

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE POSGRADO EN INGENIERIA Y CIENCIAS

**GESTIÓN DE LODOS PRODUCTO DE LA POTABILIZACIÓN DE
AGUA Y RECUPERACIÓN DEL AGUA UTILIZADA EN EL
LAVADO DE FILTROS Y SEDIMENTADORES EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE PUENGASÍ DE LA EMPRESA PÚBLICA
METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO QUITO**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER
EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**JOSE OSWALDO ORTEGA MAFLA
ARMANDO EFRÉN CARVAJAL RUIZ
jortegaec@yahoo.com
acarvajalruiz2000@yahoo.com**

**DIRECTOR: M. Sc. ING. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRIGUEZ
mmunoz@epn.edu.ec**

Quito, julio 2014

DECLARACIÓN

Nosotros: José Oswaldo Ortega Mafla, Armando Efrén Carvajal Ruiz, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

**JOSE OSWALDO
ORTEGA MAFLA**

**ARMANDO EFRÉN
CARVAJAL RUIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por: José Oswaldo Ortega Mafla, Armando Efrén Carvajal Ruiz, bajo mi supervisión.

**M.Sc. Ing. MARCELO MUÑOZ R.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Raúl Montalvo Jefe de la Planta de Tratamiento de Puengasí de la EPMAPS, por su colaboración invaluable.

Al Ing. Marcelo Muñoz, Director de tesis, el cual con su guía ha sabido orientar adecuadamente este proyecto.

DEDICATORIA

A nuestros hijos y esposas.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	III
CONTENIDO	VI
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
CAPITULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	6
2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PUENGASÍ	6
2.1.1 ORIGEN DEL SUMINISTRO DE AGUA CRUDA.....	7
2.1.2 ESTANQUES DE RESERVA DE AGUA CRUDA.....	7
2.1.3 CAMARA DE CONTROL DE AGUA CRUDA	8
2.1.4 EDIFICIO DE PRODUCTOS QUIMICOS.....	8
2.1.5 MEZCLADOR RÁPIDO.....	8
2.1.6 MEDICION DEL FLUJO DE AGUA CRUDA	9
2.1.7 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE AGUA CRUDA HACIA CLARIFICADORES	9
2.1.8 CLARIFICADORES	9
2.1.9 FILTROS	11
2.1.10 MATERIAL FILTRANTE	11
2.2 LAVADO DE SEDIMENTADORES Y FILTROS.....	12
2.2.1 LAVADO SUPERFICIAL DEL FILTRO	12
2.3 PRODUCCIÓN DE LODOS	14
2.4 CALIDAD DE LODOS	17
2.5 VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA EN EL LAVADO	18
CAPITULO 3: METODOS Y MATERIALES	19

3.1 MUESTREO DE AGUA CRUDA	19
3.1.1 ALCALINIDAD	19
3.1.2 POTENCIAL HIDROGENO.....	21
3.1.3 TURBIDEZ	23
3.1.4 SOLIDOS EN AGUAS	26
3.1.5 COLIFORMES FECALES	30
3.2 MUESTREO DE LODOS	32
3.2.1 ALCALINIDAD	32
3.2.2 COLIFORMES FECALES	34
3.3 CALIDAD DE LODOS	36
3.4 ACONDICIONAMIENTO	39
3.5 ADENSAMIENTO	40
3.5.1 ADENSAMIENTO POR GRAVEDAD	40
3.5.2 ADENSAMIENTO POR FLOTACION	42
3.6 DESHIDRATACIÓN	43
3.6.1 METODOS DE DESHIDRATACIÓN	43
3.7 CALIDAD DEL AGUA DE RECIRCULACIÓN	45
3.7.1 ALCALINIDAD	45
3.7.2 POTENCIAL HIDROGENO	47
3.7.3 TURBIDEZ	50
3.7.4 SOLIDOS EN AGUAS	52
3.7.5 COLIFORMES FECALES	56
CAPITULO 4: RESULTADOS	59
4.1 RESULTADOS DE ACONDICIONAMIENTO	59
4.1.1 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE EN AGUA DE LAVADO DE FILTROS	61
4.1.2 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE EN LA PURGA DE CLARIFICADORES	62
4.1.3 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE EN AGUA DE LAVADO DE FILTROS	63
4.1.4 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE EN LA PURGA DE CLARIFICADORES	64

4.1.5 RESULTADOS DEL EFECTO SIMULTANEO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL AGUA DE LAVADO DE FILTROS	65
4.1.6 RESULTADOS DEL EFECTO SIMULTANEO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL LODO DE CLARIFICADORES	65
4.1.7 RESULTADOS DEL EFECTO pH MANTENIENDO CONSTANTE DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE EN EL AGUA DE LAVADO DE FILTROS	68
4.1.8 RESULTADOS DEL EFECTO pH MANTENIENDO CONSTANTE DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE EN EL LODO DE CLARIFICADORES.	68
4.2 RESULTADOS DEL ADENSAMIENTO	69
4.3 RESULTADOS DE LA DESHIDRATACIÓN	73
4.4 RESULTADOS DE LA MEZCLA AGUA CRUDA RECIRCULACIÓN	74
CAPITULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
5.1 DISCUSIÓN Y RESULTADOS	76
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
6.1 CONCLUSIONES	78
6.2 RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En toda Planta de tratamiento de agua potable la preocupación permanente es la calidad del agua que se produce y para ello se realizan constantes controles para verificar la calidad de la misma de tal manera que se produzca una agua de calidad, lo contrario ocurre con los lodos que se generan en los diversos procesos de potabilización del líquido vital, lodos que no tienen un manejo apropiado y peor aún no se realiza ningún tratamiento previo.

La preocupación radica en que estos residuos presentan un alto contenido de agua el cual está entre un 85% a 90% aproximadamente, pero el gran problema que presenta estos lodos es la pobre capacidad de Deshidratación que posee, en especial aquellos que son producidos por el uso de sulfato de aluminio como coagulante. Actualmente, estos lodos son purgados de sedimentadores, clarificadores y almacenados en presas o dispuestos en terrenos sin ningún tratamiento, o peor aún son descargados directamente a los sistemas de alcantarillado, provocando un severo daño al ambiente al contaminar los recursos naturales.

En la actualidad se han realizado estudios relacionados con el impacto que estos lodos producidos por la plantas de tratamiento de agua ocasionan, es así que en diversas partes de Latinoamérica y a nivel mundial se los está realizando dichos análisis por el daño al ambiente que ellos generan. En países como México donde las reglamentaciones y normativas para preservar y cuidar el medio ambiente son cada vez más estrictos existen leyes claras acerca del manejo de los lodos que exigen a las plantas de tratamiento de agua potable a realizar un tratamiento previo para poder descargar dichos

residuos. En nuestro país si bien es cierto existe una normativa que indica parámetros mínimos para realizar descargas tanto a sistemas de alcantarillado como descargas a recursos hídricos estos no son todavía exigidos a cumplirse y por lo tanto el problema persiste.

Como país deberíamos considerar ejemplos de otros países como Brasil en el cual existen compañías de saneamiento básico las cuales están encargadas de administrar la producción y distribución de agua potable en cada región. Dichas entidades realizan estudios sobre impacto ambiental generado por los residuos o lodos, y con estos resultados se han planteado posibles soluciones, las cuales dan resultados satisfactorios ya que se ataca directamente el problema generado eliminándose así considerablemente el impacto ocasionado, al no tratar los lodos producidos en las diversas operaciones unitarias de potabilización del agua. O como Colombia en donde existen normas para el manejo y disposición de los lodos producto del tratamiento de agua cruda, además de leyes que proponen parámetros para la disposición final de los mismos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la sociedad actual la gran mayoría de los productos que utilizamos son desechados y en algunas ocasiones tienen una disposición final inadecuada generando y afectando otro tipo de recursos como el agua. Muchos de estos desperdicios son dispuestos en fuentes hídricas las cuales sirven de abastecimiento para poblaciones y asentamientos humanos. En consecuencia, el proceso de potabilización “se vuelve esencial para resolver los problemas de mala calidad del líquido consumido que afecta los niveles de salud humana y de calidad de vida”, comentan Zamora A. y Pérez M (2003).

En Quito así como en el resto de nuestro país encontraremos que cada ciudad cada población tiene diferentes métodos y tecnologías para llevar a

cabo el proceso de potabilización del agua ya que cada Empresa de agua potable tiene su propia política de manejo de sus procesos, sin embargo todos ellos deben ceñirse a la normatividad vigente para la distribución adecuada de este recurso en una población y sobre todo para el caso del tratamiento de lodos producto de la potabilización del agua se debe cumplir la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, el cual establece que de conformidad con el Art. 264.4 de la Constitución, las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de la Entidades Prestadoras de Servicios de agua potable y alcantarillado (EPS) de carácter público o delegadas al sector privado, serán las responsables por la solución de los problemas de contaminación del agua, ocasionados por el abastecimiento, uso y deterioro de la calidad del agua, para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros de intercepción y tratamiento de descargas.

Con este antecedente y observando que actualmente la descarga de los lodos producidos por la potabilización del agua en la Planta de tratamiento de Puengasí de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable se lo realiza directamente al sistema de alcantarillado de la ciudad de Quito, lleva a plantear problemas importantes, ya que, si bien estos residuos son principalmente de carácter inorgánicos, van formando depósitos o “bancos de fangos” en los tramos lentos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, más aún si se está empleando carbón, disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, y en definitiva, se plantean problemas medioambientales que hay que considerar, y extraer por tanto los residuos sólidos antes del vertido a los cauces o a los sistemas de alcantarillado. Además no hay que olvidar que las normas medioambientales son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar física, química y microbiológicamente a los lodos producto de la potabilización de agua en la Planta de tratamiento de Puengasí, establecer un tratamiento a los mismos y según sus propiedades darle un uso adecuado en la construcción o en otra actividad en la cual puedan ser útiles.

Reutilizar el agua que se usa para el lavado de filtros de la Planta de Tratamiento de Puengasí la cual posee 8 filtros cada uno con dos celdas para lo cual se destinan en promedio en el año 2013, 55.492 metros cúbicos mensuales de agua y en lo que va del año en promedio se gasta 62.353 metros cúbicos mensuales lo que representa alrededor de 665.903 m³ al año.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Proponer un sistema para dar un tratamiento de lodos producidos en el proceso de floculación – clarificación y en el proceso de lavado de filtros, el mismo que contemple: una adecuada recolección, un espesamiento óptimo y una disposición final dentro del área de la planta de tratamiento de Puengasí.

Otro de los objetivos de esta investigación es analizar y establecer un proceso para poder recuperar el agua utilizada en el lavado de filtros, ya que con el agua utilizada se puede abastecer del líquido vital a 10.500 habitantes diarios de la ciudad de Quito.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El tratamiento del agua para consumo humano implica la generación de lodos como subproducto. Considerando además que la preocupación prioritaria de toda planta de tratamiento es la calidad de agua para ello se

toman todas las medidas, todos los parámetros, todas las normativas vigentes, lo cual está muy bien, pero también es hora de preocuparse de los residuos generados como son los lodos generados en las diversas operaciones unitarias propias del tratamiento del agua de consumo humano.

Es así que en la planta de tratamiento de Puengasí se genera en promedio anualmente 35.000 m³ de lodos, los cuales no reciben ningún tratamiento y son vertidos al Río San Pedro o al sistema de alcantarillado de la ciudad, si bien estos residuos son principalmente inorgánicos, van formando depósitos o bancos de fangos en los tramos lentos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, el mismo que es afluente del Río Machangara, generando daños ambientales relacionados con la contaminación.

El agua utilizada para lavar filtros es de 62.353m³ en promedio por mes, que al darle un tratamiento el cual separe la mayor cantidad de lodo sea reutilizada e ingrese con el agua cruda a ser tratada y así sirva para abastecer el consumo de agua potable en la ciudad de Quito, que representa en promedio satisfacer la necesidad de 10.500 habitantes por día.

CAPÍTULO 2

REVISION BIBLIOGRAFICA

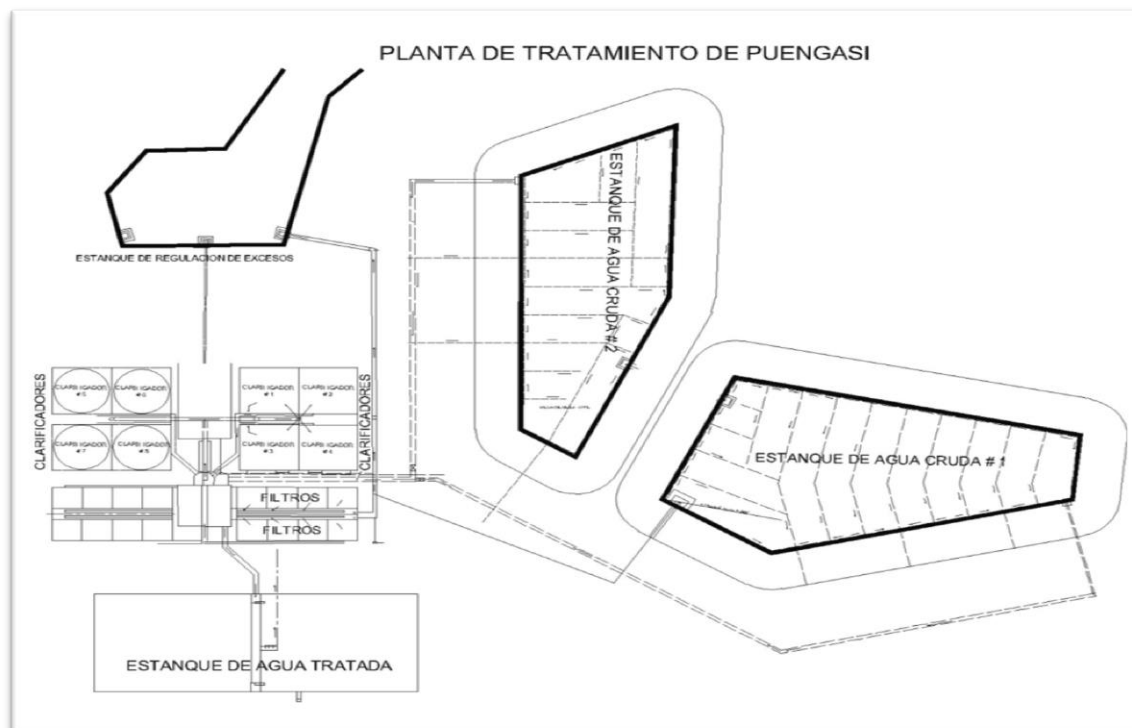
2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PUENGASI

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Puengasí, tiene un proceso de flujo por gravedad simple a través de las unidades de operación, que comprenden los procesos que intervienen en la potabilización que son: captación, dosificación, floculación-clarificación, filtración y cloración.

La capacidad con la que se diseñó la planta en 1976 fue de 1.250 litros por segundo, la capacidad actual es de 2600 litros por segundo ya que en el año de 1986 se ampliaron 4 clarificadores.

Los componentes del sistema de la planta de tratamiento son:

GRAFICO 2.1



Fuente: EPMAPS, Plano de planta de tratamiento Puengasí, 1976

2.1.1 ORIGEN DEL SUMINISTRO DE AGUA CRUDA

El agua cruda proviene de aguas superficiales en la zona del Río Pita vertientes del Sincholagua, aproximadamente un 80%, y de las vertientes del Volcán Cotopaxi aproximadamente un 20%.

Esta agua es conducida hacia la planta de tratamiento de agua por medio de canales abiertos con taludes estabilizados y revestidos de hormigón, túneles y conductos sostenidos por puentes.

La distancia total de la conducción de agua cruda hasta la planta de tratamiento es de aproximadamente 42 Km.

Se anticipa que el suministro de agua superficial como los canales a cielo abierto, darán como resultado un agua cruda que varíe hacia los extremos en calidad física y química, dando como resultado polución y contaminación de esta agua cruda antes que llega a la planta de tratamiento.

2.1.2 ESTANQUES DE RESERVA DE AGUA CRUDA:

El agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento llega primero a dos estanques de agua cruda, el estanque No 1 tiene una capacidad aproximada de 91.467 metros cúbicos, y el estanque de agua cruda No 2 tiene una capacidad aproximada de 71.945 metros cúbicos, la capacidad combinada es de aproximadamente 163.412 metros cúbicos.

Los estanques de agua cruda están separados por un vertedero revestido de hormigón y tiene compuertas deslizantes montadas sobre el vertedero.

Estos estanques tienen la capacidad de neutralizar, hasta un buen punto las variaciones en la calidad del agua cruda que llega, dando un mejor control en el tratamiento.

Cada estanque tiene dos torres de concreto, la una es para el drenaje del estanque, y para controlar el exceso de agua, y la otra torre es la salida de agua cruda hacia el conducto que lleva el agua cruda a presión hacia la planta de tratamiento.

2.1.3 CAMARA DE CONTROL DE AGUA CRUDA

El agua cruda es primero llevada por flujo a presión hacia la cámara de control de flujo, la cual está localizada junto al edificio de administración y contiene dos tuberías en paralelo de 36 pulgadas de diámetro, cada una de las cuales es reducida a 30 pulgadas de diámetro en la cámara para acomodar dos válvulas de mariposa, una de las cuales es una válvula de corte de operación manual, y la otra está conectada a un sistema flotador que controla el flujo de agua cruda hacia la planta.

La planta puede ser operada como una planta de tasa constante flujo de capacidad constante, o como una planta de capacidad de flujo variable.

2.1.4 EDIFICIO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

El conducto de agua cruda pasa por debajo del centro del edificio de productos químicos, donde el agua cruda es provista del tratamiento químico. Esta agua químicamente tratada fluye luego hacia el mezclador rápido (Flash Mixer), en cuyo compartimiento se mezclan perfectamente el sulfato de aluminio en el agua cruda antes de que esta pase a los clarificadores.

2.1.5 MEZCLADOR RAPIDO

El compartimiento del mezclador rápido está localizado debajo del edificio de productos químicos, y consiste en un mezclador de turbina vertical fabricado de acero. Este mezclador es una unidad de velocidad constante que tiene una velocidad de eje de 12,4 R.P.M. la propulsión consiste de un motor de 10

H.P. acoplada a un engranaje reductor de velocidad montado verticalmente.

2.1.6 MEDICION DEL FLUJO DE AGUA CRUDA

El agua cruda químicamente tratada fluye a través de un tubo venturi de 36 pulgadas de diámetro el cual tiene un transmisor de flujo montado en la pared, las mediciones de las presiones diferenciales tomadas del tubo venturi son convertidas en el transmisor a señales eléctricas de pulsación de tiempo las cuales son proporcionales al flujo a través del tubo venturi, estas señales son conducidas hacia el tablero de control maestro en el edificio de Administración el mismo que tiene medidores de flujo indicadores, registradores y totalizadores. Esta misma señal del transmisor es conducida a los controles de los dosificadores de productos químicos en el edificio de productos químicos, de este modo, la alimentación química del agua cruda es controlada automáticamente, descargando productos químicos en proporción al flujo de agua cruda.

2.1.7 DISTRIBUCION DEL FLUJO DE AGUA CRUDA HACIA LOS CLARIFICADORES

Del tubo venturi antes descrito, el agua cruda fluye hacia una cámara de distribución la cual está localizada en una posición central respecto a los cuatro clarificadores, esta cámara desvía el flujo de agua hacia los cuatro clarificadores a través de compuerta de entrada, cada clarificador puede ser separado de la operación al cerrar su compuerta, los otros cuatro clarificadores se regulan por medio de una compuerta operada manualmente.

2.1.8 CLARIFICADORES.

El agua cruda químicamente tratada fluye hacia cada clarificador, entrando al fondo del clarificador, hacia al compartimiento de mezclado localizado centralmente.

Cada clarificador tiene una capacidad de 312,5 litros por segundo y consiste en un mecanismo localizado en un tanque cuadrado de hormigón que mide 22,5 metros por 74 metros de lado y 4,57 metros de profundidad. El propósito del clarificador es retirar la turbiedad y materias extrañas del agua cruda.

Este clarificador es de alta capacidad llamado por el fabricante como Accelerator, a continuación una breve descripción de su operación: El agua cruda llega hacia el compartimiento de mezclado localizado en el centro donde el mezclador de turbina le suministra un mezclado completo al agua que viene con sedimentos formados previamente. Esta mezcla se denomina lechada la misma que es elevada a través del tubo aspirante central por el impulsor de turbina y llega al nivel del agua superior para luego descender hasta el piso del estanque a través del tubo aspirante exterior, de este modo se crea una recirculación de la lechada la misma que regresa al compartimiento de mezcla lenta.

El área periférica exterior que rodea el compartimiento de mezclado en la que permite que los flóculos sedimenten es conocida como la zona de clarificación.

Cada clarificador tiene 3 pozos de recogida de descarga de sedimentos que se conectan a una válvula mediante la cual se controla la descarga de lodos hacia el estanque de excesos.

La capacidad diseñada del clarificador, accelerator está determinada por la capacidad de flujo hacia arriba del agua en la zona de clarificación descrita anteriormente, esta se la conoce como capacidad de flujo (rise-rate) en la zona de clarificación, en esta planta de tratamiento los clarificadores han sido diseñados con una capacidad de flujo de 1 R.P.M. por área de pie cuadrado en la zona de clarificación.

2.1.9 FILTROS

El agua clarificada fluye por gravedad hacia los filtros, hay ocho filtros principales, cuatro a cada lado del edificio de filtros. Cada filtro principal consiste en dos unidades de filtro, haciendo un total de 16 unidades de filtro. Cada uno de los ocho filtros tiene una compuerta deslizante y las válvulas de los filtros funcionan como un cilindro hidráulico y son controlados manualmente desde la mesa de operación de filtros, hay ocho mesas de operación de filtros, una por cada filtro principal. Cada mesa de operación incluye manijas operadas manualmente que comandan las válvulas de los filtros, permitiendo el lavado por corriente de agua limpia separado o simultáneo de las unidades de filtros.

La profundidad del material filtrante incluyendo los lechos de grava soportadores del fondo es de 0,966 metros.

2.1.10 MATERIAL FILTRANTE.

Los filtros son diseñados con "Mixedfilter media" (material filtrante mezclado), la capa superior del material filtrante consiste en 0,495 metros de antracita clasificada que tiene un tamaño efectivo promedio de 1,05mm con un rango de 1,00mm hasta 1,10mm. Este lecho superior es capaz de soportar una carga relativamente pesada de micro-floc (pequeñas partículas de precipitado de hidróxido de aluminio) llevadas por el agua efluente desde los clarificadores. Este lecho de antracita descansa sobre una arena silíceo de alto grado seleccionada con una profundidad de 0,229 metros. Esta arena de filtro tiene un tamaño efectivo en el rango de 0,42 mm hasta 0,55 mm la cual en realidad sirve como un filtro fino debajo del lecho de antracita.

A continuación de esta capa de arena, existe 0,038 metros de granate o arena de alta densidad, con un diámetro efectivo que varía de 0,21 a 0,32 mm.

La capa de granate está sostenida por un lecho de grava clasificada con una profundidad de 0,255 metros. Los lechos de grava clasificada descansan sobre un sistema de bloques de filtros de desagüe inferior que se encuentran sobre el piso del filtro, estos bloques sirven para suministrar una distribución igual de flujo a través del área del filtro ya sea para atender el filtro o para el lavado corriente con agua limpia del filtro.

La característica básica de este material filtrante mezclado es su capacidad de filtración que está en el rango de 1.35 l/s hasta 4.08 l/s por m² de área de superficie realizada como filtrado de alta capacidad, para cumplir bajo carga microfloc con jornadas de filtrado largas y para limpiar por medio de lavado dando una larga vida útil al material filtrante.

2.2 LAVADO DE FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASÍ

El lavado de filtros se lo ejecuta mediante una corriente de agua limpia y se realiza por operación manual de los controladores y válvulas de filtros, que están en la mesa de operación de filtros, el suministro de agua limpia la cual también incluye el lavado superficial que se indica después, viene del tanque de almacenamiento de agua de lavado.

Mediante un controlador de capacidad de flujo localizado en el sótano del edificio de administración, y una válvula tipo mariposa, se limita y controla la capacidad de flujo de lavado hacia cualquiera de los filtros.

2.2.1 LAVADO SUPERFICIAL DEL FILTRO.

Cada unidad de filtro está provista de dos mecanismos de lavado superficiales, comúnmente referidos como “agitadores” de filtro.

La lavadora de superficie es una unidad propulsada por sí misma, del tipo

giratorio.

Cada unidad consiste en un conjunto de apoyo giratorio central diseñado para funcionar debajo del agua, brazos laterales, tapas terminales, y boquillas a chorro, de alta velocidad.

El propósito del lavado superficial es crear un efecto de limpieza y socavación de las partículas del material filtrante al crear una turbulencia muy fuerte en la mezcla agua-material filtrante, el lavado superficial contribuye mucho a la limpieza completa del material filtrante durante las operaciones de lavado por corriente de agua limpia.

Se debe tomar en cuenta que la utilización del lavado superficial de filtros reduce el consumo requerido de agua de lavado de filtros, operaciones eficientes en plantas indican que el consumo total de agua del lavado de filtros sobre un período de tiempo dado, no debe sobrepasar del 3% de la producción total del agua filtrada en la planta.

El suministro del agua para el lavado superficial tiene origen en una bomba de lavado superficial localizada en el sótano del edificio de administración, la descarga de la bomba tiene una tubería de 6" de diámetro la cual va a todas las unidades de filtros, en la línea de descarga de la bomba está incluido un medidor de flujo tipo turbina de 6" de diámetro, que registra el consumo de agua del lavado.

Los filtros se lavan periódicamente para asegurar la calidad del agua filtrada tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- El tiempo de trabajo del filtro.
- La calidad del agua filtrada.
- La Pérdida de carga.

El proceso de lavado una vez que haya cumplido alguno de los factores antes señalado y sea necesario, su lavado consiste en:

- Se vacían las dos celdas que conforman el filtro.
- Mediante el sistema hidráulico se comienza a lavar superficialmente a presión una de las dos celdas que conforman el filtro, para ello los brazos giran e inyectan agua a presión mediante las boquillas, de esta manera se remueve todo el lodo acumulado en el material filtrante.
- Al subir el nivel de agua sucia llega hasta los rebosaderos y estos conducen esta hasta los desagües los cuales están conectados al alcantarillado de la ciudad, de esta manera las primeras descargas contienen mayor cantidad de sólidos suspendidos por ende se observa mayor turbiedad en el agua, poco a poco el agua se va aclarando síntoma de limpieza este proceso toma alrededor de 6 a 7 minutos y el proceso total por cada celda 15 minutos.
- Una vez realizado el lavado de una celda se procede a lavar la otra celda del filtro. De esta manera en la Planta de tratamiento de Puengasí se lavan diariamente un promedio de 2 a 3 filtros por día, dependiendo de los factores que determinan en que momento debe ser lavado un filtro y que se mencionó anteriormente, siendo más repetitivo este proceso en época de invierno debido a que la lluvia deposita más sedimentos en los afluentes y fuentes de abastecimiento de agua a ser tratada por esta planta de tratamiento.

Fotografía: 2-1 Sistema de Lavado de celdas de filtro Puengasí.



FUENTE: EPMAPS; 2014

Fotografía: 2-2 Proceso de Lavado de celdas de filtro Puengasí



FUENTE: EPMAPS; 2014

2.3 PRODUCCION DE LODOS.

Es necesario aclarar que la composición de los lodos depende de la naturaleza de la contaminación inicial del agua y de los procesos de depuración a los que se somete la misma es decir tratamientos físico-químicos, biológicos.

Existen lodos de las siguientes clases:

Lodo de clase orgánica hidrófila: es la clase de lodos más amplias que se encuentran ya que las dificultades de deshidratación de estos lodos se deben a la presencia de una fracción importante de coloides hidrófilos. Están dentro de esta categoría todos los tipos resultantes del tratamiento biológico de aguas residuales y cuyo contenido en volátiles puede alcanzar hasta el 90% de la totalidad de materias secas. En estos fangos pueden encontrarse presentes hidróxidos de carácter hidrófilo, tales como hidróxidos de hierro o de aluminio, procedentes de flocculantes minerales utilizados en el proceso de depuración de agua. Estos lodos orgánicos requieren un acondicionamiento antes de su deshidratación mecánica.

Lodo de clase mineral hidrófila: Estos lodos contienen hidróxidos metálicos formados en los procesos físico-químicos por precipitación de iones metálicos presentes en el agua a tratar (Al, Fe, Zn, Cr....) o debidos al empleo de flocculantes minerales (Sales ferrosas o férricas, sales de aluminio).

Lodos de clase aceitosa: Se caracteriza por la presencia en los efluentes, de cantidades, incluso pequeñas de aceites o grasas minerales o animales. Estos aceites se encuentran en emulsión o adsorbidos por las partículas fangosas hidrófilas o hidrófobas. Pueden contener también una fracción de lodo biológico, en caso de tratamiento final por lodos activados un ejemplo de ello es tratamiento de aguas residuales de refinería.

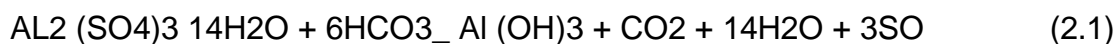
Lodos de clase mineral Hidrófoba: Estos lodos se caracterizan por una gran proporción de materias con un contenido en agua ligada pequeño o nulo (arena, limo, escoria, sales cristalizadas,..etc). La deshidratación de este tipo de lodos, que, en un principio, no presenta dificultad, puede verse perturbada por la presencia de materias minerales hidrófilas, procedentes de floculantes utilizados en el proceso de tratamiento de agua.

Lodos de clase fibrosa: Estos lodos son, generalmente, fáciles de deshidratar, excepto en el caso de que, debido a una, recuperación extrema de fibras, evolucionen hacia el tipo hidrófilo, por la presencia de hidróxidos o de lodos biológicos.

El agua cruda tratada en la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí, poseen sustancias de diferentes características que deben ser removidas durante los procesos de potabilización, “Dentro de este grupo se encuentran arenas, limos orgánicos en solución o suspensión, iones que causan dureza, turbiedad, color y otras sustancias que reducen la calidad del agua.” (Darwin Hernández, 2006). Durante el proceso de potabilización los sólidos suspendidos del agua natural pasa por los clarificadores donde las partículas suspendidas se precipitan permitiendo así la clarificación del agua, en algunas ocasiones las partículas son tan finas que es necesario aplicar coagulantes que permitan que estos sólidos se aglutinen de tal manera que por su propio peso se precipiten durante el proceso de sedimentación, a estos sedimentos se los conoce como lodos.

Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60% y 70 % de los sólidos totales, y en los filtros el lodo está entre al 30% y 40%.

En la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí el coagulante utilizado en el proceso de potabilización es el sulfato de aluminio, el mismo que al ser inyectado en el agua cruda presenta la siguiente reacción:



Cuando la reacción logra el equilibrio hace que el elemento predominante sea el hidróxido de aluminio, caso contrario se forma un compuesto complejo polimerizado que tiene de 3 a 4 moléculas de agua unidas al hidróxido de aluminio, que al unirse con el agua provoca el aumento de la producción de lodos y a su vez un aumento en su volumen.

Utilizamos la siguiente fórmula para calcular la cantidad de lodo que se produce en una planta de tratamiento de agua porque en la planta de Puengasí se utiliza sulfato de aluminio como coagulante, y esta fórmula está en función de la dosis de dicho coagulante.

$$S = 86.4Q(0.44Sulf. De Aluminio + SS + A) \quad (2.2)$$

Dónde:

S=Lodo producido (m³/día) base seca

Q= Caudal de agua cruda (m³/seg)

Al=Dosis de sulfato de aluminio (mg/l.)

SS= Sólidos suspendidos del agua cruda (mg/l)

A= Productos químicos adicionales como polímero,etc. (mg/l)

A continuación se incorporan las tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 las cuales resumen el volumen de lodos generados en la planta de tratamiento de Puengasí, desde el año 2011 hasta el 2014 los volúmenes de agua tratada por mes, así como también la cantidad de Sulfato de Aluminio utilizado como coagulante en el proceso de potabilización de agua. En promedio hasta lo que va del año 2014 se han generado 93 m³ de lodo por día, este parámetro se tomará en cuenta para definir el tratamiento de lodos.

TABLA 2.1

VOLUMENES DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASI AÑO 2011

MES	Caudal de Agua Tratada (l/s)	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sulfato de Aluminio (kg)	Dosis de sulfato de aluminio como sólido	Volumen de lodos (m ³ /día)	Volumen de lodos (m3/mes)
Enero	2062.11	5523167	484977	43.90	101.45	3144.83
Febrero	2069.17	5005739	465815	46.53	107.88	3020.58
Marzo	2077.98	5565655	489325	43.96	102.36	3173.03
Abril	2051.02	5316238	439172	41.30	94.93	2847.81
Mayo	2053.14	5499133	524147	47.66	109.64	3398.83
Junio	2118.30	5490625	464555	42.30	100.41	3012.41
Julio	2137.94	5726271	471875	41.20	98.71	3059.87
Agosto	2154.11	5769575	465461	40.34	97.36	3018.28
Septiembre	2201.68	5706742	461742	40.46	99.81	2994.17
Octubre	2195.20	5879634	499233	42.45	104.43	3237.28
Noviembre	2198.78	5699250	466767	40.95	100.89	3026.75
Diciembre	2211.27	5922671	447309	37.76	93.57	2900.58
TOTAL	6209.26	32400557	2867991	134.39	1211.42	36834.41
PROMEDIO	2128	5592058	473365	42	101	3070

FUENTE: EPMAPS, Informe anual de producción de lodos, 2011

TABLA 2.2

VOLUMENES DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASI AÑO 2012

MES	Caudal de Agua Tratada (l/s)	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sulfato de Aluminio (kg)	Dosis de sulfato de aluminio como sólido	Volumen de lodos (m ³ /día)	Volumen de lodos (m3/mes)
Enero	2212.19	5925122	402335	33.95	84.16	2608.94
Febrero	2264.33	5477867	446670	40.77	103.44	2896.43
Marzo	2179.05	5836366	481506	41.25	100.72	3122.33
Abril	2169.2	5622570	459643	40.87	99.35	2980.56
Mayo	2225.28	5960183	401797	33.71	84.05	2605.45
Junio	2306.39	5978162	393973	32.95	85.16	2554.72
Julio	2237.87	5993920	421446	35.16	88.16	2732.87
Agosto	2165.72	5800660	384451	33.14	80.42	2492.97
Septiembre	2302.79	5968834	410236	34.36	88.67	2660.18
Octubre	2206.2	5909092	409830	34.68	85.73	2657.54
Noviembre	2229.01	5777598	398030	34.45	86.03	2581.03

TABLA 2.2 CONTINUACIÓN

Diciembre	2237.59	5993174	363343	30.31	76	2356.1
TOTAL	6655.57	34800270	2585924	115.97	1061.89	32249.1
PROMEDIO	2228	5853629	414438	35	88	2687

FUENTE: EPMAPS, Informe anual de producción de lodos, 2012

TABLA 2.3

VOLUMENES DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASI AÑO 2013

MES	Caudal de Agua Tratada (l/s)	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sulfato de Aluminio (kg)	Dosis de sulfato de aluminio como sólido	Volumen de lodos (m ³ /día)	Volumen de lodos (m3/mes)
Enero	2209.92	5919058	389371	32.89	81.45	2524.88
Febrero	2193.52	5306562	392562	36.99	90.91	2545.57
Marzo	2251.83	6031292	344566	28.56	72.08	2234.34
Abril	2257.94	5852584	439294	37.53	94.95	2848.60
Mayo	2269.01	6077308	427851	35.20	89.50	2774.40
Junio	2232.93	5787762	460671	39.80	99.57	2987.22
Julio	2295.02	6146984	461558	37.54	96.55	2992.97
Agosto	2274.55	6092142	435360	35.73	91.07	2823.09
Septiembre	2258.73	5854634	421939	36.03	91.20	2736.06
Octubre	2287.94	6128006	436170	35.59	91.24	2828.34
Noviembre	2300.82	5963720	439541	36.85	95.01	2850.20
Diciembre	2268.64	6076338	397981	32.75	83.25	2580.71
TOTAL	6655.27	34974566	2454315	98.44	1076.77	32726.39
PROMEDIO	2258	5936366	420572	35	90	2727

FUENTE: EPMAPS, Informe anual de producción de lodos, 2013

TABLA 2.4

VOLUMENES DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASI AÑO 2014

MES	Caudal de Agua Tratada (l/s)	Volumen de Agua Tratada (m ³)	Sulfato de Aluminio (kg)	Dosis de sulfato de aluminio como sólido	Volumen de lodos (m ³ /día)	Volumen de lodos (m ³ /mes)
Enero	2218.37	5941678	399247	33.60	83.51	2588.92
Febrero	2447.25	5920387	465484	39.31	107.80	3018.43
Marzo	1923.42	5151688	422546	41.01	88.39	2740.00
Abril	2230.75	5782112	411170	35.56	88.87	2666.23
Mayo	2259.14	6050878	450286	37.21	94.19	2919.88
TOTAL	6589.04	28846743	2148733	113.92	279.70	13933.46
PROMEDIO	2216	5769349	429747	37	93	2787

FUENTE: EPMAPS, Informe anual de producción de lodos, 2014

2.4 CALIDAD DE LODOS

Las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda y de los sistemas usados en el tratamiento del agua. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente, sin embargo poseen características básicas similares.

El lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable que utiliza sulfato de aluminio como coagulante, es un fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua más del 90%, hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y materia orgánica removida del agua. El conocimiento de estas características son esenciales para determinar su tratamiento y disposición final.

Los sólidos residuales de las plantas de tratamiento de agua están

constituidos por sólidos suspendidos provenientes de los desechos de los procesos de coagulación-floculación sedimentación y del retrolavado de los filtros. Generalmente tendrán un contenido bajo de sólidos en el rango de 3.000 a 15.000 mg/l. Los sólidos suspendidos son del 75 al 90 % de los sólidos totales (ST), con una cantidad de sólidos volátiles del 20 al 35% de los ST. La demanda bioquímica de oxígeno generalmente es de 30 a 100 mg/l. el pH del lodo está en un rango de 5 a 7. (Ramirez,2008)

2.5 VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA EN EL LAVADO

A continuación se presentan los cuadros que corresponden al agua utilizada en el lavado de filtros en la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí, correspondiente a los años: 2012, 2013, y hasta mayo de 2014.

TABLA 2.5
VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA LAVADO DE FILTROS AÑOS 2012 A 2014
PLANTA PUENGASI

MES	AÑO 2012		AÑO 2013		AÑO 2014	
	Vol. de agua lavado de filtros (l/s)	Vol. de agua lavado de filtros (m3)	Vol. de agua lavado de filtros (l/s)	Vol. de agua lavado de filtros (m3)	Vol. de agua lavado de filtros (l/s)	Vol. de agua lavado de filtros (m3)
Enero	18.36	49170	20.56	55061	28.93	77491
Febrero	20.01	48405	18.97	45900	22.34	54040
Marzo	18.10	48487	19.47	52148	24.80	66437
Abril	18.66	48364	19.36	50189	19.68	51001
Mayo	19.89	53269	19.10	51150	23.45	62798
Junio	18.54	48048	20.45	53019		
Julio	18.96	50770	23.65	63343		
Agosto	19.70	52758	21.71	58136		
Septiembre	20.65	53531	21.41	55505		
Octubre	20.70	55431	20.74	55541		
Noviembre	22.31	57832	20.51	53151		
Diciembre	19.19	51401	27.17	72760		
TOTAL	235.06	295743	253.09	307467	119.20	311767
PROMEDIO	20	51456	21	55492	24	62353

FUENTE: EPMAPS, Informe anual de volúmenes de agua utilizada, 2014.

Como se aprecia en la tabla 2.5 en la cual se resume el volumen de agua utilizada en el lavado de filtros desde el año 2012 al 2014, al realizar un promedio diario se obtiene que se consumen entre 1715 m³ en el 2012 hasta 2078 m³ en el 2014 para lavar dichos elementos.

CAPÍTULO 3

METODOS Y MATERIALES

3.1. MUESTREO DE AGUA CRUDA

Los filtros deben lavarse periódicamente para asegurar la calidad del agua filtrada. Este proceso exige un especial cuidado con el fin de no producir daños en el filtro y en el agua tratada.

El lavado de un filtro se determina bajo los siguientes criterios:

- El tiempo de trabajo del filtro.
- La calidad del agua filtrada.
- La pérdida de carga.

Composición de filtro:

- 2 Celdas
- 4 brazos removedores de sedimentos
- 4 Vertederos
- Bomba de presión

El presente muestreo se lo realiza para poder determinar las características del agua que se obtiene una vez se han lavado las celdas del filtro, para ello cuando se requiera dar la limpieza al filtro seleccionado por los criterios anteriormente descritos, es decir por el tiempo de trabajo del filtro o por cualquiera de los otros parámetros, se toman cinco muestras una vez el agua comience a salir por los vertederos, previa agitación de sedimentos pegados en material filtrante mediante los brazos removedores, tomando en cuenta que la primera toma es la que mayor turbiedad presenta puesto que se ha agitado todo el lodo acumulado en el material filtrante, y la última muestra

será la menos turbia debido a que el lodo poco a poco ha sido eliminado por los vertederos.

Los parámetros a determinar son los siguientes:

3.1.1 ALCALINIDAD

3.1.1.1 DEFINICIÓN

Definimos la alcalinidad total como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Los bicarbonatos, carbonatos y el ión hidróxilo, representan las formas más importantes de alcalinidad, pero en algunos casos pueden contribuir boratos, silicatos, fosfatos y otras bases. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

3.1.1.2 MÉTODO

La alcalinidad se determina por titulación con una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico $\text{pH} = 4,5-4,3$

La titulación se efectúa en dos etapas sucesivas, definidas por los puntos de equivalencia para los bicarbonatos y el ácido carbónico, los cuales se indican electrométricamente por medio de indicadores.

La fenolftaleína y el metil naranja ó el metacresol púrpura y el bromocresol verde son los indicadores usados para la determinación de la alcalinidad.

La fenolftaleína es incolora para valores de pH < 8.3 y vira a un color rosado a pH>8.3. El metil naranja, es de color amarillo para valores pH>4.5 y vira a color naranja en condiciones ácidas.

3.1.1.3 CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA

La determinación debe ser realizada preferentemente dentro de las primeras 24 horas a partir de la colecta, ya que pueden modificarse por interacción con el anhídrido carbónico atmosférico (CO₂).

3.1.1.4 RESULTADOS

Formula usada para obtener la Alcalinidad.

$$\text{Alcalinidad} = \frac{[H_2SO_4] * VOL.GASTADO * 50000}{VOL.MUESTRA} \quad (3.1)$$

Tabla 3.1

ALCALINIDAD CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7 Y DEL FILTRO 2.

	Número de Muestra	Filtro 7 (mg/l)	Filtro 2 (mg/l)
Alcalinidad (mg/l)	1	80	89
	2	75	86
	3	81	75
	4	71	82,5
	5	78	81,5

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.1.2 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

3.1.2.1 DEFINICIÓN

Determinar el pH es esencial en todas las industrias. La monitorización de la calidad del producto o de reacciones químicas se realiza frecuentemente mediante mediciones del pH. El valor del pH está relacionado con la concentración de iones de hidrógeno (H^+) que hay una solución acuosa y, por consiguiente, con la acidez de la solución. El pH puede (en teoría) tomar valores entre 0 – 14 en agua, siendo 0 el valor extremo de ácido y 14 el valor extremo de base.

Las condiciones de aplicación de las mediciones de pH pueden ser muy diferentes, dependiendo éstas de si se realizan con aguas residuales, mezclas químicas, con aguas ultrapuras de centrales energéticas o en la industria de las ciencias de la vida, por ejemplo.

La selección de un electrodo de pH se basa principalmente en las características químicas y físicas del producto del proceso.

3.1.2.3 MÉTODO

pH-Metro

El equipo dispone de una pantalla donde se eligen distintas opciones y, lo más importante, se muestra el valor de pH medido de una disolución problema. Consta de cristal dentro del cual existen unos filamentos metálicos, que es el electrodo de pH.

Dicho electrodo realiza medidas de diferencia de potencial entre ambos lados de una membrana de vidrio. Esta diferencia de potencial que se genera es debida a la capacidad de los protones, H_3O^+ , de atravesar la membrana, y el mayor o menor valor de la diferencia de potencial depende de la mayor o

menor cantidad de protones que haya en la disolución problema. Es decir, la medida que realiza el electrodo depende de la concentración de H_3O^+ , y ya sabemos que el $pH = -\log [H_3O^+]$.

Sin embargo, el aparato no puede dar directamente un valor de pH a partir de un valor de diferencia de potencial. Se necesitan unas soluciones de referencia (llamadas patrones) de pH conocido, generalmente 4, 7 y 9 (aunque pueden variar) que son medidas antes de la disolución problema:

A pH 4 le corresponde el valor x de diferencia de potencial que mida.

A pH 7 le corresponde el valor y de diferencia de potencial que mida.

A pH 9 le corresponde el valor z de diferencia de potencial que mida.

Con estos valores, el equipo interpola o extrapola (mejor interpolar) el valor de diferencia de potencial de nuestra muestra y nos devuelve un valor de pH.

Es decir, realiza, simplemente, una regla de tres.

3.1.2.4 RESULTADOS

Tabla 3.2

Ph CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7 Y DEL FILTRO 2.

	Número de Muestra	Filtro 7	Filtro 2
pH	1	5,97	7,60
	2	5,98	7,49
	3	6,15	7,36
	4	5,98	7,34
	5	6,03	7,36

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.1.3 TURBIDEZ

3.1.3.1 DEFINICIÓN

La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para los usos industriales. La transparencia de una masa natural de agua es un factor decisivo para la calidad y producción de los diferentes usos que se le dé al cuerpo de agua.

La turbidez del agua es producida por materia en suspensión, como arcilla, materia orgánica e inorgánica, plancton y otros microorganismos. La turbidez es una expresión óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La correlación de la turbidez con la concentración en peso de la materia en suspensión es difícil de establecer ya que en la dispersión luminosa interviene el tamaño, forma y el índice de refracción de las partículas.

3.1.3.2 MÉTODO

Las interacciones en una suspensión natural son complejas, y la turbiedad es frecuentemente utilizada en un sentido cualitativo. Una definición cuantitativa describe a la turbiedad como el inverso de aquella longitud de onda de una solución, la que mediante difusión, reducirá la intensidad de un rayo de luz a $(1/e)$.

Con el incremento en el tamaño de las partículas sobre un diámetro de $1/20$, la intensidad de la luz dispersada es una función compleja del tamaño de partícula y el ángulo de emisión de la luz. Para un número constante de partículas y una longitud de onda dada, la intensidad de luz dispersada se incrementa hasta un máximo y entonces disminuye, conforme el tamaño de las partículas se incrementa.

Dos métodos instrumentales pueden ser utilizados para la medición de turbiedad. La intensidad del rayo de luz transmitido puede ser medida y comparada con la intensidad del rayo de luz de incidencia. Alternativamente, la intensidad del rayo difundido puede también ser medido método nefelométrico.

Los instrumentos de transmisión y nefelométricos, para la turbiedad con nefelómetros, se anota como "Unidades de Turbiedad Nefelométrica" o "NTU.

3.1.3.3 CONSERVACION DEL MUESTRA.

Determinar la turbidez el mismo día en que se toma la muestra. Si es inevitable una conservación prolongada, almacenar las muestras en ambiente oscuro hasta 24 horas. Agitar vigorosamente todas las muestras antes de su análisis.

3.1.3.4 RESULTADOS

TABLA 3.3

TURBIDEZ CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7.

TURBIDEZ DEL FILTRO 7				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	UTN	165.36	173.24
2	2	UTN	67.25	63.76
3	4	UTN	8.52	6.37
4	6	UTN	3.57	4.05
5	8	UTN	1.52	1.39
6	10	UTN	0.28	1.04

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.4
TURBIDEZ CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO
DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS .2

TURBIDEZ DEL FILTRO 2				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	UTN	201.03	284.53
2	2	UTN	82.78	67.61
3	4	UTN	14.26	41.23
4	6	UTN	11.33	11.94
5	8	UTN	10.15	7.35
6	10	UTN	0.96	1.03

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.1.4 SÓLIDOS EN AGUAS

3.1.4.1 DEFINICIÓN

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables como sales y residuos orgánicos. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos. Estos contaminantes pueden ser de

naturaleza orgánica o inorgánica, provenientes de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales.

La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, a una temperatura de 103°C a 105°C. Los métodos para la determinación de sólidos son empíricos, fáciles de realizar y están diseñados para obtener información sobre los diferentes tipos de sólidos presentes.

3.1.4.2 MÉTODO

a) Sólidos Totales (ST).- Consisten en la cantidad de materia que queda como residuo después de una evaporación entre los 103° C a 105° C.

b) Sólidos Volátiles (SV).- Los sólidos Totales sometidos a combustión a una temperatura de 600° C, durante 20 minutos, transforman la materia orgánica a CO₂ y H₂O. Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil (SV), los sólidos que no volatilizan se denominan sólidos fijos (SF).

c) Sólidos suspendidos (SS).- Constituyen uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los SS se determinan como la cantidad de material retenido después de filtrar un determinado volumen de muestra (50 mL) a través de crisoles "GOOCH" o filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante.

En la actualidad se prefiere utilizar para la determinación de los Sólidos Suspendidos SS, los filtros de membrana con un tamaño de poro de aproximadamente 1.2 micrómetros (1.2 x 10⁻⁶ metros).

d) Sólidos Sedimentables.- Los sólidos sedimentables son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partícula corresponde a 10 micras o más y que pueden sedimentar.

TABLA 3.5

SÓLIDOS SUSPENDIDOS CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 7				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	mg/L	562	523
2	2	mg/L	253	243
3	4	mg/L	83	86
4	6	mg/L	15	17
5	8	mg/L	9	8
6	10	mg/L	2	3

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.6

SÓLIDOS SUSPENDIDOS CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTRO 2.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 2				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	mg/L	666	596
2	2	mg/L	345	294
3	4	mg/L	117	101
4	6	mg/L	66	51
5	8	mg/L	24	20
6	10	mg/L	12	10

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.7

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA
PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7.**

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 7				
MUESTRA	UNIDAD	SST	SSV	SSF
1	mg/L	172	44	128
2	mg/L	178	55	123
3	mg/L	182	52	130
4	mg/L	180	42	138
5	mg/L	172	46	126

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.8

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA
PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 2.**

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 2				
MUESTRA	UNIDAD	SST	SSV	SSF
1	mg/L	168	53	115
2	mg/L	170	58	112
3	mg/L	173	54	119
4	mg/L	166	55	111
5	mg/L	170	34	136

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.1.5 COLIFORMES FECALES

3.1.5.1 DEFINICIÓN

Tradicionalmente se han utilizado tres grupos de organismos como indicadores de la calidad microbiológica del agua: coliformes totales, coliformes fecales y enterococos. Los coliformes son organismos aeróbicos y aeróbicos facultativos, Gram negativos, bacilos no formadores de esporas, que producen ácido y gas de la fermentación de lactosa. Los coliformes no tienen requerimientos especiales para su desarrollo y pertenecen a la familia Enterobacteriaceae. Usualmente se encuentran en los intestinos de los vertebrados. Los coliformes se dividen en dos grupos, los coliformes totales y los coliformes fecales. Los coliformes fecales se diferencian por su habilidad de fermentar lactosa y crecer a 44.5 °C. Los coliformes más comunes son *Escherichiacoli* y *Enterobacteraerogenes*.

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

De igual manera, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

3.1.5.2 MÉTODO

La técnica del número más probable tiene una base estadística para expresar cuantitativamente la densidad de microorganismos en una muestra. La prueba consiste en inocular series de tubos que contienen un medio de

cultivo que permitiría manifestar un microorganismo o grupo de ellos en particular.

Se basan en la presunción de que las bacterias se hallan normalmente distribuidas en un medio líquido, es decir; muestras repetidas del mismo tamaño y de un mismo producto, deben contener el mismo número de gérmenes como promedio. Dicha cantidad media es el número más probable NMP.

Esta técnica se usa principalmente para la estimación de bacilos coliformes, pero puede utilizarse casi para toda clase de gérmenes en muestras líquidas siempre y cuando su crecimiento sea evidente (turbidez, formación de gas, producción de ácido).

Ejemplos de ellos son las levaduras y hongos en jugos y bebidas de frutas, clostridios en emulsiones de alimentos, cadenas de esporos en suspensiones de harina.

3.1.5.3 CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA

La determinación debe ser realizada preferentemente dentro de las primeras 24 horas a partir de la colecta, ya que pueden modificarse por muerte del microorganismo formador.

3.1.5.4 RESULTADOS

TABLA 3.8

COLIFORMES FECALES CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE AGUA PRODUCTO DE LA DESCARGA DEL LAVADO DE FILTROS 7 Y DEL FILTRO 2.

Coliformes Fecales (mg/l)	Número de Muestra	Filtro 7	Filtro 2
	1	3,9E+03	3E+04
	2	4,3E+03	2,4E+04
	3	1,6E+03	2,1E+04
	4	1,2E+03	9,3E+03
	5	3E+03	1,2E+03

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.1.6 CALIDAD DE AGUA CRUDA QUE INGRESA A LA PLANTA

TABLA 3.9

CALIDAD DE AGUA CRUDA PLANTA PUENGASÍ ENERO-MAYO 2014

Cloro Residual (mg/l)		PH		Color (UTC)		Turbiedad		Control Lodos clarif.	Dosis (mg/l)		Caudal tratado (l/s)
Agua cruda	Ag tratada	Agua Cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua Tratada	Agua Cruda	Agua tratada	Porcentaje %	SO3Al2	Poliamida	
03/01/2014											
0.26	1.34	8.12	7.32	30	0	6.2	0.3	33	70	0.2	2240
0.36	1.39	8.36	7.28	30	0	6.1	0.3	31	70	0.2	2240

TABLA 3.9 CONTINUACIÓN

15/01/2014											
0.15	1.25	8.09	7.16	35	0	5.8	0.2	22	75	0.2	2240
0.15	1.22	8.17	7.1	35	0	5.6	0.2	23	75	0.2	2240
18/01/2014											
0.26	1.2	8.29	7.29	25	0	5.47	0.26	21	75	0.2	2380
0.18	1.29	8.27	7.38	25	0	5.83	0.35	22	75	0.2	2380
01/02/2014											
0.22	1.36	8.16	7.2	45	3	9.02	0.46	26	75	0.2	2380
0.2	1.3	8.23	7.22	45	3	10.03	0.42	25	75	0.2	2380
10/02/2014											
0.15	1.2	8.33	7.31	35	0	5.2	0.2	26	70	0.2	2380
0.15	1.2	8.37	7.31	35	0	5.2	0.2	25	70	0.2	2380
20/02/2014											
0.2	1.28	8.4	7.23	35	0	6.22	0.26	22	70	0.2	2380
0.2	1.28	8.39	7.34	35	0	6.1	0.21	28	70	0.2	2380
24/02/2014											
0.25	1.24	8.4	7.38	35	0	6.26	0.35	24	70	0.2	2380
0.25	1.22	8.41	7.36	35	0	6.22	0.33	20	70	0.2	2380
06/03/2014											
0.27	1.31	8.09	7.16	55	0	12.8	0.4	18	75	0.2	2400
0.25	1.2	8.01	7.25	60	3	12.3	0.45	20	75	0.2	2400
14/03/2014											
0.3	1.2	8.14	7.17	45	3	6.23	0.68	21	80	0.25	2159
0.3	1.24	8.1	7.23	45	3	6.38	0.87	32	80	0.25	2159
24/03/2014											
0.25	1.2	8.08	6.94	60	0	8.14	0.2	18	75	0.25	2380
0.26	1.2	8.11	7.27	60	0	8.94	0.26	17	75	0.25	2380
27/03/2014											
0.26	1.24	8.25	7.23	50	0	7.02	0.27	26	80	0.25	2250
0.2	1.25	8.22	7.21	50	0	6.9	0.26	20	80	0.25	2250
31/03/2014											
0.26	1.19	8.25	7.18	60	3	7.8	0.64	27	75	0.25	2400
0.28	1.17	8.18	7.28	60	5	7.6	0.75	29	75	0.25	2400
02/04/2014											
0.23	1.25	8.08	7.22	45	0	5.44	0.29	35	75	0.25	2280
0.22	1.4	8.19	7.3	45	0	5.53	0.41	38	75	0.25	2280

TABLA 3.9 CONTINUACIÓN

07/04/2014											
0.4	1.23	8	7.31	30	0	5.92	0.13	30	70	0.25	2294
0.32	1.2	8	7.28	30	0	5.68	0.18	30	70	0.25	2282
14/04/2014											
0.28	1.42	8.13	7.23	30	0	6.24	0.37	35	75	0.2	2250
0.28	1.34	8.12	7.22	30	0	6.05	0.38	35	70	0.25	2250
23/04/2014											
0.45	1.43	8.23	7.24	35	0	6.9	0.33	25	70	0.25	2250
0.35	1.32	8.13	7.24	35	0	6.72	0.35	27	70	0.25	2250
05/05/2014											
0.28	1.2	8.04	7.12	40	0	6.32	0.2	40	75	0.25	2250
0.38	1.15	8.03	7.27	40	0	6.2	0.28	41	75	0.25	2250
13/05/2014											
0.25	1.25	7.93	6.96	85	0	8.93	0.5	36	95	0.25	2250
0.2	1.22	7.8	6.97	85	0	8.32	0.52	43	85	0.25	2250
26/05/2014											
0.57	1.2	7.95	7.21	35	0	6.6	0.47	24	70	0.25	2250
0.17	1.34	7.91	7.21	35	0	6.2	0.28	54	70	0.25	2250

FUENTE: EPMAPS, 2014

Los datos obtenidos en la tabla corresponden a la calidad de ingreso del agua cruda entre los meses de enero a mayo del 2014, los parámetros descritos son los que la EPMAPS-Q realiza para controlar la calidad del agua que ingresa, y como se puede observar no existe una variación significativa.

3.2 MUESTREO DE LODOS

3.2.1 MUESTREO POR EVACUACIÓN DE LODOS POR EL SISTEMA DE DESAGUE.

Para recolectar las muestras se coordinó con el Operador de turno de la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí , y luego de haber

realizado una inspección visual en todos los clarificadores se determinó que los clarificadores No 2 y No 4 se debían purgar, este proceso se realiza manualmente en el tablero de control de cada clarificador que está ubicado en las gradas de acceso, una vez abierta la válvula de desagüe se iniciaba la purga del clarificador seleccionado.

En ese momento se procedía a tomar las muestras del lodo, en recipientes herméticos, para luego transportarlos al laboratorio de aguas y microbiología del departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional, donde se llevaron a cabo los respectivos análisis.

Los puntos de muestreo se eligieron de tal forma que sean representativos para que su análisis nos permita comparar el volumen y las características de los lodos en los diferentes procesos, para esto consideramos los siguientes factores (Ideam, 1997):

- 1.- Caudal de entrada de agua a la planta.
- 2.- Turbiedad del agua.
- 3.- Sólidos Suspendidos y totales presentes en el agua de entrada a la planta.
- 4.- Dosis de sulfato de aluminio aplicado en la coagulación del agua.
- 5.- Tiempo de lavado de las unidades de tratamiento.

FOTO 3 .1 CLARIFICADORES DEL 1 AL 4 PLANTA DE PUENGASÍ



FUENTE: EPMAPS; 2014

FOTO 3.2 TOMA DE MUESTRAS EN LA PURGA DE LOS CLARIFICADORES



FUENTE: EPMAPS; 2014

3.2.1.4 RESULTADOS ALCALINIDAD

TABLA 3.9

ALCALINIDAD CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE LODO EN LA DESCARGA DE LA PURGA DE CLARIFICADOR 2

	Número de Muestra	MUESTRA
Alcalinidad (mg/l)	1	195
	2	193.5
	3	187.5
	4	180
	5	215

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.2.2.4 RESULTADOS COLIFORMES FECALES

TABLA 3.10

COLIFORMES FECALES CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE LODO EN LA DESCARGA DE LA PURGA DE CLARIFICADOR 2

	Número de Muestra	Salida Clarificador 2
Coliformes Fecales (mg/l)	1	6E+09
	2	5.5E+09
	3	6E+09
	4	6.5E+09
	5	6E+09

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.3 CALIDAD DE LODOS

Como ya se mencionó las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda y de los sistemas usados en el tratamiento del agua. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente, sin embargo poseen características básicas similares.

En la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí tenemos las siguientes resultados en los lodos de la purga de los clarificadores.

TABLA 3.11

REPORTE DE MEDICIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS, Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN MUESTRAS DE LODO TOMADOS EN FILTRO 7 ,8 Y LODO DE PURGA DE CLARIFICADOR 2 Y 4.

Muestra	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
Filtro 7	1397	1212	185
Filtro 8	1359	357	1002
Purga de clarificadores 2	27470	18260	9210
Purga de clarificadores 4	28620	18780	9840
Agua separada del filtro 7	7	2	5
Agua separada del filtro 8	3	1	2
Sedimento separada del filtro 7	7920	4650	3270
Sedimento separada del filtro 8	8410	5490	2920
Filtro 8 DUPLICADO	1217	751	466

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.12

REPORTE DE MEDICIÓN DE PH, CONDUCTIVIDAD, Y ALUMINO EN MUESTRAS DE LODO TOMADOS EN FILTRO 7,8 Y LODO DE PURGA DE CLARIFICADOR 2 Y 4.

Muestra	pH	Conductividad	Aluminio
		(uS/cm)	(mg/L)
Filtro 7	7,14	222,00	0,49
Filtro 8	6,93	240,00	0,46
Purga de clarificadores 2	6,89	250,00	No requerido
Purga de clarificadores 4	6,90	236,00	No requerido
Agua separada del filtro 7	8,15	223,00	0,04
Agua separada del filtro 8	8,21	215,00	0,09
Sedimento separado del filtro 7	8,38	220,00	No aplica
Sedimento separado del filtro 8	8,23	216,00	No aplica
Filtro 8 DUPLICADO	6,92		

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 3.13

REPORTE DE MEDICIÓN DE TURBIDEZ, COLOR REAL, Y COLOR APARENTE PARA LAS MUESTRAS LODO TOMADOS EN FILTRO 7,8 Y LODO DE PURGA DE CLARIFICADOR 2 Y 4.

Muestra	Turbidez	Color Real	Color aparente
	(NTU)	(U PtCO)	(U PtCO)
Filtro 7	396,00	24	3580
Filtro 8	709,00	28	4560
Agua separada del filtro 7	0,68	8	20
Agua separada del filtro 8	0,74	9	21
Filtro 8 DUPLICADO	707,00	29	4599

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

FOTOGRAFÍA 3.3: EQUIPO UTILIZADO EN LABORATORIO

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

FOTOGRAFIA 3.4: EQUIPO UTILIZADO EN LABORATORIO

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.4 ACONDICIONAMIENTO

Es un proceso en el cual se utilizan productos químicos para acondicionar el lodo para su deshidratación, el acondicionamiento químico da como resultado la coagulación de los sólidos y la liberación del agua absorbida, obteniéndose un lodo más manejable.

El acondicionamiento se usa antes de la filtración y la centrifugación, los productos químicos utilizados como coagulantes generalmente son: cloruro férrico, cal, sulfato de aluminio, y polímeros orgánicos, que son de fácil uso y muy económicos.

La dosificación de la dosis de polímero varía considerablemente entre los diferentes lodos, siendo la concentración de sólidos y el tipo de lodo los factores más críticos.

La dosis de polímero adecuada para cualquier tipo de lodo se determina en el laboratorio mediante ensayos que permiten determinar las dosis de productos químicos, rendimiento de los filtros e idoneidad de los distintos medios filtrantes.

Al determinar la dosis adecuada de polímero se garantizará que la separación sólido-líquido sea la más adecuada en cuanto a lo técnico y a lo económico.

Para el acondicionamiento de lodos se tomaron cuatro muestras en la purga de los clarificadores No. 2 y No. 4 de la planta de tratamiento de Puengasí, dos muestras se enviaron a laboratorio de Aguas y Microbiología del Departamento de Ciencias Nucleares de la EPN, donde se realizó el acondicionamiento utilizando el polímero poliamida empleando la prueba de jarras con diferentes concentraciones y tiempos.

Las dos muestras restantes fueron analizadas en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental para esto se utilizó cuatro probetas

de acrílico de 20cm de diámetro en las cuales se colocaron las muestras con polímero y sin polímero, para poder determinar la eficacia del polímero propuesto.

Para nuestro estudio de la planta de tratamiento de Puengasí se escogió como acondicionante la poliamida por ser el genérico más económico y eficaz que existe en el mercado además de tratarse de un polímero típico que por su composición química es soluble en agua, ya que los grupos NH-OH forman puentes de hidrógeno con el agua, además por su peso molecular alto ayuda a capturar la mayor parte de sólidos suspendidos.

3.5 ADENSAMIENTO

Mediante el adensamiento de los lodos se consigue una reducción del volumen de aproximadamente un 30 – 80 % antes de cualquier otro tratamiento.

El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente.

En las plantas de tratamiento de mayor tamaño, existen tanques especiales de espesamiento de lodos. Estos tanques están equipados con rodillos de rotación vertical, que crea micro canales en el lodo para un mejor escurrido.

Se tomaron dos muestras en los clarificadores No.2 y No.4 las que fueron analizadas en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, para poder realizar dichos ensayos se utilizó cuatro probetas de acrílico de 20cm de diámetro en las cuales se colocaron las muestras de lodo y de acuerdo a los datos obtenidos se realizaron los gráficos tiempo vs. Altura de torta, y en base a estos resultados proponer el tipo de adensamiento más adecuado.

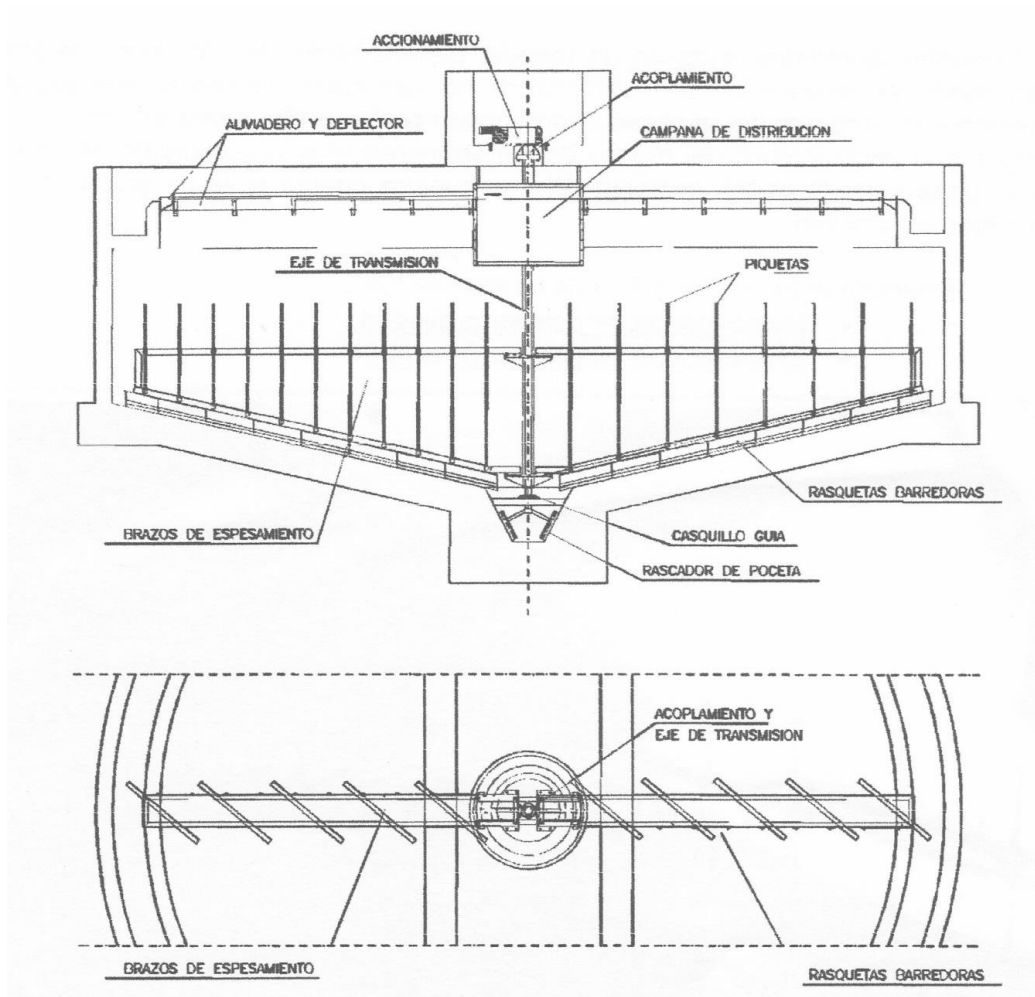
3.5.1 ADENSAMIENTO POR GRAVEDAD

Consiste en eliminar de manera continua todos los sólidos sedimentables existentes en un determinado caudal de líquido, mediante el batido lento de la mezcla de fangos procedente del Decantador Primario, consiguiéndose un aumento considerable de la concentración de lodos que luego son enviados al proceso de deshidratación.

El adensamiento por gravedad consiste en un tanque, generalmente de hormigón, de planta circular, donde se provoca la sedimentación de las partículas con ayuda de unas rasquetas que mediante el lento giro del espesador, envían los fangos a la parte inferior del mismo donde se incrementa la proporción de materia sólida y unas bandejas los evacúan.

Los elementos de un tanque de espesamiento por gravedad son:

- Eje de transmisión
- Brazos de espesamiento
- Rasquetas de poceta
- Distribuidor
- Aliviadero
- Pasarela

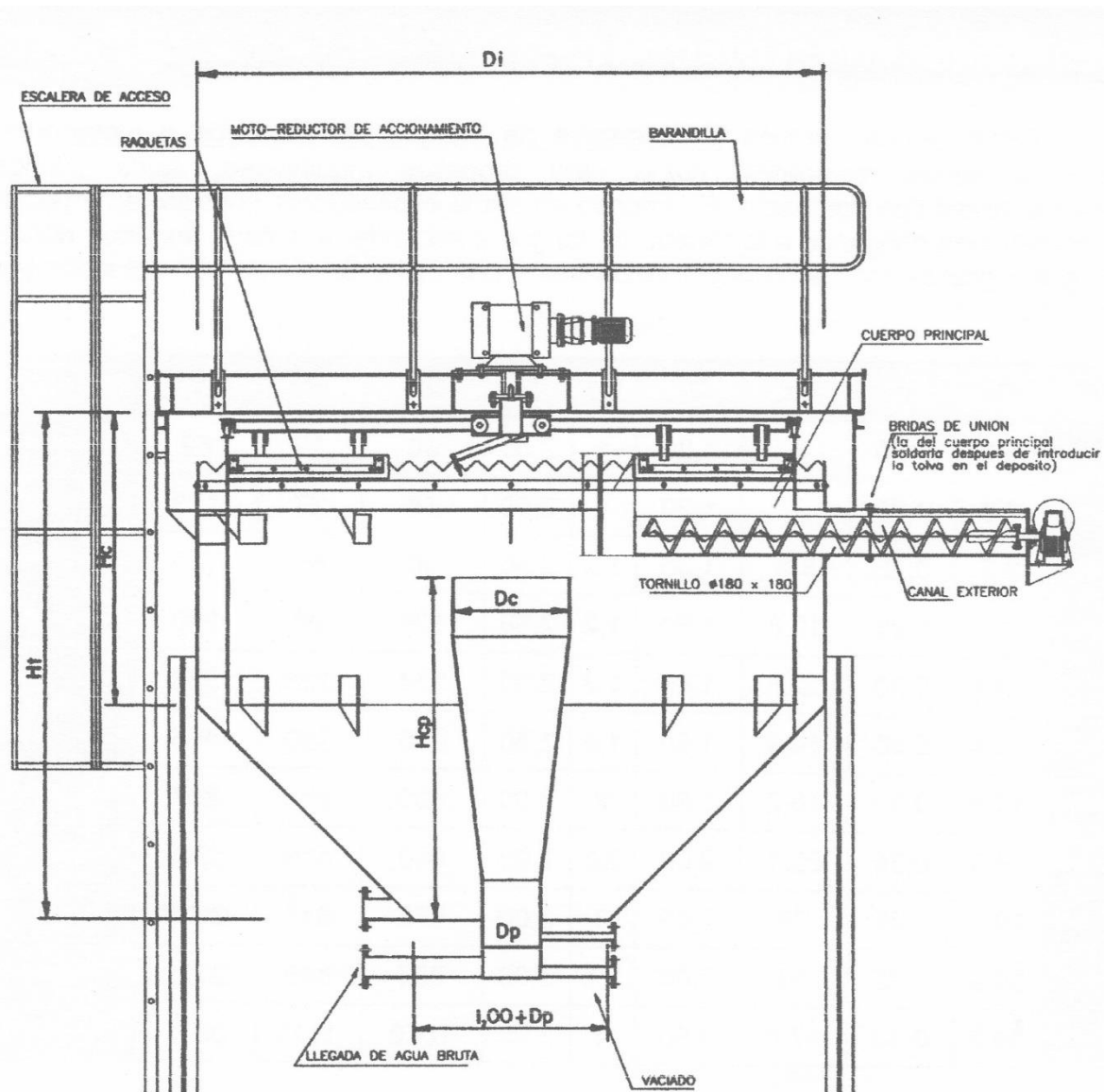
FIGURA 3-1: Acondicionamiento de lodo

Fuente:(Cavanelas.&Jimenez,2006)

3.5.2 ADENSAMIENTO POR FLOTACIÓN

En este proceso el adensamiento consiste en inyectar agua presurizada obligando a la mezcla de fangos a ascender a la parte superior, donde los fangos y grasas son barridos por rasquetas a una tolva, para ser extraídos por un tornillo sin fin.

FIGURA 3-2: Adensamiento de lodos



Fuente:(Cavanelas.&Jimenez,2006)

3.6 DESHIDRATACIÓN

La deshidratación consiste en el secado por evaporación de residuos contaminantes en el agua (lodo). La deshidratación de lodos se debe realizar en base al terreno disponible y los costos relacionados.

Esta puede realizarse de manera natural utilizando lechos de secado, también se puede utilizar máquinas que utilizan el principio de los filtros prensa o centrífugas, que reducen el tiempo de secado.

Para elegir el proceso más apropiado de deshidratación debemos considerar los siguientes parámetros:

- Volumen de lodo
- Estructura del lodo
- Espacio disponible
- Mano de Obra
- Normativa Vigente

3.6.1 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN

Existen seis métodos de deshidratación, los cuales se definen por su proceso y su aplicación:

3.6.1.1 LECHOS DE SECADO

El proceso de lechos de secado es uno de los procesos con mayor antigüedad, lo cual lo hace práctico y sencillo en su realización. En este proceso se usan lechos rectangulares de poca profundidad, que a su vez posean fondos porosos. En la parte superior se coloca una red de drenaje subterráneo para posteriormente separar las áreas convencionales con paredes bajas; el lodo pasa a los lechos hasta que alcanza una profundidad de entre 125 a 250 mm.

La pasta que se obtiene se seca, provocando que se agriete y permita una evaporación mayor para liberar el agua de lluvia de la superficie.

La deshidratación se logra gracias al drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y el viento.

3.6.1.2 FILTRADO DE PRESIÓN

El filtrado de presión es un proceso discontinuo, el cual consiste en bombear el lodo acondicionado con presión creciente en cámaras revestidas con telas de filtro. Las cámaras se encargan de retener los sólidos permitiendo que el líquido escape por los canales de las placas metálicas de apoyo.

Conforme se escapa el líquido, la pasta adyacente a la tela opera como un filtro adicional para el resto del lodo y la pasta se deshidrata hacia el centro.

3.6.1.3 FILTRADO AL VACIO

El filtrado al vacío es un proceso, en el cual un tambor giratorio segmentado cubierto con tela de filtro sumerge por partes el lodo acondicionado. Al ir girando el tambor y la capa de lodo emerge del tanque, el aire sale ayudando a la deshidratación. Posteriormente, un raspador extrae la pasta de lodo.

3.6.1.4 CENTRIFUGACIÓN

El proceso de centrifugación es de tipo de carcasa sólida, por lo cual consiste en alimentar el lodo acondicionado al centro de una carcasa que gira rápidamente.

Los sólidos son arrojados a la orilla exterior donde son removidos por un raspador-transportador.

3.6.1.5 FILTROS PRENSA

Los filtros prensa se encuentran formados por una serie de placas de fundición, con caras acanaladas, en la cuales se intercalan unas telas filtrantes. El lodo (previamente acondicionado con cal), se introduce en las cámaras cada dos placas contiguas para posteriormente ser sometido a una presión elevada, por medio de un dispositivo hidráulico.

3.6.1.6 FILTROS BANDA

Los filtros banda consisten en una tela filtrante, la cual pasa a través de unos rodillos giratorios, el lodo acondicionado con un polielectrolito se vierte de forma continua sobre la banda para posteriormente pasar entre los rodillos que lo comprimen. Finalmente, una placa rascadora separa el fango deshidratado de la banda.

3.7 CALIDAD DEL AGUA DE RECIRCULACIÓN

El agua que se propone recircular es el agua producto del lavado de los filtros agua a la cual se le ha realizado diversos análisis para verificar sus parámetros los mismos constan en las tablas siguientes.

Estas pruebas se las realiza con el objetivo de comprobar que el agua a recircular no afectará la calidad del agua cruda que ingresa al proceso de potabilización.

3.7.1 ALCALINIDAD

TABLA 3.14:

ALCALINIDAD CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 5 Y DEL FILTRO 1 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

	# de Muestra	Filtro 5	Filtro 1
Alcalinidad (mg/l)	1	82	87
	2	74	82
	3	71	77
	4	72	84
	5	85	82

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.7.2 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

TABLA 3.15:

Ph CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 5 Y DEL FILTRO 1 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

	# de Muestra	Filtro 5	Filtro 1
pH	1	6,32	7,12
	2	6,01	7,23
	3	6,26	7,36
	4	5,79	7,65
	5	6,02	7.35

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.7.3 TURBIDEZ

TABLA: 3.16

TURBIDEZ CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 5 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

TURBIDEZ DEL FILTRO 5				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNID.	CELDA 1	CELDA 2
1	0	UTN	145.76	164.24
2	2	UTN	76.13	73.83
3	4	UTN	9.34	8.67
4	6	UTN	2.98	3.45
5	8	UTN	1.87	1.37
6	10	UTN	0.21	1.16

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA: 3.16

TURBIDEZ CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 1 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

TURBIDEZ DEL FILTRO 1				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNID.	CELDA 1	CELDA 2
1	0	UTN	263.15	301.34
2	2	UTN	100.25	86.48
3	4	UTN	24.54	35.76
4	6	UTN	18.34	17.34
5	8	UTN	9.89	8.75
6	10	UTN	1.23	2.03

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.7.4 SÓLIDOS EN AGUAS

TABLA: 3.17 S.S. CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 5 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 5				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	mg/L	637	623
2	2	mg/L	304	297
3	4	mg/L	101	95
4	6	mg/L	27	24
5	8	mg/L	13	17
6	10	mg/L	3	4

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA: 3.18 S.S. CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 1 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 1				
MUESTRA	TIEMPO (min)	UNIDAD	CELDA 1	CELDA 2
1	0	mg/L	598	567
2	2	mg/L	453	394
3	4	mg/L	125	134
4	6	mg/L	71	63
5	8	mg/L	22	25
6	10	mg/L	15	13

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA: 3.19 S.S. CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 5 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 5				
MUESTRA	UNIDAD	SST	SSV	SSF
1	mg/L	181	39	142
2	mg/L	189	43	146
3	mg/L	167	48	119
4	mg/L	193	41	152
5	mg/L	184	51	133

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA: 3.20 S.S. CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DEL FILTRO 1 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS DEL FILTRO 1				
MUESTRA	UNIDAD	SST	SSV	SSF
1	mg/L	154	42	112
2	mg/L	161	51	110
3	mg/L	174	46	128
4	mg/L	176	53	123
5	mg/L	185	67	118

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

3.7.5 COLIFORMES FECALES

TABLA: 3.21 COLIFORMES FECALES CORRESPONDIENTE A MUESTRAS DE FILTRO 1 Y 5 DEL AGUA QUE SE PROPONE RECIRCULAR.

	Número de Muestra	Filtro 5	Filtro 1
Coliformes Fecales (mg/l)	1	3,5E+03	2,7E+04
	2	3,7E+03	3,5E+04
	3	2,5E+03	2,2E+04
	4	3,3E+03	5,3E+03
	5	2,9E+03	2,2E+03

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DEL ACONDICIONAMIENTO

4.1.1 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE (SULFATO DE ALUMINIO) EN EL AGUA DE LAVADO DE FILTROS

TABLA 4.1: RESULTADO DE USO DE COAGULANTE EN AGUA DE MUESTRA DE FILTRO No. 7 y No.8.

Muestra	
Filtro 7	No se realizó esta prueba
	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante

Muestra	
Filtro 8	No se realizó esta prueba
	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.2 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCEN. COAGULANTE (SULFATO DE ALUMINIO) EN LODOS DE LA PURGA DE LOS CLARIFICADORES No.2 Y No.4.

TABLA 4.2 EFECTO COAGULANTE EN AGUA DE PURGA

	Parámetros de operación	Concentración del coagulante (mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L)					
		Blanco	50 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	100 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	150 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	200 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	300 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L
Purga de clarificador No.2	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porc.de fase clarificada (%)	14,4	13,7	12,9	12,3	12,5	5,1
	Observaciones: No se observa cambio significativo con esta prueba. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos						

Muestra	Parámetros de operación	Concentración del coagulante (mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L)					
		Blanco	50 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	100 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	150 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	200 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	300 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L
Purga de clarificadores No. 4	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porc.fase clarificada (%)	13,9	13,2	12,1	11,9	12,1	6,0
	Observaciones: No se observa cambio significativo con esta prueba. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos						

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.3 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN EL AGUA DE LAVADO DE FILTROS.

TABLA 4.3 EFECTO DE POLIAMIDA EN AGUA DE LAVADO DE FILTROS

Muestra	Parámetros de operación	Concentración del floculante (mgPoliamida/L)					
		Blanco	2,5 mgPoliamida/L	5 mgPoliamida/L	10 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L	30 mgPoliamida/L
Filtro 7	Tiempo formación de flóculos (min)	No se observa	13	10	1	2	4
	Tiempo sedimentación (min)	>120	42	31	3	4	5
	Porcentaje de fase clarificada(%)	84,0	82,0	81,2	74,5	74,0	74,2
Observaciones: Se observa mejor tiempo de sedimentación y mayor floculación en las concentraciones de 10 y 20 mg de poliamida/litro. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos							
Muestra	Parámetros de operación	Concentración del floculante (mgPoliamida/L)					
		Blanco	2,5 mgPoliamida/L	5 mgPoliamida/L	10 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L	30 mgPoliamida/L
Filtro 8	Tiempo formación de flóculos (min)	No se observa	12	10	1	2	3
	Tiempo sedimentación (min)	>120	40	30	2	3	4
	Porcentaje fase clarificada (%)	85,0	81,0	80,0	75,0	76,0	76,0
Observaciones: Se observa mejor tiempo de sedimentación y mayor floculación en las concentraciones de 10 y 20 mg de poliamida/ litro. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos							

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.4 RESULTADOS DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN PURGA DE LOS CLARIFICADORES.

TABLA 4.4: EFECTO DE POLIAMIDA EN AGUA DE PURGA DE LODOS.

Muestra	Parámetros de operación	Concentración del floculante (mgPoliamida/L)					
		Blanco	5 mgPoliamida /L	10 mgPoliamida /L	20 mgPoliamida /L	30 mgPoliamida /L	40 mgPoliamida /L
Purga de clarificadores 2	Tiempo formación de flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	14,0	13,5	12,4	12,0	12,1	6,0
Observaciones: No se observa cambio significativo con esta prueba. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos							

Muestra	Parámetros de operación	Concentración del floculante (mgPoliamida/L)					
		Blanco	5 mgPoliamida /L	10 mgPoliamida /L	20 mgPoliamida /L	30 mgPoliamida /L	40 mgPoliamida /L
Purga de clarificadores 4	Tiempo formación flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	14,0	13,5	12,0	12,0	12,2	6,1
Observaciones: No se observa cambio significativo con esta prueba. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos							

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.5 RESULTADOS DEL EFECTO SIMULTANEO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE (SULFATO DE ALUMINIO) Y DE LA CONCENTRACIÓN FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN EL AGUA DEL LAVADO DE FILTROS.

TABLA 4.5 EFECTO SIMULTANEO DE LA CONCENTRACION DEL COAGULANTE

Muestra	
	No se realizó esta prueba
Filtro 7	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante
Muestra	
	No se realizó esta prueba
Filtro 8	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.6 RESULTADOS DEL EFECTO SIMULTANEO DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE (SULFATO DE ALUMINIO) Y DE LA CONCENTRACIÓN FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN EL LODO DE LOS CLARIFICADORES.

TABLA 4.6 EFECTO COMBINADO POLIAMIDA+SULFATO DE ALUMINIO

Muestra	Parámetros de operación	Blanco	concentración del coagulante (mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L)				
			50 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	100 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	150 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	200 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	300 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L
			Concentración del floculante (mgPoliamida/L)				
			5 mgPoliamida/L	10 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L	30 mgPoliamida/L	40 mgPoliamida/L
Purga de clarificadores 2	Tiempo de formación de flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	22,0	18,0	15,0	14,0	9,0	5,0
	Observaciones: no se observa cambio significativo con este proceso. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos						
Muestra	Parámetros de operación	Blanco	concentración del coagulante (mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L)				
			50 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	100 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	150 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	200 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L	300 mgAl ₂ (SO ₄) ₃ /L
			Concentración del floculante (mgPoliamida/L)				
			5 mgPoliamida/L	10 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L	30 mgPoliamida/L	40 mgPoliamida/L
Purga de clarificadores 4	Tiempo de formación de flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	23,0	17,0	16,0	15,0	9,0	6,0
	Observaciones: no se observa cambio significativo con este proceso. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos						

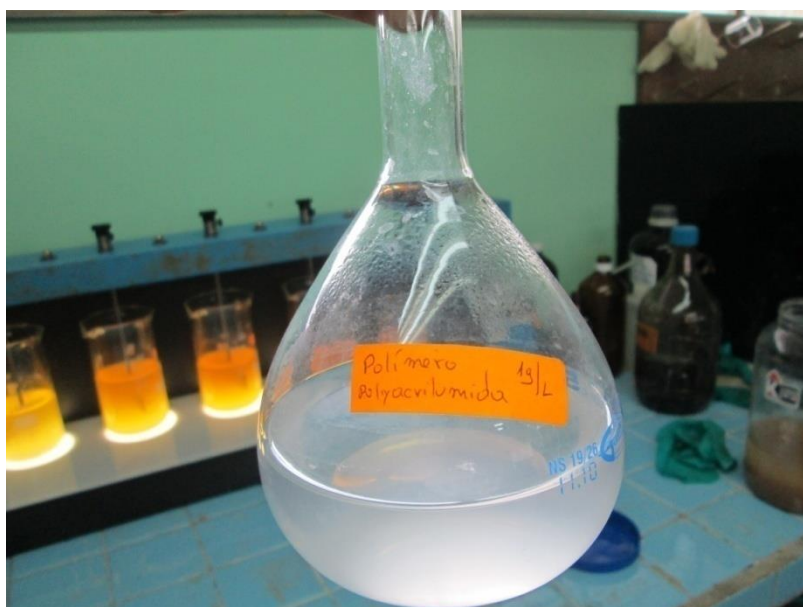
ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Fotografía 4.1: Acondicionamiento de lodos con polímero



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Fotografía 4.2: Polímero utilizado en acondicionamiento



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.7 RESULTADOS DEL EFECTO DEL pH MANTENIENDO CONSTANTE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN EL AGUA DEL LAVADO DE FILTROS.

TABLA 4.7: EFECTOS EN AGUA DE LAVADO DE FILTROS DE POLIAMIDA

Muestra	
Filtro 7	No se realizó esta prueba
	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante

Muestra	
Filtro 8	No se realizó esta prueba
	Observaciones: La muestra presenta flóculos ya formados y buena sedimentación por lo que no es necesario adicionar coagulante

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.1.8 RESULTADOS DEL EFECTO DEL pH MANTENIENDO CONSTANTE LA CONCENTRACIÓN DEL FLOCULANTE (POLIAMIDA) EN EL LODO DE LOS CLARIFICADORES

TABLA 4.8: EFECTOS EN pH POLIAMIDA EN CLARIFICADORES

Muestra	Parámetros de operación	Blanco	pH	
			6	8
			Concentración del floculante (mgPoliamida/L)	
			20 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L
Purga de clarificadores 2	Tiempo de formación de flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	17,1	8,8	14,0
Observaciones: no se observa cambio significativo con este proceso. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos				

TABLA 4.8 CONTINUACION

Muestra	Parámetros de operación	Blanco	pH	
			6	8
			Concentración del floculante (mgPoliamida/L)	
			20 mgPoliamida/L	20 mgPoliamida/L
Purga de clarificadores 4	Tiempo de formación de flóculos (min)	No se observa	No se observa	No se observa
	Tiempo de sedimentación (min)	>120	>120	>120
	Porcentaje de fase clarificada (%)	17,0	8,0	14,2
	Observaciones: no se observa cambio significativo con este proceso. Condiciones de prueba: realizada a 35-40 rpm durante 30 minutos			

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.2 RESULTADOS DEL ADENSAMIENTO

Para el adensamiento de lodos se tomaron 2 muestras en la purga de los clarificadores.

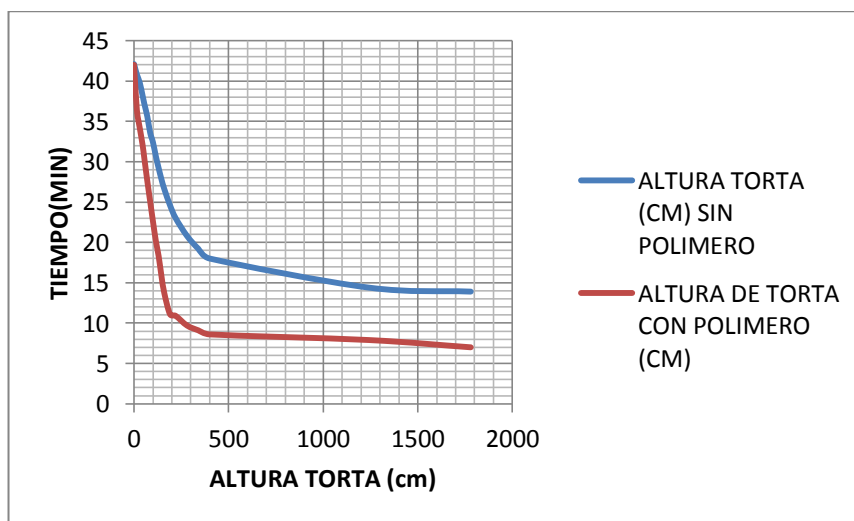
Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 4.9 ADENSAMIENTO DE LODOS CLARIFICADOR 2

TIEMPO (MIN)	ALTURA TORTA (CM) SIN POLIMERO	ALTURA DE TORTA CON POLIMERO (CM)
0	42.1	42
15	40.8	36.4
30	39.8	34.2
45	38.2	32.1
55	37.1	30.3
70	35.6	27.6
85	33.6	25.1
100	32.4	22.6
115	30.7	20.2
130	29.2	18.3
145	27.8	15.8
160	26.6	13.7
190	24.6	11.1
220	23	10.9
280	20.8	9.7
340	19.2	9.1
400	18	8.6
1240	14.4	7.9
1780	13.9	7

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Gráfico 4.1: Curva tiempo versus adensamiento clarificador 2



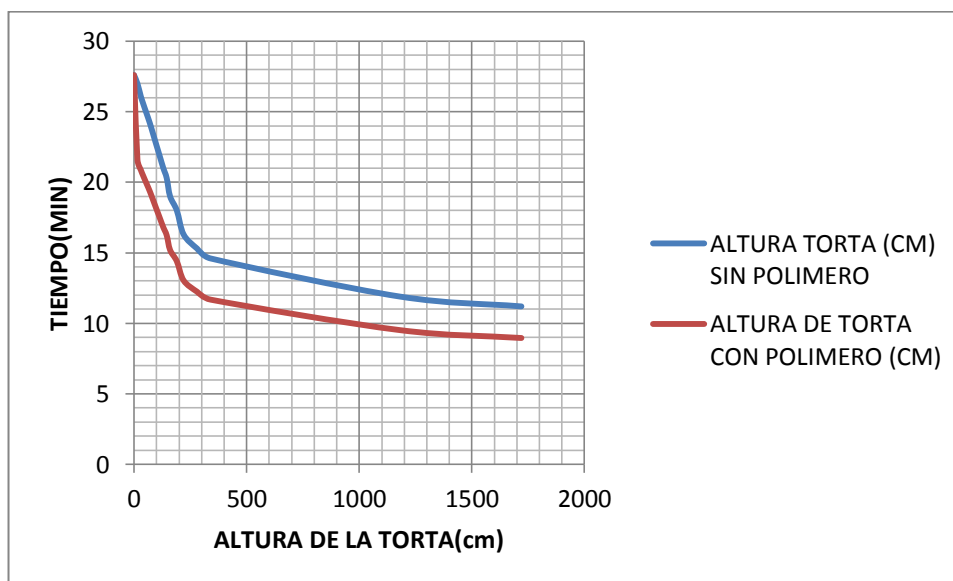
ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 4.10 ADENSAMIENTO DE LODOS CLARIFICADOR 4

TIEMPO (MIN)	ALTURA TORTA (CM) SIN POLIMERO	ALTURA TORTA con POLIMERO (CM)
0	27.6	27.6
15	27	21.6
30	26.1	20.88
40	25.6	20.48
55	24.9	19.92
70	24.2	19.36
85	23.4	18.72
100	22.6	18.08
115	21.8	17.44
130	21	16.8
145	20.3	16.24
160	19	15.2
190	18	14.4
220	16.3	13.04
280	15.3	12.24
340	14.6	11.68
1180	11.9	9.52
1720	11.2	8.96

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Gráfico 4.1: Curva tiempo versus adensamiento clarificador 4



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Fotografía 4.6: Adensamiento de lodos



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Fotografía 4.7 Adensamiento de lodos



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.3 RESULTADOS DE LA DESHIDRATACIÓN.

Para realizar las pruebas de deshidratación se tomaron 4 muestras 2 en el lavado de filtros y 2 en la purga de los clarificadores.

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de aguas y microbiología del Departamento de Ciencia Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional, utilizando una centrifuga Clínica IEC de 6 tubos con capacidad de 250ml.

TABLA 4.11 PORCENTAJE DE DESHIDRATACIÓN

Muestra	Antes de centrifugación Altura fase sólida %	Después de centrifugación Altura fase sólida %
Filtro 7	12%	5%
Filtro 8	15%	7%
Purga de clarificadores 2	97%	47%
Purga de clarificadores 4	93%	40%
Observaciones: Centrifugación a 2000 rpm durante 2 minutos. Se observa una compactación favorable de la fase sólida en todas las muestras		

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

Fotografía:4.8 Deshidratación mediante centrífuga



ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

4.4 RESULTADOS DE LA MEZCLA AGUA CRUDA (RECIRCULACIÓN)

A continuación presentamos los cuadros comparativos entre el caudal de agua que ingresa a la planta y el volumen de agua utilizada en el lavado de filtros:

TABLA 4.12: CUADRO COMPARATIVO RECIRCULACION

MES	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sólidos suspendidos totales mg/l	% DE AGUA QUE RECIRCULA	
			Volumen de agua lavado de filtros (m3)	
Enero	5925122	99	49170	0.83%
Febrero	5477867	98	48405	0.88%
Marzo	5836366	98	48487	0.83%
Abril	5622570	99	48364	0.86%
Mayo	5960183	106	53269	0.89%
Junio	5978162	154	48048	0.80%
Julio	5993920	101	50770	0.85%
Agosto	5800660	101	52758	0.91%
Septiembre	5968834	100	53531	0.90%
Octubre	5909092	98	55431	0.94%
Noviembre	5777598	109	57832	1.00%
Diciembre	5993174	110	51401	0.86%
TOTAL	70243548	1273	617466	10.55%
PROMEDIO	5853629	106	51456	0.88%

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 4.13: CUADRO COMPARATIVO RECIRCULACION AÑO 2013

MES	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sólidos suspendidos totales mg/l	% DE AGUA QUE RECIRCULA	
			Volumen de agua lavado de filtros (m3)	
Enero	5919058	97	55061	0.93%
Febrero	5306562	95	45900	0.86%
Marzo	6031292	94	52148	0.86%
Abril	5852584	103	50189	0.86%
Mayo	6077308	101	51150	0.84%
Junio	5787762	101	53019	0.92%
Julio	6146984	103	63343	1.03%
Agosto	6092142	98	58136	0.95%
Septiembre	5854634	108	55505	0.95%
Octubre	6128006	164	55541	0.91%
Noviembre	5963720	174	53151	0.89%
Diciembre	6076338	158	72760	1.20%
TOTAL	71236390	1396	665903	11.20%
PROMEDIO	5936366	116	55492	0.93%

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega (2014)

TABLA 4.13: CUADRO COMPARATIVO RECIRCULACION AÑO 2013

MES	Volumen de Agua Tratada (m3)	Sólidos suspendidos totales mg/l	% DE AGUA QUE RECIRCULA	
			Volumen de agua lavado de filtros (m3)	
Enero	5941678	127	77491	1.30%
Febrero	5920387	114	54040	0.91%
Marzo	5151688	114	66437	1.29%
Abril	5782112	99	51001	0.88%
Mayo	6050878	137	62798	1.04%
TOTAL	28846743	591	311767	5%
PROMEDIO	5769349	197	103922	1%

ELABORADO POR: Armando Carvajal y Oswaldo Ortega

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En las muestras tomadas en los filtros se presentan flóculos ya formados y buena sedimentación, por lo que no se adiciona el coagulante sulfato de aluminio.

En las muestras tomadas en la purga de los clarificadores se utilizó como acondicionador el coagulante sulfato de aluminio, con concentraciones que van de 50 a 300 mg/l, y no se observó ningún cambio significativo, por lo que se descarta el uso de este coagulante.

Cuando se utilizó como acondicionante la poliamida para los filtros, la dosis óptima se registra a una concentración de 10 y 20 mg/l, siendo este el mejor acondicionamiento a esa concentración.

En los lodos de la purga de los clarificadores utilizando como floculante la poliamida no se observan cambios significativos en ninguna concentración, por lo que se descarta el uso de esta como acondicionante.

Se utiliza simultáneamente la poliamida, y el sulfato de aluminio en las dos muestras, y no se obtiene ningún cambio considerable.

No fue posible determinar el porcentaje de humedad en las muestras porque la torta presenta una composición acuosa, con una matriz completamente líquida.

Las pruebas realizadas con la centrífuga muestran una compactación favorable a 2000 rpm durante 2 minutos.

Una vez cuantificados los volúmenes de agua cruda que ingresan a la planta y el volumen de agua que se utiliza en el lavado de los filtros en la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí, observamos que este último es insignificante y no altera las características físico-químicas del agua a tratarse.

5.2 MODELO DE FILTRO PRENSA DE CORREAS PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS

Se propone un filtro prensa de correas para lo cual determinamos los requerimientos mediante los siguientes datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y con los datos tomados en campo.

Desagüe promedio de lodos diarios: 2787 m³/mes= 93 m³/día

Sólidos Totales: 28620 mg/L = 28.62 Kg/m³

Sólidos Totales en un día= 28.62 Kg/m³ x 93 m³ = 2661.66 Kg diarios

Solución:

Se calcula la producción de sólidos semanal:

$$P_s = 2661,66 * 7 = 18631,62 \text{ kg / semana}$$

Se calcula la producción semanal:

$$P_L = 93 * 7 = 651 \text{ m}^3 / \text{semana}$$

Se calcula el período requerido de operación suponiendo una capacidad de manejo de lodos del filtro correa de 4L/s.m de correa.

$$\theta = \frac{651m^3 * 10^3}{4 * 3600} = 45 \text{ horas.m / semana}$$

Se calcula el período de operación diaria suponiendo un filtro de 1 m de ancho de correa y una operación de seis días a la semana.

$$t = \frac{45}{1 * 6} = 7,50h / d$$

Por lo tanto, un filtro prensa de correa, de 1 m de ancho, tiene capacidad suficiente para secar los lodos de la Planta de tratamiento de Puengasí trabajando 7,50 horas diarias durante seis días a la semana.

Se calcula los requerimientos de polímero.

La cantidad de sólidos aplicados sería:

$$\text{Sólidos Aplicados} = \frac{18631,62}{7,50 * 7} = 354.89 \text{ kg / h}$$

De la tabla se deduce que la dosis de polímero puede ser 10 g/kg.

Por lo tanto;

$$\text{Polímero requerido} = 10 * 354.89 = 3548,90 \text{ g / h}$$

Se calcula la cantidad de torta suponiendo un porcentaje de sólidos en ella del 25% y 6 días de operación.

$$\text{Cantidad de torta} = \frac{18631,62}{0,25 * 6} = 12421,08 \text{ kg / d}$$

Se calcula el volumen de torta suponiendo una densidad de sólidos de 1.4 y los mismos seis días de operación.

$$\text{Volumen de torta} = \frac{12421,08 * 0.25}{2261,66} + \frac{12421,08 * 0.75}{1000} = 10.69 \text{ m}^3 / d$$

De acuerdo a los volúmenes de lodo que produce la Planta de tratamiento de Puengasí y en base a los resultados de los análisis realizados a dichos lodos se propone la utilización de un filtro prensa de bandas el cual trabajará 7.5 horas diarias durante 6 días a la semana para procesar todo el lodo generado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La producción de lodos se origina por la cantidad de sólidos suspendidos encontrados en el agua cruda, y de la dosificación de sulfato de aluminio porque cuando la turbiedad es baja, las cargas de sólidos suspendidos son bajas y los lodos formados se deben en gran parte al coagulante utilizado ya que se necesita grandes cantidades de este para remover los pocos sólidos presentes en el agua, formando así lodos por aglomeración del sulfato de aluminio.
- En nuestro país no existe información suficiente sobre los lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable, por lo que no se realiza una correcta gestión de lodos que garantice un manejo adecuado.
- La legislación ecuatoriana establece parámetro mínimos que se deben cumplir para las descargas en recursos hídricos y sistemas de alcantarillado, los cuales no son cumplidos por las plantas de tratamiento de agua potable que generan lodos.
- El acondicionamiento de lodo con polímero mejora la deshidratación del lodo, la calidad del sobrenadante acorta el tiempo de sedimentación y aumenta la concentración del aluminio con respecto a la sedimentación natural.
- La centrifugación de lodos es básicamente un somero proceso de sedimentación mejorada por la aplicación de la fuerza centrífuga.
- Por la cantidad de lodos producidos en la planta de tratamiento de

agua potable de Puengasí, (33.444 m³) promedio anual, y utilizando el filtro prensa el cual reduce el volumen en un 90% y para su disposición final es factible la implementación de lechos de secado.

- Fue constatado también que, el uso de polímero favoreció la deshidratación del lodo en la centrífuga, principalmente cuando se comparan los tiempos necesarios para alcanzar las mismas concentraciones de sólidos en la torta (20%), Lo que verifica la necesidad del uso de polímeros como acondicionadores en la centrifugación.
- La deshidratación preliminar en el manejo de lodos es indispensable para tener un adecuado control sobre los costos de operación.
- Otra opción es la fabricación de materiales de construcción, como morteros, ladrillos, bloques, tejas. constituidos parcial o totalmente por lodos producidos en plantas de tratamiento de agua potable, con propiedades mecánicas similares, o en muchos casos superiores, a las de productos existentes en el mercado. Como antecedentes de esta opción se pueden, mostraron el potencial que resulta al incorporar lodos provenientes de coagulación en varios procesos de prebafricados de cemento, ladrillos, cerámica y materiales refractarios en el Reino Unido. Donde se presentó un estudio sobre la incorporación de lodos de una planta de tratamiento de agua potable en Portugal, como aditivo en la elaboración de mortero, encontrando que el lodo deshidratado y secado a 105 °C inhibe el proceso de secado y endurecimiento de la pasta del mortero, por lo que se concluye que el lodo tratado térmicamente a no menos de 450 °C, es la mejor opción para fabricar mortero, mejorando el tiempo de secado, pero disminuyendo un poco la resistencia mecánica. Finalmente, en Colombia, un grupo de investigadores de Universidad del Valle, tomaron lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales con el objeto de evaluar su potencial en

productos cementantes y bloques para construcción, produciendo un material de alta resistencia y con una característica importante como es la impermeabilidad, lo cual permite que los metales pesados o sustancias lixiviables queden “encapsuladas” y no salgan al contacto con el agua. Con base en lo anterior, el objetivo que se planteó en este estudio fue determinar la viabilidad técnica de utilizar los lodos de una planta de tratamiento de agua potable, para elaborar morteros y concretos, minimizando el impacto ambiental y se obtiene un beneficio social y económico.

- El costo de inversión en el equipo, la operación y mantenimiento si pueden ser afrontadas por la EPMAPS-Q ya que disponen de presupuesto suficiente; porque la Empresa se basa en el principio de análisis costo beneficio, que radica en comparar los costos y los beneficios de la aplicación de un proyecto determinado.
- La implementación de un sistema de gestión de lodos en la planta de tratamiento de Puengasí no afecta los procedimientos de producción de agua acreditadas en las Normas ISO 9001, más bien contribuyen al cumplimiento de las Normas ISO 14001, en lo referente a los parámetros ambiental a cumplir.
- El volumen de agua utilizada en el lavado de filtros está entre el 3 y el 5% del volumen de agua cruda tratada, al implementar el sistema para reutilizar el agua del lavado de filtros la planta mejora su eficiencia porque se disminuye el desperdicio.

6.2 RECOMENDACIONES

- Al determinarse que la cantidad de aluminio en la muestra de agua del lavado de filtros está por debajo de los valores recomendados por

el TULAS, se recomienda que se recircule esta agua, para el proceso de potabilización.

- Se recomienda la utilización de un filtro tipo prensa porque las características del lodo en la planta de tratamiento de Puengasí son difíciles de manejar, y el filtro prensa puede mantener los sólidos bajo presión por extensos períodos de tiempo hasta que la consistencia deseada sea alcanzada para reducir la humedad del lodo ya que se necesita un contenido de sólidos en la torta superior al 35%.
- Se recomienda implementar un proceso para recuperar el sulfato de aluminio que se utiliza como coagulante en la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí.
- Llevar un adecuado control del registro de producción de lodos en la planta de tratamiento de agua potable de Puengasí de tal forma que se pueda evaluar dicha producción en los diversos meses del año.
- Determinar periódicamente la dosis óptima del polímero y la resistencia específica del lodo, como se hace en las dosis de los coagulantes en el agua, de tal manera que se pueda establecer la variación de acuerdo a la época del año.
- Los resultados de los ensayos de la centrifugación en el laboratorio mostraron que el método aplicado ayuda a la determinación de la dosis más adecuada a utilizarse sin embargo debido a los cambios que pueden ocurrir en las características del lodo diariamente es aconsejable realizar siempre ensayos para ajustar la dosis del polímero.
- Se recomienda realizar el proceso de secado de lodos porque reduce los costos de transporte, facilita el manejo de lodo, u lodo seco permite su manejo con cargadoras, carretillas, etc, aumenta el valor

calórico del lodo para facilitar su incineración, minimiza la producción de lixiviados si se dispone el lodo en un relleno sanitario. En general reducir la humedad para disminuir el volumen del lodo facilita su manejo y hace más económico su tratamiento posterior y la disposición final.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bedón Rosalva P., (2005). “Recuperación de Sulfato de Aluminio de los lodos originados en los clarificadores en una planta de tratamiento de agua potable” , Quito, 2005.EPN.
2. Villalba Zuñiga L., (2004). “Reingeniería de un sistema de filtración de tasa constante a un sistema de tasa declinante” , Quito, 2004, EPN.
3. Vera Wolf, V., (2009). “Estudio de laboratorio para la separación sólido-líquido de lodos proveniente de un tratamiento físicoquímico de aguas residuales domésticas” , Quito, 2009, EPN.
4. Romero, J., (2005). “Tratamiento de aguas Residuales, Teoría y principios de diseño”. Volumen I, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
5. Garcés, F./Días, J.,(2000), Manuel (“Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de Agua Potable”. Delleplane, Bogotá.
6. Salazar,A.(2003).Los Ecomateriales: Una alternativa económica para la construcción. Limusa, México.
7. Schultz C y Okun D. (1990).Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. Edit.Noriega-Limusa, México.
8. Escalante-García,J.(2002). Materiales y Alternativos al cemento Portland. Edit. Susaeta. México.
9. Instituto Ecuatoriano del cemento, (2008). Fabricade cementos, http://www.inecyc.org.ec/paginas/quienes_somos.html
10. JET-INC, (2010). Lodos ya estabilizados.

www.plantasdetratamiento.com.mx.

11. Ideam, (1997). Toma y Preservación de Muestras.
http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm.

12. Dirección de Medio Ambiente de Quito,(1999). Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de planta de tratamiento.
<http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>.