [19]:

**Figura 10.**

*Diagrama de flujo de obtención de lodos*



**Nota.** Paso a paso del proceso de obtención de lodos en la planta PROSARC S.A

## 2.3. Pruebas fisicoquímicas

### 2.3.1 Determinación del porcentaje de humedad

La humedad es definida como la cantidad de agua, vapor o cualquier otro líquido que posee un cuerpo, la determinación de humedad de un lodo se lleva a cabo mediante la evaporación del agua contenida en una muestra representativa, el procedimiento utilizado es el método termogravimétrico, en dónde básicamente se calienta la muestra representativa y se va registrando la pérdida de peso de cada una de estas muestras la cual se pierde por la evaporación de la humedad [20].

Lo primero que se hace es introducir unas cápsulas vacías a calentar en una estufa a 120°C durante dos horas aproximadamente, transcurrido ese tiempo se vierte la muestra hasta un 50% del volumen de la cápsula, se pesa en una balanza analítica y estas muestras son llevadas nuevamente a una estufa a 120°C durante 24 horas, finalmente son llevadas a enfriar a un desecador durante 2 horas con el fin de mantener limpio y deshidratado el lodo, y posteriormente son pesadas nuevamente [21].

**Figura 11.**

*Muestras de lodo en mufla*

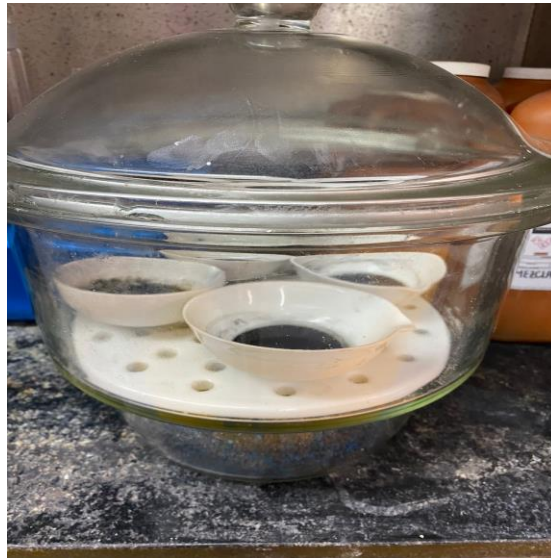


**Nota.** En la imagen se evidencian las muestras de lodo en estufa de calentamiento a 120°.



**Figura 12.**

*Muestras de lodo en desecador*



*Nota.* Muestras de lodo en desecador por un tiempo de 2 horas.

**Figura 13.**

*Muestras de lodo secas*



*Nota.* Muestras de lodo totalmente secas después de todo el proceso requerido.

Para obtener los resultados es necesario realizar los siguientes cálculos:

### **Ecuación 1.**

*Porcentaje de humedad*

$$\%H = \frac{W1 - W2}{W} * 100\%$$

*Nota.* Ecuación mediante la cual se puede hallar el porcentaje de humedad. Tomado de *Catarina.udlap.mx*, 2021. [Online]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/maldonado\\_g\\_m\\_a/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/maldonado_g_m_a/capitulo4.pdf). [Accessed: 10-Nov- 2021].

donde:

H= humedad, %

W1= Peso de la muestra húmeda en g

W2= Peso de la muestra seca en g

Reemplazando en las ecuaciones 2,3,4 y5 se obtiene:

### **Ecuación 2.**

*Porcentaje de humedad muestra 1*

$$\%H1 = \frac{23,54g - 1,52g}{23,54} * 100\% = 93,54\%$$

**Ecuación 3.**

*Porcentaje de humedad muestra 2*

$$\%H2 = \frac{21,82g - 1,51g}{21,82g} * 100\% = 93,08\%$$

**Ecuación 4.**

*Porcentaje de humedad muestra 3*

$$\%H3 = \frac{20,76g - 1,51g}{20,76g} * 100\% = 92,73\%$$

**Ecuación 5.**

*Porcentaje de humedad muestra 4*

$$\%H4 = \frac{22,07g - 2,18g}{22,07g} * 100\% = 94,39\%$$

**Tabla 2.**

*Réplicas de humedad de la muestra de lodo*

<b>Muestra</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Réplica 4</b>
1	93,54%	93,39%	93,51%	93,46%
2	93,08%	93,14%	93,06%	93,18%
3	92,73%	92,47%	92,63%	92,68%
4	94,39%	94,28%	94,07%	94,35%

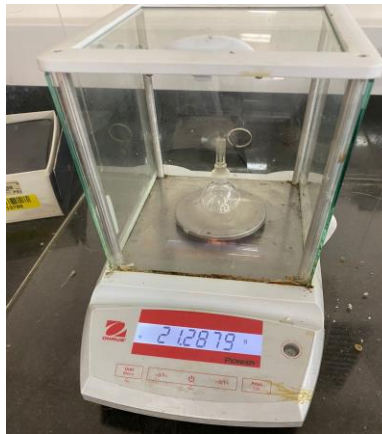
*Nota.* Se tomó 4 réplicas de las cuales se obtuvo los resultados anteriores de humedades.

### 2.3.2 Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente de un cuerpo es la relación entre el volumen aparente incluido el aire de su interior y la masa del producto, para su determinación se requiere de mucha precisión, primero se debe pesar el picnómetro vacío, luego el picnómetro con agua y posterior a esto el picnómetro con lodo, de tal modo que se obtuvo los siguientes valores [22]:

**Figura 14.**

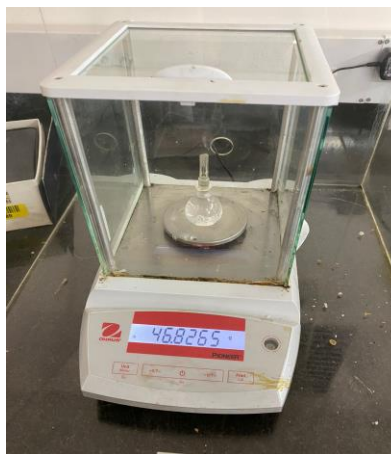
*Peso picnómetro vacío*



*Nota.* Su peso vacío fue de 21,29g

**Figura 15.**

*Peso picnómetro con agua*



*Nota.* Su peso vacío fue de 46,83g

**Figura 16.**

*Peso picnómetro con lodo*



**Nota.** Su peso con lodo fue de 47,83g

Mediante las siguientes ecuaciones se efectuaron los cálculos correspondientes:

**Ecuación 6.**

*Volumen del picnómetro*

$$V_{\text{picnómetro}} = \frac{\text{masa}_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

**Nota.** Ecuación para hallar primero el volumen del picnómetro. Tomado de *M.riunet.upv.es*, 2021. [Online]. Available: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144736/Talens%20-%20Determinaci%C3%B3n%20experimental%20de%20densidad%20y%20porosidad%20en%20alimentos%20s%C3%B3lidos%20y%20l%C3%ADquidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20densidad%20aparente%20es%20el,aire%20ocluido%20en%20su%20interior.&text=Dado%20que%20los%20alimentos%20l%C3%ADquidos,al%20valor%20de%20densidad%20aparente.> [Accessed: 09-Nov- 2021].

Reemplazando se obtiene:

$$V_{\text{picnómetro}} = \frac{46,83g - 21,29g}{0,998 \text{ g/cm}^3} = 25,59 \text{ cm}^3$$

#### **Ecuación 7.**

*Densidad del lodo*

$$\rho_{\text{lodo}} = \frac{\text{masa}_{\text{lodo}}}{V_{\text{picnómetro}}}$$

**Nota.** Ecuación para hallar la densidad del lodo. Tomado de *M.riunet.upv.es*, 2021. [Online]. Available: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144736/Talens%20-%20Determinaci%C3%B3n%20experimental%20de%20densidad%20y%20porosidad%20en%20alimentos%20s%C3%B3lidos%20y%20l%C3%ADquidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20densidad%20aparente%20es%20el,aire%20ocluido%20en%20su%20interior.&text=Dado%20que%20los%20alimentos%20l%C3%ADquidos,al%20valor%20de%20densidad%20aparente.> [Accessed: 09-Nov- 2021].

Reemplazando se obtiene:

$$\rho_{\text{lodo}} = \frac{47,82g - 21,29g}{25,59\text{cm}^3} = 1,04 \text{ g/cm}^3$$

#### **2.4. Contenido de sólidos presentes**

Las características de los sólidos varían dependiendo de su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de su fuente original. De acuerdo con los métodos analíticos, los Sólidos Totales (ST) son el equivalente a la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura de 103- 105 °C, contiene los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos disueltos (SD) [22].

Los SST son la cantidad de sólidos retenidos en un filtro con una porosidad de 0.5 micrómetros (µm), en su mayoría son de origen orgánico y son sedimentables (SSed) o coloidales (SC). Adicionalmente, dentro de los Sólidos Suspendidos (SS) se encuentran los Sólidos Suspendidos

Volátiles (SSV), los cuales son un indicativo de la cantidad de materia orgánica incluyendo los microorganismos, se obtienen por la pérdida de peso que sufren los sólidos Totales, disueltos o Suspendidos después de someterlos a calcinación a 550 °C [22].

Los SSed son la proporción de sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso son suficientes para que sedimenten dentro de un periodo de tiempo determinado, y los Sólidos Disueltos (SD) son la porción que pasa a través del filtro (APHA et al., 2005). Existen también los Sólidos Fijos, que quedan presentes después de ser sometidos a calcinación a 550 °C, son indicativo de la presencia de sólidos inorgánicos en la muestra [22].

**Tabla 3.**

*Muestra de lodo con su respectivo porcentaje de sólidos totales*

<b>Muestra</b>	<b>% De sólidos totales</b>
Fango PROSARC S. A	45 - 60 %

**Nota.** Porcentaje de sólidos presentes del lodo residual. Dato proporcionado por la empresa. Tomado de "Nuevo inicio - Prosarc", *Prosarc*, 2021. [Online]. Available: <https://prosarc.com/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].

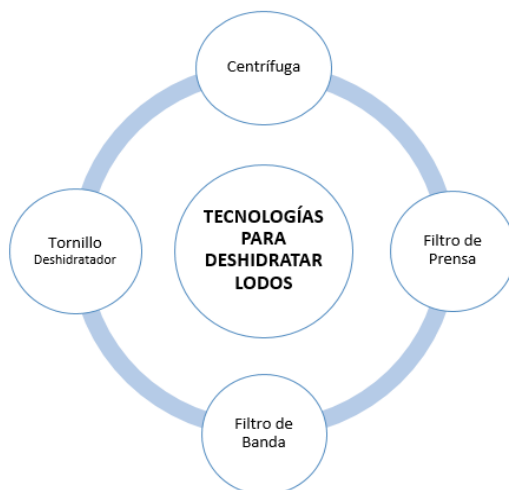
### 3. TECNOLOGÍAS PARA DESHIDRATAR Y SECAR LOS LODOS

Teniendo en cuenta que el proceso de deshidratación se trata de una operación física (natural o mecánica) empleada para reducir el contenido de humedad del lodo y su volumen. Este tipo de proceso se realiza con el fin de aumentar el contenido de materia seca del lodo de un 3-40%, disminuir los costes de transporte por reducción de volumen, evitar olores y mejorar el manejo y transporte de los lodos.

Los sistemas más extendidos son los mecánicos por delante de los naturales. Desde el punto de vista económico las tecnologías de deshidratación prevalecen en orden descendente donde entre las más usadas en la industria se encuentran las centrífugas, filtros de banda, filtros de prensa y nuevas tecnologías como es el caso del filtro de prensa.

**Figura 17.**

*Tecnologías para deshidratar lodos*




**Nota.** Estas son algunas de las tecnologías utilizadas actualmente para deshidratar lodos

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se plantea una matriz con el objetivo de analizar los aspectos técnicos, económicos y ambientales de las tecnologías que se usan actualmente en la industria con el fin de seleccionar el equipo más eficiente para deshidratar y secar los lodos provenientes de la empresa PROSARC S.A.





**Tabla 4.**


*Matriz de decisión*

Tecnología	Descripción Técnica	Ventajas / Desventajas de Funcionamiento	Impacto sobre el ambiente	Análisis Económico		
<p><b>1. FILTRO DE PRENSA</b></p>	<p>Remueve humedad 65%</p> <p>La capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m2 de superficie de filtración [7].</p> <p>El volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del número de placas del filtro.</p> <p>Vida útil: 20 años</p> <p>Tipo de operación: Batch</p> <p>El rango de filtros de prensa con placas de tamaños entre 500x500 mm con movimiento de placas manuales y hasta 1200x1200 con placas de movimiento automático [7].</p> <table border="1" data-bbox="506 1349 837 1409"> <tr> <td><b>Especificac</b></td> <td><b>Min. Max</b></td> </tr> </table>	<b>Especificac</b>	<b>Min. Max</b>	<p>Alto grado de separación, con muy buena captación de sólidos.</p> <p>Alto contenido de sólidos en la torta [7].</p> <p>Concede buenas posibilidades de eliminación de compuestos solubles.</p> <p>Operación sencilla y fiable.</p> <p>Equipo de larga vida</p> <p>El filtro es ideal para lodos con las siguientes características [7]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lodo orgánico hidrófilo.</li> <li>2. Lodo inorgánico hidrófilo.</li> <li>3. Lodo inorgánico hidrófobo.</li> <li>4. Lodo aceitoso.</li> </ol>	<p>El 95% de reciclaje de agua reduce los costos asociados con el suministro de agua dulce a su planta de procesamiento en húmedo.</p>	<p><b>Precio Aprox.</b></p> <p>USD \$ 4.400,00- USD \$40.000,00</p> <p><b>Proveedores Internacionales</b> </p> <p>Shenzhen Hongfa Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Provincia: Guangdong, China</p> <p>Aqseptence Group Srl, Lugo, Italia SHANGHAI DAZHAN Fengxian, Shanghai, China. [25].</p> <p>Jiangsu BOE Environmental Protection Technology Co., Ltd. Provincia: Jiangsu, China</p> <p>Hangzhou Xingyuan</p>
<b>Especificac</b>	<b>Min. Max</b>					

<p><b>iones</b></p> <p>Dimensiones placa (mm)</p> <p>Volumen Torta (litros)</p> <p>Espesor Torta (mm)</p> <p>Capacidad del filtro (Litros)</p>	<p><b>500-2000</b></p> <p><b>2,4-166</b></p> <p><b>15 - 50</b></p> <p><b>30,5 - 21780</b></p>	<p><b><u>Inconvenientes de uso</u></b></p> <p>* No suelen ser usados para la deshidratación de lodos de depuradora urbana, ya que estos lodos son muy pegajosos y no se suelen desprender bien las tortas [7].</p> <p>*Funcionamiento por ciclos, por tanto, discontinuo.</p> <p>*Velocidad de alimentación disminuye gradualmente durante el Ciclo [7].</p> <p>* Inversión elevada.</p>		<p>Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Provincia: Zhejiang, China [25].</p>
--	---	--	--	--

<p><b>2. FILTRO DE BANDA</b></p>	<p>Admite concentraciones de 1 a 5 % de sólidos.</p> <p>Elimina la humedad hasta en un 70%.</p> <p>Rango de capacidades de la alimentación va de 2 a 190 m<sup>3</sup>/h de lodo [23].</p> <p>Área de filtración: 3-1000 m<sup>2</sup></p> <p>Presión de filtración: 0-1.6MPa [23].</p> <p>Tipo de operación: Continua</p> <p>Cojinetes de acero inoxidable de alta resistencia se utilizan como alternativa a los cojinetes tradicionales de acero al carbono [23].</p> <p>La resistencia a la corrosión mejora enormemente</p> <p>vida útil del equipo puede alcanzar los 10 años.</p> <p>Remueve humedad de un 20-30% [23].</p>	<p>Compatibilidad: completamente cerrada que garantiza higiene y seguridad [24].</p> <p>Velocidad de bandas variable.</p> <p>Lavado, tracción y centrado de bandas de forma completamente automática [24].</p> <p>Operación estable y larga vida útil</p> <p>Operación continua, garantiza un funcionamiento continuo durante 24 horas.</p> <p><b><u>Inconvenientes de uso:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Posibles molestias debidas a la vibración.</li> <li>* Alto consumo de productos químicos (floculantes).</li> <li>* Resistencia de la tela. Si se produce algún agujero, pierde eficiencia [24].</li> </ul> <p>*Amortización de los consumibles.</p> <p>Calderas móviles: permiten actuar en situaciones de falta de vapor de agua [24].</p>	<p>Bajos costos de energía: En las mismas circunstancias, filtro banda tiene el mismo efecto de tratamiento que otras prensas de filtro, pero el consumo de agua y el consumo de energía son solo 1/3 de otros equipos [25].</p>	<p><b>Precio Aprox.</b></p> <p>\$4.800,00 USD- \$20.000.00 USD [25].</p> <p><b>Proveedores</b></p> <p><b>Internacionales</b> </p> <p>Aqseptence Group Srl, Lugo, Italia SHANGHAI DAZHAN Fengxian, Shanghai, China [25].</p> <p>Hangzhou Flying Technology Co., Ltd.Provincia: Zhejiang, Chin</p> <p>Jiangsu BOE Environmental Protection Technology Co., Ltd.Provincia: Jiangsu, China [25].</p>
----------------------------------	--	--	--	---

<p>3. <b>CENTRÍFUGA</b></p>	<p>La separación se logra con una fuerza del orden de 1000 a 20000 veces mayor que la gravedad [26].</p> <p>Las partículas que caen dentro del campo centrífugo tenderán a moverse hacia afuera en función de la mayor densidad.</p> <p>Tipo de operación: Continua</p> <p>Vida útil: 10 años [26].</p> <p>Eficiencias entre un 20 y un 50%</p> <table border="1" data-bbox="506 911 814 1369"> <thead> <tr> <th data-bbox="506 911 699 1024">Especificaciones</th> <th data-bbox="699 911 814 1024">Min. Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="506 1024 699 1122">Diámetro tambor (<i>mm</i>)</td> <td data-bbox="699 1024 814 1122">450 - 550</td> </tr> <tr> <td data-bbox="506 1122 699 1219">Largo tambor (<i>mm</i>)</td> <td data-bbox="699 1122 814 1219">1100- 1800</td> </tr> <tr> <td data-bbox="506 1219 699 1369">Capacidad máxima (<math>m^3/h</math>)</td> <td data-bbox="699 1219 814 1369">40- 90</td> </tr> </tbody> </table>	Especificaciones	Min. Max	Diámetro tambor ( <i>mm</i> )	450 - 550	Largo tambor ( <i>mm</i> )	1100- 1800	Capacidad máxima ( $m^3/h$ )	40- 90	<p>Su estructura compacta y fácilmente adaptable permite dar servicio en lugares poco accesibles. [27].</p> <p>Seguridad, se minimiza el riesgo de accidentes medioambientales durante el transporte de residuos.</p> <p>Ahorro, la reducción de costes al transportar únicamente el residuo seco suponen un beneficio económico al cliente [27].</p> <p><b><u>Inconvenientes de uso</u></b></p> <p>*Uso de gran cantidad de polímero</p> <p>*Consumo energético elevado o Ruido elevado.</p> <p>*Mantenimiento especializado [27].</p>	<p>Recuperación del agua</p> <p>La centrifugación de lodos permite recuperar el agua para su posterior reutilización [27].</p>	<p><b>Precio</b></p> <p>US \$15.200,00-US\$ 90.000,00 [28].</p> <p><b>Proveedores</b></p> <p><b>Internacionales</b> </p> <p>Yixing Pioniere Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Provincia: Jiangsu, China [28].</p> <p>Dalian Reyes Import &amp; Export Co., Ltd. Provincia: Liaoning, China</p> <p>Jiangsu Jieda Centrifuge Manufacture Co., Ltd. Provincia: Jiangsu, China [28].</p> <p>Hangzhou Flying Technology Co., Ltd. Provincia: Zhejiang, China [28].</p>
Especificaciones	Min. Max											
Diámetro tambor ( <i>mm</i> )	450 - 550											
Largo tambor ( <i>mm</i> )	1100- 1800											
Capacidad máxima ( $m^3/h$ )	40- 90											

	<table border="1"> <tr> <td>Velocidad del tambor (<i>Rpm</i>)</td> <td>2200-3200</td> </tr> <tr> <td>Fuerza G (<math>m/s^2</math>)</td> <td>1220-3200</td> </tr> <tr> <td>Punto de separación (<i>um</i>)</td> <td>5-2</td> </tr> <tr> <td>Motor principal (<i>Kw</i>)</td> <td>30-55</td> </tr> <tr> <td>Motor secundario (<i>Kw</i>)</td> <td>7,5- 15</td> </tr> </table>	Velocidad del tambor ( <i>Rpm</i> )	2200-3200	Fuerza G ( $m/s^2$ )	1220-3200	Punto de separación ( <i>um</i> )	5-2	Motor principal ( <i>Kw</i> )	30-55	Motor secundario ( <i>Kw</i> )	7,5- 15			
Velocidad del tambor ( <i>Rpm</i> )	2200-3200													
Fuerza G ( $m/s^2$ )	1220-3200													
Punto de separación ( <i>um</i> )	5-2													
Motor principal ( <i>Kw</i> )	30-55													
Motor secundario ( <i>Kw</i> )	7,5- 15													
<b>4.TORNILLO DESHIDRATADOR</b>	<p>Remueve humedad mayor al 75% [26].</p> <p>Fácil de operar y mantener: Debido a sus bajas revoluciones el desgaste es mínimo y es un equipo que puede trabajar las 24 horas sin interrupción [29].</p> <p>Los anillos móviles limpian el lodo de los boquetes,</p>	<p>Fácil operación y mantenimiento [30].</p> <p>Diseño compacto y encapsulado.</p> <p>Posibilidad de unidades móviles [30].</p> <p>Baja exigencia de mantenimiento.</p> <p>Operación continua, segura y totalmente automática, con el mínimo estrés de operación.</p>	<p>Equipo sostenible</p> <p>Consumo energético extremadamente bajo (aproximadamente una décima parte del de una centrífuga). [29].</p> <p>Consumo mínimo de agua para el lavado, únicamente necesario para el contralavado.</p>	<p><b>Precio Aprox.</b></p> <p>US\$ 8.970,00-US\$ 41.969,00 [31].</p> <p><b>Proveedores</b></p> <p><b>Internacionales</b> </p> <p>Shanghai Ecopro Environmental Engineering Co., Ltda. Provincia de Shanghai,</p>										

<p>evitan la obstrucción y reducen continuamente el uso de agua para aclarar [29].</p> <p>Larga vida útil 15- 20 años</p> <p>El tanque se diseña como un sistema cerrado para presiones de hasta 0,5 bar [29].</p> <p>Las velocidades van desde 0,1 hasta 1,0 rpm</p> <p>Nivel de ruido por debajo de los 65 dB (A)</p>	<p>Capacidad para tratar efluentes de recirculación con un contenido en sólidos muy bajo [30].</p> <p>Alto grado de deshidratación del fango, y consecuentemente una reducción de los gastos de eliminación o gestión de residuos [30].</p> <p>Equipo de reducido tamaño.</p> <p><b><u>Inconvenientes de uso</u></b> [30]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Coste de la inversión inicial.</li> <li>* Necesidad de personal especializado para el mantenimiento del sistema.</li> <li>* Inversión en productos químicos.</li> <li>* Grandes periodos de tiempo en funcionamiento</li> </ul>	<p>Nivel de ruido inferior a los 70 dB.</p> <p>Ausencia de vibraciones y gases [29].</p>	<p>China [31].</p> <p>Aqseptence Group Srl, Lugo, Italia [31].</p> <p>SHANGHAI DAZHAN Fengxian, Shanghai, China [31].</p> <p>Ahorro de costos de manejo y eliminación de lodos.</p> <p>Costes de recambio, normalmente bajos [29].</p>
---	---	--	--

**Nota.** Matriz de decisión para la selección de tecnología o proceso para la deshidratación y secado de los lodos de la empresa PROSARC S. Tomado de Core.ac.uk, 2021. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/289985503.pdf>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

Es importante mencionar que los fabricantes investigados en la matriz anterior no tienen representación en Colombia.

Teniendo en cuenta la matriz de análisis expuesta anteriormente en la tabla 3 donde se evaluaron aspectos económicos, ambientales y de funcionamiento se procede a una toma de decisión. En base al objetivo principal el cual busca el porcentaje de remoción más alto de humedad con el fin de disminuir los costos de operación se realiza una matriz pugh para facilitar la toma de decisiones.

La matriz pugh es una herramienta de decisión de carácter cuantitativo que sirve para analizar múltiples alternativas entre sí en base a distintos criterios para evaluar, estos criterios son básicamente las necesidades del cliente. Por lo general, se ubican como filas de la matriz. A continuación, se deben especificar los posibles conceptos de diseño que pretenden cumplir con los criterios definidos los cuales aparecen en las columnas de la matriz. [32].

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el mecanismo bajo el cual se rige la siguiente matriz es designando un valor a cada uno de los criterios de la siguiente forma: se toma la primera alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio con el fin de evaluar si su cumplimiento es superior, inferior o igual. Si es superior se coloca un signo «+», si es inferior un signo «-» y si es igual un «0». Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0. [32].

Se tuvo en cuenta criterios específicos decisivos como:

- Remoción de humedad mayor al 65%
- Que fuera sostenible
- Ventajas de funcionamiento
- Viabilidad económica
- Tiempo de operación
- Innovación
- Aspecto técnico

Posterior a esto, se procedió a realizar la calificación correspondiente teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados con cada uno de los 4 equipos, con el fin de escoger el de mayor valoración.

**Tabla 5.***Matriz pugh*

Criterios	Variantes			Del	Diseño
	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 3	Diseño 4
Remoción de humedad mayor al 65 %	0	-1	-1		+1
Sostenible	+1	+1	+1		+1
Ventajas de funcionamiento	-1	0	-1		+1
Viabilidad Económica	0	+1	+1		-1
Tiempo de operación	0	0	0		+1
Tipo de operación	-1	-1	+1		+1
Innovación	0	0	0		+1
Aspecto técnico	+1	+1	+1		+1
Suma +	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		<b>7</b>
Suma -	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		<b>1</b>
Suma general	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>6</b>

**Nota.** Matriz pugh toma de decisión de tecnología o proceso para deshidratar y secar los lodos provenientes del horno incinerador de la empresa PROSARC S.A.

Una vez realizada la matriz pugh se puede analizar y sintetizar el impacto que tienen los criterios de selección del equipo para deshidratar y secar los lodos teniendo en cuenta la remoción de humedad mayor al 65%, ventajas de funcionamiento, sostenible, aspectos técnicos y financieros para así poder determinar cuál es la mejor opción para implementar en la empresa PROSARC S.A.

En vista de que el tornillo deshidratador (Diseño N°4) obtuvo un mayor puntaje en comparación a las otras tecnologías de deshidratación y cumple con los parámetros que requiere la empresa tanto porcentaje de remoción de humedad como innovación se decide implementar este en la planta de PROSARC S.A con el fin de disminuir los costos que actualmente genera la empresa y omitir el servicio de un tercero en el tratamiento de estos.



## 4. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO PARA LA DESHIDRATACIÓN Y SECADO DE LOS LODOS

### 4.1. Era de secado

Teniendo en cuenta que el lodo que se está tratando en la presente investigación tiene una humedad del 93,43%, es posible realizar un preproceso de secado antes de ingresar al tornillo deshidratador con el fin de obtener una mejor remoción de humedad por parte del tornillo deshidratador, esta alternativa de la “era de secado” es una posible opción más no es un requerimiento.

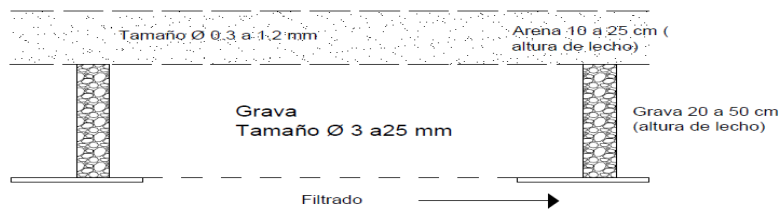
Con base a las especificaciones del equipo, para que el lodo pueda ingresar al tornillo deshidratador, debe tener una humedad del 90%-100%, considerando lo anterior, se propone un proceso llamado era de secado, el cual requiere de un lapso entre 10 a 15 días aproximadamente, donde al finalizar esta etapa se obtendrá un lodo con una humedad del 60% la cual es idónea para el ingreso al tornillo deshidratador [33].

En el proceso con la era de secado actúan dos mecanismos [33]:

1. Percolación de agua a través del lecho de arena: En donde se elimina entre el 20-55% de agua entre 1 a 3 días aproximadamente.
2. Evaporación de agua: Mediante mecanismos de radiación y convección.

### Figura 18.

*Representación de una era de secado*



**Nota.** Extensión y tamaño ideal de una era de secado. Tomado de "ERAS DE SECADO DE FANGOS", *Agua-medioambiente.blogspot.com*, 2021. [Online]. Available: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/12/eras-de-secado-de-fango.html>. [Accessed: 09- Nov- 2021].

Las eras de secado o también llamadas lechos constituidos por una capa de material drenante, la cual está dividida en compartimentos y sobre la que se vierte el fango en espesadores de 20-30 cm como máximo. La capa de material drenante también debe estar constituida por una capa de arena de unos 10 a 25 cm de espesor, dispuesta sobre una capa soporte de grava de 20 a 50 cm [33].

Durante un tiempo de dos días la superficie completa de las eras la cual se divide en unidades inferiores deben llenarse, el lodo a secar es transportado a través de tuberías y como primera instancia son empleadas unas compuertas de tajadera a la entrada de cada lecho para que en un segundo plano deba ser aislado por medio de válvulas [33].

#### ***4.1.1 Funcionamiento***

«Antes de extender el fango, hay que aflojar la capa de arena apelmazada con una horquilla de fangos con púas de 20 a 30 cm de longitud, que se introducen en la arena y se remueven hacia delante y hacia atrás varias veces, teniendo cuidado de no mezclar las capas de arena y grava. Después de haber realizado esta operación por toda la superficie de la era, hay que rastrillar con rastrillo de jardín para deshacer los terrones de arena. Posterior, se iguala la arena de la era con el mismo rastrillo o arrastrando una tabla con cuerdas para alisar la superficie [33].»

Es recomendable que la profundidad de la capa de fango que se va a extender sobre la era de secado esté entre 30 y 45 cm.

Finalmente, una vez llenada la era de secado debe limpiarse la tubería de extracción del lodo con agua a chorro, con el fin de evitar obstrucciones de sólidos que hayan podido adherirse a las paredes de esta [33].

#### **4.2. Aspectos para tener en cuenta en la selección del equipo**

Para la selección del tornillo deshidratador, además de sus ventajas, el aspecto ambiental y económico, existen algunos parámetros técnicos que se deben tener en cuenta como lo son el valor de humedad a la que debe ingresar el lodo al equipo para ser deshidratado y secado, el caudal que se va a manejar y la potencia requerida según el caudal escogido, ya que a mayor caudal mayor potencia [34].

Además de esto, se debe tener en cuenta que los caudales que puede tratar el equipo también dependen de las concentraciones de sólidos en el fango, puesto que a medida que las concentraciones aumentan, los caudales serán menores [34].

Es importante destacar que el dato más relevante a la hora de seleccionar un tornillo deshidratador de fangos es la cantidad de materia seca en Kg/hora, a continuación, se muestra una tabla en donde se relacionan todos estos datos [34]:

**Tabla 6.**

*Relaciones de caudal, potencia y materia seca*

<b>Fluiteco press</b>	<b>Drive</b>	<b>Hydr. Capacity @ 3-6%</b>	<b>Hydr. Capacity @ &lt;2%</b>	<b>Hydr. Capacity @ 7-10%</b>	<b>Solids Capacity</b>
<b>[Type]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>[kg DS/h]</b>
SD200	0,37	0,8	1,1	0,55	15-55
SD400	0,55	1,8	3,8	1,3	30-130
SD700	1,1	3,9	8	2,4	60-255
SD900	1,5	7,7	16,3	5,1	90-450
SD1200	2,2	15	21	7,7	120-600

*Nota.* En la figura anterior se relacionan los valores de caudal, potencia y materia seca. Tomado de [Online]. Disponible: <http://www.takorasolutions.com/tornillo-deshidratador-de-fangos/>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

#### **4.2.1 Deshidratador de lodos con tornillos**

El tornillo deshidratador además de ser un buen sistema para el tratamiento de aguas residuales es capaz de tratar distintos tipos de lodos en una sola unidad operativa. Internamente está compuesto por placas de anillos separadores cilíndricos fijos y móviles. El movimiento rotacional que se genera con el tornillo otorga un proceso continuo de deshidratación, y su diseño elimina las posibles obstrucciones [35].

Esta tecnología se basa en la compresión, en donde el lodo entra en el interior de un tamiz cilíndrico por un extremo y va avanzando hacia el otro extremo por la acción de un tornillo sinfín, durante este recorrido el agua que se separa de los flóculos cae por la parte inferior del tamiz mientras que dentro del tamiz el lodo avanza y se va deshidratando cada vez más [35].

Se trata de un sistema completamente automatizado capaz de arrancar, operar y finalizar la operación sin la intervención de un operario. Gracias a su diseño, es bastante útil en el proceso de deshidratación de fangos industriales que generan lodos con un alto contenido de aceites y grasas, como es el caso de las industrias químicas, textiles, entre otras [35].

Dentro del equipo se realizan los procesos de espesamiento, deshidratación y secado del lodo, obteniendo como producto final una torta seca de lodo en donde se evidencia una disminución del peso y el volumen de este [36].

El propósito del equipo es deshidratar los lodos de ingreso de un 99% de humedad hasta llegar a un 70% de humedad aproximadamente, lo cual lo convierte en un lodo más manejable, ocasionando una disminución de costos de manejo y eliminación de lodos [36].

#### ***4.2.2 Características***

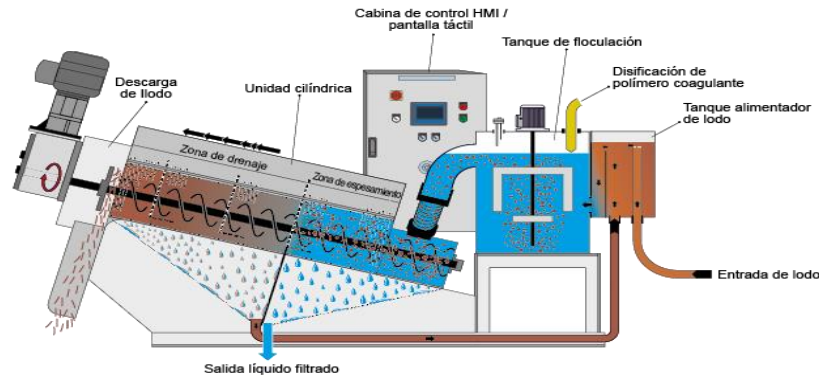
- Sus unidades son móviles, esto permite realizar técnicas de mantenimiento preventivo y limpieza a estas piezas, de manera más rápida y efectiva.
- Es amigable con el medio ambiente, ya que permite un ahorro de energía alto y es un diseño que genera poco ruido.
- Genera un bajo consumo energético.
- Sus costos de manejo son bajos.

#### ***4.2.3 Descripción técnica del equipo***

Mediante el siguiente dibujo se puede observar un tornillo deshidratador con sus componentes principales. En primera instancia se encuentra el tamiz que contiene al tornillo, el cual está situado entre las dos cajas de rodamientos a ambos lados del bastidor principal [37].

**Figura 19.**

*Tornillo deshidratador*



*Nota.* Equipo de deshidratación y secado con sus respectivas partes. Tomado de "Deshidratador de lodos con tornillos – ISA", *Isa.ec*, 2021. [Online]. Available: <https://isa.ec/deshidratador-de-lodos-con-tornillos/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].

El lodo entra por el extremo derecho, situado entre el tornillo y el tamiz cilíndrico, el diámetro del tornillo crece en dirección al extremo de descarga del lodo. Posterior a esto, el agua filtrada se separa del material sólido en el interior del tamiz y es liberada a través del filtro que este contiene, acumulándose en un tanque ubicado al efecto, mientras que el lodo deshidratado es descargado por el extremo opuesto al de la entrada. En este extremo se ubica un anillo de sección cónica que actúa mediante cilindros neumáticos que se encargan de ejercer una contrapresión constante contra el lodo [37].

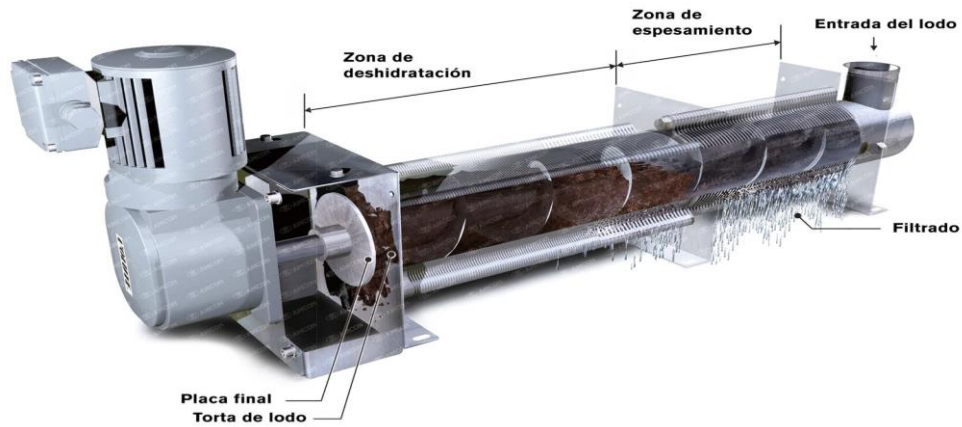
El tornillo es accionado mediante un motorreductor el cual regula la velocidad del motor eléctrico para que funcione a cierto ritmo, cabe resaltar que el equipo está cubierto en toda su longitud con el fin de evitar salpicaduras de agua filtrada o de agua de lavado, del mismo modo se busca minimizar al máximo la salida de malos olores [37].

Finalmente, el dispositivo de lavado, el cual incluye varias boquillas, realiza un lavado del tamiz filtrante por ciclos, durante este proceso se lleva a cabo la deshidratación sin ninguna interrupción, para ello solo se requiere de la utilización de agua limpia [37].

A continuación, se observa cada una de las zonas dentro del tornillo deshidratador:

**Figura 20.**

*Proceso dentro del Tornillo deshidratador*



*Nota.* Se evidencia el proceso interno de funcionamiento del tornillo deshidratador. Tomado de "Desaguado de Lodo — TECPRO", *TECPRO*, 2021. [Online]. Available: [https://www.tecproambiental.com/desaguadodelodos?gclid=Cj0KCQjw-NaJBhDsARIsAAja6dNooLxROTzsTjiR9nZuFvVk96i-5O2-05A461XiDazNilZpQr7N2fQaAnvWEALw\\_wcB](https://www.tecproambiental.com/desaguadodelodos?gclid=Cj0KCQjw-NaJBhDsARIsAAja6dNooLxROTzsTjiR9nZuFvVk96i-5O2-05A461XiDazNilZpQr7N2fQaAnvWEALw_wcB). [Accessed: 10- Nov- 2021].

Mientras que en la siguiente imagen se evidencia parte por parte como se realiza el proceso correspondiente con los lodos [37]:

## Figura 21.

### Partes del Tornillo deshidratador



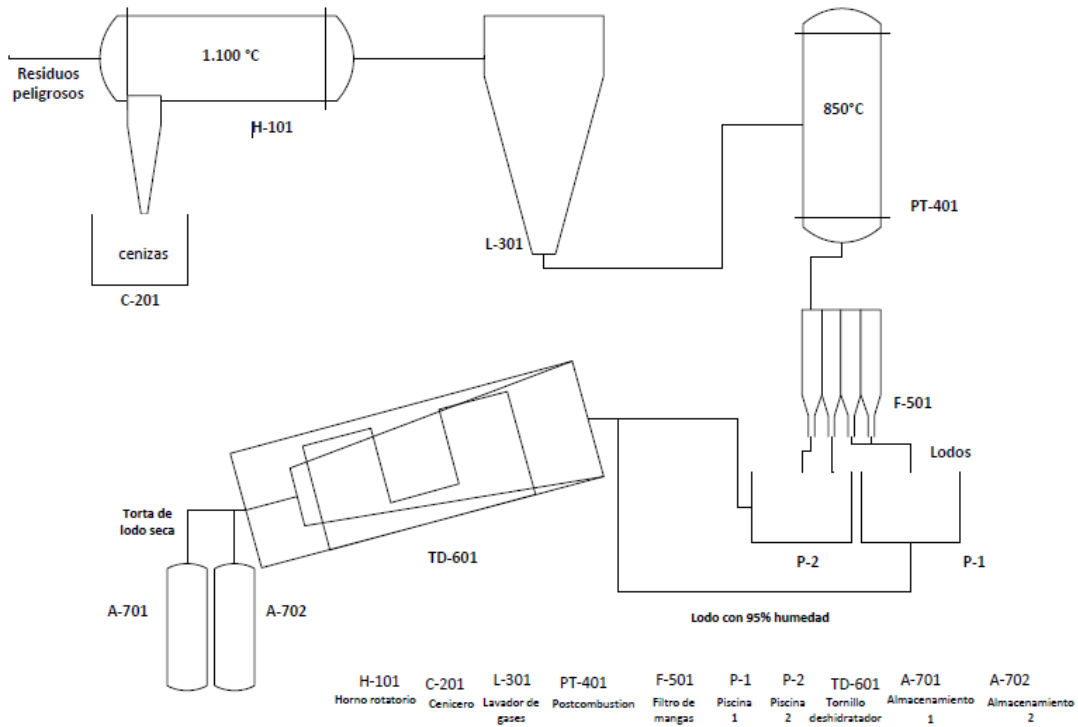
*Nota.* Se muestran algunas partes del tornillo deshidratador junto con su respectivo proceso. Tomado de “Desaguado de Lodo — TECPRO”, *TECPRO*, 2021. [Online]. Available:

[https://www.tecproambiental.com/desaguadodelodos?gclid=Cj0KCQjw-NaJBhDsARIsAAja6dNooLxROTzsTjiR9nZuFvVk96i-5O2-05A461XiDazNilZpQr7N2fQaAnvWEALw\\_wcB](https://www.tecproambiental.com/desaguadodelodos?gclid=Cj0KCQjw-NaJBhDsARIsAAja6dNooLxROTzsTjiR9nZuFvVk96i-5O2-05A461XiDazNilZpQr7N2fQaAnvWEALw_wcB). [Accessed: 10- Nov- 2021]

Ya que el equipo escogido fue el tornillo deshidratador, a continuación, se muestra su posible localización en planta, teniendo en cuenta la disposición actual de los equipos manejados en la planta PROSARC S.A ESP el equipo fue ubicado de tal forma que se pueda extraer los lodos de las piscinas en donde son dispuestos actualmente y que puedan ser ingresados directamente al tornillo deshidratador para que este pueda realizar el debido proceso y así obtener una torta seca:

**Figura 22.**

*Ubicación en planta del tornillo deshidratador*



**Nota.** Se observa en la imagen anterior la posible ubicación del tornillo deshidratador de lodos, acoplado al diseño de planta actual

En la figura 22 se observa la distribución básica de planta con la ubicación del nuevo equipo (Tornillo deshidratador), una vez deshidratado y secado el lodo será almacenado en recipientes cilíndricos en donde su disposición final es un confinamiento controlado.



## 5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO VOLUTA MYDL101

**Tabla 7.**

*Descripción técnica y dimensionamiento del equipo*

	<b>Artículo</b>	<b>Parámetro</b>
<b>Diseño de parámetros</b>	Modelo	MYDL101
	Dimensión	L1850 × W740 × H1040 (milímetro)
	Contenido solido	10000 ~ 50000 mg / L
	Capacidad	5-7 kgds / h
	Poder	0.36kw
	Nivel de protección	IP55 F
	Fuente de alimentación	380V、 50Hz 、 3 frases
	Porcentaje de remoción de humedad	80-85%
	Tasa de alimentación de polímero	DS 0,2 ± 1%
	Agua de descarga	24L / h
<b>Cuerpo de tornillo</b>	Presión de suministro de agua	≥0.2MPa
	Especificación × Longitud	Φ100 × 990 (milímetro)
	Cantidad	1
	Material	Placa: SUS304 Eje de tornillo: SUS304
	Potencia del motor	0,18 kW

<b>Tanque de mezcla de floculación</b>	Tamaño	L330 × W330 × H550 (milímetro)
	Volumen	~ 40L
	Material	SUS304
	Potencia del motor	0,18 kW
<b>Gabinete eléctrico</b>	Función	1.Máquina de deshidratación y secado con control de frecuencia.
		2.Dispositivo de agitación de floculación de control.
		3. Realice el funcionamiento automático y manual de la máquina de deshidratación.
	Peso neto	220 kg
	Peso de operación	315 kg

**Nota.** Se muestran las características del equipo, condiciones de operación y dimensionamiento. Tomado de <https://jsboeep.en.made-in-china.com/product/tFmxGMdAOTWo/China-CE-ISO-SGS-Waste-Water-Treatment-Screw-Filter-Press-Volute-Sludge-Dewatering-Separation-Equipment.html>

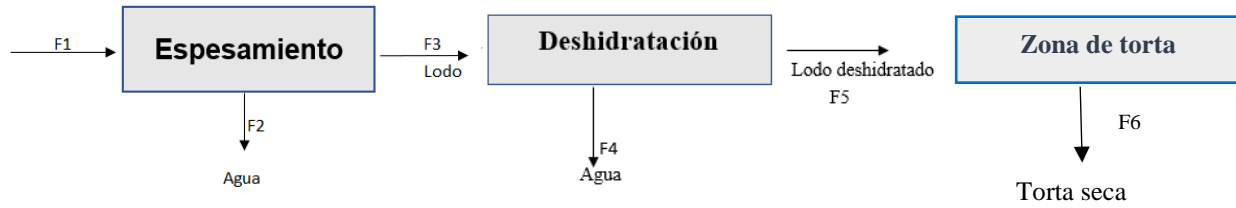
## 5.1. Balance de materia

Teniendo en cuenta las condiciones de entrada del lodo analizado, procedente de la empresa PROSARC S.A se realiza el balance de materia y energía en el equipo seleccionado teniendo en cuenta los parámetros del equipo y un flujo inicial de lodo de 113,39 Kg/h.

### 5.1.1 Balance global

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = 0$$

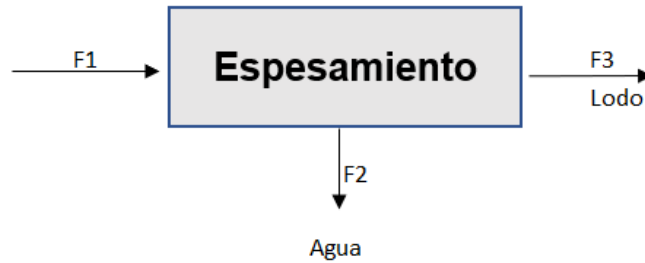
$$X_{F1} F1 - X_{F2} F2 - X_{F4} F4 - X_{F6} F6 = 0$$



### 5.1.2 Balance por componente

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = 0$$

$$X_{F1} F1 - X_{F2} F2 - X_{F3} F3 = 0$$



#### ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES

**Tabla 8.**

*Balance de materia y energía corriente F1*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo (Kg/h)
F1	Agua	63,82%	201,04
	Floculante	0,18%	0,57
	Lodo	36,00%	113,39
		<b>Total</b>	<b>315,00</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>35,00</b>

*Nota.* Balance corriente F1

**Tabla 9.**

*Balance de materia y energía corriente F2*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo (Kg/h)
F2	Agua	100,00%	141,84
		<b>Recuperación</b>	
		(%)	<b>70,55%</b>
		T(°C)	<b>34,31</b>

*Nota.* Balance corriente F2

**Tabla 10.**

*Balance de materia y energía corriente F3*

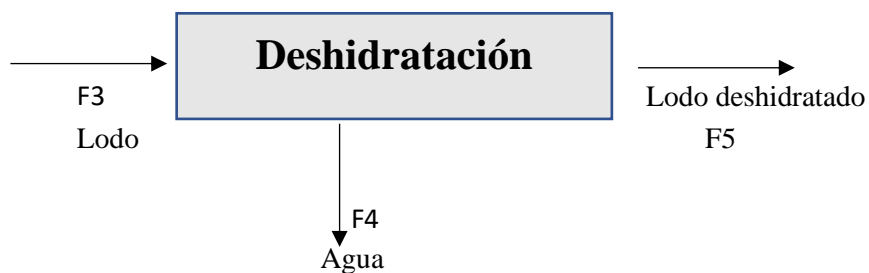
Corriente	Compuesto	Composición	Flujo (Kg/h)
F3	Agua	34,19%	59,21
	Floculante	0,33%	0,57
	Lodo	65,48%	113,39
		<b>Total</b>	<b>173,16</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>34,31</b>

*Nota.* Balance corriente F3

- DESHIDRATACIÓN**

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = 0$$

$$X_{F3} F3 - X_{F4} F4 - X_{F5} F5 = 0$$



**Tabla 11.**

*Balance de materia y energía corriente F3*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo (Kg/h)
F3	Agua	34,19%	59,21
	Floculante	0,33%	0,57
	Lodo	65,48%	113,39
		<b>Total</b>	<b>173,16</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>34,31</b>

*Nota.* Balance corriente F3

**Tabla 12.**

*Balance de materia y energía corriente F4*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo(Kg/h)
4	Agua	100,00%	1,00
		<b>Recuperacion(%)</b>	<b>0,02</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>52,64</b>

*Nota.* Balance corriente F4

**Tabla 13.**

*Balance de materia y energía corriente F5*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo(Kg/h)
5	Agua	33,81%	58,21
	Floculante	0,33%	0,57
	Lodo	65,86%	113,39
		<b>total</b>	<b>172,16</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>29,48</b>

*Nota.* Balance corriente F5

- **ZONA DE TORTA**

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = 0$$

$$X_{F5} F5 - X_{F6} F6 = 0$$



**Tabla 14.**

*Balance de materia y energía corriente F5*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo(Kg/h)
5	Agua	33,81%	58,21
	Floculante	0,33%	0,57
	Lodo	65,86%	113,39
		<b>Total</b>	<b>172,16</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>29,48</b>

*Nota.* Balance corriente F5

**Tabla 15.**

*Balance de materia y energía corriente F6*

Corriente	Compuesto	Composición	Flujo(Kg/h)
6	Agua	33,81%	58,21
	Floculante	0,33%	0,57
	Lodo	65,86%	113,39
		<b>Total</b>	<b>172,16</b>
		<b>T(°C)</b>	<b>29,48</b>

*Nota.* Balance corriente F6

## 5.2. Balance de energía

El balance de energía en el tornillo deshidratador se hace con el fin de determinar el potencial de esta, para ello es necesario utilizar una serie de ecuaciones, las cuales se muestran a continuación.

$$Q + W = m_{Salida}h_{Salida} - m_{Entrada}h_{Entrada}$$

$$h = F_1 * Cp_{Agua} * (T_1 - T_{ref})$$

**Tabla 16.***Balance de materia y energía corriente F6*

Tref (C°)	18
Cp	
agua (J/Kg*K)	4,18
W(kJ/h)	0,18

*Nota.* Valores clave**Tabla 17.***Balance de energía por corriente*

Corriente	Compuesto	Entalpia(KJ/h)	Total Entalpia(KJ/h)
1	Agua	14286,12	15541,32
	Floculante	1255,20	
	Lodo		
2	Agua	9669,52	9669,52
	Agua	4616,60	
3	Floculante	1255,20	5871,80
	Lodo		
4	Agua	4616,60	5871,80
	Floculante	1255,20	
5	Agua	1640,40	2895,60
	Floculante		
6	Lodo	1255,2	2895,60
	Agua	1640,40	
	Floculante		
		<b>W(kJ/h)</b>	<b>648</b>

*Nota.* Balances de energía por cada corriente

Una vez realizado el balance de materia y energía se puede observar un porcentaje de recuperación alto en la corriente N°2 de 70,55% lo que nos indica que la adición de floculante fue efectiva y el lodo procede con menor contenido de humedad a la siguiente fase donde por medio de la diferencia de presiones se logra acabar de deshidratar y secar el lodo. Consecuentemente se observa en la

corriente N° 4 el porcentaje de recuperación ha disminuido notoriamente indicándonos que el lodo se logró deshidratar un 83% aproximadamente.

Seguido de esto, después de analizar los datos obtenidos del balance de energía se puede determinar que la potencia requerida para tratar los lodos es de 648 kw, lo cual está en el rango de vibraciones bajas además de que este equipo presenta ventajas de consumo bajo de energía lo cual desde el punto de vista económico es un aspecto positivo.



## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO GASTOS OPERACIONALES ACTUALES VS IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DESHIDRATADOR PARA LA EMPRESA PROSARC S.A.

Actualmente la empresa PROSARC S.A no dispone de una planta de deshidratación y secado de lodos, por lo cual interviene un tercero para el proceso de recolección y disposición de lodos, esta entidad tercera se dirige a la planta mensualmente a recoger los lodos, lo cual está generando anualmente altos costos para la empresa, en el anexo adjunto, se puede evidenciar la última factura generada por la recolección y disposición de los lodos.

**Tabla 18.**

*Inversión para el inicio de operaciones*

INVERSIÓN PARA INICIAR	OPERACIONES
Equipo de oficina	\$ 14. 000.000
Equipo de computo	\$ 9.000.000
Útiles de oficina	\$ 2.500.000
<b>Total</b>	<b>\$ 25.000.000</b>

*Nota.* Inversión de equipos de oficina y computo para el inicio de operaciones

Recursos financieros para la inversión: Tomando en cuenta que la empresa cuenta con lo resaltado en la inversión inicial incluyendo el terreno para la adecuación e instalación del tornillo deshidratador y este se encuentra en óptimas condiciones para ser utilizado, no se requiere de inversión en dichos aspectos, por lo que los únicos rubros a tomar en cuenta son el equipo en este caso el tornillo deshidratador, los impuestos para legalizar el equipo en Colombia y la destinación del dinero al área de mantenimiento.

### 6.1. Estudio económico de los procesos de deshidratación

Con la finalidad de que este estudio económico sea veraz, se trabaja con datos reales de la producción anual de estos residuos.

Para realizar el estudio de la maquinaria, se partirá de la producción anual de lodos provenientes del horno incinerador. Esta información ha sido facilitada por la empresa PROSARC S.A.

## **6.2. Estimación de costos para la implementación del tornillo deshidratador para la empresa PROSARC S.A**

Para poder dar un estimado del costo total de la implementación del tornillo deshidratador se ha diseñado un estudio analizando la viabilidad económica para todas las posibles variables que puedan alterar el precio de este, incluyendo costos de energía eléctrica, acueducto y alcantarillado consumida por el equipo durante las horas que está en funcionamiento para deshidratar la cantidad de lodo correspondiente a cada día. Entendiendo este concepto como el valor en pesos colombiano [38].

Para poder determinar el coste diario de la deshidratación del tornillo deshidratador, es necesario determinar los siguientes parámetros [38]:

- **Cantidad diaria de lodos a deshidratar:** este dato se obtiene de la empresa PROSARC S.A (113,39 Kg/h)
- **Concentración de los lodos frescos antes de deshidratar:** para la realización de este estudio, se ha fijado una concentración entre 45% -65% admisible.

## **6.3. Características del equipo:**

- **Capacidad de la máquina:** cantidad de lodo que es capaz de tratar el equipo en una hora.
- **Consumo eléctrico de la máquina:** energía eléctrica necesaria para que el equipo funcione una hora.
- **Horas en funcionamiento del equipo cada día:** cantidad de tiempo que debe estar trabajando la máquina para deshidratar los lodos.

**Tabla 19.**

*Precio del tornillo deshidratador*

<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Consumo eléctrico</b>	<b>Precio (USD)</b>
BOEEP	MYDL101	300 pcs/ año	0, 18 kW	\$ 5200

*Nota.* En la tabla anterior se ilustra la capacidad, consumo eléctrico y precio del tornillo deshidratador. Tomado de "Tornillo Deshidratador de Lodos de China, lista de productos de Tornillo Deshidratador de Lodos de China en es.Made-in-China.com", Es.made-in-china.com, 2021. [Online]. Disponible: [https://es.made-in-china.com/tag\\_search\\_product/Screw-Sludge-Dehydrator\\_ryhismn\\_1.html](https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Screw-Sludge-Dehydrator_ryhismn_1.html). [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

Teniendo en cuenta que el valor del equipo que se propone en este trabajo de investigación es de US 4300,00 el cual es exportado desde China y el proveedor corre con los gastos de envío los cuales corresponden a \$ 900 USD, desde Jiangsu hasta el puerto de Buenaventura, Colombia se procede a realizar el cálculo para legalizar la compra en el país de destino.

➤ **Coste de Maquinaria US 4300,00**

- ✓ Flete US\$ 900
- ✓ Prima del seguro US\$ 1000
- ✓ Gravamen de arancel de importación 10%
- ✓ Gravamen del IVA para maquinaria 17%
- ✓ Gestión Portuaria US \$ 3000
- ✓ IVA por el servicio de Gestión portuaria 6%

Se adjunta presupuesto en (anexo B) con el cálculo correspondiente mencionado anteriormente junto con la cotización del equipo (anexo C).

#### 6.4. Estimación de costos de mantenimiento

##### Ecuación 8.

*Horas de funcionamiento equipo*

$$\text{Horas de funcionamiento} = \frac{\text{Lodos diarios a deshidratar}}{\text{Capacidad del equipo}}$$

**Nota.** Ecuación para hallar las horas de funcionamiento del equipo por día. Tomado de Ideam.gov.co, 2021. [En línea]. Disponible:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

Teniendo en cuenta la ecuación anterior procedemos a remplazar los valores

$$\text{Horas de funcionamiento día} = \frac{1020,5\text{kg/h}}{315\text{ kg}} = 3 \text{ horas}$$

**Precio de la electricidad:** para establecer el precio del Kw industrial se ha recurrido a datos oficiales de la CONDENSA S.A. Se seleccionó el valor medio del Kw industrial de Colombia en el año 2020 (420 COP/Kw).

Una vez conocidos los datos anteriores, ya es posible calcular el coste diario. Para ello, se realiza la siguiente operación:

##### Ecuación 9.

*Coste diario del equipo*

$$\text{Coste diario} = \text{Horas de funcionamiento} * \text{Consumo eléctrico del equipo} * \text{Precio Kw}$$

**Nota.** Ecuación para hallar el coste diario del equipo. Tomado de Ideam.gov.co, 2021. [En línea]. Disponible:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

Con base a la tabla anterior procedemos a resolver la Ec. # 9 de la siguiente forma, donde los datos a usar son un estimado de la Tabla N° 6:

$$\text{Coste diario del equipo} = 8 * 18 \text{ Kw} * 420 \text{ \$/Kw}$$

$$\text{Coste diario del equipo} = 60.480 \text{ COP}$$

Para el caso del servicio de acueducto y alcantarillado al estar este valor totalizado por el consumo total de la empresa se saca un estimado para el uso exclusivo del equipo, teniendo en cuenta el lavado que llegase a requerir el valor de este consumo se calcula de la siguiente forma:

#### **Ecuación 10.**

*Valor del consumo de agua*

$$\text{Valor consumo de agua} = \text{Cantidad } m^3 \times \text{Precio } m^3$$

*Nota.* Ecuación para hallar el valor del consumo de servicio público de acueducto. Tomado de “Calculadora Consumos - Emasagra”, Emasagra.es, 2021. [Online].  
Disponible: <https://www.emasagra.es/calculadora-consumos>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

Teniendo en cuenta que el valor de metro cúbico varía según el estrato, la empresa al estar ubicada en una zona rural catalogada como estrato uno el valor de metro cúbico equivale a 100,89 pesos. En base a esto procedemos a realizar el cálculo

$$\text{Valor consumo de Agua día} = 200 m^3 \times 120 \text{ \$/ } m^3$$

$$\text{Valor consumo de Agua día} = 24.000 \text{ COP}$$

Una vez calculado el valor de consumo diario de servicios públicos, se estima el costo anual sobre el valor calculado anteriormente para resumirlo en un estimado plasmado en análisis de CAUE.

### **6.5. Determinación de costos mantenimiento preventivo y predictivo**

Dentro de la determinación de costos se incluirá no sólo los equipos básicos elementales sino también todo lo relacionado con el mantenimiento preventivo y predictivo del equipo escogido, así como también el valor de todos los servicios públicos utilizados durante la operación del equipo.

Algunas de las técnicas de mantenimiento preventivo que se va a manejar son lubricaciones periódicas, revisiones sistemáticas del equipo y planes de inspección de equipos, estas técnicas se programan con tiempo para evitar posibles daños y fallos inesperados del equipo.

Por otro lado, en cuanto a las técnicas de mantenimiento predictivo, estas son fundamentales para monitorear e inspeccionar el estado del equipo con el fin de evitar gastos elevados en cambios de partes del equipo o inconvenientes mayores, por ello existen técnicas como:

- Análisis estructural: para detectar posibles fisuras, burbujas o grietas en el equipo.
- Análisis del estado de las superficies: mediante el cual se analiza pieza a pieza para verificar el desgaste de cada una de ellas.
- Análisis de la contaminación: para determinar la presencia de sustancias contaminantes posiblemente acumuladas en el sistema.
- Análisis de fluidos: el cual promueve la utilización de lubricantes para corregir posibles defectos que pueda presentar el equipo, este método disminuye el grado de contaminación y optimiza el tiempo entre cada mantenimiento.

**Tabla 20.**

*Valor Técnicas de mantenimiento*

<b>Técnica de Mantenimiento</b>	<b>Precio</b>
<b>Análisis Estructural</b>	\$ 1.300.000
<b>Análisis del estado de superficies</b>	\$ 900.000
<b>Análisis de la contaminación</b>	\$ 700.000
<b>Análisis de fluidos</b>	\$ 850.000
<b>Total</b>	\$ 3.750.000

*Nota.* Estas son las técnicas de mantenimiento más relevantes con su respectivo precio

### **6.6. Cálculos financieros propuesta actual VS nueva propuesta**

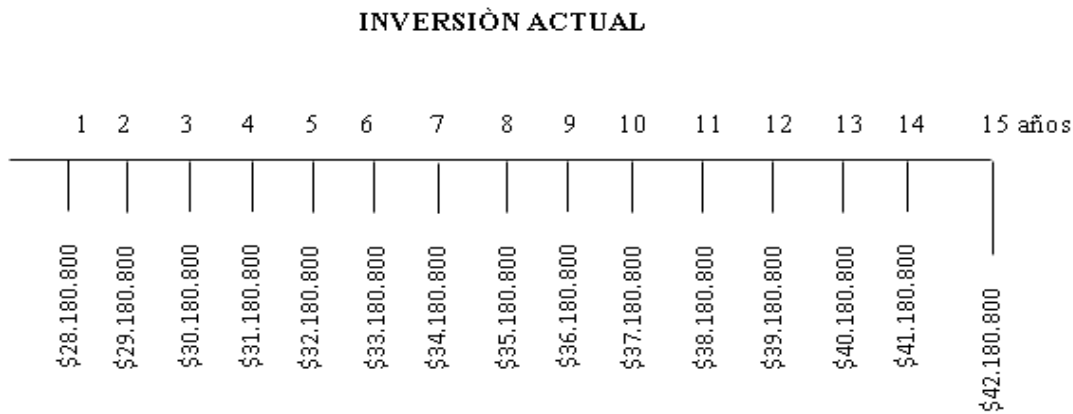
En primera instancia es importante mencionar que para realizar los cálculos financieros se acudió al método del Costo anual uniforme equivalente (CAUE), este indicador se calcula para un ciclo de vida útil del proyecto.

Inicialmente en la propuesta actual sólo se tiene en cuenta el valor anual que paga la empresa PROSARC.SA ESP a una entidad tercera por recoger y disponer de los lodos industriales, el valor aproximado por año es de \$35.180.000 el cual corresponde al valor anual que cobra la entidad tercera por recoger los lodos en la empresa y darles una disposición final, hay que tener en cuenta que este valor no será el mismo todos los años ya que existe un % de aumento por año que los destinará la empresa que se encarga de la recolección de los lodos.

Posterior a esto, se halla el valor del CAUEP (Costo anual uniforme equivalente promedio) el cual se saca promediando los valores de cada año durante 15 años, con esto se tiene que el CAUEP= \$35.180.000 eso es lo que gasta la empresa actualmente.

**Figura 23.**

*Inversión actual*



**Nota.** Inversión actual de la empresa PROSARC S.A a 15 años

Por otro lado, para la nueva propuesta la cual es el tornillo deshidratador de lodos, se evidencia que hay que hacer una inversión inicial de \$36.192.611 que corresponde al costo del equipo, después de esta inversión el primer año la empresa fabricante del equipo responde por el mantenimiento o posibles daños en el tornillo deshidratador; Transcurrido el primer año se realiza un estimado donde cada año se va a invertir dinero es en las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo del equipo y lo que valen los servicios públicos como agua, energía eléctrica, etc.

Cabe resaltar que el precio de los servicios públicos varía cada año, ya que este incremento está directamente relacionado con el índice de precios al consumidor (IPC).

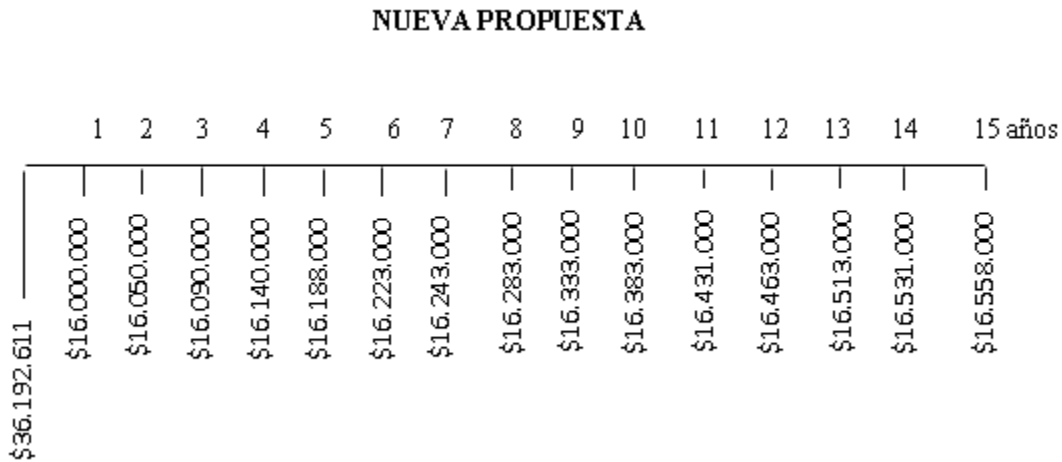
El valor exacto del equipo es \$16.782.900 que corresponde al valor dado por el proveedor en china.

Al igual que en la propuesta anterior también se calcula el CAUEP (Costo anual uniforme equivalente promedio) durante un tiempo de 15 años el cual corresponde a la vida útil del equipo, teniendo en cuenta esto, el CAUEP= \$16.291.000 aproximadamente.



**Figura 24.**

*Propuesta nueva*



*Nota.* Proyección a largo plazo de inversión

**Ecuación 11.**

*Costo anual uniforme equivalente promedio total*

$$\text{CAUE total} = \$35.180.000 - \$16.291.000 = \$18.889.000$$

*Nota.* Ahorro total con la nueva propuesta. Tomado de

Emagister.com, 2021. [Online]. Disponible:

[https://www.emagister.com/uploads\\_user\\_home/Comunidad\\_Emagister\\_922\\_COSTO\\_ANUAL\\_EQUIVALENTE\\_-CAUE-.pdf](https://www.emagister.com/uploads_user_home/Comunidad_Emagister_922_COSTO_ANUAL_EQUIVALENTE_-CAUE-.pdf).

[Consultado: 11 de noviembre de 2021].

Finalmente, para saber cuánto es el ahorro total se restan ambos CAUEP el actual y el de la

nueva propuesta, este valor es de \$18.889.000 el cual corresponde al ahorro total.

## 7. CONCLUSIONES

Se estableció que el porcentaje de humedad de los lodos es del 93,43% aproximadamente, este valor es bastante alto el cual requiere del uso de una tecnología de deshidratación y secado que extraiga parcial o totalmente esta humedad con el fin de cumplir a cabalidad con la necesidad de la empresa.

Se determinó que el uso de la era de secado puede aumentar el porcentaje de extracción de humedad, más no es un requerimiento para poder ingresar los lodos al tornillo deshidratador, ya que este está en la capacidad de deshidratar y secar lodos que se encuentren entre 95%-100% de humedad.

Se analiza a través de una matriz las tecnologías del mercado actuales para la deshidratación y secado de lodos industriales donde por medio de una matriz pugh se toma la decisión de cuál es la más apropiada teniendo en cuenta los aspectos técnicos, funcionales, ambientales, económicos y sostenibles para las necesidades de la empresa PROSARC S.A.

Estudiando y analizando las distintas tecnologías de deshidratación y secado de lodos, se concluye que el tornillo deshidratador es un equipo que cumple con las condiciones y se adapta fácilmente a la necesidad principal, solucionando a largo plazo varios inconvenientes existentes con relación a los lodos.

Se evidencia en la proyección a 15 años que si es viable implementar el proyecto ya que a pesar de que la inversión inicial es alta está se recupera a lo largo de los años teniendo un ahorro aproximado de \$18.889.000.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]"Lodos de depuración de aguas residuales", *Miteco.gob.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [2] Repository.javeriana.edu.co, 2021. [En línea]. Disponible: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13496/DonadoHoyosRoger2013.pdf>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [3]2021. [Online]. Available: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/lodos-definicion-clasificacion-tipos/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [4] "Análisis de los lodos provenientes de la PTAR de Guatavita (1) .pdf - ANÁLISIS DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | Course Hero", Coursehero.com, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.coursehero.com/file/63197594/An%C3%A1lisis-de-los-lodos-provenientes-de-la-PTAR-de-Guatavita-1pdf/>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [5] *Catarina.udlap.mx*, 2021. [Online]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/maldonado\\_g\\_ma/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/maldonado_g_ma/capitulo4.pdf). [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [6]F. comercial., "Sistemas de Enfriamiento Para Procesos Industriales", *Blog.froztec.com*, 2021. [Online]. Available: <https://blog.froztec.com/sistemas-de-enfriamiento-para-procesos-industriales-es>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [7]"Filtro de prensa para el tratamiento de lodos", *Lenntech.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [8]F. Banda, "Filtro Banda - Tratamiento de Aguas", *Tratamiento de Aguas*, 2021. [Online]. Available: <https://tratamientodeaguas.com.co/servicio/filtro-banda/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [9]"Ventajas y desventajas de filtro banda", *Dzfilter.com*, 2021. [Online]. Available: [https://www.dzfilter.com/news/news43\\_es.html](https://www.dzfilter.com/news/news43_es.html). [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [10] Core.ac.uk, 2021. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/289985503.pdf>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [11]"centrifugacion-lenntech", *Lenntech.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.lenntech.es/centrifugacion.htm#ixzz75Ail5DZ7>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [12]"Operaciones Básicas en el Laboratorio de Química. Filtración", *Ub.edu*, 2021. [Online]. Available: <http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/filtracio.html#:~:text=Filtraci%C3%B3n&text=Se%20denomina%20filtraci%C3%B3n%20al%20proceso,que%20retenga%20las%20part%C3%ADculas%20s%C3%B3lidas>. [Accessed: 09- Nov- 2021].

- [13]2021. [Online]. Available: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/ultrafiltracion-definicion-caracteristicas-ventajas-desventajas/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [14]"Diferencias entre microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa - Aedyr", *Aedyr*, 2021. [Online]. Available: <https://aedyr.com/diferencias-microfiltracion-ultrafiltracion-nanofiltracion-osmosis-inversa/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [15]"Grupo Aema", *GRUPO AEMA*, 2021. [Online]. Available: <https://www.aemaservicios.com/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [16] *Ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com*, 2021. [Online]. Available: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [17]"Procesos y tecnologías para el tratamiento de lodos", *Condorchem Envitech*, 2021. [Online]. Available: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-lodos/#:~:text=El%20tratamiento%20de%20lodos%20generados,del%20agua%20residual%20de%20partida>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [18]"Lodos residuales: estabilización y manejo – Estructplan", *Estructplan.com.ar*, 2021. [Online]. Available: <https://estructplan.com.ar/lodos-residuales-estabilizacion-y-manejo/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [19]"Nuevo inicio - Pro sarc", *Pro sarc*, 2021. [Online]. Available: <https://prosarc.com/>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [20]"GLOSARIO - IDEAM", *Ideam.gov.co*, 2021. [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [21] *Catarina.udlap.mx*, 2021. [Online]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/maldonado\\_g\\_ma/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/maldonado_g_ma/capitulo4.pdf). [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [22] *M.riunet.upv.es*, 2021. [Online]. Available: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144736/Talens%20-%20Determinaci%C3%B3n%20experimental%20de%20densidad%20y%20porosidad%20en%20alimentos%20s%C3%B3lidos%20y%20l%C3%ADquidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20densidad%20aparente%2C%20es%20el,aire%20ocluido%20en%20su%20interior.&text=Dado%20que%20los%20alimentos%20l%C3%ADquidos,al%20valor%20de%20densidad%20aparente>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [23]"Filtro de bandas para lodos – Sereco s.r.l. -", *Sereco.it*, 2021. [Online]. Available: <http://www.sereco.it/prodotti.php?language=spagnolo&vedi=20120198>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [24]"Ventajas y desventajas de filtro banda", *Dzfilter.com*, 2021. [Online]. Available: [https://www.dzfilter.com/news/news43\\_es.html](https://www.dzfilter.com/news/news43_es.html). [Accessed: 10- Nov- 2021].

- [25]"Filtro de banda - Todos los fabricantes industriales - Vídeos", *Directindustry.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/filtro-banda-77959.html>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [26]"centrifugacion-lenntech", *Lenntech.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.lenntech.es/centrifugacion.htm>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [27]"Planta de tratamiento de lodos con centrifuga | SERECO GESTION", *Serecogestion.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.serecogestion.com/tratamiento-de-lodos/centrifuga-tratamiento-lodos/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [28]D. Productos, E. Industriales, E. Lavar and S. Industrial, "Secador centrífugo Máquina/Secador Industrial la máquina lavadora / secadora Hydro", *Made-in-China.com*, 2021. [Online]. Available: [https://es.made-in-china.com/co\\_jstongyang/product\\_Centrifugal-Dryer-Machine-Industrial-Dryer-Machine-Laundry-Hydro-Dryer\\_enhyoreyg.html](https://es.made-in-china.com/co_jstongyang/product_Centrifugal-Dryer-Machine-Industrial-Dryer-Machine-Laundry-Hydro-Dryer_enhyoreyg.html). [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [29]"Prensa tornillo deshidratador de lodos", *Siwa Technology / Equipos para tratamiento de agua y efluentes*, 2021. [Online]. Available: <http://www.siwatechnology.com/producto/prensa-tornillo-deshidratador-de-lodos/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [30]"Deshidratador de lodos con tornillos – ISA", *Isa.ec*, 2021. [Online]. Available: <https://isa.ec/deshidratador-de-lodos-con-tornillos/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [31]"Tornillo Deshidratador de Lodos de China, lista de productos de Tornillo Deshidratador de Lodos de China en es.Made-in-China.com", *Es.made-in-china.com*, 2021. [Online]. Available: [https://es.made-in-china.com/tag\\_search\\_product/Screw-Sludge-Dehydrator\\_ryhisnn\\_1.html](https://es.made-in-china.com/tag_search_product/Screw-Sludge-Dehydrator_ryhisnn_1.html). [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [32]R. Sejzer, "La Matriz de Pugh para la toma de decisiones", *Ctcalidad.blogspot.com*, 2021. [Online]. Available: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [33]"ERAS DE SECADO DE FANGOS", *Agua-medioambiente.blogspot.com*, 2021. [Online]. Available: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/12/eras-de-secado-de-fango.html>. [Accessed: 09- Nov- 2021].
- [34] [Online]. Disponible: <http://www.takorolutions.com/tornillo-deshidratador-de-fangos/>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [35]"Deshidratación de fangos EDAR con tornillos deshidratadores - Aguas Industriales", *Aguas Industriales*, 2021. [Online]. Available: <http://aguasindustriales.es/deshidratacion-de-fangos-edar-con-tornillos-deshidratadores/>. [Accessed: 10- Nov- 2021].
- [36] 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tribuna-opinion/tornillos-deshidratadores-como-tecnologia-alternativa-para-la-deshidratacion-de-fango-SqWwe>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

- [37] 2021. [En línea]. Disponible: <https://isa.ec/deshidratador-de-lodos-con-tornillos/>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [38] Biblio3.url.edu.gt, 2021. [En línea]. Disponible: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/lote01/Montalvan-Hector.pdf>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].
- [39] Ideam.gov.co, 2021. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>. [Consultado: 10 de noviembre de 2021].

## GLOSARIO

**ABONO O FERTILIZANTE ORGÁNICO:** producto sólido o líquido formado por materia orgánica procedente de residuos animales o vegetales, destinados a suplir las necesidades nutricionales de las plantas, y cumplen una normatividad legal vigente.

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS:** utilización de residuos mediante actividades tales como recuperación, transformación, y rehusó de los mismos, con el fin de generar un beneficio económico, social y de reducir los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana asociados con la producción, manejo y disposición final de los residuos.

**CAUE:** Costo anual uniforme equivalente, es un indicador que se utiliza para evaluar proyectos de inversión anuales.

**CARACTERIZACIÓN DE LODOS:** estudio y determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lodos a transformar.

**COMPOSTAJE:** proceso biológico controlado que consiste en la desintegración y biodegradación de la materia orgánica por la intervención de microorganismos en condiciones aerobias o anaerobias.

**DESHIDRATACIÓN DE LODOS:** secado por evaporación de residuos contaminantes en el agua.

**DIGESTIÓN AEROBIA:** proceso biológico realizado por diversos microorganismos, que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica, transformándola en productos inocuos.

**ESPEZAMIENTO:** separan las partículas suspendidas en un líquido gracias a la sedimentación por acción de la gravedad.

**FANGO:** cualquier tipo de lodo formado por varios sedimentos, formado en el fondo de un depósito de agua.

**HORNO INCINERADOR:** hornos que tienen un diseño adecuado para el tratamiento de desperdicios de diversos tipos: hospitalarios, tóxicos, patológicos e industriales, orgánicos e inorgánicos, sean sólidos o líquidos.

**HUMEDAD:** cantidad de agua impregnada en un cuerpo o, también, el agua, en forma de vapor, está presente en el aire ambiental.

**LODO:** mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de procesos naturales o artificiales.

**SECADO DE LODOS:** tratamiento que consigue reducir el peso de los lodos, el secado se produce por medio de la evaporación del agua que existe en los lodos y se da generalmente por procedimientos basados en contacto, convección o radiación.



## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**

**PRESUPUESTO INVERSIÓN INICIAL**

ITEMS	UNIDAD	S/UNIDAD	CANTID.	TOTAL	FUENTE FINANCIAD.
<b>Talento Humano</b>					
Investigador 1	1	\$ 10.000	420	\$ 4.200.000	Estudiante
Investigador 2	1	\$ 10.000	420	\$ 4.200.000	Estudiante
Auxiliar de Mantenimiento	1	\$ 40.000	16	\$ 640.000	PROSARC SA
Tutor 1	1	\$ 40.000	16	\$ 640.000	Universidad de América
<b>Total: Talento Humano</b>				\$ 9.680.000	<b>Pesos colombianos</b>
<b>Gastos maquinaria y equipo</b>					
Tornillo deshidratador		1		\$ 16.782.900	PROSARC SA
<b>Total: Maquinaria y Equipo</b>				\$ 16.782.900	<b>Pesos colombianos</b>
<b>Otros gastos</b>					
Flete		1		\$ 3.512.700	BOE
Prima de seguro		1		\$ 390.300	PROSARC SA
Gravamen arancel de importación 10%		1		\$ 1.678.290	PROSARC SA
Gravamen del Iva para maquinaria 17%		1		\$ 2.853.093	PROSARC SA
Gestión portuaria		1		\$ 11.709.000	PROSARC SA
IVA por el servicio de gestión portuaria		1		\$ 1.006.974	PROSARC SA
<b>Total otros gastos</b>				\$ 21.150.357	<b>Pesos colombianos</b>
<b>Total del proyecto</b>				\$ 47.613.257	<b>Pesos colombianos</b>
<b>Total inversion inicial</b>				\$ 38.573.257	<b>Pesos colombianos</b>

---

Luisa Fernanda Pinzón Osorio

---


Laura Alejandra Téllez Morales

Código: 6161850

Código: 6162985

## ANEXO 2.

# FACTURA CORRESPONDIENTE AL COBRO POR RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LODOS



**Waste and Environmental Services s.a.s.**  
NIT 900809380-2  
KM 1,5 VTE COTA-CHIA CA IGUAQUE 44. COTA (CUND.), Bogotá,  
D.C., Bogotá D.C.,  
Tel: +57 3114621352  
wescomercial@gmail.com

FACTURA ELECTRÓNICA DE VENTA  
**No. FV87**  
Responsable de IVA

SEÑOR(ES)	PROGARC S.A. ESP	FECHA DE EXPEDICIÓN (DOMMIAA)	16/09/2021
DIRECCIÓN	Calle 120 A No. 7-62, Colombia, Bogotá, D.C., Bogotá D.C.	FECHA DE VENCIMIENTO (DOMMIAA)	16/10/2021
TELÉFONO	6299853	NIT	900079189-0

ID	Item	Unidad	Precio	Cantidad	Descuento	Total
1	TRANSPORTE	Unidad	\$190	12360		\$2,348,400

Moneda: COP  
 Fecha y hora de generación: 2021-09-16T16:33:00  
 Fecha y hora de expedición: 2021-09-16T16:32:03  
 Tipo de factura: Factura de venta  
 Tipo de operación: Estándar  
 Forma de pago: Crédito Medio de pago: Instrumento no definido  
 CUIFE: 010dfe2a7d4f0e6804218fb055b66251427b4e3130f61cfe637735809697377d5a37de2b377c4460b187ed764d2  
Nota digital: EY1488286132yPFC6888eac211yP5uChw65daYK022AgH7DjPwZha4ZpF4C688Y0249ADyH7C8w6yAQPM668C  
 2WAg0paz2M74088487juz0w6v08uK0R0P06u0A4u0ngP02188y6CJ30u6K0P0dApAtgypw4y0W4Y0Z6N84u0w070LW0M0K0T1P0  
 41u0G2105875u08Wg038u0Q0u0h0C080v0a0M0y42Y14u0P0u09W0M0A7P0J7u0C0u0w0K09080u0u0C0y04u0w0

Subtotal	\$2,348,400
Total	\$2,348,400

Total de líneas: 1

Esta factura se emite en todos sus efectos a una letra de cambio de conformidad con el Art. 774 del código de comercio. Autorizo que en caso de incumplimiento de esta obligación sea reportado a las centrales de riesgo, se cobren intereses por mora.

ELABORADO POR

ACEPTADA, FIRMA Y/O SELLO Y FECHA

Autorización de numeración de facturación N°18784004884117 de 2020-09-29 Modalidad Factura Electrónica Desde N° FV1 hasta FV5000 con vigencia hasta 2021-09-29

Representación impresa de la factura electrónica

ANEXO 3.

COTIZACION TORNILLO DESHIDRATADOR CON LA EMPRESA BOEEP



ADD: No. 10, Zhenye Road, Yangmiao, Hanjiang, Yangzhou, Jiangsu  
 TEL/FAX: 0514-87848766/0514-87894600 WEB: www.chinaboEEP.com(EN), www.boEEP.com(CN)

To: Laura Tellez From: Rick Xue  
 Attn: Email: rick@boEEP.com  
 Date: 2021-12-2

QUOTATION						UNITS: USD
NO.	NAME	TYPE	QTY.	UNIT PRICE	TOTAL PRICE	NOTE
1	Screw press dehydrator	MYDL101	1	4300	4300	inlet ss:1-5% DS:3-6kg/h outlet water concentration:80-85% material:SS304 gearmotor:SEW including control panel Electrical components: Schneider
Delivery		CIF to BUENAVENTURA			900	packing size:2050mm*940mm*1290mm shipping in LCL
Total		5200				

Note: 1. This price excludes installation instruction and commissioning, and the effective period of the quotation is 30 days.

2. First payment 30% of the total price by TT, rest payment 70% of the total price will be paid by TT before delivery.

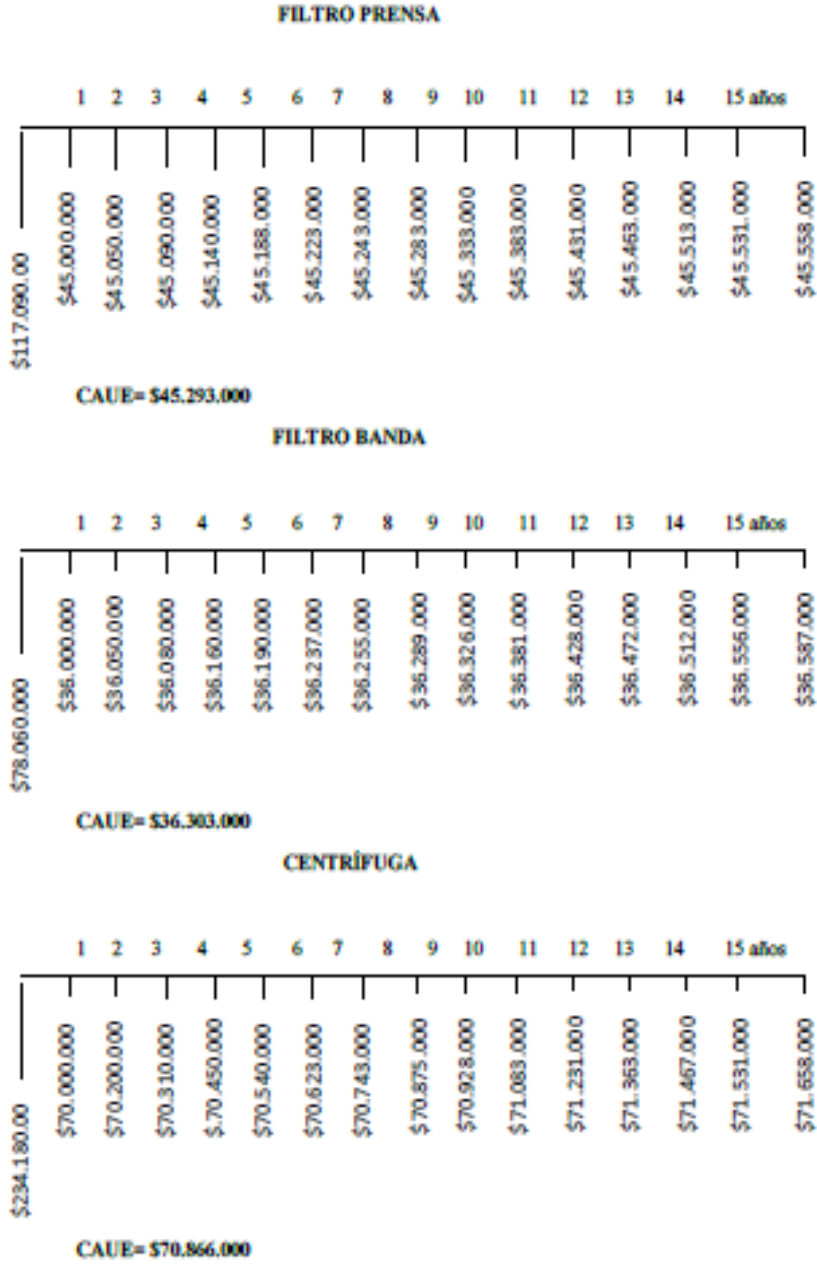
3. Lead time: about 42 days after signing the contract and down payment.

Best Regards,

Jiangsu BOE Environmental Protection Technology Co., Ltd.  
 2021-12-2

**ANEXO 4.**

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE OTRAS TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN Y SECADO DE LODOS**



## **ANEXO 5.**

### **RECOMENDACIONES**

Se debe realizar un mantenimiento preventivo al tornillo deshidratador para evitar a futuro daños mayores que impactan directamente sobre los gastos operacionales en la empresa. Se recomienda que se revise periódicamente, además de llevar un control de registro sobre el equipo.

Se recomienda establecer el valor de cantidad de materia seca adecuado para realizar un correcto dimensionamiento del equipo y con esto evitar posibles inconvenientes a la hora de poner a funcionar el tornillo deshidratador y garantizando un buen resultado de remoción de humedad.

Debido a que los lodos tratados durante esta tesis provienen de residuos hospitalarios incluidas sustancias químicas y residuos industriales, donde se desconoce si hay presencia de residuos tóxicos, no se recomienda el uso posterior a este como abono o compost de suelo ya que puede impactar negativamente el ambiente y contaminar los suelos dejándolos infértiles.