



**OPTIMIZACIÓN DE UN FILTRO PRENSA PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS  
GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA CUEROS Y  
DISEÑOS**

Natalia Pérez García

Informe de práctica para optar al título de Ingeniera Sanitaria

**Asesora Interna:**

Diana Catalina Rodríguez Loaiza  
Ph.D. Msc. Ingeniera Sanitaria

**Asesor Externo:**

Henry Nelson Vidales Curequia

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Sanitaria  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2021

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Cita</b>                | (Pérez García, 2021)   |
| <b>Referencia</b>          | Pérez García, N. <i>Optimización de un filtro prensa para el tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de la empresa CUEROS Y DISEÑOS</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| <b>Estilo APA 7 (2020)</b> |  |



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano:** Jesús Francisco Vargas Bonilla

**Jefe departamento:** Julio César Saldarriaga Molina

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUCCION .....                              | 8  |
| 2.     | OBJETIVOS .....                                 | 10 |
| 2.1    | OBJETIVO GENERAL.....                           | 10 |
| 2.3    | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                     | 10 |
| 3.     | ESTADO DEL ARTE.....                            | 10 |
| 3.1    | FILTRACIÓN.....                                 | 11 |
| 3.2    | FILTRACIÓN CONTINUA.....                        | 12 |
| 3.3    | FILTRACIÓN DISCONTINUA .....                    | 12 |
| 3.4    | TIPOS DE DESHIDRATACIÓN:.....                   | 12 |
| 3.5    | FILTRO DE DISCO ROTATORIO CONTINUO .....        | 12 |
| 3.6    | FILTRO HORIZONTAL ROTARIO CONTINUO .....        | 12 |
| 3.7    | FILTRO DE TAMBOR ROTARORIO.....                 | 12 |
| 3.8    | FILTRO PRENSA .....                             | 13 |
| 3.9    | FUNCIONAMIENTO .....                            | 14 |
| 3.10   | EQUIPOS DE FILTRADO.....                        | 14 |
| 3.11   | TELAS FILTRANTES .....                          | 16 |
| 3.11.1 | MULTIFILAMENTO:.....                            | 17 |
| 3.11.2 | MONOFILAMENTO: .....                            | 17 |
| 3.11.3 | SPUN .....                                      | 17 |
| 3.12   | BLINDING .....                                  | 18 |
| 3.13   | SISTEMA DE ALIMENTACIÓN .....                   | 18 |
| 3.14   | SISTEMA DE CIERRE DEL FILTRO .....              | 19 |
| 3.15   | LAVADO DE TELAS .....                           | 19 |
| 3.16   | PCL .....                                       | 20 |
| 3.17   | USO DE POLIMERO COMO ACONDICIONAR QUIMICO ..... | 20 |
| 3.18   | BIOSOLIDOS.....                                 | 21 |
| 3.18.1 | CARACTERISTICAS FISICAS .....                   | 21 |
| 3.18.2 | CARACTERISTICAS FISICAS .....                   | 22 |
| 3.19   | LEGISLACIÓN .....                               | 22 |
| 3.19.1 | LODOS CATEGORIA A: .....                        | 23 |
| 3.19.2 | LODO CATEGORIA B:.....                          | 23 |

|                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 3.19.3 LODO CATEGORIA C:.....         | 23                                   |
| 4. ANALISIS Y RESULTADOS .....        | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 4.1 CAPACITACIÓN.....                 | 23                                   |
| 4.2 TOMA DE MUESTRAS .....            | 27                                   |
| 4.3 TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO ..... | 28                                   |
| 5. CONCLUSIONES .....                 | 29                                   |
| 6. REFERENCIAS.....                   | 31                                   |

**TABLA DE ILUSTRACIONES**

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Componentes de un filtro prensa .....  | 15 |
| Ilustración 2. Descripción grafica del filtrado. .... | 16 |
| Ilustración 3. Tipos de tejido para membranas. ....   | 18 |
| Ilustración 4. Capacitación para operarios.....       | 24 |
| Ilustración 5. Celda de flotación.                    |    |
| Ilustración 6. Sistema de evacuación del lodo. ....   | 25 |
| Ilustración 7. Estiba de lodo empacado.               |    |
| Ilustración 8. Disposición final del lodo. ....       | 25 |
| Ilustración 10. Cantidad de lodo producida. ....      | 26 |
| Ilustración 9. Cantidad de agua tratada. ....         | 26 |
| Ilustración 11. Filtro prensa                         |    |
| Ilustración 12. Bomba Hidráulica .....                | 26 |
| Ilustración 13. Primera toma de muestras. ....        | 27 |
| Ilustración 14. Lodo biológico - Lodo celda           |    |
| Ilustración 15. Lodo combinado. ....                  | 28 |
| Ilustración 16. Estructuración de operación.....      | 29 |

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo es necesario dar gracias a Dios, ya que después de todos los acontecimientos que han pasado durante estos dos años ha sido posible cumplir una meta, sin importar lo difícil que pueden ser las clases virtuales y la falta que hace el contacto con los compañeros. El apoyo constante de mis padres y familiares más cercanos que siempre tuvieron una palabra de aliento o un consejo para seguir adelante a pesar de las vueltas que da la vida. La universidad no ha sido un espacio para aprender de la academia y expandir mis ideas, si no que me permitió crecer como persona, afirmar los valores dados en el hogar y afrontar situaciones que marcan el carácter.

La universidad de Antioquia ha sido un hogar que te enseña a aprender y te enseña a conocerte como persona y dadas las oportunidades buscadas también ayudan a forjar un carácter como profesional. El sentido social que siempre está encendido en la universidad hace entender la vida desde diferentes aspectos evitando normalizar cuestiones políticas, sociales y ambientales.

Gracias a mis compañeros y a mis amigos con los que viví infinidad de situaciones que siempre sacaran una sonrisa o un consejo en el futuro.

Agradezco a la empresa Cueros y Diseños por la práctica académica y el suministro de la información necesaria para la elaboración del documento.

## RESUMEN

El presente trabajo recopila el desarrollo que se debe llevar a cabo para poner en marcha un proyecto en una empresa de mediano desarrollo, mediante la aplicación de un filtro prensa para mejorar el proceso del tratamiento de las aguas residuales y la posterior disposición del lodo. Esta idea nació del intercambio que se presenta entre empresas del mismo sector o que comparten una industrialización en común, por lo tanto, se obtiene el filtro prensa en una negociación realizada con una empresa tercera. Cuando la maquina arriba a la empresa CUERO Y DISEÑOS, no se tenía información alguna del mismo ni tampoco de su implementación. De este modo era necesario revisar la bibliografía sobre el equipo y buscar el asesoramiento de una empresa que suela trabajar con estos equipos. El trabajo interno sobre la implementación del filtro prensa requirió de varias reuniones en las cuales participaban el ingeniero sanitario, responsable de la gestión ambiental de toda la empresa; la asesora ambiental, ya que está involucrada en proyectos que implique un mejoramiento de la gestión ambiental y el diseño de todo el sistema de tratamiento de aguas; el gerente, ya que este es el encargado de explicar a los dueños de la empresa el desarrollo tecnológico y las ventajas que traería llevar el proyecto a su realización. Hablando desde la parte técnica era necesario identificar qué tipo de filtro prensa que habían llegado a la empresa, para esto se buscó en la bibliografía los filtro prensas más famosos o de mayor uso, ya que al momento de la entrega no se llevaron documentos que facilitaran esta información. Para esto fue necesario buscar en todas las plataformas de documentación científica proyectos de varias industrias donde la aplicación del filtro prensa haya sido fundamental y presentado un gran avance. En este punto se pudo encontrar que la implementación de este tipo de maquinaria acarrea una inyección de capital importante de primera instancia y el beneficio se verá en el transcurso de los años posteriores. Además, se necesita perfeccionar el tratamiento de aguas ya utilizado en la planta para no generar daños más grandes en la maquinaria nueva. También es necesario contar con colaboradores que cuente con el título de técnico o tecnólogo ya que la tecnificación necesita de conocimientos que llegan desde la academia y no solo empíricamente. Para el funcionamiento y mantenimiento se buscaron varios manuales de filtro prensas utilizados en caderas e industrias de pulpas. De esta manera se pudo identificar con más facilidad las características y piezas faltantes del filtro prensa, para el mantenimiento muchos autores coincidían en las mismas técnicas, como la realización de bloques solo con agua, además de que esto ayudarían a conservar de mejor manera las membranas. Sobre las membranas es necesario decir que son un componente supremamente importante para una eficiencia del tratamiento de lodos. Los sistemas electrónicos para válvulas de presión, manómetros y sistemas de inyección de aire son componentes muy delicados que necesitan de un ambiente neutral, por lo tanto, era importante pensar una manera en que los gases tóxicos y de ácidos generados en todos los procesos de pelambre, curtido y recurtido no atrofiaran esos equipos. Desde este punto se comienza en la labor de empezar a cotizar con empresas terceras las cuales tengan la capacidad de instalar el filtro prensa de una manera adecuada con el espacio designado, la capacidad eléctrica y la cantidad de lodo producida en la planta, con visión hacia el futuro ya que hay una tendencia al alza de la cantidad de este material dado la producción de la misma compañía. El desarrollo de este proyecto se debe dividir en varias partes y este es solo el inicio, queda un camino con muchas actividades por analizar y desarrollar que necesitaran de la vista de muchos profesionales para darle una finalización al proyecto y el avance de la compañía.

## 1. Introducción

En el área metropolitana de la ciudad de Medellín se concentra la mayor parte de la actividad económica industrial del departamento de Antioquia. La base industrial es diversa, incluyendo procesos alimenticios, textiles, productos químicos, entre otros, que llevan consigo un crecimiento económico e industrial rápido, pero acarreando problemas de contaminación ambiental que afectan el aire, el suelo y el agua. El proceso realizado dentro de una curtiembre se clasifica como un sector industrial que genera contaminación ambiental ya que necesita una porción extensa de recursos naturales e insumos químicos afectando directamente la atmósfera por las emisiones de gases tóxicos, los cuerpos de agua debido a los vertimientos de aguas residuales no domésticas y los suelos debido a una alta generación de residuos, teniendo en cuenta que hay otras consecuencias con un menor rango de impacto pero de igual manera importantes a largo plazo, como lo son los olores, el ruido y la contaminación visual (Metropolitana, 1999). Por estas razones las curtiembres se han identificado como una industria contaminante neta, pero es importante aclarar y demostrar que se aprovecha un subproducto altamente putrescible y de biodegradación lenta (Metropolitana, 1999). Es por esto, que la toma de decisiones y precauciones necesarias para la industrial pueden conllevar a un beneficio mutuo entre las industrias de curtiembres y el medio ambiente. Por experiencia directa e indirecta se ha concluido que las soluciones a la contaminación son un grupo de medidas de precaución y control, logrando de esta manera grandes ahorros y optimización de los recursos, por esto, se han creado una serie de medidas que ayudan a prevenir y disminuir la contaminación generada, que además son de fácil aplicación y promueven políticas como las 3 erres (Colotta, 2005 ). Por otra parte, se han creado soluciones a problemas de contaminación mucho más voluminosos, generados comúnmente al final del proceso, este tipo de soluciones requiere de mayor inversión y asesoría técnica especializada, pero esto no significa una barrera para la realización de la actividad, ya que los beneficios económicos y tributarios serán de extrema importancia. La tecnología y los acuerdos ambientales han obligado a que este sector industrial logre de una forma integrada, procesos altamente optimizados con un elevado aprovechamiento de las materias primas y una mínima emisión de residuos al ambiente, generando todo un gabinete de opciones para el mejoramiento continuo de las curtiembres, de esta forma se genera una competitividad en todos los aspectos dado que estas empresas cuentan con tecnología de punta, personal altamente calificado y una gestión adecuada y rigurosa a sus procesos e impactos ambientales (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA , 2018). Una empresa que tome estas decisiones y precauciones en su actuar, mejora simultáneamente su imagen ante la comunidad, cumplirá a cabalidad las normas vigentes y apoyará otros sectores productivos, como los gestores de residuos tercerizados, retomando un desarrollo de la actividad en formar ambientalmente sustentable (Metropolitana, 1999).

PURO CUERO, como curtiembre altamente interesada en los impactos ambientales que se pueden generar en la producción del cuero, ha enfocado grandes esfuerzos tanto económicos como de personal para el mejoramiento integral de la empresa, tocando todas más matrices existentes y generando estrategias que afectarían positivamente muchos sectores internos de la planta. Los componentes orgánicos provienen de la piel o de los materiales empleados en la fabricación del cuero, donde en promedio, la cantidad es de 20-25 g de materia proteica y de 10-20 g de materia grasa, por cada kilo de piel fresca trabajada, proveniente de la propia piel. La cantidad derivada de productos, en la curtición vegetal es de unos 50 g de materia seca por cada kilo de piel fresca trabajada, habiendo también algo que pueda proceder de las recurticiones. Por otra parte, la



cantidad de proteínas que se haya solubilizado, en gran medida de la fabricación, fundamentalmente en la etapa de ribera. Los productos inorgánicos que más abundan son las sales insolubles de calcio que pueden estar entre 35-45 g/kg piel fresca (Universidad de Santiago de Compostela, 2007). El cromo se encuentra en forma de hidróxido, pudiendo haber también otros metales pesados. Existen también productos inorgánicos procedentes de la depuración, estos pueden bajar considerablemente si se ha realizado depuración biológica, si no, se encontrarán compuestos de hierro, calcio, aluminio y otros electrolitos. En los lodos procedentes de fábricas que trabajen cuero wet-blue la modificación es grande, al no existir la ribera. Como norma general se puede suponer que cada kilo de piel fresca fabricada entrega 100-120 g. de lodo seco (Colotta, 2005). El filtro prensa es un equipo que permite la separación de sólidos de una suspensión mediante el paso de corriente a través de un medio poroso que retiene los sólidos formando una torta y deja pasar el líquido. La torta formada sirve como medio filtrando ya que aumenta la presión en el filtro (Vasquez, 2008). Además, los poros de las mallas por lo general son de mayor tamaño que las partículas sólidas retenidas. Las características fundamentales del medio filtrante es que debe permitir la separación de los retenidos mediante la limpieza del filtro sin pérdidas ni mayores dificultades y debe permitir que al final de la operación se obtenga una solución lo más transparente posible debido a la baja concentración de sólidos (Metropolitana, 1999). Además, los poros no deben obstruirse con facilidad para que no se afecte la velocidad del proceso. Adicionalmente el medio filtrando debe ser resistente física y químicamente. Todo este proceso minimiza los efectos contaminantes y los costos económicos del vertido, preparándolo así para una disposición final más adecuada. La integración del filtro prensa a los procesos de la curtumbre representan un adelanto en tecnología, un ahorro económico a largo plazo y una posibilidad de investigación sobre un reusó que pueda ser adecuado para estos tipos de lodos, extendiendo la economía circular en la venta de un posible compost, ya que en general los lodos de las plantas depuradoras se pueden clasificar en orgánicos, inorgánicos y mixtos, siendo estos últimos los provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales del sector curtumbres.

En este informe se presenta una propuesta enfocada a la optimación de un filtro prensa que ayudará a reducir en volumen los lodos que son generados gracias al tratamiento de las aguas residuales de la propia empresa, reduciendo drásticamente los residuos ordinarios generados en la planta de tratamiento de agua residuales (PTAR). Finalmente, este documento quiere reportar un desarrollo estratégico de la implementación del filtro prensa y toda la teoría anteriormente reportada, su respectivo manual de operación y demás medidas de uso correcto en el transcurso de instalación y puesta en marcha. Se enfocará además, en el proceso de capacitación de los operarios encargados de su manejo, investigación teórica para interpretar en el proceso real como podría ser eficaz, pruebas de laboratorio para entender la composición de los lodos generados y los pretratamientos que requiere para su posterior instalación en la empresa PURO CUERO, específicamente en la planta de tratamiento de aguas interna de la compañía y de esta manera mejorar las metas establecidas en cuanto al manejo de los residuos sólidos generados, especialmente los residuos ordinarios.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Optimizar un filtro prensa para el tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

### 2.3 Objetivos Específicos

- Evaluar el estado del arte del filtro prensa como alternativa para el tratamiento y uso adecuado de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales a partir de investigaciones, consultas en bases de datos y manuales de operación.
- Caracterizar la composición del lodo generado en la PTAR, mediante ensayos de laboratorio, evaluando por medio de ensayos de composición las diferentes alternativas para el tratamiento y disposición de estos.
- Capacitar al personal de la compañía sobre el manejo adecuado del filtro prensa y la importancia de la adecuada disposición de los lodos.

## 3. Estado del Arte

Los primeros filtro prensa datan de hace miles de años y tienen su origen en varias culturas de todo el mundo. En tiempos de la dinastía Shang (1600 a.c), se ideó un tipo de filtro prensa de madera para producir té de camelia. En la dinastía XVII de Egipto (1543-1292 a.c), se extraía el jugo de las uvas con una prensa de saco que se exprimía mediante un gran torniquete; los romanos comparten una historia similar, ya que Catón el Viejo describió el modo en que los romanos producían vino con prensas de madera entre los años 100 a.c y 400 d.c. (Universidad Nacional de Colombia , 2018).

El diseño de los filtros prensa se mantuvo mayormente intacto hasta la revolución industrial del siglo XVII. En 1853, en el Reino Unido, se creó el primer filtro prensa automático y fue considerada precursora de los filtros prensa Johnson Press. Fue el primer filtro prensa de placas y bastidores de acero en la historia, y se utilizó principalmente para el procesamiento de alimentos y aplicaciones industriales.

Este filtro prensa tuvo su primera aparición en la industria minera en el siglo XX, el filtro prensa de placas y bastidores de acero Eimco se utilizó por más de un siglo para recuperar el polvo de zinc de las soluciones de cianuro de oro. En 1959, K. Kurita y S. Suwa modificaron los filtros prensa para mejorar la remoción de residuos y la absorción de humedad con filtros prensa con cámara empotradas. La primera y la última placa solo están empotradas en un solo lado para que se forme un residuo parcial entre la placa y el bastidor del filtro prensa. Esto significa que la cantidad de residuos que se forman en los filtros de esta clase, siempre será uno menos que el número de placas. (Draco)

Actualmente los filtro prensa de placas y marcos están concebidos para suspensiones cargadas que forman una torta, compuestos de una serie de platos verticales yuxtapuestos alternativamente con armazones huecos en los cuales se acumula la torta. El soporte de filtración está formado por telas que sujetan los platos acanalados. El filtrado fluye tras cruzar el tejido filtrante por las conducciones adecuadas, las lonas que cubren las placas son el corazón del filtro prensa, en los principios se utilizaba algodón con diferentes tipos de hilado. (Argemi)

El filtro prensa tiene una amplia aplicación en la separación sólido líquido, el de uso común para el filtrado y clarificación de numerosos líquidos, industrias químicas o textiles artificiales, industria azucarera, cervecería, vinificación, industrias aceiteras, industria cerámica o extractivas. (Draco)

En el futuro, las demandas del mercado para la industria de la filtración moderna se volverán cada vez más finas en el grado de separación y particularmente en el propósito del reciclaje de materiales, el ahorro de energía y tecnología ecológica (Industrias Mecánicas ). Con el fin de satisfacer las crecientes demandas de un mayor grado de deshidratación del material difícil de filtrar, se requieren filtros de presión super alta, por tanto, la tendencia a aumentar la presión para el filtro prensa automática seguirá desarrollándose en el futuro. Los mecanismos convencionales de filtros prensa suelen utilizar compresión mecánica y aire para desagüe; sin embargo, la eficiencia de producir la pasta de baja humedad es limitada. Se ha introducido un método alternativo utilizando vapor en lugar de aire para deshidratar la pasta. La técnica de deshidratación al vapor puede ser un método competitivo ya que ofrece productos de pasta de bajo contenido de humedad (Opino & Agamez, 2015). En varias investigaciones se encuentran parámetros como el caudal, presión, temperatura, tamaño de partícula, entre otros., que son fundamentales para tener en cuenta en el diseño de las partes que conforman el sistema de filtración: placas, marcos, bomba, entre otros. El proceso de filtración está estudiado por la teoría de movimiento de fluidos a través de medios porosos (Industrias Mecánicas )

### **3.1 Filtración**

Es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluyen el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla, por tanto, un filtro es un equipo de operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración (Universidad Nacional de Colombia , 2018). El medio filtrante es la barrera que permite que pase el líquido mientras retiene la mayor parte de sólidos. Dicho medio puede ser una pantalla, una tela, papel o un lecho de sólidos (Municipal sludge dewatering by belt filter press: Effect of operating parameters, 2005). El líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado. Una de las características fundamentales del medio filtrantes es que debe permitir la separación de los retenidos mediante la limpieza del filtro sin pérdidas ni mayores dificultades y debe permitir que al final de la operación se obtenga una solución lo más transparente posible debido a la baja concentración de sólidos (Argemi). Además, los poros no deben obstruirse con facilidad para que no se afecte la velocidad del proceso. Adicionalmente, el medio filtrante debe ser resistente física y químicamente. La resistencia por parte del material debido a que ya se ha desgastado debido al uso es determinante sobre todo en la parte inicial del filtrado, por lo tanto, puede calcularse con datos experimentales (Universidad Nacional de Colombia , 2018).

### **3.2 Filtración Continua**

Como lo dice su nombre, la filtración continua, es un método en donde la separación líquido-sólido se mantiene de manera continua, es decir, el ciclo de filtrado se mantiene constante manteniendo etapas de forma paralela en su proceso. En este método es conveniente y razonable asumir que la resistencia de la tela filtrante más el drenaje del filtrado es insignificante en comparación con la resistencia del filtro y asumir que tanto la caída de presión como la resistencia específica de la torta permanecen constantes durante todo el ciclo de filtrado (Universidad Nacional de Colombia, 2018).

### **3.3 Filtración Discontinua**

La operación de filtración discontinua se caracteriza por trabajar en forma de ciclos claramente marcados en la ejecución del filtrado. Esto implica que no durante todo el tiempo en que la actividad se esté llevando a cabo el filtrado. Ejemplos claros de este tipo de filtrado son los filtros de prensa tanto horizontal como vertical que tienen etapas muy marcadas en su proceso que no se realizan de manera simultánea como es el caso de la filtración continua. Dado que el filtro de estudio en este documento es el filtro de prensa horizontal y además de que la mayoría de los filtros de tipo discontinuo operan bajo presión en lugar de vacío el siguiente análisis se aplicará principalmente a la filtración a presión (Industrias Mecánicas).

### **3.4 Tipos De Deshidratación:**

Existen dos tipos de deshidratación: natural y mecánica. Forman el primer tipo las eras de secado, y el segundo está constituido, fundamentalmente, por: filtros banda, filtros prensa, filtros de vacío y centrífugas. La deshidratación mecánica va precedida de acondicionamiento previo (Marquez R, 2004).

### **3.5 Filtro De Disco Rotatorio Continuo**

Este filtro consta de discos verticales concéntricos montados en un eje horizontal rotatorio. El filtro opera con el mismo principio que el filtro rotatorio de tambor al vacío. Todos los discos están huecos y cubiertos con un filtro de tela que se sumerge parcialmente en la suspensión. La torta se lava, se seca y se descarga raspándola cuando el disco está en la sección superior de su rotación. El lavado es menos eficiente que con el filtro de tambor rotatorio (Argemi).

### **3.6 Filtro Horizontal Rotario Continuo**

Este es un filtro al vacío cuya superficie filtradora anular rotatoria está dividido en sectores. Conforme el filtro horizontal gira recibe suspensión, luego se lava, se seca y se le quita la torta. La eficiencia del lavado es mejor que con el filtro de disco rotatorio. Se usa mucho en procesos de extracción de minerales, lavado de pulpas y otros procesos de gran capacidad (Draco).

### **3.7 Filtro De Tambor Rotatorio**

El tipo más frecuente de filtro continuo de vacío es el filtro de tambor rotatorio. Los filtros de tambor rotatorio tienen un campo de uso amplio, entre los cuales está el refinamiento del mineral, hidrometalurgia, industria metalúrgica, química y farmacéutica, transformación de los alimentos, y tratamiento de aguas residuales (Industrias Mecánicas ).

### 3.8 Filtro Prensa

En un filtro prensa la deshidratación se lleva a cabo forzando la evacuación del agua presente en el fango por la aplicación de una presión elevada. El filtro prensa permite obtener altas concentraciones de sólidos en la torta, obtener un filtrado muy clarificado (elevadas capturas de sólidos) (Industrias Mecánicas ). Este filtro prensa consiste en una serie de placas rectangulares que se colocan enfrentadas entre sí; sobre cada una de las placas se ajusta o cuelga una tela filtrante. El espacio que queda entre dos placas, en su parte central hueca, es el espesor que adquirirá la torta resultante. Este espesor puede oscilar entre 15-30 mm (Argemi). Las placas se mantienen juntas con fuerza suficiente para que se adhieran herméticamente y puedan, así, resistir la presión aplicada durante el proceso de filtración. Para que las placas se mantengan unidas, se emplean prensas hidráulicas o tornillos accionados mecánicamente (Municipal sludge dewatering by belt filter press: Effect of operating parameters, 2005). La superficie de los filtros prensa puede ser de hasta 400 m<sup>2</sup>, y la superficie de las placas de 2 m<sup>2</sup>. Pueden llegar a estar formados por más de 100 placas. Durante el funcionamiento el fango, acondicionado químicamente, se bombea al espacio existente entre las placas, y se aplica una presión variable entre 690 y 1550 KN/m<sup>2</sup> que se mantiene durante 1-3 horas, forzando el líquido a pasar a través de la tela filtrante y de los orificios de salida de las placas. Seguidamente, se separan las placas y se extraen la torta de fango. El líquido filtrado se suele recircular a cabecera de planta (Universidad Nacional de Colombia , 2018).

Las fases de funcionamiento de un filtro prensa son:

- Llenado con una duración de 15 a 20 minutos.
- Filtrado con una duración que oscila entre 1 y 3 horas en función del tipo de fango.
- Vaciado con una duración de 30 minutos.
- Lavado con una duración de 30 minutos cada 2 o 3 filtrados. (Draco)

Los filtros prensa presentan varios problemas operacionales y de mantenimiento que varían desde dificultades en los sistemas de alimentación de reactivos y acondicionamiento del fango hasta periodos de puesta fuera del servicio para realizar las labores de mantenimiento demasiado prolongados. Los aspectos a tener en cuenta en el diseño de instalaciones de filtros prensa incluyen Ventilación adecuada del edificio de deshidratación (se recomienda adoptar entre 6 y 12 regeneraciones de aire por hora, en función de la temperatura ambiente) (Opino & Agamez, 2015).

- Sistemas de lavado a presiones elevadas;
- En los casos en los que se emplea cal, provisión de un sistema de lavado por circulación de ácido para eliminar las incrustaciones que se puedan formar;
- Disponer de un triturador de fango antes del tanque de acondicionamiento;
- Incluir un sistema de rotura de la torta de fango a continuación del filtro prensa (especialmente si el fango deshidratado se desea incinerar)
- Equipos para facilitar la extracción y mantenimiento de las placas. (Draco)

La ventaja principal de los filtros prensa es su capacidad para conseguir sequezaes superiores al 35%. Los costos energéticos son equiparables a la filtración por vacío y son adaptables a diferentes tipos de fango. Por el contrario, tienen un costo de inversión muy alto, necesitan gran cantidad de reactivos en la fase de acondicionamiento y generan altos costos de explotación. El consumo energético se sitúa entre 40 y 60 kWh/t MS. En cada proceso la duración del ciclo de prensado dependerá de varios factores, principalmente del tipo de fango (Pierre, 2003).

Un fango compuesto en su mayoría por sólidos inertes (cementeras, canteras, marmolerías.) presenta tiempos de ciclos mucho más cortos que los necesarios para llevar a cabo un prensado de un fango de industria alimentaria (Industrias Mecánicas ).

Los filtros también se clasifican de acuerdo con su ciclo de operación: por lotes, cuando se extrae la torta después de cierto tiempo, o de manera continua, cuando la torta se va extrayendo a medida que se forma. En otra clasificación, los filtros pueden ser de gravedad, donde el líquido simplemente fluye debido a la presencia de una carga hidrostática, o bien se puede usar presión o vacío para incrementar la velocidad de flujo. Un método de clasificación muy importante se basa en la colocación mecánica del medio filtrante. La tela filtrante puede estar en serie, en forma de placas planas encerradas, como hojas individuales sumergidas en la suspensión, o sobre cilindros giratorios que penetran en la suspensión (Universidad Nacional de Colombia , 2018).

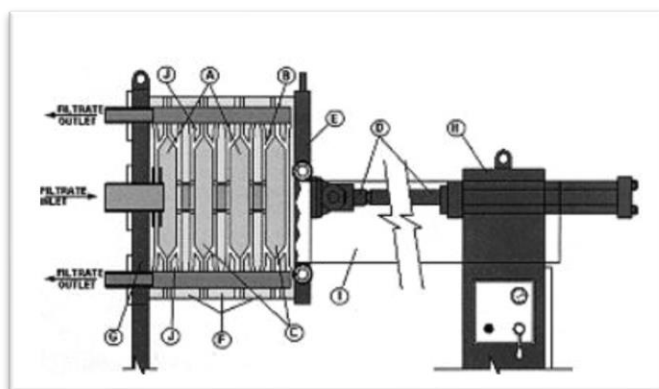
### **3.9 Funcionamiento**

Los lodos previamente decantados en un tanque clarificador/espesador y con una concentración del 40-50% de sólidos, se bombean al filtro prensa mediante una bomba que aumenta progresivamente la presión de alimentación hasta conseguir la presión de filtración requerida, entre 600 kPa y 1000 kPa. El ciclo de filtrado comienza con el paquete filtrante cerrado y alimentando el lodo mediante bomba. El sólido queda retenido en las cámaras mientras que el agua se filtra por evacuación y de forma continua, en sistema abierto o cerrado, a través de las telas, situadas en el interior de las cámaras formadas entre cada dos placas (García A, 2011). Una vez deshidratado el lodo mediante inyecciones de aire, se realizan los sopladros de torta y la limpieza del colector central y, posteriormente, se descarga la torta por gravedad. Una vez concluida la descarga, se cierra el filtro y comienza un nuevo ciclo de filtrado (Argemi). El filtro se instala normalmente elevado sobre unos pedestales de hormigón de manera que las tortas de lodos caen directamente al suelo donde se almacenan. Eventualmente las tortas pueden ser recogidas por una cinta transportadora, instalándose en ese caso el filtro a baja altura. Se puede suministrar un sistema de lavado de tortas, con dispositivos de calentamiento o de refrigerado. Las tortas obtenidas son fáciles de manipular y transportar por su bajo grado de humedad. (Opino & Agamez, 2015)

### **3.10 Equipos De Filtrado**

Compuestos de una serie de placas yuxtapuestas y acopladas, los filtros de prensa se dividen en dos grandes categorías: los filtros de configuración vertical que ubican sus placas apiladas una arriba de otra para minimizar la superficie que ocupa en desmedro de la capacidad de filtración y los filtros que poseen las placas una seguida de otra horizontalmente utilizando una mayor área de trabajo con una mayor capacidad de filtrado (Municipal sludge dewatering by belt filter press: Effect of operating parameters, 2005). En estas máquinas las placas prensadas entre ellas cuentan con un sistema hidráulico que permite su cierre, compuestos generalmente por un cilindro hidráulico de grandes dimensiones acompañado de su respectiva unidad hidráulica, este conjunto

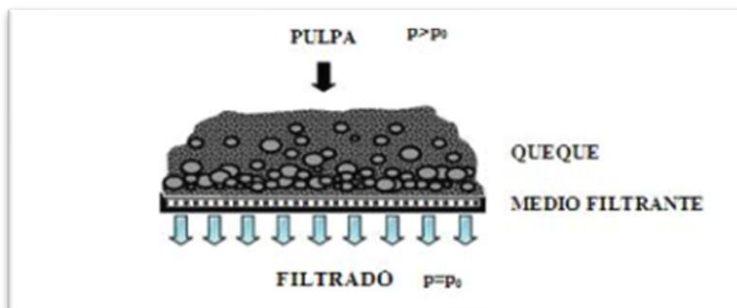
asegura un sellado de las placas que evita que se fugue el fango a la hora del filtrado, en filtros de menos capacidades existen mecanismos de sellado manuales compuestos por un tornillo que prensa todas las placas cumpliendo la misma función que el sistema hidráulico (Opino & Agamez, 2015). Dentro de la cámara formada por dos placas prensadas existen membranas que permiten el filtrado del material que es alimentado mediante una bomba de relaves a las placas a través de perforaciones que pueden estar dispuestos tanto en el centro como en los extremos superior o inferior de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión y mejor drenaje del relave dentro de la cámara (Marquez R, 2004). Gradualmente se va acumulando una pasta compacta en la cámara de filtración. El agua filtrada se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos. Generalmente los equipos cuentan con un sistema de inyección de aire entre las tortas para un secado adicional. Finalmente, la torta de filtrado en cada placa se descarga abriendo cada una de ellas mediante un sistema hidráulico, dejando caer el material filtrado sobre una correa transportadora para su posterior disposición. En algunas configuraciones, luego de cierta cantidad de ciclos se utiliza un sistema de lavado para eliminar el material restante dentro del equipo. El mecanismo de acción de un filtro de prensa se puede describir de la siguiente forma: El cabezal (G) y el soporte terminal (H) son sostenidos por rieles de las barras de soporte (I) diseñados especialmente. El cilindro hidráulico (D) empuja las placas de acero (E) contra las placas de polietileno (F) cerrando la prensa. La pulpa es bombeada a las cámaras (A) rodeadas por el medio filtrante (B). Al bombear, la presión se incrementa forzando al líquido a atravesar la tela, haciendo que los sólidos se acumulen y formen una torta (C). El filtrado pasa a través de las telas y es dirigido hacia los canales de las placas y puestos de drenado (J) del cabezal para la descarga. La torta es removida haciendo retroceder el pistón hidráulico, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que la torta compactada caiga desde la cámara. Los beneficios de esta tecnología son la gran área de filtración que se pueden obtener, la alta efectividad de filtrado en términos de la baja humedad que queda en la torta de filtrado, cortos ciclos de filtración, bajos OPEX por el bajo consumo de energía (Industrias Mecanicas ).



*Ilustración 1. Componentes de un filtro prensa*

Filtración con formación de torta o queque. La filtración con formación de torta se caracteriza porque el sólido de la suspensión es retenido en la superficie del medio filtrante como una capa denominada torta. Esto se produce naturalmente cuando los poros del medio filtrante tienen un tamaño menor que las partículas. Cuando este no es el caso, es necesario cubrir el medio filtrante con una delgada capa de material fibroso, denominado ayuda de filtración, que bloquea el paso de las partículas a través del medio filtrante (Universidad Nacional de Colombia , 2018). En este tipo

de filtración, el flujo de suspensión es perpendicular a la superficie del medio filtrante. La filtración con formación de queque se utiliza para suspensiones que poseen más de un 10% de sólidos en volumen y es, sin duda, el proceso de filtración más importante en la industria minera y en la industria de procesos en general (Mora, 2020).



*Ilustración 2. Descripción grafica del filtrado.*

La mayoría de los equipos de filtración, sean continuos o discontinuos, trabajan en ciclos de formación de la torta, lavado, secado y descarga:

- Formación de la torta: La magnitud de material depositado en el medio filtrante depende del gradiente de presión, de la concentración de la suspensión y del tiempo de succión. En este ciclo hay un flujo continuo de filtrado a través del medio filtrante y de la torta (Draco).

- Lavado de la torta: La necesidad de lavar la torta depende del objetivo perseguido por el proceso de filtración. El lavado se efectúa para eliminar impurezas de la torta o para recuperar líquidos valiosos. El lavado de la torta implica calcular la cantidad mínima de agua necesaria para desplazar el líquido de los poros y el tiempo necesario (Draco).

- Secado de la torta: es aquella etapa en que el agua retenida en los poros del queque es desplazada soplando aire o succionado aire de la atmósfera. Para controlar esta etapa es necesario conocer la cantidad de agua retenida en el queque. El criterio para seleccionar la humedad residual de la torta es económico, cuando no es una restricción del equipo (Draco).

- Descarga de la torta: El desprendimiento de la torta y su descarga es de gran importancia para una operación eficiente. En el caso de filtración a vacío la descarga es muy simple y consiste en raspar las telas y eliminar el producto por gravedad. En el caso de filtración a presión la descarga se complica por la necesidad de mantener la presión en la cámara, de modo que es necesario tener válvulas que permitan presurizar y despresurizar la zona de descarga en ciclos controlados (Draco).

### 3.11 Telas Filtrantes

Las telas son elementos muy importantes en el proceso de filtrado puestos que pueden hacer una gran diferencia en los resultados del proceso. La principal función de este elemento es la de retener el material particulado a filtrar. Es por esto que varios detalles son importantes a la hora de efectuar la elección de las telas filtrantes. Generalmente material de las telas es polipropileno, aunque existen otros materiales, cada tejido tiene características propias que afectan el proceso dependiendo del material que se filtre. Las características a tener en cuenta para la elección de las



telas filtrantes son: la composición de las fibras de las telas (multi, monofilamentos o spun), cualidad que está ligada directamente con la forma y tamaño del sólido en suspensión, ya que este determina la forma del “orificio” que debe retener unas partículas y dejar circular otras; la superficie de las telas debe ser térmicamente lisas y fijas y el encaje de la tela en la placa debe ser perfecto, sin permitir escurrimientos (Katherine Bedoya, 2013).

Los otros materiales usados para la confección de la tela filtrante son:

- Polyester
- Nylon
- Teflón
- Algodón

### **3.11.1 Multifilamento:**

- Reduce el efecto BLINDING.
- Modera eficiencia de colección de partículas finas, origina mayor cantidad de solidos en el filtrado.

### **3.11.2 Monofilamento:**

- Medios filtrantes 100% monofilamento o mono/mono son suficientes para filtración de grueso como el caso de relaves de flotación
- Produce filtrados claros
- El efecto del BLINDING es mínimo

### **3.11.3 Spun:**

- Nivel malo o bajo deslizamiento del cheque
- Buena retención de partículas finas y ultrafinas
- Incrementa el efecto BLINDING

A su vez para poder seleccionar la tela filtrante es necesario considerar otra variable de importancia que sería el tipo de tejido, el cual afecta directamente a la calidad. Existen principalmente 4 tipos de bordados: Plano, Crowfoot, Twill y Satín (Arias, 2004).



### *Ilustración 3. Tipos de tejido para membranas.*

El uso de la tela filtrante correcta es fundamental para conseguir una alta productividad, buenas tasas de filtrado, buena liberación del queque en la apertura del filtro, menores diferenciales de presión en operación, filtrado limpio, queques secos, vida útil máxima de la tela y menores costos de mantenimiento del filtro prensa (García A, 2011).

#### **3.12 Blinding**

Es un efecto ligado a las telas filtrantes y está directamente relacionado con el rendimiento. Esto se produce esencialmente por el tipo de tela elegida y sus características que producen que al eliminar el queque esta retenga partículas lo que produce un bloqueo mecánico de los poros de la tela. A medida que van pasando los ciclos, el efecto blinding comienza a aumentar, produciendo una disminución en la tasa de filtración esperada, por lo que se hace necesario tras cierta cantidad de ciclos, dependiendo de la tela, un lavado para poder destaparla (Marquez R, 2004).

#### **3.13 Sistema De Alimentación**

El sistema de alimentación de un filtro de prensa este compuesto por bombas mecánicas que envían el fluido a presión dentro de las cámaras. Las bombas comúnmente usadas son las siguientes (Universidad Nacional de Colombia , 2018).

- Bombas de tornillo sin fin excéntricas.
- Bombas de membrana con pistón.
- Bombas de membrana esférica.
- Bombas de pistón giratorio.
- Bomba AODD (doble diafragma)

Lo más importante del sistema de alimentación de un filtro de prensa es el control y regulación de las bombas. Además, se de considerar los siguientes aspectos:

- Las bombas de alimentación deben ser operadas por variadores de frecuencia.
- Como variable controladora, debe estar la presión de filtración, el flujo volumétrico y la entrada absoluta por carga.
- El control de mando de la bomba debe permitir individualmente el ajuste de: la presión de filtración máxima admisible; la puesta en marcha de la bomba de alimentación; las características de transcurso del filtrado y las condiciones de apagado de la bomba.
- Es necesario contar con instrumentación como: sensores de presión, medidores de caudal y controles operadores.

Un ciclo típico de filtrado comienza con un caudal elevado y un llenado a baja presión, seguido de una caudal bajo con una presión creciente generada por la formación del queque al interior de las cámaras.

### 3.14 Sistema De Cierre Del Filtro

Dependiendo del tamaño y configuración que se desee el filtro puede estar constituido por un sistema hidráulico, cuyo mando puede ser eléctrico, neumático, etc. Pudiendo ser tanto de accionamiento automático como manual. Por otra parte, también existen filtros más pequeños de accionamiento manual que están formados por tornillo de potencia que se encarga de cerrar las cámaras (García A, 2011).

#### - Sistema hidráulico:

Apertura y cierre mediante una bomba hidráulica de accionamiento eléctrico o neumático. El grupo hidráulico está compuesto por los elementos necesarios para accionar un cilindro hidráulico de doble efecto, que se utiliza para desplazar las placas filtrantes y de esta manera, abrir o cerrar el filtro prensa. Se compone de: un motor de accionamiento de la bomba, un manómetro, un depósito, la bomba hidráulica y un filtro de aspiración, además de un conjunto de válvulas que contiene reguladores de presión, válvulas unidireccionales (check) y válvula de alivio (relief) (Opino & Agamez, 2015).

#### - Sistema mecánico:

Este sistema de apertura y cierre de las placas está constituido principalmente por un tornillo de tamaño variable dependiendo del tamaño del filtro. Este se acciona manualmente provocando el cierre de las placas, evitando que estas filtren pulpa. Generalmente este tipo de accionamientos se encuentran en industrias como la del vino en donde se utilizan filtros de poca capacidad (García A, 2011).

### 3.15 Lavado De Telas

A menudo los filtros prensa requieren de lavado de la tela filtrante que está dispuesta en ambas caras de cada una de las placas que conforman la prensa. Esto puede ser causado por el tipo de pulpa o lodo con el que se está trabajando. Por lo anterior, comúnmente requieren de un sistema de lavado de alta presión, la forma más fácil de ejecutar este lavado es cuando las telas se encuentran aún montadas en las placas de los filtros. Para esto se necesita un sistema para manejar este procedimiento, compuesto de un estanque, bombas, piping de recirculación, válvulas, etc. que generalmente son provistos por los fabricantes del filtro prensa. Por seguridad, se debe tener mucho cuidado en la operación ya que en ocasiones se utiliza una solución con ácido clorhídrico combinado con algún detergente. Por esto, se debe tener la certeza de que la solución limpiadora no se escurra por entre las placas del filtro durante el ciclo de lavado. Las placas bicóncavas deben usar cortinas de salpicadura o el filtro debería estar equipado con placas con sello O ring (Opino & Agamez, 2015).

Otra forma de lavado de telas es con agua limpia y a alta presión, sistemas automáticos comúnmente incluidos en el filtro, en donde se debe tener los siguientes cuidados:

- Las telas se deben lavar según la composición del lodo y el número de ciclos o cargas diarias que tenga el filtro.

- Se debe contar con bombas de alta presión, 100 [bar] generalmente, ya que con presiones menores el lavado no es eficiente.

### 3.16 Pcl

Los “PLC” (Programable Logic Controllers, por sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos que se pueden programar para poder personalizar una secuencia o un equipo con funciones automáticas según sus necesidades de control. En simples palabras un PLC es un cerebro electrónico que acciona a otros componentes de una maquinaria para que se ejecuten acciones que pudieran ser peligrosas o muy lentas al hacerlas manualmente (Opino & Agamez, 2015).

Básicamente los PLC están compuesto por 3 bloques principales que son:

- Unidad central de proceso (CPU): Es un bloque encargado de consultar el estado de las entradas para luego extraer de la memoria del programa los pasos a seguir para elaborar las señales de salida (Pierre, 2003).
- Memoria interna: Esta memoria es la encargada de mantener los datos que van surgiendo en los procesos intermedios que luego no se ven reflejados en la salida (Municipal sludge dewatering by belt filter press: Effect of operating parameters, 2005).
- Interfaces de entrada y salida: Establecen la comunicación entre el PLC y la planta o procesos de los cuales recibe información y a los cuales les envía las señales (Pierre, 2003).

Para poder representar el ciclo que debe formar el PLC se utilizan herramientas como los diagramas. Dentro de estos se pueden encontrar:

- Diagrama de estados: este diagrama nos indica en las distintas etapas, en qué estado se encuentra cada uno de los componentes del PLC. Este estado puede variar entreabierto, cerrado, encendido apagado (Mora, 2020).
- Diagrama espacio fase: Este diagrama es muy similar al diagrama de estados solo que se agregan los tiempos de funcionamiento de los actuadores además de una tabla donde se indican que función cumplirán los sensores dentro del PLC (Mora, 2020).
- Diagrama Grafcet: El diagrama grafcet lo que busca es graficar los tipos de acciones y transiciones que tenga el ciclo. Se realiza después de hacer el diagrama espacio-face (Mora, 2020).

### 3.17 Uso De Polímero Como Acondicionar Químico

Los floculantes de alto peso molecular (polímero) al entrar en contacto con el lodo forman un flóculo más grande, aumentando la drenabilidad del mismo al eliminar parte del agua intersticial junto al agua libre que éste posee, favoreciendo el secado del lodo y mejorando la eficiencia del equipo de deshidratación mecánica que se utilice. El tratamiento previo de los lodos es tan

importante como el equipo utilizado para la separación, engrosamiento y desagüe de ese lodo. Mientras que algunas corrientes de desechos requieren una combinación de opciones de pretratamiento, la mayoría sólo requiere la adición de un coagulante orgánico o floculante para la aglomeración de las partículas muy finas. La formación de aglomeraciones o flóculos, asiste en la aceleración de la captura de la mayor parte de los sólidos aumentando la concentración de los sólidos al final del proceso (Marquez R, 2004).

Los productos químicos que tienen comúnmente usos como agentes floculantes son: sulfato de alúmina, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico y polielectrolitos. Estos últimos han incrementado su presencia en el mercado debido a que los polímeros orgánicos tienen la posibilidad de actuar como iones cargados positivos o negativos y presentan entre sus principales ventajas el uso de pequeñas dosis y la eliminación del problema del almacenamiento (Argemi).

### **3.18 Biosólidos**

Como resultado del tratamiento de aguas residuales se generan diferentes subproductos difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición, tales como lodos, basuras y arenas; siendo los lodos los más importantes por su volumen y tratamiento posterior que requieren. (Gualberto & Macías, 2013). Generalmente son residuos sólidos, líquidos o semisólidos, con un contenido de sólidos variable de 0,25 a 12% en peso. Además, dependiendo de la naturaleza del proceso son materiales biológicos putrefactos que generan malos olores y atracción de vectores de enfermedades. (Metcalf & Eddy, 2003)

El sector de las curtiembres ha tenido una participación importante en la economía del país, pero está disminuido en los últimos años. Sin embargo, esta industria conlleva múltiples procesos de transformación de materias primas en las que el consumo de sustancias químicas peligrosas principalmente en las etapas de tintorería, acabados. Además del uso del cromo para detener la biodegradación. Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos (compost) o pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos. Sin embargo, hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento (Katherine Bedoya, 2013).

El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales, está constituido principalmente de metales pesados, microorganismos, compuestos orgánicos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, compuestos nitrogenados, macro y micro nutrientes, detergentes, hasta xenobióticos, pesticidas y materiales biológicos. (Peñaherrera, 2015)

Sin embargo, las características de los lodos varían dependiendo del proceso que da su origen, las características iniciales del agua residual, tipo de planta de tratamiento de aguas, operación de ésta, entre otros; es decir, que las características de los lodos residuales varían de una planta de tratamiento a otra al igual que sus propiedades físicas y químicas. (Gomez & Merchán, 2016)

#### ***3.18.1 Características Químicas***

Los lodos residuales están caracterizados químicamente de acuerdo a:

- Parámetros orgánicos e inorgánicos
- Metales Pesados

- Nutrientes
- Contenido de materia orgánica
- Contenido de tóxicos orgánicos
- Concentración de sales
- pH

### ***3.18.2 Características Físicas***

Los lodos residuales están caracterizados físicamente de acuerdo a los siguientes factores:

- Color
- Olor
- Apariencia
- Contenido de Humedad
- Sólidos (fijos, totales, volátiles, suspendidos y sedimentables)
- Densidad – Tamaño de partícula
- Velocidad de sedimentación de los lodos
- Temperatura
- Compresibilidad

El contenido de humedad es una de las características físicas más importantes de los lodos, ya que entre más alto sea este valor, la dificultad en su manejo y almacenamiento será mayor, lo que conllevaría una mayor inversión en su tratamiento y disposición final. (Valencia, 2008)

Clasificación de los lodos. Ramalho (1996) clasifica a los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas residuales en:

*Lodos primarios:* Resultan únicamente de los procesos de separación sólido - líquido (decantación, flotación). Consisten en partículas sólidas, básicamente de naturaleza orgánica, se caracterizan por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 92 % y 96%.

*Lodos secundarios:* Lodos provenientes de procesos biológicos, son fundamentalmente biomasa en exceso.

### **3.19 Legislación**

En la legislación Colombiana se encuentran decretos y normas técnicas que en apartes de su contenido relacionan los lodos o biosólidos en algún momento como es el caso del proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones”: Donde se establecen las categorías A, B y C de los lodos analizados según la presencia de microorganismos como Coliformes Totales, Salmonella sp y Huevos de helminto y la Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo: Donde se establece a los lodos como Abono orgánico mineral sólido. La EPA

(Environmental Protection Agency) a nivel mundial, usa la palabra “lodo” como sinónimo de Biosólido. Estos están definidos como basura o desecho de residuo semisólido que hayan sido generados en las plantas de tratamiento de aguas. Además, hace diferencia entre distintos tipos de lodo (Juliana Galvis, 2013).

### ***3.19.1 Lodos Categoría A:***

Lodo sin restricciones sanitarias para la aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos Biosólidos de calidad excepcional, que son aquellos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos tales como roedores, moscas y mosquitos) (Juliana Galvis, 2013).

### ***3.19.2 Lodo Categoría B:***

Lodo apto para la aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como Biosólidos con concentración de contaminantes y los define como aquellos biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes de los de Clase A, pero solo logran una reducción de patógenos clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores (Juliana Galvis, 2013).

### ***3.19.3 Lodo Categoría C:***

Lodo que no cumple con alguno de los parámetros definidos para las categorías A o B y que son considerados como residuos peligrosos de acuerdo con la Normativa Ambiental vigente (Juliana Galvis, 2013).

## **4. Análisis y resultados**

### **4.1 Capacitación**

Dentro de las necesidades previstas en la empresa sobre esta una industrialización en el tratamiento de los residuos se hace necesaria entonces capacitar a los colaboradores sobre el conocimiento de un filtro prensa, tanto teórica como técnicamente. Con el fin de lograr este objetivo y luego de haber recolectado la información suficiente, en acuerdo con el ingeniero a cargo se programó una capacitación para el día 24 de septiembre del año presente.

Esta incluyo toda la información anteriormente presentada, pero se buscó una forma didáctica y más digerible para ellos, ya que la captación tuvo una duración de una hora. Por tanto, se realizó una presentación donde se resumió las características principales de un filtro prensa, usos, conocimientos técnico operativos generales y mantenimiento, también se habló de la importancia de buen uso de la maquinaria, dando a entender que es una inversión que necesita de un musculo financiero grande por tanto su uso debe de sumo cuidado.



*Ilustración 4. Capacitación para operarios.*

Además, se abordó el tema de caracterización de los lodos, específicamente de los lodos generados en la planta, de este tema que concluyo que la forma operar en el presente va necesitar de unos cambios para beneficio de ellos, estos cambios acarrearán más responsabilidad por parte de los colaboradores, pero el trabajo físico se verá reducido en más de 50 %, dado que la disposición de los lodos en la actualidad se hace de la siguiente manera:

En la planta se dispuso de 12 canecas con una capacidad de 82 kg cada una con perforaciones aleatorias por toda la superficie, estos agujeros sirven para dar salida al agua sobrante. Las canecas se llenan una vez al turno a través de una tubería que baja de la celda de flotación, el lodo que se va generando a través del tratamiento de aguas, este flota sobre el agua que se dirige a la salida de la celda de flotación, cuando el colaborador se dispone a sacar el lodo, activa las paletas que empieza a arrastrarlo hasta la salida que tiene la celda para el lodo antes de la sección de recirculación. Sin embargo, es necesario utilizar un elemento elaborado artesanalmente para hacer la extracción total del lodo. Los colaboradores deben de estar pendientes de cuando el lodo este rebosando la caneca para hacer el cambio y, además, deben de agregar más agua al lado para que este pueda bajar por gravedad a las canecas.





*Ilustración 5. Celda de flotación.*



*Ilustración 6. Sistema de evacuación del lodo.*



*Ilustración 7. Estiba de lodo empacado.*



*Ilustración 8. Disposición final del lodo.*

Cuando la totalidad de canecas estén llenas, se debe de parar la extracción del lodo sin importar cuanta cantidad quede en la celda de flotación. Luego se debe de pasar el lodo recolectado a costales paleando, esta actividad lo hace el colaborador del turno siguiente con el fin de darle tiempo al agua para escurrir y que el lodo pierda humedad. Seguidamente se debe estibar y de esta manera poderlo almacenar en la planta, a los costales con otro elemento artesanal construido en la empresa se le hacen perforaciones para que el agua restante pueda salir.

Se debe de esperar hasta el siguiente día después de estar estibado el lodo, dando tiempo para que este más seco, para que un montacarga lo transporte hacia un coloquialmente llamando guaje donde los colaboradores deben de arrojarlo al contenedor de EMVARIAS y luego aplicar cal sobre la superficie para evitar los malos olores.

La producción de lodos en la planta de tratamiento esta alrededor de 4 toneladas por día, ya que se trata en promedio cinco mil metros cúbicos por mes ( $5000 m^3$ ) pero este puede aumentar dependiendo la producción de pieles apelmbradas, curtidas y recurtidas del mes.

| MES            | (M <sup>3</sup> ) | DÍAS DEL MES | PROMEDIO DIA (l/s) | PROMEDIO DIARIO (m <sup>3</sup> ) | COSTO (m3) |
|----------------|-------------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|------------|
| <b>ENERO</b>   | 3947              | 26           | 1.76               | 151.8                             | 4374.3     |
| <b>FEBRERO</b> | 3508              | 24           | 1.69               | 146.2                             | 4699.4     |
| <b>MARZO</b>   | 4144              | 26           | 1.84               | 159.4                             | 3819.6     |
| <b>ABRIL</b>   | 3581              | 26           | 1.59               | 137.7                             | 4667.2     |
| <b>MAYO</b>    | 3811              | 25           | 1.76               | 152.4                             | 3391.4     |
| <b>JUNIO</b>   | 3365              | 24           | 1.62               | 140.2                             | 3840.9     |
| <b>JULIO</b>   | 4185              | 27           | 1.79               | 155.0                             | 3088.4     |
| <b>AGOSTO</b>  | 7130              | 24           | 3.44               | 297.1                             | 1812.7     |

*Ilustración 10. Cantidad de lodo producida.*

| MES     | LODO CELDA (kg) | LODO T. CROMO (kg) | LODO TOTAL(kg) |
|---------|-----------------|--------------------|----------------|
| ENERO   | 70 700.00       | 1 810.00           | 72 510.00      |
| FEBRERO | 60 110.00       | 1 690.00           | 61 800.00      |
| MARZO   | 56 520.00       | 2 061.00           | 58 581.00      |
| ABRIL   | 56 480.00       | 1 871.00           | 58 351.00      |
| MAYO    | 59 320.00       | 2 290.00           | 61 610.00      |
| JUNIO   | 50 480.00       | 1 870.00           | 52 350.00      |
| JULIO   | 58 380.00       | 870.00             | 59 250.00      |
| AGOSTO  | 3 240.00        | 140.00             | 3 380.00       |

*Ilustración 9. Cantidad de agua tratada.*

En la actualidad se cuenta solo con el chasis del filtro prensa, para poner este equipo en funcionamiento hace falta más maquinaria e investigación, ya que no se tiene información del tipo de chasis tampoco con su operación técnica.



*Ilustración 11. Filtro prensa*



*Ilustración 12. Bomba Hidráulica*

Según la empresa contratada se debe de instalar los siguientes equipos:

- Verificación del estado de la parte Hidráulica

- Verificación del Aceite
- Verificación de Motores (Aislamiento)
- Verificación de Válvulas
- Verificación de Filtros
- Verificación de Cilindro Hidráulico- Sellos-Estado del Cilindro
- Bomba de Diafragma o Ginordi que alimenta la prensa
- Compresor de 150 Libras -1 HP 1 Und Unidad Neumática+ Racores 1/4- marg 8mm Electroválvula 3-2
- Manómetro de entrada de lodos.
- Diseño y fabricación de compuertas de Goteo más sensores.
- Análisis de PH
- Bomba PH
- Pruebas de Laboratorio para determinar telas.
- Fabricación de telas a medidas• Tamaño de placa 800x800 mm, espesor 60 mm

#### 4.2 Toma De Muestras

Para la toma de muestras se dispuso canecas de 15 litros, estos se llenaron un 70% de su capacidad, se enviaron dos muestras para la empresa  $H_2O$  encargada de hacer los análisis necesarios para completar las piezas faltantes del filtro.

Una caneca contenía una muestra representativa del lodo producido en la celda de flotación y la otra caneca contenía una muestra del lodo biológico.



*Ilustración 13. Primera toma de muestras.*

De estas muestras la empresa presento los ensayos de filtración donde se identificaron las siguientes características del lodo de la celda de flotación:

- Lodo pastoso
- Poca humedad
- Poca posibilidad de filtrado
- Estado solido

Del lodo perteneciente al tanque biológico se obtuvieron las siguientes características:

- Estado liquido
- Densidad  $\rho = 1021 \text{ gr}/\text{cm}^3$
- Poca posibilidad de filtrado

Tras varios ensayos variando el caudal, tipo de telas y presión no se dieron resultados favorables, por lo tanto, se decide agregar cal para generar mayor aglomeración de las partículas, la concentración de cal  $[\text{CaO}] = 15\%$ . Con esta concentración de polímero se consiguieron resultados más favorables logrando la creación de la torta después de 6 horas en el proceso de filtración, con un pH neutro, pero generando un lixiviado de color violeta.

Después de varios análisis se concluye que la mejor solución es combinar los lodos de la celda de flotación y del tanque biológico para generar un lodo con mejores características por lo que se envía

nuevamente una muestra donde el 10% es lodo del tanque biológico y el 90% es lodo de la celda de flotación.



*Ilustración 14. Lodo biológico - Lodo celda*

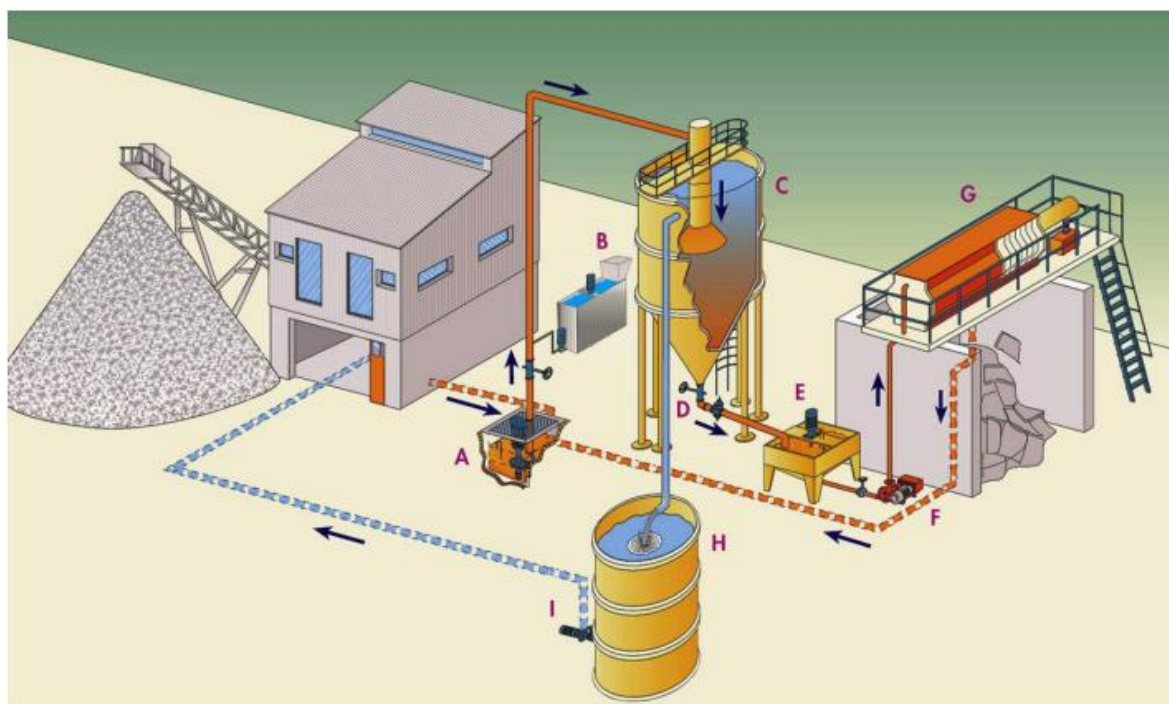


*Ilustración 15. Lodo combinado.*

### **4.3 Tanque De Acondicionamiento**

Un posible tanque de acondicionamiento deberá ser instalado en la planta, este deberá tener una capacidad mínima de tres metros cúbicos. Este es necesario ya que dado los ensayos con el lodo es necesario agregar un polímero y generar la mezcla de los lodos provenientes del tanque biológico y de la celda de flotación.

Para este tanque se debe de incluir un agitador metálico, además el tanque debe ser realizado en acero inoxidable para que pueda perdurar en el ambiente ácido. Desde allí se debe trasladar el lodo hasta el filtro prensa, preferiblemente por efecto de la gravedad, por esta razón este tanque debe estar por encima en altura que el filtro prensa, esto con el fin de no generar gastos de más a un proyecto que de por sí es costoso.



*Ilustración 16. Estructuración de operación*

Según la ilustración 16, es una estructuración normal de las empresas cuando utilizan los filtros prensas y podría servir de guía para la acomodación de la maquinaria en la empresa.

## 5. Conclusiones

- La implementación de un filtro prensa significa una implementación tecnológica grande que traería grandes beneficios a corto y largo plazo.
- Los equipos complementarios que juegan en equipo con la estructura del filtro tienen la misma importancia, su participación y buen estado generan una mejor eficiencia.
- La buena escogencia de las membranas definiría una la calidad de las tortas.
- La capacitación de los operarios y la inclusión activa en los proyectos de la empresa generan en ellos un mayor sentido de pertenencia por los equipos y satisfacción por el proceso realizado.
- La bibliografía, proyectos e investigaciones encontrados muestran una normalidad en este tipo de proyectos y ayudan a la precaución de posibles errores.
- La realización de ensayos es de vital importancia a la hora de tomar decisiones de gran importancia y que determinarían un rumbo para el proyecto.

- Conocer las características del espacio, capacidad electrónica y de resistencia del lugar donde se planea implementar el proceso es de suma importancia para evitar errores grandes y posibles daños en el equipo.

## 6. Referencias

- Argemi, J. (s.f.). Sidebar Filter Presses. *Tefsa*, 12.
- Arias, J. E. (2004). *Remoción de sólidos suspendidos en los efluentes líquidos residuales de la planta extractora de aceite de palma aiquisa*. Quito.
- Draco. (s.f.). Deshidratación de Fangos. *Toro*, 12.
- García A, Y. D. (2011). *Análisis del funcionamiento de un filtro prensa rotativo en la planta de tratamiento de aguas servidas "El Chorrillo"*. Caracas : Universidad Central de Venezuela.
- Industrias Mecánicas . (s.f.). Filtros Prensa para la industria cerámica y tratamiento de aguas residuales . *Segui*, 12.
- Juliana Galvis, X. R. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa de jugos hit* . Pereira.
- Katherine Bedoya, J. A. (2013). *Caracterización de biosólidos generados en planta de tratamiento de agua residual San fernando* . Medellín.
- Katherine Castañeda, Y. O. (2017). *Propiedades Catalíticas de lodos residuales de plantas de tratamiento de efluentes de la industria textil* . Quito.
- Marquez R, A. M. (2004). Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en industria avícola . *Revista Ingeniería* , 11.
- Mora, A. I. (2020). *Propuesta para el Manejo de lodos residuales de la planta de tratamiento de la empresa fabricorte, canton otavalo*. Ibarra, Ecuador.
- Municipal sludge dewatering by belt filter press: Effect of operating parameters. (2005). *Journal Of Chemical Technology & Biotechnology*, 7.
- Opino, I., & Agamez, A. (2015). *Diseño y Montaje a escala piloto de un sistema de filtración con el filtro prensa para los laboratorios de operaciones unitarias de universidad de san buenaventura*. Cartagena: Programa de Ingeniería Química .
- Pierre, J. (2003). *Mechanical Dewatering Using Filter Presses Technology*. Francia : Limoges.
- Universidad Nacional de Colombia . (2018). *Manual de Operación del Filtro Prensa* . Bogotá: Laboratorio de fluidos, sólidos y transferencia de calor.