



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Química.

Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados por la
planta potabilizadora de Tixán.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Química.

Autoras:

Daniela Melissa Romero Ordóñez.

C.I. 0706082682

danielamro@outlook.com

Ana Cristina Ulloa Salamea.

C.I 0105917553

anacristinaulloas@outlook.es

Directora:

Ing. Sonia Margoth

Astudillo Ochoa.

C.I. 0104044474

Cuenca, Ecuador

05-mayo-2021



RESUMEN

El proceso de deshidratación de lodos incluye operaciones como la decantación, espesamiento, preparación de la solución de polielectrolito, floculación y la filtración con filtro banda; cada una de ellas primordiales en la planta de tratamiento de lodos de Tixán. Por lo tanto, se busca la estandarización de las etapas del proceso, conseguida por medio de un análisis previo de los datos obtenidos del proceso actual que se ejecuta en la planta. Con ellos, se plantea realizar ensayos experimentales, variando diferentes parámetros con el objetivo de determinar las condiciones aptas para un buen manejo de los lodos en la planta y cumplir con la normativa legal vigente (TULSMA) para descargas de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

El presente proyecto analiza factores que interfieren en los resultados de la floculación y deshidratación de lodos mediante pruebas experimentales como pruebas de jarras, determinando al polímero Paestrol 650 tr como el más eficiente en la floculación de lodos, adicional un control de caudal de lodos y pruebas de filtración, buscando mejorar la operación de filtrado (filtros banda) y aumentar el porcentaje de deshidratación de lodos de la planta de Tixan.

De esta manera se consiguió disminuir los procesos de crecimiento de microorganismos, logrando una mejor manipulación y posible reutilización de los lodos. En el proyecto, se verifica también el diseño apropiado de la planta, para analizar posibles errores y de ser necesario, para recomendar cambios o ajustes en el manual de procedimientos que se realizará.

Finalmente se procedió a entregar un manual de procedimientos que se documentará dentro de la planta para el posterior control del proceso.

PALABRAS CLAVES.

Agua con residuos sólidos. Planta de lodos. Estandarización. Polímero. Floculación. Filtración. Deshidratación.



ABSTRACT

The sludge dewatering process includes operations such as decantation, thickening, preparation of the polyelectrolyte solution, flocculation and filtration with band filter, each one of them are essential in Tixán water treatment plant, therefore, the standardization of each one of the stages of the process is desired, previously performing an analysis of the data obtained from the process that is currently executed in the plant to make experimental tests, varying different parameters with the goal of determining the suitable conditions for sludge managing in the plant and in compliance with the current legal regulations (TULSMA) for effluent discharges to a fresh water body.

This project analyzes factors that interfere in the results of sludge flocculation and dewatering, through experimental tests such as: jug tests, sludge flow control, filtration tests to enhance the filtering operation (band filters) and to increase the sludge dewatering percentage in Tixán plant, this way the decrease of the microorganisms growth process will be achieved, for a better handling and possible reutilization of the sludge. Also verifying the suitable plant design to analyze possible mistakes on it if needed, to recommend changes or adjustments in the procedural manual that will be elaborated.

Finally, a procedures manual will be delivered, and it will be documented inside the plant, for future process control.

KEY WORDS:

Water with solid waste. Sludge plant. Standardization. Polymer. Plocculation. Filtration. Dewatering.



Índice del Trabajo

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	16
INTRODUCCIÓN.....	18
OBJETIVOS	20
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	21
1. Potabilización del agua	21
1.1. Agua tratada para consumo humano.....	21
1.2. Planta de tratamiento de agua de Tixán	24
1.2.1. <i>Pre oxidación.....</i>	<i>26</i>
1.2.2. <i>Coagulación.....</i>	<i>26</i>
1.2.3. <i>Floculación.....</i>	<i>26</i>
1.2.4. <i>Decantación.....</i>	<i>26</i>
1.2.5. <i>Filtración</i>	<i>26</i>
1.2.6. <i>Desinfección</i>	<i>27</i>
1.2.7. <i>Reservas.....</i>	<i>27</i>
2. Lodos residuales	28
2.1. Frecuencia con que se emiten los lodos.....	29
3. Planta de tratamiento de lodos de Tixán.....	30
4. Proceso en la planta de tratamiento de lodos de Tixán	32
4.1. Decantación	32
4.2. Espesamiento	33
4.3. Deshidratación de lodos.....	33
4.3.1. <i>Preparación de polielectrolito</i>	<i>34</i>
4.3.2. <i>Floculación.....</i>	<i>34</i>
4.3.3. <i>Filtración</i>	<i>35</i>
4.4. Disposición final.....	36
5. Filtros banda	38
5.1. Etapas del proceso de separación.....	38



5.1.1.	<i>Floculación</i>	38
5.1.2.	<i>Alimentación</i>	38
5.1.3.	<i>Pre deshidratación</i>	38
5.1.4.	<i>Filtración</i>	38
5.1.5.	<i>Compactación y escurrido</i>	39
5.1.6.	<i>Descarga</i>	39
5.1.7.	<i>Limpieza</i>	39
6.	Floculación	39
6.1.	Cinética de la Floculación	39
6.2.	Tipos de floculación	40
6.2.1.	<i>Floculación Pericínética</i>	40
6.2.2.	<i>Floculación Ortocinética</i>	41
6.3.	Factores que influyen en la Floculación	41
6.3.1.	<i>Concentración y naturaleza de las partículas</i>	41
6.3.2.	<i>Tiempo de detención</i>	41
6.3.3.	<i>Gradiente de velocidad</i>	41
6.3.4.	<i>Peso molecular del polímero</i>	41
6.3.5.	<i>Efecto del pH</i>	42
7.	Polielectrolitos	42
7.1.	Catiónicos	43
7.2.	Aniónicos	43
7.3.	No iónicos	43
8.	Prueba de Jarras	44
8.1.	Factores que influyen en la determinación del polímero óptimo	44
8.2.	Índice de Willcomb	45
8.2.1.	<i>Turbiedad, color, pH</i>	46
CAPITULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL		47
1.	Reconocimiento de planta	47
2.	Muestreo	47
3.	Determinación de parámetros operacionales en la planta de lodos	47
3.1.	Características bomba	47
3.2.	Determinación dosificación de polielectrolito	48



- 3.3. Aforado del tanque de preparación de polielectrolito49
- 3.4. Determinación de número de revoluciones del tanque floculador49
- 4. Prueba de jarras51
- 5. Medición de la humedad51
- CAPITULO III: RECOPIACIÓN Y REGISTRO DE DATOS52**
 - 1. Concentración de entrada de solución de polielectrolito al reactor floculador ...52
 - 2. Caudal de ingreso de polielectrolito al tanque.....55
 - 3. Condiciones de operación del proceso de floculación.....58
 - 3.1. Concentración de salida del polielectrolito al reactor floculador58
 - 3.2. Caudal de lodos.....60
 - 3.3. Preparación de solución de polímero para las pruebas de jarras63
 - 3.4. Resultados de pruebas de Jarras64
 - 4. Análisis del agua descargada en un efluente de agua dulce71
- CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS82**
 - 1. PRUEBA DE JARRAS82
 - 2. Análisis químico y físico del agua83
 - 3. Manual de funcionamiento y mantenimiento de la planta de lodos de Tixán84
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES85**
- BIBLIOGRAFIA87**



Índice de ilustraciones:

Ilustración 1 Diagrama de procesos de potabilización del agua	24
Ilustración 2 Planta de tratamiento de agua de Tixán	25
Ilustración 5. Índice de Willcomb para determinar el tamaño del floculo.	45
Ilustración 6. Concentración Polielectrolito Vs. Caudal de Ingreso	55
Ilustración 7 Curva dosificación de polielectrolito al reactor floculador.	57
Ilustración 8. Obtención curva caudal de lodos.	60
Ilustración 9. Obtención curva de caudal de lodos.	61
Ilustración 10. Curva espectrofotometro.	77
Ilustración 11 Tanques de decantación.	106
Ilustración 12. Drenaje Ilustración 13. Salida de drenaje a río.	106
Ilustración 14. Sala de tableros y control.	107
Ilustración 15 Tablero de compresores.	108
Ilustración 16. Tablero para control de válvulas V1 y V2.	108
Ilustración 17 Válvula V1 y V2.	109
Ilustración 18. Abertura de válvula manualmente.	109
Ilustración 19 Tablero para control de bombas en automático.	109
Ilustración 20 Tablero de control de bombas del proceso de decantación.	110
Ilustración 21. Botón para cambiar de modo manual a modo automático	111
Ilustración 22 Tablero de bombas para iniciar su funcionamiento.	111
Ilustración 23. Botón de encendido de bombas en el tablero 1.1-1.7y 2.1-2.7.	113
Ilustración 24 Válvula de desfogue en la zona del tanque espesador.	113
Ilustración 25. Botones para apertura de válvulas.	114
Ilustración 26. Pantalla donde se puede visualizar el funcionamiento de las bombas.	114
Ilustración 27. Tanque de decantación.	114
Ilustración 28 Tanque lavado.	115
Ilustración 29 Tuberías y flautas del tanque decantador.	115
Ilustración 30 Circuitos de bombas en tableros.	116
Ilustración 31 Espesador.	117
Ilustración 32. Esquema de espesador con agitador interno.	118
Ilustración 33 Agitador del espesador tipo hélice.	118
Ilustración 34. Depósito de válvula manual de espesador.	119
Ilustración 35. Pantalla TDL+2.	119
Ilustración 36. Estación de bombeo para cierre de Bypass.	120
Ilustración 37. Mantenimiento bomba de lóbulo.	121
Ilustración 38. Edificio de deshidratación de lodos.	121
Ilustración 39. Depósito de agua.	122
Ilustración 40. Bombas para transporte de agua.	122
Ilustración 41. Reactor floculador.	123
Ilustración 42. Bombas Polielectrolito.	123
Ilustración 43. Tablero de bombas de polielectrolito.	124
Ilustración 44 Válvula de caudal del tanque polielectrolito.	124
Ilustración 45 Tablero de control de polielectrolito	124



Ilustración 46 Reactor floculador.	125
Ilustración 47 Tablero de bombas de polielectrolito.	125
Ilustración 48. Estación de polielectrolito en modo automático.	126
Ilustración 49 Válvula manual para la entrada de polielectrolito.	126
Ilustración 51 Bomba para proceso de filtración	142
Ilustración 52. Compresores	144
Ilustración 53. Bandas del filtro	151

Índice de tablas.

Tabla 1 Clasificación de contaminantes en el agua Funiber (2011)	21
Tabla 2. Índice de Willcomb.	46
Tabla 3 Determinación de dosis de polímero.	52
Tabla 4. Concentración de polielectrolito para caudal de agua a trabajar.	54
Tabla 5. Aforo de bomba.	56
Tabla 6. Parámetros óptimos proceso de floculación.	58
Tabla 7. Concentración de polielectrolito a la entrada y salida del tanque floculador.	59
Tabla 8. Espesador 1	60
Tabla 9 Características del floculo de todos los polímeros en la prueba de jarras.	64
Tabla 10. Turbiedad y pH final en las pruebas de jarras.	65
Tabla 11. Turbiedad y pH de todos los polímeros.	65
Tabla 12. Características de los flóculos de los seis mejores polímeros.	66
Tabla 13. Turbiedad, pH, Índice de Willcomb.	68
Tabla 14. Valores óptimos de pruebas de jarras.	70
Tabla 15. Resultados de titulación.	73
Tabla 16. Datos espectrofotometro.	76
Tabla 17. Resultados Análisis Químico.	80
Tabla 18. Resultado de humedad en Termobalanza.	81
Tabla 19. Resultados análisis físico y químico.	83



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Ana Cristina Ulloa Salamea en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta potabilizadora de Tixán", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de mayo de 2021.

Ana Cristina Ulloa
Salamea.

C.I: 0105917553



Cláusula de Propiedad Intelectual

Ana Cristina Ulloa Salamea autora del trabajo de titulación “Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta potabilizadora de Tixán”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, 5 de mayo de 2021.

Ana Cristina Ulloa Salamea.

C.I: 0105917553



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniela Melissa Romero Ordóñez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta potabilizadora de Tixán", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de mayo de 2021.

Daniela Melissa Romero Ordóñez

C.I: 0706082682



Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniela Melissa Romero Ordóñez, autora del trabajo de titulación "Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta potabilizadora de Tixán.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, 5 de mayo de 2021.

Daniela Melissa Romero Ordóñez

CI. 0706082682



AGRADECIMIENTOS

El trabajo de titulación es fruto de un esfuerzo en los tiempos complicados en la emergencia sanitaria, tiempos en los que hemos recibido el apoyo de muchas personas con quienes salimos adelante, por lo que hacemos un merecido agradecimiento y sincero reconocimiento. En primer lugar, quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a nuestro tutor en la planta de Tixán el Ingeniero Juan Diego Espinoza en donde con su ayuda y apoyo pudimos realizar todos los análisis necesarios, por la confianza que depósito en nosotras a dejarnos una planta de tratamiento de lodos en nuestras manos por tanto tiempo, también así al operador de la planta de lodos el Tec. Carlos Ávila, por su seguimiento y colaboración para el desarrollo del manual de procedimientos. También con la ayuda proporcionada por nuestra directora de tesis la Ing. Sonia Astudillo que pese a todas las complicaciones y tiempos para la revisión de nuestro trabajo confió en nosotras y siempre estuvo colaborando con sus conocimientos a lo largo de la elaboración de esta tesis. A todo el personal de la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán por su apertura y buen trato hacia nosotras en todo momento, y así también su predisposición para cualquier actividad que generaba nuestra tesis en el momento de la práctica.

De igual forma, expresamos nuestra gratitud al laboratorio de la planta de tratamiento de lodos de Ucubamba por su apertura y colaboración en los análisis realizados, así también a la Doctora María Montaleza por su colaboración en los laboratorios de la Universidad de Cuenca y seguimiento en nuestras experimentaciones.

Por último damos las gracias a nuestras familias por el apoyo constante en todo este proceso, la paciencia y comprensión ilimitada en todo este proceso, a nuestros amigos por su apoyo incondicional desinteresado, y por sus concejos técnicos para mejorar nuestra tesis con diferentes puntos de vista de nuestros próximos profesionales.



DEDICATORIA

Con mucho amor dedico el esfuerzo de este trabajo a mi mamá, hermanos y abuelitos, quienes son mi ejemplo de vida, me enseñaron y demostraron que todo es posible y han sido incondicionales desde el inicio de este sueño.

Daniela.

Esta tesis va dedicado a mi mamá que con tanto esfuerzo , amor supo apoyarme y sacarme adelante hasta este importante momento, a mi padre que desde el cielo ha sido mi guía y mi ángel de la guarda, a mi hermano y a mi tío que son mi hogar y mi familia, a mi compañero y amor por su incondicional apoyo, y por último a mis amig@s que siempre han sido un soporte y un apoyo en esta larga etapa, así también como a cada uno de los docentes que depositaron en mi sus conocimientos para convertirme en una gran profesional.

Ana Cristina.



Cuenca, 28 de octubre del 2020.

Mgst, Ing
Maritza Flores.
PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN CIO
Cuenca 28/10/2020

De mi consideración:

Reciba un cordial y atento saludo.

Por medio de la presente comunicamos a Usted que nuestra empresa "ETAPA EP" que las estudiantes Daniela Melissa Romero Ordóñez, con número de cédula: 0706082628 y Ana Cristina Ulloa Salamea con número de cédula: 0105917553 realicen su trabajo de graduación que lleva por título "Estandarización de la planta de tratamiento de lodos generados en la planta potabilizadora de Tixán", sujeto a observaciones, que se realizará a partir del 1 de septiembre del 2020

Los mencionados estudiantes tendrán el asesoramiento y supervisión del (anotar el nombre y cargo que desempeña el profesional en la empresa).

Por la acogida que sepa dar a la presente, anticipo mi sincero agradecimiento.


Firma
Planta de Tratamiento.....
Ing. Juan Diego Espinoza
Departamento de Agua Potable y Saneamiento de Tixán
0983057441
Supervisor de Planta




IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

El proceso de potabilización de agua es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades, por tanto, es responsabilidad de quienes la distribuyen, garantizar la calidad y el cumplimiento de la normativa nacional e internacional vigente. (Jouravlev, 2004) Este proceso deja un residuo de agua con alto contenido de lodos, estos lodos por su elevado porcentaje de humedad complican su manejo y su disposición en el relleno sanitario de la ciudad. Por lo que es necesario someterlos a un proceso de deshidratación, el mismo tiene que ser estandarizada con sus valores óptimos para lograr un proceso eficiente con la humedad requerida (Aldana Tique & Rojas, 2017)

La Empresa Pública Municipal ETAPA de la ciudad de Cuenca, ha implementado en los últimos años una planta de tratamiento de lodos (PTL) dentro de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán (PTAP) con el fin de tratar el efluente de agua proveniente del lavado de filtros, tanques de oxigenación y purgas de los sedimentadores de la planta de agua potable, con un elevado caudal de desechos líquidos entre los 300 y 700 l/s (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)

Actualmente en la planta de tratamiento de lodos de Tixán hay varios objetivos que se busca cumplir:

- Reducir el líquido libre: El fluido en los lodos ocasiona múltiples problemas en el transporte y obliga a incrementar los costos de transporte hasta el relleno sanitario. (Torres et al., 2012)
- Disminuir el porcentaje de sólidos volátiles: Estos sólidos volátiles pueden generar olores desagradables que conviene reducir o eliminar, lo cual resultaría un problema netamente ambiental y social, que hay que mejorar. (Pintado & Rafael, 2018)
- Conseguir un aspecto homogéneo: Es mejor alcanzar un aspecto regular en todo el volumen para una mejor apariencia visual y para un uso posterior que se pueda dar. (Pintado & Rafael, 2018)

Dentro de esta planta surge la necesidad de cumplir con estos objetivos y de determinar los parámetros óptimos en cada operación, puesto que aún no se han encontrado las condiciones más adecuadas de trabajo, las mismas que generen un menor costo de operación, mejor



orientación del personal y que permitan obtener los mejores resultados en el tratamiento de los lodos. (Angamarca Padilla & Romero Loyola, 2017)

Es por esto, que se pone en marcha el siguiente proyecto con la finalidad de mantener los requisitos de calidad por los que la empresa se ha caracterizado, mediante el estudio de todos los parámetros mencionados en el proceso. Se determinará y estandarizará las variables de operación tales como: concentración de polielectrolito, presión y velocidad de filtros bandas, manejo de caudal de lodos. (Nieves Dumaguala & Ramón Reinozo, 2014)

De esta forma se dejará registrado y evidenciado dentro de esta planta las condiciones de operación estándares, que cumplan con la normativa medioambiental vigente. Además, se elaborará un manual de procedimientos que servirá como guía y capacitación del personal.



INTRODUCCIÓN.

En la planta de tratamiento de agua potable de Tixán que opera desde el año 1996 posteriormente la planta de deshidratación de lodos inicia su operación, luego del proceso de potabilización realizan constantes lavados de las unidades de tratamiento todas las semanas de lunes a sábado, las cuales generan lodos con altas concentraciones de aluminio, estos son descargados a la quebrada San Francisco, su efluente llega al río Machángara, afectando a la calidad del agua de este cuerpo receptor. (Pintado & Rafael, 2018) Con el tiempo la descarga de este caudal ha provocado la erosión del cauce de la quebrada. Es por eso que en el año 2015 se implementa la Planta de Tratamiento de lodos que se encarga de tratar los desechos líquidos y lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán. (Barros & Gabriela, 2017)

Los residuos a ser tratados provienen de los procesos de lavado de filtros, purga y limpieza de decantadores y floculares, en ocasiones la limpieza de los tanques de reserva y cámara de contacto de cloro. (Universidad Tecnológica de Pereira et al., 2014) Por lo tanto, la cantidad de estos residuos sólido/líquido dependen de la cantidad y calidad de agua bruta, dosis de productos químicos, el rendimiento de los procesos de tratamiento y la frecuencia del lavado. (Rosero et al., 2014)

- En la fase 1 se realizará la equalización u homogenización de las descargas de desechos líquidos y lodos de los Módulos I, II y III de la PTAP de Tixán, para ser vertidos al río Machángara mediante una conducción de descarga.
- La fase 2 consiste en la remoción de la carga contaminante mediante el tratamiento de los desechos líquidos y lodos provenientes del lavado de los filtros y decantadores de los Módulos I, II y III de la PTAP, previamente a su descarga, disminuyendo así la contaminación de la quebrada y del río Machángara.

Los lavados se realizan durante 10 minutos con un caudal de 348 l/s generando un volumen de 209 m³ por unidad lavada. En el trayecto de un día se vacían los ocho sedimentadores, dos simultáneamente, esto se realiza cada semana, esperando un caudal de vaciado de 600 l/s con un volumen correspondiente a los 8 sedimentadores de 1832 m³. (ETAPA. EP, 2020)



El periodo de descarga de los sedimentadores ocurre cada quince días durante 30 minutos aproximadamente, mientras que la descarga de los filtros es realizada cada 3 horas durante 24 horas. (Planta de agua potable Tixán, 2020)

En el presente trabajo se desarrollará un manual con el objetivo de dar operatividad a la Planta de tratamiento de lodos ubicada dentro de la PTAP de Tixán, con valores estandarizados en cada uno de los procesos y una dosis optima de polielectrolito para garantizar la floculación, obteniendo un bajo porcentaje de humedad en los lodos finales, con este manual de funcionamiento se podrá desarrollar las funciones operativas y la coordinación de cada proceso, así se dará el cumplimiento a las funciones asignadas a los cargos, servirá como un instrumento de comunicación y medio de capacitación e información para entrenar, capacitar y orientar permanentemente al personal y establecer las bases para mantener un efectivo sistema de control interno, facilitando el control de las tareas delegadas.



OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL:

- Estandarizar el proceso de la planta de tratamiento de lodos de Tixán para reducir su líquido libre, sólidos volátiles y conseguir un aspecto homogéneo para su posterior disposición y almacenamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar y optimizar las variables que intervienen en el proceso de deshidratación de lodos.
- Seleccionar el polímero para el proceso de floculación y la dosis óptima mediante la obtención de la curva de dosificación a partir de ensayos en pruebas de jarras.
- Determinar el porcentaje óptimo de humedad en el proceso de deshidratación de lodos.
- Evaluar el agua obtenida en el proceso de deshidratación con los límites permisibles y criterios de calidad de la normativa legal vigente (TULSMA) para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce
- Elaborar el manual de procedimiento y capacitación del personal de la planta de tratamiento de lodos.



CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

1. Potabilización del agua.

1.1. Agua tratada para consumo humano.

El agua destinada al consumo humano es de gran importancia desde siempre, pues es considerada el solvente universal de funciones en el organismo, por lo tanto, las fuentes de agua potable para una población deben estar siempre disponibles dentro de cada zona para asegurar una vida saludable (Moro, 2018).

Las fuentes generalmente proceden de lluvia, de aguas subterráneas o de aguas superficiales (Moro, 2018). E l agua de origen superficial es la que más se utiliza para el consumo humano (Lozada et al., 2009). Sin embargo, existen contaminantes que alteran la calidad del agua, se conoce varios de ellos que se los puede clasificar de la siguiente manera: (Lozada et al., 2009)

Tabla 1 Clasificación de contaminantes en el agua Funiber (2011)

Físicos	Químicos	Biológicos	Gaseosos
Color	Materia Orgánica	Bacterias	Anhídrido carbónico
Olor y sabor	pH	Hongos	Metano
Grasas y aceites	Nitrógeno y fósforo	Protozoos	Ácido sulfhídrico
Solidos disueltos	Metales pesados	Algas	
Sólidos en suspensión	Acidez/ alcalinidad	Animales	
Temperatura	Compuestos tóxicos	Plantas	
Radioactividad	detergentes	Virus	

Fuente: (Chulluncuy.Nadia, 2011).



Todos estos contaminantes deben ser analizados en el tratamiento para que el agua no sobrepase los límites permisibles establecidos para consumo humano. (Osorno & Alonso, 2019) Existen varios procesos que se realizan para tratar el agua para consumo humano, estos dependen de las características que tenga el agua cruda, los mismos que se realizan en plantas de tratamiento en donde se realiza todos los procesos necesarios para cumplir los diferentes parámetros para que el agua tenga las condiciones óptimas de consumo (A. Orellana, 2005), estas plantas son equipadas para realizar diferentes operaciones, el proceso generalmente que se lleva a cabo es el siguiente:

I. Cribado

En este proceso el objetivo es eliminar los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua como pueden ser ramas, maderas, piedras y plásticos por medio de rejillas así estos materiales quedan retenidos los cuales pueden ser recolectados posteriormente de manera sencilla, el agua será más fácil de tratar en los posteriores procesos. (Bermeo, 2014)

II. Coagulación

La coagulación comprende la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que vienen a ser coagulantes. (Osorno & Alonso, 2019).

Esta operación se realiza en tanques de mezcla rápida, el agua se somete a agitación para así formar una solución homogénea entre el coagulante y el agua en un tiempo reducido, este proceso tiene varios objetivos importantes y esenciales para el tratamiento del agua cruda ya que remueve la turbiedad que no se pueda sedimentar fácilmente, remueve el color verdadero y aparente, elimina bacterias y organismos patógenos que son susceptibles a este proceso, y eliminan sustancias que dan color o sabor al agua. (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)

I. Floculación

La floculación tiene como objetivo la aglomeración mediante la agitación moderada del agua y las partículas que se desestabilizan durante la coagulación, formando así partículas de mayor tamaño y peso específico llamados flóculos, estas partículas tienen un peso específico superior al del agua y compactándolos producen una separación entre los sólidos



o partículas del agua de manera sencilla con baja concentración volumétrica, lo cual ayuda para lograr una mejor eficiencia en los procesos de sedimentación y filtración. (Restrepo, 2009)

II. Sedimentación

Es el proceso físico en el cual las partículas en suspensión presentes en el agua son separadas o removidas del fluido por acción y efecto de la gravedad, estas partículas deben ser más densas que el agua, las cuales se van a asentar en el fondo del tanque quedando por encima un fluido clarificado y por debajo una suspensión más concentrada. (Chulluncuy, 2011)

III. Filtración

Cuando el agua ya se ha decantado y sedimentado procede a la filtración que es el proceso en el cual el agua que aun contiene materias en suspensión pase por un lecho filtrante o un equipo netamente usado para el proceso de filtrar que permite el paso del líquido, pero retiene los sólidos en el medio filtrante. Los más utilizados son los filtros de arena o de carbón activado, sobre un lecho de grava como soporte así también el de membranas filtrantes. (Osorno & Alonso, 2019) Es muy importante tomar en cuenta el tamaño del grano del lecho filtrante ya que la retención de las partículas de debe realizar en el interior del lecho y no en la superficie. (Romero, 2008)

IV. Desinfección

Consiste en la eliminación de todos los organismos que son potencialmente infecciosos, su efectividad se mide por el porcentaje de organismos muertos dentro de cierto tiempo, a una temperatura y un pH fijo. El cloro es el desinfectante más efectivo el cual se puede usar en gas, líquido o en forma de sal. (Rodriguez, 2008)

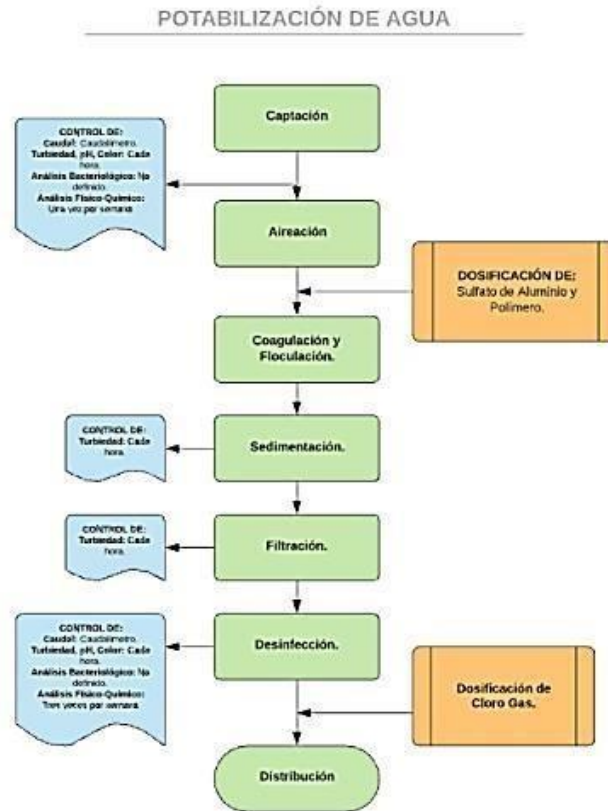


Ilustración 1 Diagrama de procesos de potabilización del agua

Fuente: Autores.

1.2. Planta de tratamiento de agua de Tixán

El cantón Cuenca está ubicado en la provincia del Azuay en donde se encuentra situada la planta de Tixán perteneciente a la parroquia de Chiquintad, su ubicación está en la margen izquierda del canal de riego de Machángara, esta planta fue ubicada para abastecer sectores de expansión urbana que acogen gran parte de la población y zonas del área de influencia inmediata de la ciudad. (Marca Corrales & Orellana Pinos, 2018)

La planta de tratamiento opera desde el año 1996 y trata el agua superficial proveniente de cuencas no protegidas, cubriendo la demanda de los sistemas Tomebamba-Machángara con un caudal de 1.940 litros por segundo que añadiendo la capacidad de la planta del Cebollar produce un total de 2.740 litros por segundo para la ciudad de Cuenca en donde beneficia a aproximadamente 550.000 usuarios con un área de cobertura de 12.424 hectáreas en la

ciudad de Cuenca. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

La planta de tratamiento de agua potable de Tixán está ubicada en el sector rural que lleva el mismo nombre, el acceso a esta planta se realiza a través de la vía parque industrial Cuenca-Chiquintad, hasta la altura de Ocho León-Tixán, la planta está expuesta a mejorar con regularidad para asegurar un mejor funcionamiento y operación. (EP, 2005)



Ilustración 2 Planta de tratamiento de agua de Tixán

Fuente: Autores.

La planta de tratamiento de agua potable de Tixán abastece aproximadamente al 44% de la población en la ciudad de Cuenca, siendo su fuente de abastecimiento del río Machángara el cual tiene una extensión aproximada de 208 km², este río presenta grandes fluctuaciones de caudal y calidad a lo largo del año el cual tiene consecuencias por efecto del clima, la captación del agua cruda para la planta se da a través de la descarga de la central hidroeléctrica de Saymirín en donde existe un canal abierto utilizado para el riego y abastecimiento de la planta. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

La planta está formada por varios módulos siendo el primero el de tecnología de tratamiento de ciclo completo integrado por los procesos de coagulación en el cual se usa como coagulante el sulfato de aluminio, floculación donde se utiliza 0.05g/l de polímero, decantación, filtración y desinfección. El cual se subdivide en cuatro submódulos que tienen una capacidad de 210 l/s. El proceso que se realiza en el tratamiento del agua es el siguiente:



1.2.1. *Pre oxidación*

Es un proceso de oxidación química utilizado para la remoción de manganeso, esto se realiza mediante una dosificación de manganeso de potasio en cual es añadido al agua cruda que ingresa más o menos en un valor de 0.7 mg/l el cual no depende de la variación de concentración de Mg que tenga el agua cruda. (Burbano & Sanchez, 2012)

1.2.2. *Coagulación*

Se realiza una mezcla del agua con el coagulante en la caída de los vertederos de repartos que van hacia los cuatro módulos de la planta, el agua una vez mezclada es transportada por canales hasta la etapa de floculación, el coagulante utilizado es sulfato de aluminio granulado tipo B el cual es diluido en concentraciones aproximadamente de 3.5%, siendo la dosis de 20 a 45 mg/l. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

1.2.3. *Floculación*

En cada uno de los módulos hay unidades mixtas de floculadores, uno de floculación mecánica y el otro de floculación hidráulica, el efluente obtenido de cada unidad es enviada a dos decantadores respectivamente. (Felipe & Juan, 2002)

1.2.4. *Decantación*

Hay ocho unidades de decantadores los cuales son de tipo laminar y de placas planas paralelas, cada submódulo tiene dos decantadores, ingresa el agua floculada mediante un canal de distribución que opera a presión y la recolección del agua decantada se realiza mediante tuberías perforadas. Así también hay las zonas donde se almacena los lodos de cada decantador que son dos tolvas ubicadas por debajo de las placas de decantación, en donde esto se descarga hacia un canal interno que recoge los efluentes de los lavados de los decantadores y de los filtros de la planta. (Felipe & Juan, 2002)

1.2.5. *Filtración*

Esta etapa del proceso está formada por una batería de filtros con ocho unidades las cuales están intercomunicadas por medio de un canal de distribución que lleva el agua decantada, el medio filtrante es mixto el cual está compuesto por antracita y arena, la tasa



media de filtración por día es de 282 metros cúbicos y la cara hidráulica total para el proceso es de 1.63m. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

1.2.6. *Desinfección*

Este proceso tiene un sistema que opera al vacío en donde la solución de cloro es aplicada al inicio de cada cámara de contacto, las mismas que tienen un laberinto el cual garantiza que el flujo sea tipo pistón, tiene una capacidad de 812 metros cúbicos. (Rodríguez et al., 2007)

Hay un bloque destinado a la cloración en donde tiene un área de dosificación y almacenamiento con la capacidad de almacenar hasta 30 cilindros de cloro de una tonelada de capacidad. (Felipe & Juan, 2002)

1.2.7. *Reservas*

La planta de tratamiento de agua potable de Tixán tiene dos reservas de agua tratada las cuales se encuentran contiguas al bloque de cámaras de cloro, estas reservas tienen un volumen neto de 3000 metros cúbicos, este volumen representa el consumo de agua empleado en el mantenimiento de las unidades, como son lavado de filtros, decantadores y representa aproximadamente el 4.1% de la producción diaria que se realiza en la planta. (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)



2. Lodos residuales

En las plantas de potabilización de agua se generan lodos los cuales contiene propiedades que varían en el tiempo, estas propiedades dependen de la calidad de agua y los coagulantes utilizados, estos lodos han sido considerados residuales por las sustancias presentes como partículas en suspensión, arenas, arcillas, microorganismos las cuales están retenidas en los lodos. (Rosero et al., 2015)

El tratamiento que se le debe dar a los lodos se basa en procesos de incineración, decantación, espesamiento y deshidratación, para así lograr una reducción de humedades entre el treinta y cuarenta de porcentaje de humedad y así llevarlos hacia su disposición final en el caso de la planta de Tixán estos son ubicados en el relleno sanitario del EMAC de la ciudad de Cuenca en el sector El Valle-Pichancay, la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable tiene su propia planta de tratamiento de lodos ya que son residuos comunes en el tratamiento el cual no puede ser desechado sin procesos previos para su impacto ambiental. (Felipe & Juan, 2002)

Hay varios factores que inciden en la cantidad de lodos que se generan, en las PTAP más se analiza alrededor de mil toneladas por año por lo que los costos de construcción, mantenimiento, y operación de los lodos son muy altos por lo que la disposición final de lodos resulta ser complicado así también como su reutilización posteriormente, aunque este mencionado es investigado para poder reutilizar en la construcción. (Gutierrez, 2014)

Los métodos más comunes en el tratamiento de lodos generados son la decantación, la sedimentación con adición de polímeros floculantes, el polímero puede alcanzar remociones de 50% cuando se incorporan en procesos de sedimentación previa mezcla rápida, el espesamiento y deshidratación de lodos son tecnologías las cuales reducen los costos para su manejo y transporte, en los cuales la adición de polímeros en el proceso de floculación tiene resultados muy buenos en el tratamiento. (Gallo Ramírez & Uribe Hurtado, 2019)



2.1. Frecuencia con que se emiten los lodos:

Filtros: El caudal de lavado de los filtros de la PTAP de Tixán es de 348 l/s, con una duración del lavado de 10 minutos. todos los días según la secuencia del lavado de filtros que son cada 52 horas

Por lo tanto, el volumen que se obtiene de la limpieza de los filtros para estas condiciones es de 209 m³ por unidad lavada.

Sedimentadores: Se descarga todas las semanas de lunes a jueves.

Actualmente realizan el vaciado de dos sedimentadores simultáneamente, y se vacían los 8 sedimentadores en un día, cada semana, por tanto, el caudal máximo esperado por el vaciado sería de 600 l/s. El período de descarga de los sedimentadores es cada 15 días durante 30 minutos aproximadamente

En tanto que el volumen por vaciado correspondiente a los 8 sedimentadores sería de 1.832 m³.

Floculadores: Los fines de semana el día sábado según el cuadro de mantenimiento mensual, por lo general es uno cada fin de semana para hacer los 4 al mes.

Tanques de oxigenación: Los fines de semana el día sábado según el cuadro de mantenimiento mensual, por lo general es uno cada fin de semana para hacer los 4 al mes.

Lodo almacenado para inicio de proceso: El volumen para cada depósito de equalización es de 1416 m³. El volumen total de los dos depósitos será de 2.832 m³. El caudal constante a ser regulado por el instrumento de control para cada depósito se ha determinado en 15 l/s para el Módulo I, 30 l/s para los Módulos I y II.

3. Planta de tratamiento de lodos de Tixán.

En la planta de tratamiento de agua potable de Tixán, se realizan constantes lavados de las unidades de tratamiento las cuales generan lodos con altas concentraciones de aluminio, estos son descargados a la quebrada San Francisco, su efluente llega al río Machángara, afectando a la calidad del agua de este cuerpo receptor. (Pintado & Rafael, 2018) Con el tiempo la descarga de este caudal ha provocado la erosión del cauce de la quebrada. Es por eso que se implementa la Planta de Tratamiento de lodos que se encarga de tratar los desechos líquidos y lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán. (Barros & Gabriela, 2017)



Ilustración 3: Planta de tratamiento de lodos de Tixán

Fuente: Autores

Los residuos a ser tratados provienen de los procesos de lavado de filtros, purga y limpieza de decantadores y floculadores, en ocasiones también de la limpieza de los tanques de reserva y cámara de contacto de cloro. (Universidad Tecnológica de Pereira et al., 2014)

Por lo tanto, la cantidad de estos residuos sólido/líquido dependen de la cantidad y calidad de agua bruta, dosis de productos químicos, el rendimiento de los procesos de tratamiento y la frecuencia del lavado. (Rosero et al., 2014)

Los lavados se realizan durante 10 minutos con un caudal de 348 l/s generando un volumen de 209 m³ por unidad lavada. En el trayecto de un día se vacían los ocho sedimentadores, dos simultáneamente, esto se realiza cada semana, esperando un caudal de vaciado de 600 l/s con un volumen correspondiente a los 8 sedimentadores de 1832 m³. (ETAPA. EP, 2020).



4. Proceso en la planta de tratamiento de lodos de Tixán

4.1. Decantación:

El agua proveniente de lavado de filtros y purga de sedimentadores de la PTAP llega a las piscinas de decantación para separación de agua y lodo por gravedad. Las piscinas de decantación están diseñadas de manera inclinada con el fin de enviar la mayor cantidad de lodo hacia las bombas de mayor fuerza. (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)



Ilustración 4: Llenado de tanque de decantación

Fuente: Autores



Ilustración 5: Proceso de decantación

. En el centro de cada piscina se encuentra un drenaje, el mismo que sirve para eliminación de agua de cada piscina, dicha agua va directamente al alcantarillado, con ello se asegura de que las bombas transporten en mayor porcentaje lodo que agua. (Etapa, 2015)



Ilustración 6: Drenaje

Fuente: Autores.

4.2. Espesamiento:

El proceso de espesamiento consiste en la reducción del volumen de los lodos con el objeto de disminuir su tamaño y el número de los equipos posteriores a usar para la deshidratación. (Gutierrez, 2014)

El lodo es bombeado desde los decantadores hacia los espesadores en donde mediante movimiento circular de un agitador en el centro del tanque se realiza la separación de lodo y agua, el mismo que se deposita en el fondo mientras que el agua sobrante se elimina del tanque mediante un rebose. (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)



Ilustración 7: Espesadores.

Fuente: Autores.

4.3. Deshidratación de lodos

El lodo que se encuentra en los espesadores es bombeado hacia el edificio, en donde se encuentran filtros banda para realizar la respectiva deshidratación mediante la técnica denominada filtración.

En este edificio se encuentra la mayor parte de equipos, dispositivos y controladores de la planta, a continuación, se detallan los mismos.



4.3.1. Preparación de polielectrolito.

Depósito de agua: Se encuentra a un costado del edificio en un pozo cisterna, cuya capacidad de almacenamiento bordea los 90 m³ aproximadamente, en este lugar se encuentra toda el agua que usa el edificio ya sea para lavar filtros, bandas y/o preparación de polielectrolito.

Sistema hidroneumático: Equipo encargado de transportar agua desde el depósito hacia el tanque de polielectrolito para la respectiva preparación de la solución.

Reactor o Tanque de preparación: Se trata de un recipiente de 3 compartimentos en donde se realiza la mezcla de agua y polímero para generar la solución de polielectrolito.

En el compartimento 1 ingresa agua y polímero (600 a 2800 l/h) mientras que la cantidad de polímero es constante, al llenarse Cabe añadir que tanto el compartimento 1 y 2 poseen agitadores para garantizar una mezcla homogénea y concentración igual en todos los puntos del reactor.

4.3.2. Floculación:

Bombas de polielectrolito: Equipos encargados de enviar la solución de polielectrolito hacia el reactor floculador, según el caudal requerido.

Válvula de caudal: Tiene la función de regular el caudal de agua de ingreso en un rango de 600 a 2800 l/h, el caudal que se suministre al reactor de preparación de sobre el reactor de polielectrolito.

Reactor floculador En esta etapa del proceso se tiene un tanque de preparación del polielectrolito en donde se da la mezcla agua-polímero, ya cuando esta mezcla esta lista pasa al tanque floculador el cual está en disposición vertical en el cual se realiza la mezcla de polielectrolito y lodo para la respectiva floculación. (Bravo, 2010)



Ilustración 8: Reactor floculador.

Fuente: Autores.

4.3.3. Filtración:

El lodo se distribuye a la zona de pre deshidratación del filtro banda mediante un peine de reparto y finalmente prensado entre dos telas permeables apretadas mediante rodillos hasta alcanzar un grado de sequedad adecuado, eliminando la mayor cantidad de agua posible. (Marca Corrales & Orellana Pinos, 2018)

Transportan el lodo hacia la tolva mediante bandas transportadoras, la tolva tiene una altura aproximada de 15 metros aquí se realiza un secado al ambiente, la tolva presenta un sensor que mide el porcentaje de llenado el cual no deberá sobrepasar el 80%, lo cual es verificado en el tablero de control, el lodo almacenado es descargado en volquetas para ser depositado en el relleno sanitario. (Filtro banda, 2015)



Ilustración 9: filtro banda,



Ilustración 10: Banda transportadora.

Fuente: Autores

4.4. Disposición final.

El filtro banda en operación descargará la torta de fango deshidratado en un sistema de dos cintas transportadoras que conducirán el fango deshidratado a tres contenedores de 5 m³ de capacidad para proceder a su almacenamiento previo a su transporte en camiones porta contenedores a un relleno sanitario o vertedero controlado. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

A partir de la masa total de fango que se espera obtener de los desechos sólidos y del porcentaje de concentración que se espera alcanzar luego de la deshidratación, se ha determinado la producción semanal de fango deshidratado que producirá la planta y que deberá ser transportado a un vertedero controlado o relleno sanitario. (EP, Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán, 2015)

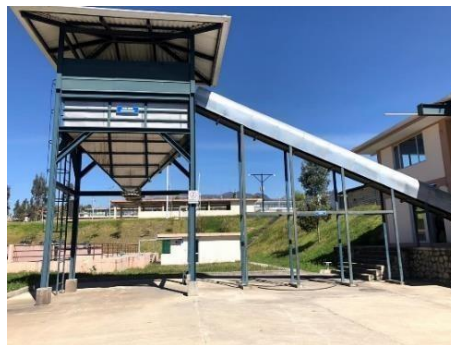


Ilustración 11: Tolva de almacenamiento de lodos deshidratados.

Fuente: Autores.

Diagrama de bloques: Planta de tratamiento de lodos Tixán

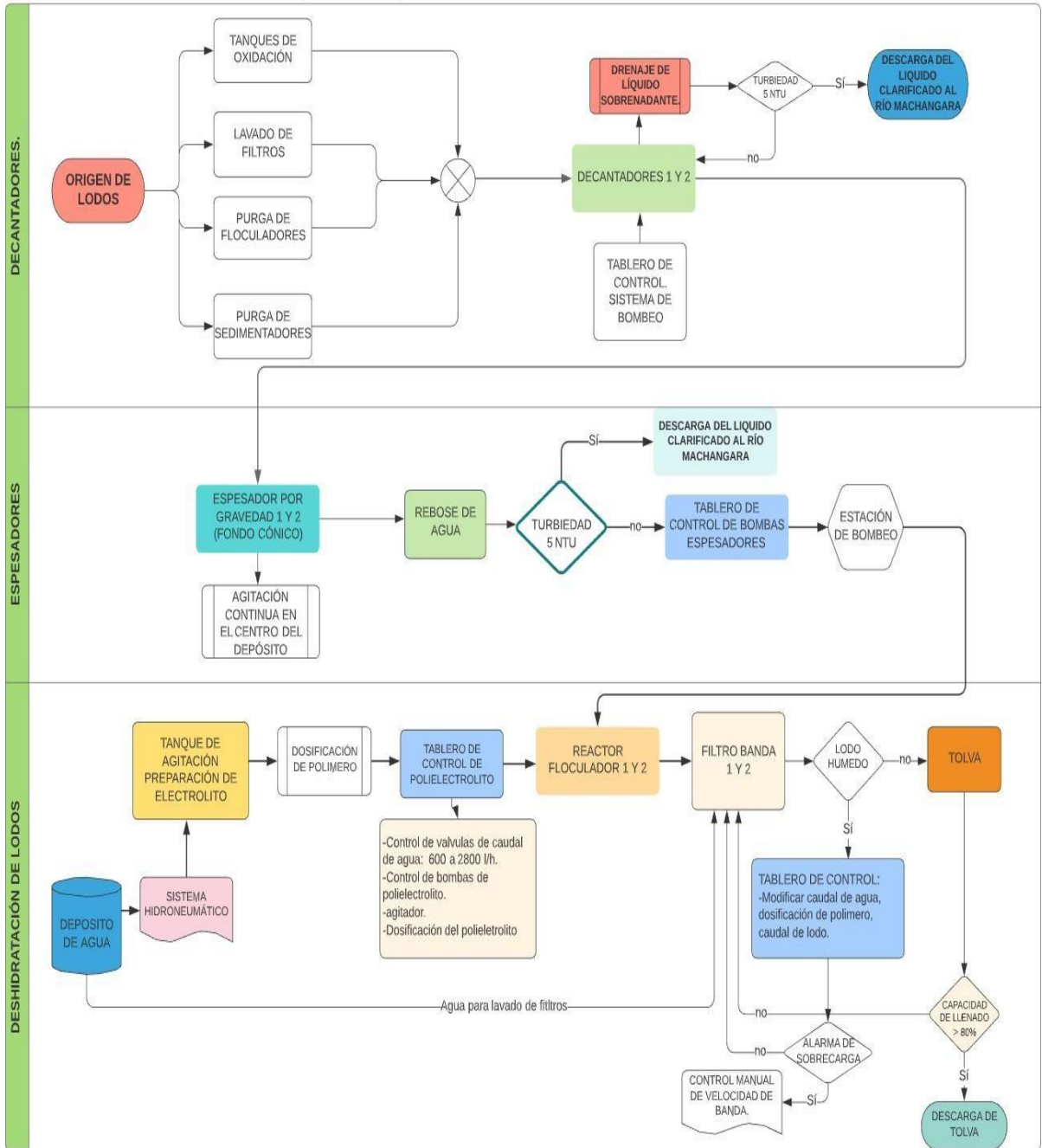


Ilustración 12: Diagrama de bloques planta de tratamiento de lodos Tixán

Fuente: Elaboración propia.



5. Filtros banda.

Son desarrollados con un principio de funcionamiento con el objetivo de conseguir la separación sólido-líquido del lodo mediante su escurrido entre dos bandas bajo tensión. La presión que se realiza sobre el material aumenta gradualmente conforme las dos bandas pasan por rodillos de diámetros decrecientes produciendo, además, un efecto de cizalladura que favorece la evacuación de la fase líquida. (Ramos, 2011)

La utilización de este filtro está vinculada al desarrollo de los polielectrolitos o floculantes, esto hace posible una mayor compresión entre las bandas obteniendo un sólido seco y un líquido libre de sólidos. (González Cedeño & Prado Pincay, 2019)

5.1. Etapas del proceso de separación.

5.1.1. Floculación:

Los lodos residuales por lo general necesitan de la adición de polielectrolitos orgánicos para lograr una mejor formación de flóculos y una primera y rápida separación de la mezcla. (Almeida, 2015)

5.1.2. Alimentación.

La solución ya con los flóculos formados se deposita en la zona de alimentación para tener una distribución homogénea sobre toda la superficie de la banda. (Almeida, 2015)

5.1.3. Pre deshidratación.

La primera etapa de la separación se ejecuta en la zona de pre deshidratación donde el filtrado drena por gravedad a través de la banda. (Almeida, 2015)

5.1.4. Filtración.

La filtración se realiza en la zona donde la banda pasa entre tambores perforados y rodillos con diámetros decrecientes dibujando una forma de S. (Almeida, 2015)



5.1.5. Compactación y escurrido.

La compactación y escurrido de la torta se consigue cuando las dos bandas y la torta pasan a la zona de alta presión y la fuerza de cizalladura alcanza su máximo valor.

5.1.6. Descarga.

Para la descarga de los sólidos deshidratados se separa las dos bandas y colocando en cada una de ellas una cuchilla longitudinal que impide que ningún pedazo de lodo con gran tamaño quede sin descargarse.

5.1.7. Limpieza.

A fin de evitar el ensuciamiento de la banda asociada a una reducción gradual de sus prestaciones se realiza un lavado continuo y a presión de todo su ancho. (Almeida, 2015)

6. Floculación:

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se forma una aglomeración de las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. (Quirós, 2008) Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería. (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2011)

Los compuestos que pueden estar presentes en el agua pueden ser:

- Sólidos en suspensión.
- Partículas coloidales (menos de 1 micra), gobernadas por el movimiento browniano.
- Sustancias disueltas (menos que varios nanómetros). (Gallo Ramírez & Uribe Hurtado, 2019)

6.1. Cinética de la Floculación:

Cuando se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inicia una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo. (Cosme Marticorena & Zevallos Osoreo, 2017)

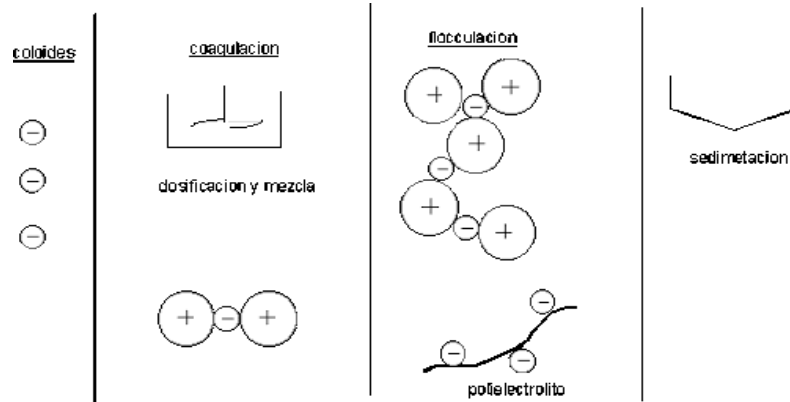


Ilustración 3. Fases de la reacción de floculación usando un polielectrolito.

Fuente: (Cosme Marticorena & Zevallos Osoreo, 2017)

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia. Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos (Restrepo, 2009):

6.2. Tipos de floculación

La floculación puede darse de dos maneras

- Orto cinética: o inducida por fuerzas externas como paletas giratorias.
- Peri cinética: es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas debido al movimiento browniano. (Uriarte, 2019)

6.2.1. Floculación Pericinética:

Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Sólo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 s y es independiente del tamaño de la partícula. (Costablanca & Orihuela, n.d.)



6.2.2. *Floculación Ortocinética:*

Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 min. (Báez & Fernanda, 2012)

6.3. **Factores que influyen en la Floculación:**

6.3.1. *Concentración y naturaleza de las partículas.*

La velocidad de formación del floculo es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas. (Restrepo, 2009)

6.3.2. *Tiempo de detención:*

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. (Fernandez, 2017) Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. (Aguilar, 2002)

Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. (Aguilar, 2002) Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades. (Restrepo, 2009)

6.3.3. *Gradiente de velocidad:*

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floculo. (Fernandez, 2017) El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados. (Restrepo, 2009)

6.3.4. *Peso molecular del polímero.*

El peso molecular es una de las propiedades que caracterizan a un polímero y además indica la eficacia del proceso de floculación. Cuando se utiliza un polímero



de peso molecular pequeño, se presenta una tendencia de que una molécula pueda ser adsorbida por una única partícula. (Estrada et al., 2011)

En cambio, con el mismo polímero, pero de peso molecular elevado, se presenta un ascenso en la relación óptima polímero/sólidos, es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas. (Estrada et al., 2011)

Cuando se eleva el peso molecular del polímero usado en el proceso, se optimiza la dosis de polímero, debido a que se incrementa la velocidad de decantación. (Fernandez, 2017)

6.3.5. Efecto del pH.

El pH puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos, así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución. (Perez de la Cruz, 2011) A su vez, la variación en la ionización en el polímero determina el grado de creación de puntos de enlace entre partículas y moléculas lo cual puede anular la eficacia de un polímero en un rango de pH. La efectividad de los polímeros varía en función del rango del pH: (Gallardo & Alejandra, n.d.)

- Los polímeros aniónicos, normalmente, son más efectivos a pH entre 7 y 14.
- Los no iónicos son capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, siendo, en general, muy eficaces a pH 6, si bien algunos también operan entre 6 y 10.
- Finalmente, los catiónicos suele actuar entre pH 4 y 8. (Perez de la Cruz, 2011).

7. Polielectrolitos

Son polímeros orgánicos con carga eléctrica. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Hoy se usan una gran variedad de polielectrolitos sintéticos. Pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación. (UCLM, 2018)

Son compuestos orgánicos sintéticos que tienen la habilidad de causar la agregación de suelos y sólidos, finalmente divididos, en suspensiones acuosas. (Mamani & Chamorro, 2013)



Las dosis normales de polímeros catiónicos y aniónicos son de 0.1 a 1mg/L; para polímeros no iónicos, de 1 a 10 mg/L. Sin embargo, la utilización de los polímeros es limitada por su alto costo. La EPA tiene una lista de ayudas de coagulación aprobadas para emplearse en plantas de potabilización.(Rodríguez, 2008)

Los polielectrolitos pueden clasificarse en:

7.1. Catiónicos:

Cargados positivamente. Poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos, con peso molecular entre 104-106 g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos, resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de pH. (UCLM, 2018)

7.2. Aniónicos:

Cargados negativamente. Caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción y grupos ionizados negativamente (carboxílicos o sulfúricos), cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre éstos podemos mencionar las poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas con sosa cáustica. (Puentes & Alejandro, 2019)

7.3. No iónicos:

No son polielectrolitos en sentido estricto, aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

Las poliacrilamidas (2- 4 x 10⁶ g/mol) son usadas en clarificación y deshidratación de lodos, incrementan la resistencia del flóculo y frecuentemente se utilizan también como ayudantes de filtración en línea. Las poliaminas de cadenas más cortas (menor de 1 x 10⁶ g/mol), son usadas sólo en clarificación como coagulantes primarios y como ayudante de coagulación la de alto peso molecular.(Sasia, 2013.)



8. Prueba de Jarras

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. (Guerrero & Yanza Bravo, 2014)

Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un flóculo de las mejores características. (Caldera Villalobos, 2019)

Simula el proceso de un floculador en donde se puede determinar el mejor agente floculante para lograr la mejor sedimentación, optimización de la adición de polielectrolito (Chulluncuy, 2011) para el tratamiento de agua y lodos, se utiliza para pruebas de laboratorio en las cuales se utilizan diferentes dosis químicas, velocidades, tiempos de sedimentación, lo cual ayuda a determinar la dosis requerida para alcanzar los objetivos necesarios en el proceso de floculación de lodos. (Restrepo, 2009)

8.1. Factores que influyen en la determinación del polímero óptimo.

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad. La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. (Ortiz et al., 1982) Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación. (Restrepo, 2009)

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). (Ortiz et al., 2002)

8.2. Índice de Willcomb.

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad. La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. (Ortiz et al., 1982) Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación. (Restrepo, 2009)

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). (Ortiz et al., 2002)

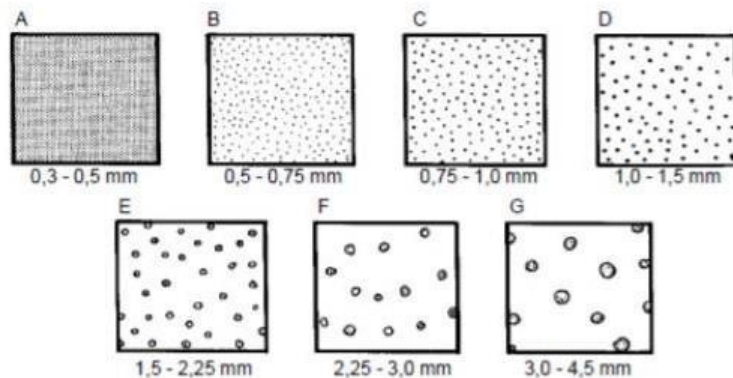


Ilustración 4. Índice de Willcomb para determinar el tamaño del floculo.

Fuente: (Ortiz et al., 2002)

El índice de Willcomb Consiste simplemente en observar la forma como se desarrolla el flóculo en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el flóculo más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas. La comparación de los tamaños del flóculo no es fácil. Algunos prefieren estimarlo en milímetros en forma muy aproximada. (Vasconez, 2013)



Tabla 2. Índice de Willcomb.

Número del Índice	Descripción	Observaciones.
0	No se observa	No se aprecia signos de aglomeración.
2	Visible	Floculo muy pequeño, no se aprecia.
4	Disperso	Floculo muy pequeño, sedimenta lento
6	Bueno	Floculo bueno, precipita lento.
8	Muy bueno	Floculo bueno, se aprecia y deposita fácil, pero no totalmente
10	Excelente	Floculo muy bueno, se deposita total

Fuente: (Vasconez, 2013)

8.2.1. Turbiedad, color, pH.

La turbiedad en el agua se debe principalmente a las partículas coloidales y a otras sustancias insolubles de mayor tamaño en suspensión tales como arcillas, minerales, plancton y otros microorganismos y materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas.

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), (Vasconez, 2013)

En cuanto al color del agua suele ser de naturaleza orgánica pudiendo ser coloidal y también formando soluciones verdaderas, las principales sustancias causantes del color en el agua son las sustancias húmicas formadas principalmente por los ácidos fúlvicos y húmicos, también puede ser originado por diversas sustancias orgánicas más complejas. El color también puede deberse a hidróxidos metálicos tales como los de hierro y los de manganeso. (Vasconez, 2013)



CAPITULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

1. Reconocimiento de planta.

Al inicio del proyecto se realizó un registro de datos operacionales actualizados de la planta, reconocimiento de equipo secuencia y control de encendido, así como también medición de los parámetros físicos químicos del agua obtenida luego de la deshidratación de lodos.

2. Muestreo:

Se realizó un muestreo del agua en el depósito debajo del filtro, el cual se realizó según las siguientes especificaciones de la NTE INEN 2176:2013.

Se puso en funcionamiento la planta por aproximadamente unos 30 minutos, para obtener una mezcla homogénea y representativa del funcionamiento normal de la planta y la calidad usual en la que se encuentra el agua conteniendo los lodos.

Una vez pasado este tiempo se realiza la toma de la muestra en un contenedor de capacidad de 55 litros, el cual fue trasladado hacia la planta de Ucubamba para los análisis correspondientes.

3. Determinación de parámetros operacionales en la planta de lodos.

3.1. Características bomba

Para la correcta dosificación de polímero es necesario reconocer las características de las bombas instaladas en la estación de preparación de polielectrolito,

- Número de bombas instaladas: 2
- Caudal bomba:
- Presión de bombeo:
- Fluido: Solución Polielectrolito.



3.2. Determinación dosificación de polielectrolito

La solución de polielectrolito es preparada en un tanque de tres recipientes compartidos en donde se realiza una mezcla de agua y polímero para generar la solución a una determinada concentración que floccule correctamente los lodos generados en la planta de agua potable, en esta etapa se debe tener en cuenta:

- Caudalímetro: Capacidad de 600 a 2800 l/h.
- Válvula de caudal de agua.
- Polímero: A una cantidad constante.
- Dosificador de polímero: Consta de un recipiente en forma de embudo y en su interior posee un tornillo sin fin que mediante un giro continuo envía una cantidad constante de polímero.
- Tanque de preparación: Consta de tres compartimentos, primero es llenado el compartimento 1, mediante rebose pasa al 2 y 3 respectivamente.

Para determinar la concentración de polímero que es dosificada al proceso se realizan los siguientes pasos:

- a) Fijar un determinado caudal de agua para preparar la solución.
- b) Encender el dosificador de polímero.
- c) Colocar un vaso de precipitación a la salida del dosificador de polímero, antes de que este llegue al tanque y se mezcle con el agua.
- d) Con la ayuda de un cronómetro, determinar la cantidad de polímero que ocupa el vaso de precipitación durante un minuto.
- e) Pesarse la cantidad de polímero en el vaso, para obtener la relación (peso polímero/minuto) que envía constantemente el equipo
- f) Con el valor de caudal de agua que ingresa al tanque de dosificación y el peso de polímero, determinar la concentración de polielectrolito en el tanque que se usará en el proceso de floculación.



3.3. Aforado del tanque de preparación de polielectrolito:

Determinación del caudal de salida del tanque de preparación de polielectrolito hacia el reactor floculador que depende de la apertura de la bomba polielectrolito.

- a) Encendido de la bomba de polielectrolito.
- b) Abrir la válvula de entrada de solución de polielectrolito al tanque floculador.
- c) Encender el tanque floculador que se desee trabajar.
- d) Llenar el tanque con la solución de polielectrolito preparada.
- e) Colocar una probeta graduada limpia y vacía de 1000 ml en la salida del líquido.
- f) Con la ayuda de un cronómetro, determinar el volumen que ocupa la probeta durante 10 segundos.
- g) Repetir tres veces para mejor confiabilidad de los pasos.
- h) Registrar los datos y determinar el caudal según la ecuación:

$$Q = \frac{Q}{Q}$$

(A. Orellana, 2005)

Q = QQQQQQ QQ QQQQQQQQ QQQQQQQQ QQQQQQQQ Q QQQQQQQQ QQQQQQQQQQ.

Q = QQQQQQ QQ QQQQQQQQQQQQQQQ QQ QQ.

Q = QQQQQQ QQ QQQQQQQQ.

3.4. Determinación de número de revoluciones del tanque floculador.

Para evitar una sedimentación en el tanque, se utiliza agitación para mejorar y homogenizar la mezcla de lodos con la solución de polielectrolito.

El sistema de agitación de la planta de tratamientos de lodos de Tixán cuenta con:

Depósito cilíndrico vertical abierto, con chapa vertical interior de división. Construido en acero inoxidable AISI 304. Equipado con agitador suave, de diseño especial, para optimizar la floculación y evitar el bloqueo por ensuciamiento. Provisto de bridas de interconexión, tabuladora para la adición de floculante, dos detectores de nivel máximo, y una seta de emergencia.



Para determinar el número de revoluciones por minuto se realizaron los siguientes pasos:

- a) Encender el bombeo de lodos espesador hasta el reactor floculador.
- b) Abrir de forma manual la válvula de ingreso de lodo al tanque floculador.
- c) Encender el sistema de agitación del tanque floculador dependiendo del filtro que se quiera trabajar.
- d) El sistema de agitación cuenta con 7 velocidades, se determinará el número de revoluciones por minuto en cada una de ellas.
- e) De forma manual con un cronómetro contar las revoluciones por minuto en el tanque, desde un punto de partida previamente señalado, de esta manera se conoce el rpm del tanque.



4. Prueba de jarras.

Las pruebas de jarras se realizaron en el laboratorio de la planta de lodos residuales de Ucubamba usando el equipo marca Phipps and Bird Stirrer, con un agitador de hasta 300 rpm, con jarras de cristal refractario con iluminación de los flóculos en la base, capacidad de 2 litros.

- a) Las muestras de agua con residuos sólidos se recolectaron de los lodos ubicados en el 1 y 2 de la planta, ubicados antes de ingresar al edificio de deshidratación de lodos. Aproximadamente 50 litros.
- b) Se utilizó un total de 12 de diferente peso molecular, para determinar el mejor, bajo parámetros físicos como turbiedad, pH y mejor formación de floculo.
- c) Colocar agua con residuos sólidos en las jarras.
- d) Añadir la dosis de polímero preparada a cada una de las seis jarras.
- e) Lo siguiente es realizar diferentes pruebas en el cual se va a variar el tiempo y la velocidad de agitación.

Revoluciones por minuto: Se trabaja con el número de revoluciones permitidos en el tanque del reactor floculador, el cual funciona normalmente hasta 300 rpm.

Tiempo de agitación: El tiempo de agitación y mezclado luego de la dosificación no sobrepasa los 10 minutos, para luego dirigirse al sistema de filtración de la planta.

- Durante 10 minutos agitar a 350 ppm
 - Durante 10 minutos agitar a 300 rpm.
 - Durante 5 minutos agitar a 300 rpm.
 - Durante 5 minutos agitar a 200 rpm.
 - Durante 5 minutos agitar a 100 rpm.
 - Durante 5 minutos agitar a 25 rpm
- f) Tomar muestras de cada una de las jarras observar el flóculo formado y medir turbiedad y pH y dar un valor basado en el índice de Willcomb.

5. Medición de la humedad.

Se determinó la humedad en la termobalanza del laboratorio de Ucubamba, con una muestra del lodo deshidratado luego del proceso ya estandarizado en la planta de Tixán.

**CAPITULO III: RECOPIACIÓN Y REGISTRO DE DATOS.**

Para el inicio del proceso de estandarización de parámetros que se usaran en la planta de tratamiento de lodos de Tixán se realizó la recopilación y el análisis partiendo desde los datos y cálculos correspondientes para la preparación del polielectrolito.

1. Concentración de entrada de solución de polielectrolito al reactor floculador.

Para conocer la concentración en ppm que está ingresando al proceso de floculación, se realiza el siguiente cálculo con el peso que dosifica el equipo por cada minuto de operación.

Se tomaron varias muestras para obtener la dosis más exacta, en las experimentaciones ciertos valores se mantienen constantes ya que no cambian su valor con el tiempo.

Tabla 3 Determinación de dosis de polímero.

Tiempo (min)	Índice del equipo	Tiempo (s)	Peso muestra + recipiente (g)	Peso recipiente (g)	Peso muestra (g)	Dosis polímero (g/s)
1.00	1.00	60.00	17.70	2.32	15.38	0.26
1.00	1.00	60.00	17.50	2.32	15.18	0.25
1.00	1.00	60.00	18.90	2.32	16.58	0.28
1.00	1.00	60.00	17.90	2.32	15.58	0.26
1.00	1.00	60.00	17.50	2.32	15.18	0.25
1.00	1.00	60.00	18.20	2.32	15.88	0.26
1.00	1.00	60.00	16.90	2.32	14.58	0.24
1.00	1.00	60.00	17.30	2.32	14.98	0.25
1.00	1.00	60.00	19.30	2.32	16.98	0.28
1.00	1.00	60.00	16.60	2.32	14.28	0.24
1.00	1.00	60.00	18.40	2.32	16.08	0.27
1.00	1.00	60.00	17.20	2.32	14.88	0.25
1.00	1.00	60.00	18.10	2.32	15.78	0.26
1.00	1.00	60.00	19.02	2.32	16.70	0.28
1.00	1.00	60.00	18.40	2.32	16.08	0.27
1.00	1.00	60.00	17.20	2.32	14.88	0.25
PROMEDIO	1	60.00	17.88	2.32	15.56	0.26

Q0000 Q0 Q000Q000: 0.00 Q/Q



Para trabajar con la dosis óptima de polímero 0.26 g/l se deben pesar 15.56 g de polímero, y trabajar con un índice de 1 en el equipo, es decir que para realizar la operación en el tanque de preparación de polielectrolito se determina la dosis optima de 15.56 g como peso de la muestra para conseguir mejores resultados siendo este obtenido mediante prueba experimental, por lo tanto, este valor queda estandarizado.

Transformamos la dosis de polímero obtenida a partes por millón con referencia al caudal de ingreso para la preparación del polielectrolito que es de 2800 l/h

Concentración en ppm:

Caudal másico (Qm) = g/h

$$0.26 \frac{g}{l} * \frac{3600Q}{h} = 936 \frac{g}{h}$$

- Con un caudal de 2800 l/h

Qm* Q (Caudal volumétrico de la planta)

$$\frac{936 \frac{g}{h}}{h} * \frac{1h}{2800Q} = 0.33 \frac{g}{Q}$$

- En ppm:

Qm de polielectrolito

$$0.33 \frac{g}{Q} * 1000 \frac{QQ}{Q} = 334.29 \frac{QQ}{Q}$$

Esta es la concentración que se utilizara en el proceso QQQ . $QQQQQ$



A continuación, en la siguiente tabla se presenta la concentración en ppm para cada uno de los caudales de ingreso, en donde se fue disminuyendo el caudal de agua y la concentración del polielectrolito fue aumentando, en donde estas experimentaciones se realizan para determinar cómo variaban las concentraciones con el caudal. En la planta actualmente se trabaja con un caudal de 2800 en donde la concentración aproximada de 334.29 ppm. En la tabla 4 se indica las diferentes concentraciones de polielectrolito, en caso de que la planta trabaje con diferentes caudales.

Tabla 4. Concentración de polielectrolito para caudal de agua a trabajar.

Caudal agua (l/h)	Concentración polielectrolito (ppm)
2800	334.29
2600	360.00
2400	390.00
2200	425.45
2000	468.00
1800	520.00
1600	585.00
1400	668.57
1200	780.00
1000	936.00
800	1170.00
600	1560.00

Fuente: Autoras.

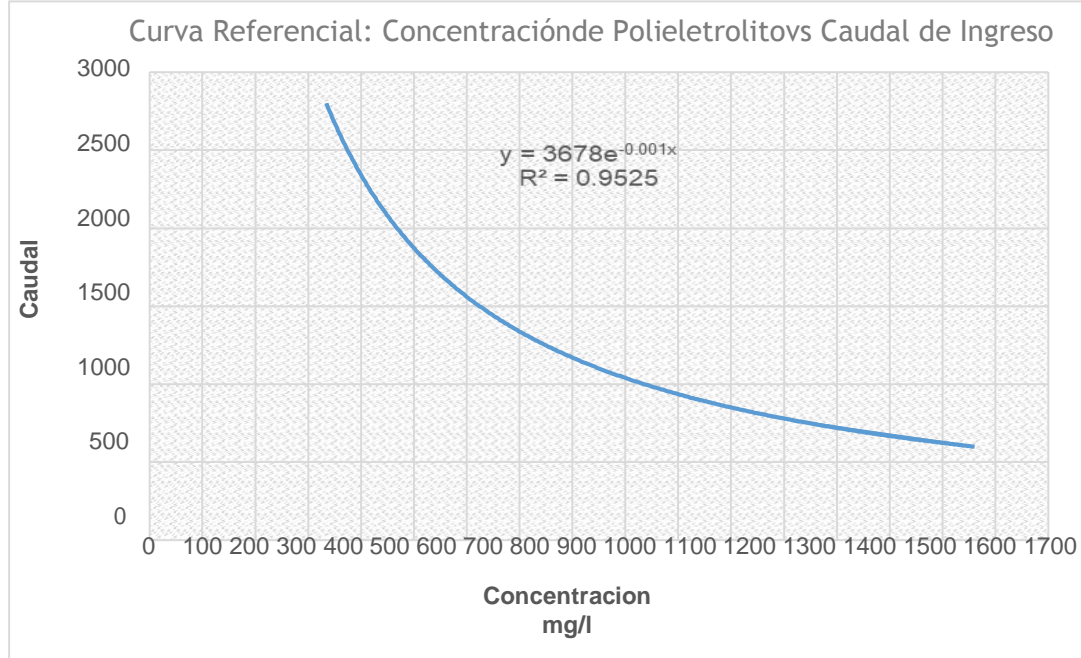


Ilustración 5. Concentración Polielectrolito Vs. Caudal de

Ingreso Fuente: Autoras.

2. Caudal de ingreso de polielectrolito al tanque.

Se realizó un aforo de las bombas, para determinar el caudal de ingreso de polielectrolito según la frecuencia de la bomba, con un tiempo de 10 segundos, variando la frecuencia de la bomba, se hizo tres experimentaciones, en las que se fue tomando el valor del volumen, para así con la fórmula del caudal que es volumen dividido para el tiempo obtener el caudal, posteriormente se sacó el promedio para determinar el valor en cada frecuencia marcada.



Tabla 5. Aforo de bomba.

Frecuencia bomba	Volumen (ml)			Tiempo (s)	Caudal (l/s)			Promedio caudal (l/s)
	1	2	3		1	2	3	
Hz								
5.0	510	510	510	10	0.05	0.05	0.05	0.05
8.0	805	800	805	10	0.08	0.08	0.08	0.08
10.0	1030	1030	1030	10	0.10	0.10	0.10	0.10
12.0	1270	1290	1280	10	0.13	0.13	0.13	0.13
12.5	1325	1320	1320	10	0.13	0.13	0.13	0.13
13.0	1370	1370	1390	10	0.14	0.14	0.14	0.14
13.5	1400	1390	1410	10	0.14	0.14	0.14	0.14
14.0	1480	1485	1480	10	0.15	0.15	0.15	0.15
14.5	1530	1525	1520	10	0.15	0.15	0.15	0.15
15.0	1575	1580	1580	10	0.16	0.16	0.16	0.16
15.5	1610	1640	1610	10	0.16	0.16	0.16	0.16
16.0	1670	1650	1670	10	0.17	0.17	0.17	0.17
16.5	1700	1690	1700	10	0.17	0.17	0.17	0.17
17.0	1760	1740	1710	10	0.18	0.17	0.17	0.17
17.5	1860	1870	1870	10	0.19	0.19	0.19	0.19
18.0	1900	1900	1890	10	0.19	0.19	0.19	0.19
20.0	2230	2235	2240	10	0.22	0.22	0.22	0.22

Fuente: Elaboración propia.

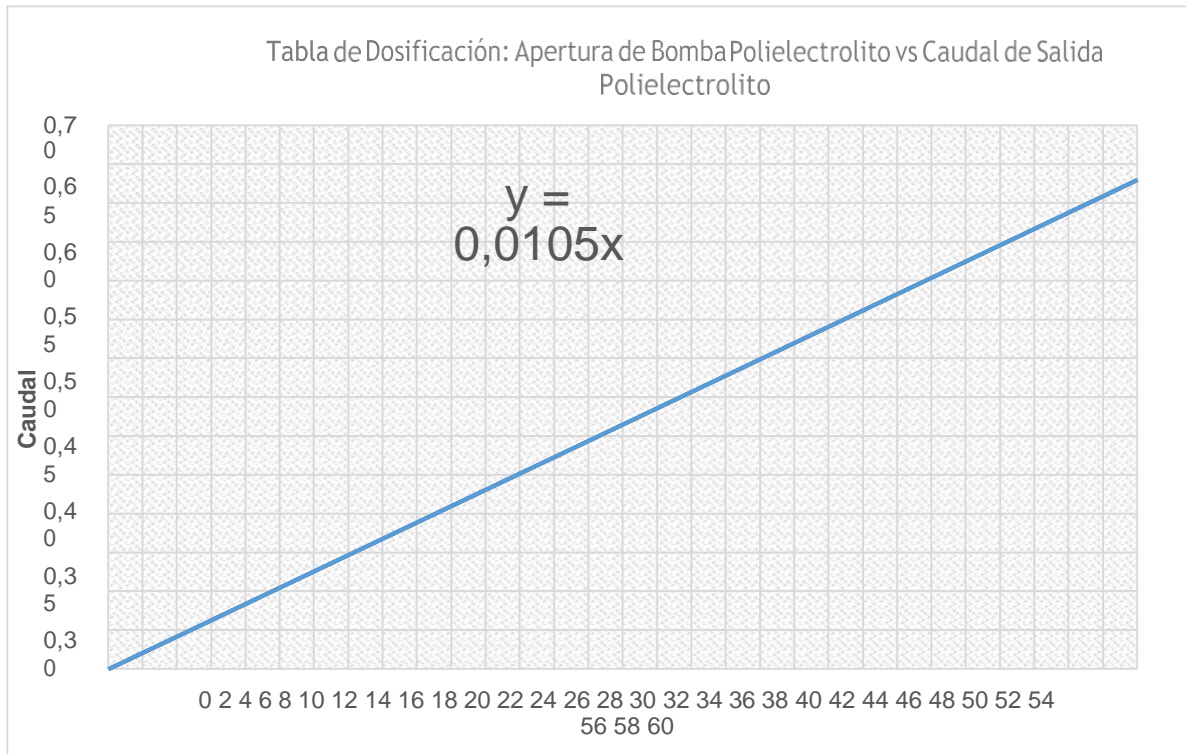


Ilustración 6 Curva dosificación de polielectrolito al reactor floculador.

Fuente: Autoras.

2.1. Ecuación para determinar el caudal de salida del polielectrolito:

$$Q = 0.0105Q$$

$$Q = Q_{polielectrolito} \cdot Q_{reactor} \cdot Q_{velocidad}$$

$$Q = Q_{polielectrolito} \cdot Q_{reactor} \cdot Q_{velocidad}$$

La ecuación se obtuvo de la curva de dosificación de polielectrolito que se dirige al reactor floculador, la curva se dibujó con los datos de los caudales obtenidos en el aforo Tabla 5 y la velocidad de la bomba de polielectrolito en Hz

Una vez que realizamos la determinación de la concentración del polielectrolito a utilizar y la frecuencia con la que se obtienen mejores resultados, se procedió a analizar parámetros para el proceso de floculación, el cual es posterior a la preparación del polielectrolito en donde la solución que ingresa al tanque floculador ya entrara con los valores previamente estandarizados.



3. Condiciones de operación del proceso de floculación.

3.1. Concentración de salida del polielectrolito al reactor floculador.

En la sección de ANEXO 1 se encuentran todos los registros de resultados de la experimentación, a continuación, se muestran los valores más óptimos.

Tabla 6. Parámetros óptimos proceso de floculación.

Parámetros	Resultado óptimo
Caudal de agua (l/h)	2800
Caudal de lodo (l/s)	0.7
Caudal de polielectrolito (l/s)	0.14
Frecuencia bomba (Hz)	12-14

Fuente: Autoras.

Para determinar la concentración de salida se utiliza la siguiente ecuación de cálculo:

$$Q1 * Q1 = Q2 * Q2$$

Fuente: (A. Orellana, 2005)

En la tabla 7 se tienen los caudales de entrada al tanque polielectrolito se presenta el mismo en litros por hora y litros por segundo, el caudal de entrada de los lodos al tanque floculador es constante de 0.7 litros por segundo. La concentración de polielectrolito inicial se obtuvo por diferencia de pesos en la tabla 3 y se resumió los resultados para cada caudal y su respectiva concentración en la tabla 4.

Una vez que se tiene los datos de caudal de entrada al tanque polielectrolito se aplicó la fórmula:

$$Q1 * Q1 = Q2 * Q2$$

C1=Concentración tanque polielectrolito.

Q1=Caudal tanque polielectrolito.



C2=concentración floculador.

Q2=caudal entrada floculador.

Para así obtener la concentración de polielectrolito a la salida del tanque.

Tabla 7. Concentración de polielectrolito a la entrada y salida del tanque floculador.

DATOS TANQUE POLIELECTROLITO					
Caudal de agua para preparación de la solución polielectrolito		Caudal de lodos Q1 (l/s)	Caudal polielectrolito. Q2 (l/s)	Concentración Polielectrolito de entrada C1 (ppm)	Concentración Polielectrolito de salida C2 (ppm)
Q (l/h)	Q (l/s)				
2800	0.78	0.7	0.0525	340.93	48.75
2600	0.72	0.7	0.084	367.15	52.50
2400	0.67	0.7	0.105	397.75	56.88
2200	0.61	0.7	0.1155	433.91	62.05
2000	0.56	0.7	0.126	477.30	68.25
1800	0.50	0.7	0.1575	530.33	75.84
1600	0.44	0.7	0.168	596.63	85.32
1400	0.39	0.7	0.1785	681.86	97.51
1200	0.33	0.7	0.189	795.50	113.76
1000	0.28	0.7	0.1995	954.60	136.51
800	0.22	0.7	0.21	1193.25	170.63
600	0.17	0.7	0.315	1591.00	227.51

Fuente: Autores.

3.2. Caudal de lodos.

3.2.1. Obtención de ecuación de caudal de lodos en el Espesador 1.

Se realizó una experimentación para ver la variación del caudal según la variación de revoluciones por minuto de la bomba, en donde se pudo analizar que es proporcional ya que al aumentar las revoluciones el caudal también aumenta. Este análisis se hizo en las dos bombas de cada espesador.

Tabla 8. Espesador 1

DATOS EXPERIMENTALES	
Bomba 1 (RPM)	Caudal (l/s)
300	0.4
325	0.5
350	0.6
375	0.8
400	0.9
425	1.0
450	1.1
500	1.4

Fuente: Autoras.

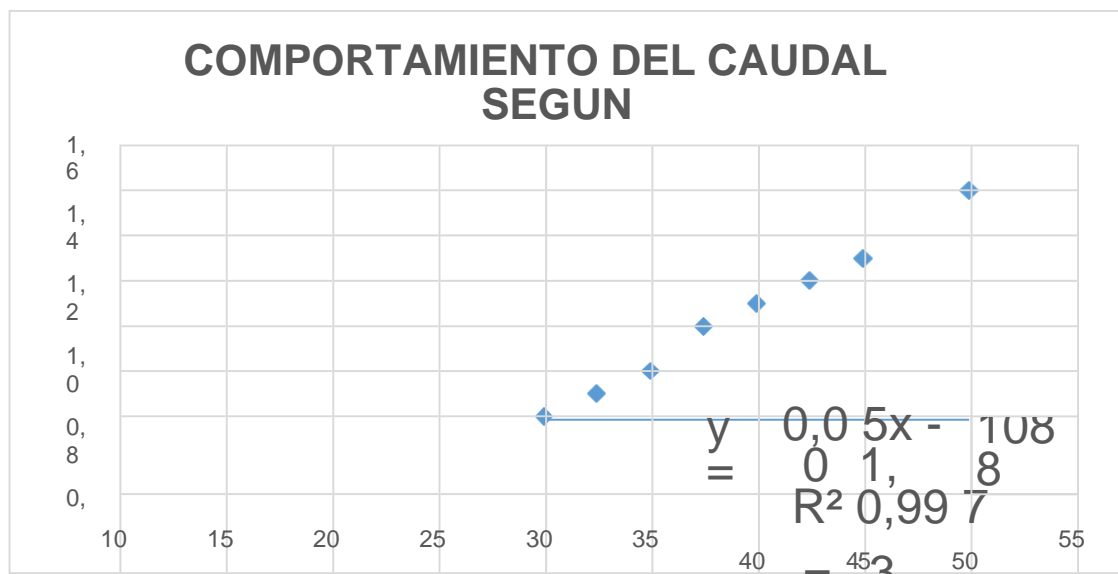


Ilustración 7. Obtención curva caudal de lodos.



Fuente: Autoras.



3.2.2. Obtención de ecuación de caudal de lodos en el Espesador 2.

DATOS EXPERIMENTALES	
Bomba 2 (RPM)	Caudal (l/s)
800	0.6
825	0.7
850	0.8
875	0.9
900	1.0
925	1.1
950	1.2
975	1.3

Fuente: Autoras.

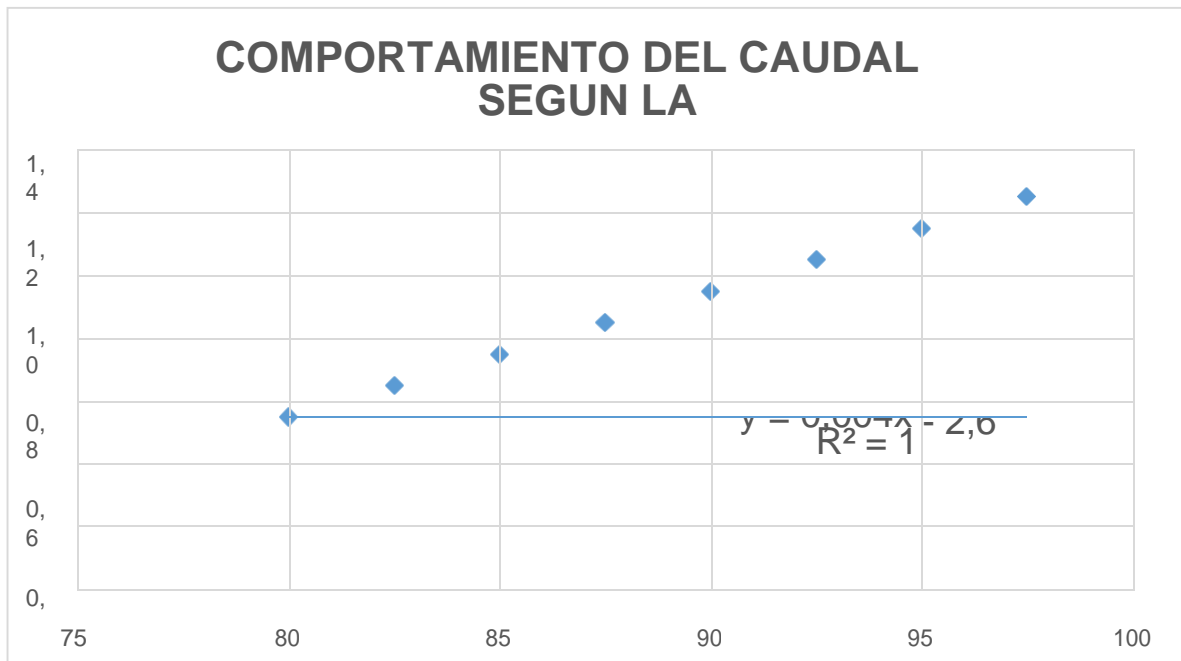


Ilustración 8. Obtención curva de caudal de lodos.

Fuente: Autoras.



En los espesadores este fue el único análisis que se realizó, puesto que en cuanto al agitador esta velocidad ya está determinada y es constante, el agitador no deja de funcionar en ningún momento durante el proceso para garantizar que siempre se tenga una mezcla homogénea para que luego pueda lograrse una buena separación entre el agua y el lodo a medida del paso del tiempo, visualmente se logra que el agua este con poca turbiedad y con buenas características, se deduce que el espesador funciona correctamente.



1. Prueba de jarras:

1.1. Preparación de solución de polímero para las pruebas de jarras.

- **Solución madre de 1000 ppm de polímero**

1g de polímero disueltos en 1L de agua

Conversión a ppm

$$\frac{1Q}{1Q} * \frac{1000QQ}{1Q} = 1000QQQ$$

- **Solución de polímero de 350ppm**

Concentración **C1** 1000ppm

Volumen **V1** 1000 ml de agua

Mililitros necesarios para concentración **V2**

Concentración de polímero **C2** 350 ppm de polímero

$$Q1Q1 = Q2Q2$$

$$\frac{1000 QQ}{1000 QQQ} * \frac{350QQQ}{Q2}$$

$$Q2 = 350QQ$$

Se realizaron 10 soluciones correspondientes a cada polímero del cual se tomó una muestra de 350 ml para la prueba de jarras

Y se sigue el procedimiento similar para el cálculo de las siguientes concentraciones.

- **Solución de polímero de 300ppm**

Siguiendo el proceso anterior se realizaron 10 soluciones correspondientes a cada polímero del cual se tomó una muestra de 250 ml para la prueba de jarras.

- **Solución de polímero de 250ppm**

Se realizaron 10 soluciones correspondientes a cada polímero del cual se tomó una muestra de 250 ml para la prueba de jarras.

1.2. Resultados de pruebas de Jarras.

Se realizó una prueba con todos los polímeros inicialmente, realizando una evaluación de del tiempo de formación del flóculo, del tamaño y forma. Seguidamente de una medición de la turbiedad y pH.

En la tabla 9 se puede visualizar la prueba de jarras utilizando todos los polímeros adquiridos por la planta de tratamiento de lodos de Tixán, en los cuales por los cálculos realizados previamente para las soluciones a preparar se partió con la de 350 ppm, siendo esta la mayor concentración utilizada para analizar el proceso de floculación en cuanto a tiempo de formación de flóculos, características físicas.

Tabla 9 Características del floculo de todos los polímeros en la prueba de jarras.

PREPARACION DE SOLUCIONES		Observaciones: 300 RPM									
1L -1000 ppm		Paestrol	Sanica 55	Adefloc	11	Quimipac 7110	Floculan te cat 96	Quemifloc 1020 pwc	Quemifloc 1021 pwc	Floculante aniónico	Quimipac 7110 7
Concentración	Volumen	Peso: 1 gramo									
350ppm	350 ml	Buen floculo pero más pequeños , agua limpia	Flóculos dispersos, agua limpia	Formo buenos floculos, agua limpia	No forma aglomeraciones, Flóculos pequeños agua limpia	Forma Flóculos pero muy pequeños	Forma flóculos buenos inicialmente pero en un minuto empieza a formar una mezcla del agua y lodo	Forma flóculos buenos en un tiempo más largo	Formación de flóculos en un tiempo largo	Floculo muy rápido y luego simplemente se formó una mezcla homogénea con alta humedad pasado los dos minutos.	Flóculos grandes no aglomera mucho, agua limpia

Fuente: Autoras.

A continuación, se realizó un análisis de turbiedad y de pH de todos los polímeros utilizados con la concentración de 350 ppm.



Tabla 10. Turbiedad y pH final en las pruebas de jarras.

Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH
Velocidad de agitación. (rpm)	300	1	Paestrol 650 tr	5	6.95
		2	Sanica 55	8	6.79
Tiempo. (min)	10	3	Adefloc	4	7.05
		4	Quimipac 7110	9	6.60
Dosis de polímero (ppm)	350	5	Floculante cat 96	22	6.21
		6	Quemifloc 1020 pwc	5	6.86

Fuente: Autoras.

Tabla 11. Turbiedad y pH de todos los polímeros.

Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH
Velocidad de agitación. (rpm)	300	1	11	15	6.42
		2	Quemifloc 1021 pwc	10	6.56
Tiempo. (min)	10	3	Floculante aniónico	11	6.86
		4	Quemipac 71107	6	6.75
Dosis de polímero (ppm)	300				

Fuente: Autoras.

Se escoge los seis polímeros con mejores resultados de turbiedad, pH, y formación del floculo, con los cuales se hacen experimentaciones variando la concentración entre 350-300-250 y 200 ppm, para poder ir analizando frente a diferentes parámetros el comportamiento de cada polímero, para así obtener resultados precisos de los polímeros a ser utilizados en la planta.



Tabla 12. Características de los flóculos de los seis mejores polímeros.

PREPARACION DE SOLUCIONES		Observaciones: 300 RPM					
1L -1000 ppm		Paestrol	Quimipac 7110	Quemifloc 1020 pwc	Adefloc	Sanica 55	Quimipac 7110 7
Concentraciób	Volumen	Peso: 1 gramo					
350ppm	350 ml	A los primeros dos minuto no floclula rápidamente, al pasar los cinco minutos empieza a formas flóculos y aglomeracione s muy buenas	Forma flóculos pero muy pequeños	Forma flóculos muy pequeños , en un tiempo corto	Con esta dosis forma buenos y los mejores flóculos pero al pasar más de dos minutos se vuelve una mezcla homogénea	Con esta dosis forma pequeños flóculos pero al pasar más de dos minutos se vuelve una mezcla homogénea	Floclula bien no es el mejor pero floclula a los dos minutos pero los seis minutos este empieza a formar una mezcla homogénea
250ppm	250 ml	A los cinco minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	Forma flóculos pero muy pequeños	Forma flóculos muy pequeños y en un tiempo más largo	A los 5 minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	A los 5 minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	A los dos minutos ya floclula muy bien, formando flóculos grandes y aglomeración
PREPARACION DE SOLUCIONES		Observaciones: 250 RPM					
1L -1000 ppm		Paestrol	Quimipac 7110	Quemifloc 1020 pwc	Adefloc	Sanica 55	Quimipac 7110 7
Concentración	Volumen	Peso: 1 gramo					
300ppm	300 ml	Flóculos pequeños, dispersos entre sí. Floclula rápidamente	Floclulo más grande y compacto, homogéneo. Demora en el tiempo de floclulación	Flóculos pequeños, pequeños grupos aglomerados. Floclula a los 5 minutos	Buenos flóculos, grandes y en suspensión . Agua con poca turbiedad	Poca eficiencia en la floclulación, siendo casi nula la formación de flóculos	Nula floclulación, agua con alta turbiedad, lodos aun espesados.
200ppm	250 ml	A los cinco minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	Forma flóculos pero muy pequeños	Forma flóculos muy pequeños y en un tiempo más largo	A los 5 minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	A los 5 minutos ya todos empiezan a floclular, flóculos pequeños sin aglomeracione s	A los dos minutos ya floclula muy bien, formando flóculos grandes y aglomeración



PREPARACION DE SOLUCIONES		Observaciones: 250 RPM					
1L -1000 ppm		Paestrol	Quimipac 7110	Quemifloc 1020 pwc	Adefloc	Sanica 55	Quimipac 7110 7
Concentración	Volumen	Peso: 1 gramo					
300ppm	100 ml	Flóculos pequeños, dispersos entre sí. Flocula rápidamente	Floculo más grande y compacto, homogéneo. Demora en el tiempo de floculación	Flóculos pequeños, pequeños grupos aglomerados. Flocula a los 5 minutos	A mayor revolución, mejor mezcla y mayor formación de floculo, agua con baja turbiedad	Flóculos pequeños, no tan compactados, agua con turbiedad alta.	Mejoro la floculación en cierto grado, aun así no se aprecia la formación de buenos flóculos. Agua con elevada turbiedad

Fuente: Autoras.

A continuación, se realiza el análisis de turbiedad y pH de los polímeros analizados con los parámetros correspondientes a los experimentos realizados.



Tabla 13. Turbiedad, pH, Índice de Willcomb.

DATOS DE OPERACIÓN INICIAL		JARRA N°	POLÍMERO	TURBIEDAD (NTU)	PH	ÍNDICE DE WILLCOM BS
Velocidad de agitación. (rpm)	300	1	Paestrol 650 tr	3	7.00	10
		2	Sanica 55	7	6.76	6
Tiempo. (min)	5	3	Adefloc	3	7.55	10
		4	Quimipac 7110	8	6.45	6
Dosis de polímero (ppm)	350	5	Quemipac 71107	6	6.57	6
		6	Quemifloc 1020 pwc	5	6.68	8
Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH	
Velocidad de agitación. (rpm)	300	1	Paestrol 650 tr	4	6.69	10
		2	Sanica 55	8	6.76	4
Tiempo. (min)	10	3	Adefloc	5	7.25	8
		4	Quimipac 7110	8	6.45	4
Dosis de polímero (ppm)	250	5	Quemipac 71107	6	6.57	6
		6	Quemifloc 1020 pwc	5	6.68	8
Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH	
Velocidad de agitación. (rpm)	250	1	Paestrol 650 tr	4	7.00	8
		2	Sanica 55	15	6.76	0
Tiempo. (min)	5	3	Adefloc	5	7.25	8
		4	Quimipac 7110	8	6.45	4
Dosis de polímero (ppm)	300	5	Quemipac 71107	20	6.57	0



Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH	
Velocidad de agitación. (rpm)	250	1	Paestrol 650 tr	4	6.57	8
		2	Sanica 55	20	6.76	0
Tiempo. (min)	5	3	Adefloc	4	7.34	10
		4	Quimipac 7110	8	6.45	6
Dosis de polímero (ppm)	200	5	Quemipac 71107	30	6.57	0
		6	Quemifloc 1020 pwc	5	6.68	4
Datos de operación inicial		Jarra N°	Polímero	Turbiedad (NTU)	pH	
Velocidad de agitación. (rpm)	100	1	Paestrol 650 tr	5	6.89	8
		2	Sanica 55	20	6.72	0
Tiempo. (min)	10	3	Adefloc	5	7.15	8
		4	Quimipac 7110	14	6.45	0
Dosis de polímero (ppm)	300	5	Quemipac 71107	10	6.87	2
		6	Quemifloc 1020 pwc	6	6.45	4

Fuente: Autoras.

De todos los polímeros que fueron analizados, dos de ellos fueron los que obtuvieron mejores resultados por sus características el momento de la floculación y la clarificación del agua al final de la prueba, estos fueron Paestrol, Quimipac y Adefloc

En la primera experimentación realizada con diez floculantes diferentes, a 300 revoluciones por minuto, se hizo con dos dosificaciones las cuales están en el rango utilizado actualmente en la planta de Tixán, de los diez floculantes se eligieron seis de ellos según los resultados obtenidos para someterlos a otra prueba de jarras variando parámetros acercándolos más a las condiciones de la planta actuales.



Paestrol el cual en una concentración de 350 ppm en un tiempo de 1 minuto con 30 segundos empezó ya a formar flóculos consistentes, por lo que este floculante es de acción rápida en la mezcla a revoluciones también rápidas, pasado los dos minutos los flóculos se desintegran y se forma una mezcla homogénea esto pudo darse por el mezclado rápido que estaba dándose en la mezcla. Por lo que en las siguientes experimentaciones se bajó la velocidad de mezclado dentro del rango utilizado en la planta de Tixán para obtener resultados más óptimos con este floculante que mostro buenos resultados.

En cuanto al floculante Adefloc la formación de flóculos se da a un tiempo de tres minutos, lo cual es bueno en cuanto a la optimización del tiempo, los flóculos formados son de buen tamaño por lo que existe una total separación eficiente del lodo y el agua, pero relacionándole también con la mezcla rápida que se está dando se escoge por su rápida floculación para un próximo uso en la planta de Tixán.

Por último, se realiza el análisis de turbiedad, pH y el índice de Willcomb de los dos polímeros con mejores resultados para así dejar establecido el posible uso de cualquiera de estos dos para la preparación futura del polielectrolito en la PTAP de Tixán, actualmente se utiliza el Paestrol 650 tr, con cada una de sus características y parámetros de operación.

1.3. Valores de dosis óptima de polímero con los mejores resultados de turbiedad, pH, formación de flóculo.

Tabla 14. Valores óptimos de pruebas de jarras.

Polímero	Dosis óptima	Turbiedad final (NTU)	pH	Índice de Willcomb	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de agitación (min)
Paestrol 650 tr	350	3	7.00	10	300	5
Adefloc	350	3	7.55	10	300	5
Paestrol 650 tr	250	4	6.69	10	300	10
Adefloc	250	5	7.25	8	300	10

Fuente: Autoras.



$$\frac{Q_{QQQ} Q_{QQQ}}{Q_Q} = \frac{100Q}{2000} = 0.05$$

$$\frac{Q_Q Q_Q}{Q.QQQQQ} = \frac{Q * Q * Q * Q_{QQQ} Q_{QQQ} * Q_{QQQ} * Q_{QQQ}}{Q_{QQQQQQQ}}$$

Fuente: (INEN, 2013)

$$\frac{Q_Q Q_Q}{Q.QQQQQ} = \frac{1.1Q_Q + 0.02Q + 1.03 + 0.05Q_{QQ} + 1000 + 1000}{50Q_Q}$$

$$\frac{Q_Q Q_Q}{Q.QQQQQ} = Q_{QQ} \frac{Q_Q}{Q_{QQQQ}}$$

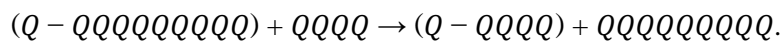
ACIDEZ MINERAL: Negativo

- ✓ Se realizó la determinación de la alcalinidad y acidez las cuales son propiedades físico químicas del agua.
- ✓ Basándonos en la norma INEN los resultados obtenidos son bastante aceptados porque están dentro de los parámetros del límite máximo permisible que son 120 ppm para bicarbonatos y 350 para bicarbonatos.
- ✓ En cuanto a la acidez mineral este tipo de agua no posee una acidez mineral que pueden ser por la escases de iones como Fe y Al disueltos en el agua.

2.3. Dureza total

La determinación de dureza se llevó a cabo en base a la NORMA INEN 974 (INEN, 2014)

REACCION:



Rojo o rosado.

Indicador

Azul.

Fuente (Ayora, 2009).



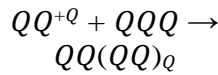
$$D_{Mg} = \frac{Q * Q * Q * Q * Q * Q * Q * Q * 1000 * 1000}{Q} = \frac{Q}{Q * Q * Q * Q * Q}$$

Fuente: (INEN, 2014)

$$D_{Mg} = \frac{7.5 Q + 0,02 Q + 1,10 + 0,05 Q + 1000 Q + 1000 Q}{50 Q} = 165 Q / Q * Q * Q * Q * Q$$

Dureza magnésica

REACCION:



Fuente (Ayora, 2009)

$$D_{Mg} = D_T - D_C$$

$$D_{Mg} = 198 \text{ mg/L} - 165 \text{ mg/L}$$

$$D_{Mg} = 33 \text{ mg/L CaCO}_3$$

La dureza total de la muestra de agua nos da un agua dura ya que su valor esta superior de 75 mg/L CaCO₃ es decir que en nuestra agua hay cantidad de sales disueltas, tiene una concentración considerada de cloruros y de iones calcio y magnesio, por esta propiedad el resultado concuerda con la procedencia de nuestra muestra, se debe tener en cuenta que nuestra agua puede servir posteriormente para consumo humano debido a su cantidad moderada de sales y la dureza que contiene.

Comparando la alcalinidad con la dureza total:

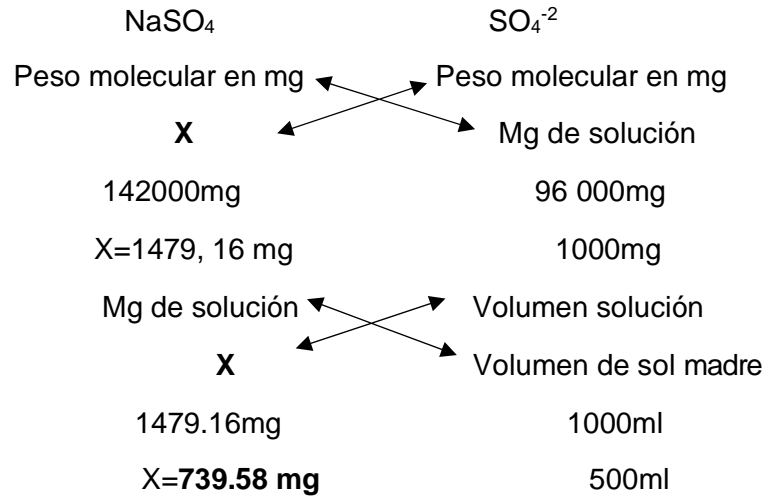
La alcalinidad fue de 22.66 mg/L CaCO₃ y la dureza total de 198 mg/L CaCO₃ por lo que la dureza total es mayor a la alcalinidad lo que significa que la todo lo relacionado con alcalinidad total será equivalente a dureza de carbonatos y lo sobrante corresponde a la dureza de bicarbonatos.



2.4. Sulfatos

La determinación de sulfatos se realizó en base a la NORMA INEN 978 (INEN, 2014)

○ **Preparación de la solución 1000 ppm**



Se debe pesar **0,739g** de la sal de NaSO_4 para preparar la solución madre de 1000ppm de NaSO_4 .

$$Q1 Q1 = Q2 Q2$$

Fuente: (A. Orellana, 2005)

$$1000 \cdot Q1 = 100 Q Q Q \cdot 100 Q Q$$

Tomamos de la solución madre $V1=10$ ml y aforamos a 100 ml.

○ **Preparación de los patrones**

Por ejemplo, para la de 1 ppm:

$$C1V1=C2V2$$

$$100\text{ppm} \cdot V1 = 10\text{ppm} \cdot 100\text{ml}$$

$$V1 = 1\text{ml}$$

1ml	1ppm
5ml	5ppm
10ml	10ppm
15ml	15ppm



20ml	20ppm
30ml	30ppm
40ml	40ppm

Curva de calibración de la absorbancia contra las ppm de SO_4^{2-}

Se despreció los valores de 5ppm y 20ppm, ya que se tuvo errores en la medición por la calidad del reactivo utilizado de cloruro de bario en el laboratorio de la universidad de Cuenca.

Tabla 16. Datos espectrofotómetro.

CONCENTRACIÓN (PPM)	ABSORBANCIA
0	0
1	0.011
5	-
10	0.047
15	0.093
20	0.072
30	0.1
40	0.164
50	0.081

Fuente: Autores.

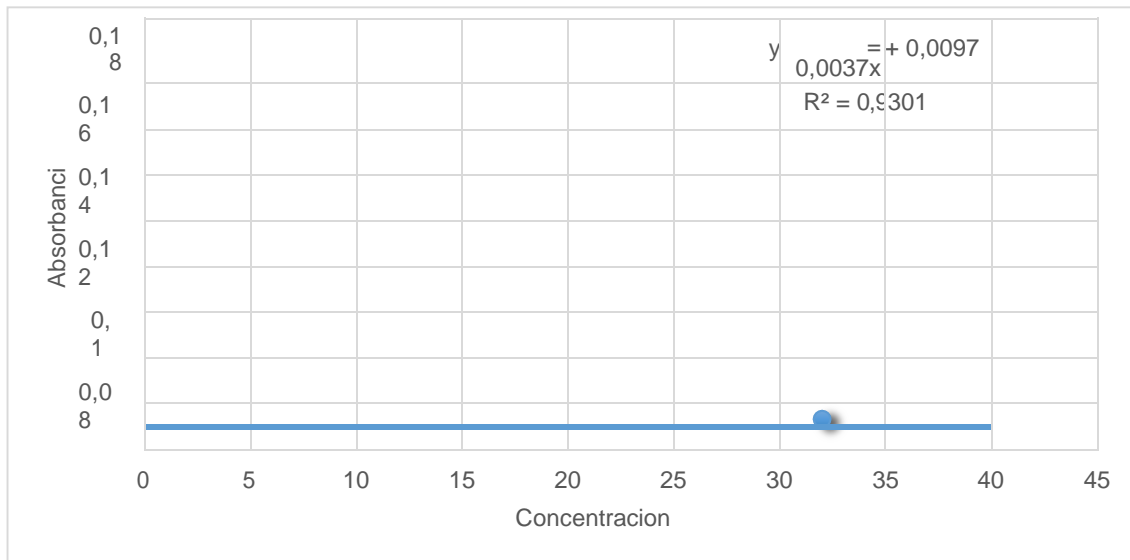


Ilustración 9. Curva espectrofotometro.

Fuente: Autores.

La absorbancia de la muestra fue: **0.10**

Introduciendo este valor en Y tenemos:

$$y = 0.0037x + 0.0097$$

$$x = 24.40 \text{ ppm}$$

$$\frac{0.10 - 0.0097}{0.0037} = \frac{0.0903}{0.0037}$$

$$\frac{\text{Meq.}}{1} \text{ de SO}_4 = \frac{24.40}{48} = 0.50$$

- **Calculo de límite de detección**

$$\text{Absorbancia} = \text{absorbancia}_0 + (3 \cdot \text{varianza})$$

$$\text{Absorbancia} = 0.0097 + (3 \cdot 0.007) = 0.0307$$



Límite de detección de sulfato = 5.67 ppm

- **Calculo de límite de cuantificación**

$$QQQQQQQQQQ = QQQQQQQQQQ + (10 \cdot QQQQQQQQ)$$

$$QQQQQQQQQQ = 0.0097 + (10 \cdot 0.007) = 0.0797$$

Límite de cuantificación de sulfato = 18.91 ppm

Los 7 patrones fueron preparados a partir de la solución madre 100 ppm

En la estandarización de la curva de calibración se eliminó 2 datos (5-20.-50 ppm); los dos datos debido estos dos producen un grado de correlación bajo.

El resultado de la concentración de sulfatos en el agua indica que esta agua contiene una concentración de sulfatos por debajo de los límites permitidos y por lo tanto es apta para el consumo humano, según la norma INEN 1 108:2006 de los requisitos de agua potable la cantidad de sulfatos máxima permisible es de 200mg/l por lo que el agua que obtenemos si es apta para el consumo si posteriormente se la trata así que su calidad en cuanto a la concentración de sulfatos esta adecuada.

Con lo obtenido en el límite de cuantificación puede cuantificar una concentración de 18.91 ppm por lo que pudo cuantificar la concentración de sulfato de nuestra muestra que fue de 9 ppm.

Esta cuantificación se basa en:



Para que se lleve a cabo la reacción se hace en medio ácido HCl y la solución acondicionadora ayuda a que la turbiedad provocada por los sulfatos se mantenga estable y ayuda a tener más tiempo en suspensión y así tener más tiempo para realizar la lectura.

Para la realización de este método se usó HCl al 10 % con glicerina al que se le llama solución acondicionadora.



- ✓ La muestra de agua no presenta un alto valor en cloruros por lo que no provocaría daños en las cañerías no sería perjudicial, pero sobre los 250 mg/l si lo sería, La presencia de cloruros en el agua se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados.
- ✓ El valor obtenido es de 35.45 mg/l de cloruros en el agua la cual para agua potable es menos el límite máximo permisible es de 250 mg/l, por lo que el sabor del agua debe ser bueno ya que por no ser alto no tiene un sabor salado.

Tabla 17. Resultados Análisis Químico.

ANALISIS QUIMICO	
Alcalinidad total	63.72 ppm CaCO ₃
Acidez total	22.66 ppm CaCO ₃
Acidez mineral	Negativo
Dureza	198 ppm CaCO ₃
Ca ⁺⁺	165 ppm CaCO ₃
Mg ⁺⁺	33 ppm CaCO ₃
Aluminio libre	1.7 ppm
Manganeso	
Cloruros	35.45 ppm
Sulfatos	24 ppm
OXIGENO DISUELTO	11.34 ppm

Fuente: Autoras.



3. Análisis de lodos parámetros físicos y químicos.

3.1. Humedad:

Tabla 18. Resultado de humedad en Termobalanza.

HUMEDAD INICIAL DE LA PLANTA	PORCENTAJE
Humedad inicial de la planta	57.6%
Humedad con parámetros estandarizados	40%
Eficiencia estandarización	30,55 %

Fuente: Autoras.

Se analizó la humedad en el equipo de la planta de lodos de Ucubamba en donde se obtuvo un porcentaje de humedad del 40% con las estandarizaciones ya realizadas por el presente trabajo de experimentación realizado, hace años atrás cuando se realizó la determinación de humedad en el año 2010 se determinó una humedad del 47.6%, por lo que se puede ver la mejoría en cuanto al lodo que se obtiene luego de todo el proceso de deshidratación con los parámetros anteriormente establecidos.

Porcentaje de remoción de lodos.



CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

1. PRUEBA DE JARRAS

Selección del polímero:

En la primera experimentación realizada con diez floculantes diferentes, a 300 revoluciones por minuto, se hizo con dos dosificaciones las cuales están en el rango utilizado actualmente en la planta de Tixán, de los diez floculantes se eligieron cinco de ellos según los resultados obtenidos para someterlos a otra prueba de jarras variando parámetros acercándolos más a las condiciones de la planta actuales.

Paestrol el cual en una concentración de 350 ppm en un tiempo de 1 minuto con 30 segundos empezó ya a formar flóculos consistentes, por lo que este floculante es de acción rápida en la mezcla a revoluciones también rápidas, pasado los dos minutos los flóculos se desintegran y se forma una mezcla homogénea esto pudo darse por el mezclado rápido que estaba dándose en la mezcla. Por lo que en las siguientes experimentaciones se bajó la velocidad de mezclado dentro del rango utilizado en la planta de Tixán para obtener resultados más óptimos con este floculante que mostró buenos resultados.

En cuanto al floculante Adefloc la formación de flóculos se da a un tiempo de tres minutos, lo cual es bueno en cuanto a la optimización del tiempo, los flóculos formados son de buen tamaño por lo que existe una total separación eficiente del lodo y el agua, pero relacionándole también con la mezcla rápida que se está dando se escoge por su rápida floculación para un próximo uso en la planta de Tixán.

Según las pruebas de jarras realizadas se escoge el polímero Paestrol 650 tr debido a que da la mejor formación de floculo al separarlo del agua dando una turbiedad bastante buena de 3 NTU, la misma que cumple con los parámetros del libro TULSMA ANEXO 1 para descargar de agua a un cuerpo de agua dulce, pues el agua luego de la deshidratación se dirige al cauce del rio Machángara.

En cuanto a pH, se prefiere los valores cercanos a 7, donde se observa que la concentración del polímero no afecta al pH del agua, en cambio en el polímero Adefloc se observa una elevación del pH, lo que puede ser un problema al usar el polímero dentro de la planta.



El polímero Paestrol se adapta a las condiciones actuales de operación de la planta.

Luego de las pruebas de jarras se realizó una prueba a escala a real con las condiciones óptimas de operación.

2. Análisis químico y físico del agua.

Los resultados obtenidos en el análisis químico y físico del agua se analizaron con el TULSMA (descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce)

A continuación, se presenta los resultados obtenidos mediante el análisis físico y químico realizado en el laboratorio de la Universidad de Cuenca.

Tabla 19. Resultados análisis físico y químico.

ANALISIS FISICO		NIVELES PERMITIDOS
pH	6.7	65-8-5
TEMPERATURA	20°C	Condiciones naturales + 3 Máxima 20
TURBIEDAD	3.87 NTU	20 NTU
COLOR APARENTE	2.5 UC	
COLOR REAL	0.6 UC	
CONDUCTIVIDAD	70 Us	
SOLIDOS S TOTALES	105 ppm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	25 ppm	1000 ppm
SOLIDOS SUSPENDIDOS	80 ppm	
ANALISIS QUIMICO		
Alcalinidad total	63.72 ppm CaCO ₃	
Acidez total	22.66 ppm CaCO ₃	
Acidez mineral	Negativo	
Dureza	198 ppm CaCO ₃	
Ca ⁺⁺	165 ppm CaCO ₃	
Mg ⁺⁺	33 ppm CaCO ₃	
Aluminio libre	1.7 ppm	0.1ppm
Manganeso		
Cloruros	35.45 ppm	250 ppm
Sulfatos	24 ppm	400 ppm
OXIGENO DISUELTO	11.34 ppm	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l

Fuente: Autoras.



3. **Manual de funcionamiento y mantenimiento de la planta de lodos de Tixán**

Se elaboró el manual de funcionamiento y mantenimiento el cual una vez finalizado fue aprobado por la empresa y entregado. Una vez estandarizado todos los valores y parámetros como se indica en el ANEXO 1



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El proceso de la planta de tratamiento de lodos de Tixán se estandarizó y optimizó para disminuir su líquido libre, sólidos volátiles y conseguir un lodo homogéneo para su posterior manejo y disposición, el trabajo experimental fue realizado en cada etapa del proceso de deshidratación de lodos desde la recepción del agua, decantación, espesamiento, preparación del polielectrolito, floculación, filtración y posterior reserva en las tolvas hasta su descarga final, cada uno de los parámetros en las operaciones analizadas fueron comprobados favorablemente, mejorando así la calidad de lodo final, de un 57.6% de humedad se logró reducir la misma a un 40.00%, con el polímero de menor costo que es el Paestrol actualmente utilizado en la PTAP, al reducir la humedad del lodo y mejorar su deshidratación el volumen de los lodos disminuyó por lo que esto ayuda mucho a su posterior descarga y almacenaje en el relleno sanitario que llega así a afectar al ambiente que lo rodea, el agua que se descarga al río fue analizada para así comprobar que este no contamine el medio ambiente.

Las variables que intervienen en el proceso de deshidratación de lodos fueron estandarizadas y optimizadas, cada una de las variables fueron analizadas con variaciones en los parámetros en los que se operaba cada proceso, para así poder determinar el mejor y óptimo valor o cantidad, potencia, velocidad y dosificación para las diferentes operaciones que se realizan.

El polímero para el proceso de floculación fue seleccionado realizando experimentaciones con 10 polímeros mediante prueba de jarras, de los cuales se escogieron dos que tuvieron excelentes resultados, uno de ellos Paestrol es el que actualmente se utiliza en la planta de lodos de Tixán y la dosis óptima que es de 15.56 g de polímero, esto se obtuvo mediante la curva de dosificación de los ensayos en pruebas de jarras.

El porcentaje óptimo de humedad en el proceso de deshidratación de lodos el cual es de 40.00% es determinado una vez estandarizado todo el proceso.

El agua obtenida en el proceso de deshidratación cumple con los límites permisibles y criterios de calidad de la normativa legal vigente (TULSMA) para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, que analizada mediante un análisis físico obteniendo un valor de pH de 6.7, 3.87 NTU de turbiedad y 25 ppm de sólidos totales disueltos, en el análisis químico se analizó aluminio, cloruros y sulfatos 0.1ppm, 250 ppm y 400 ppm respectivamente, ambos análisis se llevaron a cabo en laboratorios especializados.



El manual de procedimiento y capacitación del personal de la planta de tratamiento de lodos, una vez estandarizado todos los valores y parámetros se realizó como se indica en el ANEXO 1 con la presencia de operarios para que puedan analizar cada proceso y el objetivo de cada uno así también se dejó en disposición de la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán el manual para su posterior uso con cada proceso estandarizado y optimizado con buenos resultados reflejados en el porcentaje de humedad obtenido de lodos al final de todas las operaciones.



BIBLIOGRAFIA:

1. Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación*. EDITUM.
2. Báez, O., & Fernanda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>
3. Barros, J., & Gabriela, J. (2017). *Recuperación de sulfato de aluminio de los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable de Baños sector Cochapamba, Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28485>
4. Caldera Villalobos, M. (2019). *Síntesis de polielectrolitos mediante modificación química de polímeros naturales y sintéticos*.
<http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/2330>
5. Cosme Marticorena, O. L., & Zevallos Osore, E. A. (2017). *Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa. Universidad Nacional del Centro del Perú*.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3794>
6. Costablanca, P., & Orihuela, S. A. A. (n.d.). *EFFECT OF SEWAGE SLUDGE DEWATERING METHODS ON HELMINTH EGGS PRESENCE. PRESENCE AND VIABILITY IN COMPOSTING PLANTS*. 21.
7. Estrada, L. M. R., Córdoba, J. D. S., & Quirama, J. F. R. (2011). *Evaluación de las propiedades floculantes de Malvaviscus arboreus, Heliocarpus popayanensis e Hylocereus undatus para clarificación de aguas. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2(2), 33–42*. <https://doi.org/10.22490/21456453.924>



8. Gallardo, B., & Alejandra, M. (n.d.). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Retrieved March 2, 2021, from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5609>
9. Gallo Ramírez, J. A., & Uribe Hurtado, J. C. (2019). *Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2842>
10. González Cedeño, G. A., & Prado Pincay, L. E. (2019). *Elaboración de equipo piloto a escala para el tratamiento de lodos residuales para determinar el porcentaje de humedad y la eficiencia del método* [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42636>
11. Guerrero, W. F., & Yanza Bravo, D. A. (2014). Evaluación de la mezcla rápida en una canaleta Parshall mediante pruebas de jarras. *Contiene 27 referencias bibliográficas. Véase el documento adjunto*. <http://repositorio.minciencias.gov.co/handle/11146/21917>
12. Lozada, P. T., Vélez, C. H. C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 8(Extra 15), 3.
13. Mamani, J. V., & Chamorro, R. A. M. (2013). Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Revista de Investigación Universitaria*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.17162/riu.v2i2.34>
14. Marca Corrales, M. E., & Orellana Pinos, X. E. (2018). Optimización de los procesos de potabilización de agua en la planta de tratamiento de agua de Tixán-ETAPA.



instname:Universidad de Cuenca.

<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1116241>

15. Ortiz, C. A., Pérez L., H., & Sánchez, L. (1982). Características de los procesos en la planta; floculación. *Curso sobre Evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas*, D1–D16.
16. Osorno, R., & Alonso, H. (2019). *Evaluación del proceso de coagulación—Floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
17. Pintado, P., & Rafael, J. (2018). *Elaboración de ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30268>
18. Puentes, G., & Alejandro, N. (2019). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2841>
19. Quirós, F. R. (2008). *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable*. 7.
20. Ramos, M. M. F. dos. (2011). *Análise comparativa de sistemas de desidratação para ETAR caso de estudo: Centrífugas versus filtros banda* [MasterThesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia]. <https://run.unl.pt/handle/10362/7506>
21. Rodríguez, C. (2008). *Uso Y Control Del Proceso De Coagulación En Plantas De tratamiento de agua potable*. 28–29.
22. Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749–756.
23. Rosero, J. A. G., Fajardo, Á. I. R., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua.



- Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13–27.
<https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
24. Rosero, J. A. G., Fajardo, Á. I. R., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2015). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías*, 13(25), 13–27. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
 25. Sasia, P. M. (n.d.). *POLIMEROS DE ACRILAMIDA Y COPOLIMEROS DERIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS*. 11.
 26. Universidad Tecnológica de Pereira, Gutiérrez-Rosero, J. A., Ramírez-Fajardo, Á. I., Universidad Tecnológica de Pereira, Rivas, R., Grupo de Investigación Aguas & Aguas de Pereira, Linares, B., Grupo de Investigación Aguas & Aguas de Pereira, Paredes, D., & Universidad Tecnológica de Pereira. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13–27. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
 27. Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación*. EDITUM.
 28. Báez, O., & Fernanda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>
 29. Barros, J., & Gabriela, J. (2017). *Recuperación de sulfato de aluminio de los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable de Baños sector Cochabamba, Cuenca*.
 1. Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación*. EDITUM.



2. Báez, O., & Fernanda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS.* <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>
3. Barros, J., & Gabriela, J. (2017). *Recuperación de sulfato de aluminio de los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable de Baños sector Cochapamba, Cuenca.* <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28485>
4. Caldera Villalobos, M. (2019). *Síntesis de polielectrolitos mediante modificación química de polímeros naturales y sintéticos.* <http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/2330>
5. Cosme Marticorena, O. L., & Zevallos Osoreo, E. A. (2017). *Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa. Universidad Nacional del Centro del Perú.* <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3794>
6. Costablanca, P., & Orihuela, S. A. A. (n.d.). *EFFECT OF SEWAGE SLUDGE DEWATERING METHODS ON HELMINTH EGGS PRESENCE. PRESENCE AND VIABILITY IN COMPOSTING PLANTS.* 21.
7. Estrada, L. M. R., Córdoba, J. D. S., & Quirama, J. F. R. (2011). *Evaluación de las propiedades floculantes de Malvaviscus arboreus, Heliocarpus popayanensis e Hylocereus undatus para clarificación de aguas. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2(2), 33–42.* <https://doi.org/10.22490/21456453.924>
8. Gallardo, B., & Alejandra, M. (n.d.). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas*



- residuales*. Retrieved March 2, 2021, from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5609>
9. Gallo Ramírez, J. A., & Uribe Hurtado, J. C. (2019). *Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2842>
 10. González Cedeño, G. A., & Prado Pincay, L. E. (2019). *Elaboración de equipo piloto a escala para el tratamiento de lodos residuales para determinar el porcentaje de humedad y la eficiencia del método* [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42636>
 11. Guerrero, W. F., & Yanza Bravo, D. A. (2014). Evaluación de la mezcla rápida en una canaleta Parshall mediante pruebas de jarras. *Contiene 27 referencias bibliográficas. Véase el documento adjunto*. <http://repositorio.minciencias.gov.co/handle/11146/21917>
 12. Lozada, P. T., Vélez, C. H. C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 8(Extra 15), 3.
 13. Mamani, J. V., & Chamorro, R. A. M. (2013). Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Revista de Investigación Universitaria*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.17162/riu.v2i2.34>
 14. Marca Corrales, M. E., & Orellana Pinos, X. E. (2018). Optimización de los procesos de potabilización de agua en la planta de tratamiento de agua de Tixán-ETAPA. *instname:Universidad de Cuenca*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1116241>



15. Ortiz, C. A., Pérez L., H., & Sánchez, L. (1982). Características de los procesos en la planta; floculación. *Curso sobre Evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas*, D1–D16.
16. Osorno, R., & Alonso, H. (2019). *Evaluación del proceso de coagulación—Floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
17. Pintado, P., & Rafael, J. (2018). *Elaboración de ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30268>
18. Puentes, G., & Alejandro, N. (2019). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2841>
19. Quirós, F. R. (2008). *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable*. 7.
20. Ramos, M. M. F. dos. (2011). *Análise comparativa de sistemas de desidratação para ETAR caso de estudo: Centrífugas versus filtros banda* [MasterThesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia]. <https://run.unl.pt/handle/10362/7506>
21. Rodríguez, C. (2008). *Uso Y Control Del Proceso De Coagulación En Plantas De tratamiento de agua potable*. 28–29.
22. Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749–756.
23. Rosero, J. A. G., Fajardo, Á. I. R., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13–27. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>



24. Rosero, J. A. G., Fajardo, Á. I. R., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2015). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías*, 13(25), 13–27. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
25. Sasia, P. M. (n.d.). *POLIMEROS DE ACRILAMIDA Y COPOLIMEROS DERIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS*. 11.
26. Universidad Tecnológica de Pereira, Gutiérrez-Rosero, J. A., Ramírez-Fajardo, Á. I., Universidad Tecnológica de Pereira, Rivas, R., Grupo de Investigación Aguas & Aguas de Pereira, Linares, B., Grupo de Investigación Aguas & Aguas de Pereira, Paredes, D., & Universidad Tecnológica de Pereira. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13–27. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a1>
27. Chulluncuy, Nadia. (2011). *Agua para consumo humano*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>
28. EP, E. (2005). *Planta de tratamiento de agua potable de Tixán*. Cuenca.
29. EP, E. (2015). *Ampliación de la planta de tratamiento de agua de Tixán*. Cuenca.
30. Equipos y Laboratorio de Colombia. (2011). *FLOCULADOR*. Obtenido de https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3452
31. Fausto, G. (2015). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23008>
32. Felipe, S., & Juan, M. (2002). *Desinfección del agua*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MEN DEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf



33. Fernandez, I. (2017). *Polimero en solucion*. Obtenido de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/fernandez.pdf>
34. *Filtro banda*. (s.f.). Obtenido de <http://eathisa.com/productos/filtro-de-banda/#:~:text=Un%20filtro%20banda%20es%20un,y%20un%20posterior%20prensa do%20progresivo.&text=Un%20filtro%20banda%20se%20fundamenta,y%20lavado%20de%20las%20telas>.
35. Gutierrez, J. (2014). *Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilizacion de agua*. Medellín.
36. *Hidritec*. (2010). Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/decantadores/#:~:text=La%20decantaci%C3%B3n%20es%20un%20m%C3%A9todo,agua%20clarificada%20en%20la%20superficie.&text=El%20empleo%20de%20un%20floculante,suspensi%C3%B3n%20presentes%20en%20el%20agua>.
37. *LabProcess*. (2015). Obtenido de <https://www.labprocess.es/instrumentos-de-laboratorio/agitadores-de-laboratorio>
38. Moro, T. (Marzo de 2018). Obtenido de <https://www.tomasmoro.ec/la-importancia-del-agua-para-la-vida/>
39. Perez de la Cruz, F. (2011). *Universidad Politecnica de Cartagena*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
40. *RAE*. (s.f.). Obtenido de <https://dle.rae.es/compresi%C3%B3n>
41. Restrepo, H. (2009). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/11051313.pdf>
42. Rodriguez, C. (2008). *Uso y control del proceso de coagulacion en PTAP*. Sincelejo.



43. Rojas, J. (2015). *Modelamiento de los sistemas de potabilización del agua*. Cuenca.
44. Romero, M. (2008). *Tratamientos utilizados en poabilizacion de agua*. Guatemala.
45. transporte, B. d. (2018). Obtenido de <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/bomba-transporte-116820.html>
46. UCLM. (2018). *Coagulación-Floculación*. Obtenido de http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf
47. Vasconez, D. (2013). *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1500/1/T-UCE-0017-40.pdf>
48. Williams, R. (2019). Obtenido de [https://www.mclanahan.com/es/blog/espesador-o-Clarificador-cu%C3%A1l-es-la-diferencia](https://www.mclanahan.com/es/blog/espesador-o-clarificador-cu%C3%A1l-es-la-diferencia)
49. A. Orellana, J. (2005). *Tratamiento de las aguas*. Ibarra.
50. Bermeo, A. (2014). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20868/1/Tesis.pdf>
51. Burbano, L., & Sanchez, L. (2012). *Universidad del Valle*. Obtenido de <http://bvspers.paho.org/texcom/cd050704/burbano.pdf>
52. Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 153-170.
53. EP, E. (2005). *Planta de tratamiento de agua potable de Tixán*. Cuenca.
54. EP, E. (2015). *Ampliacion de la planta de tratamiento de agua de Tixán*. Cuenca.
55. Equipos y Laboratorio de Colombia. (2011). *FLOCULADOR*. Obtenido de https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3452



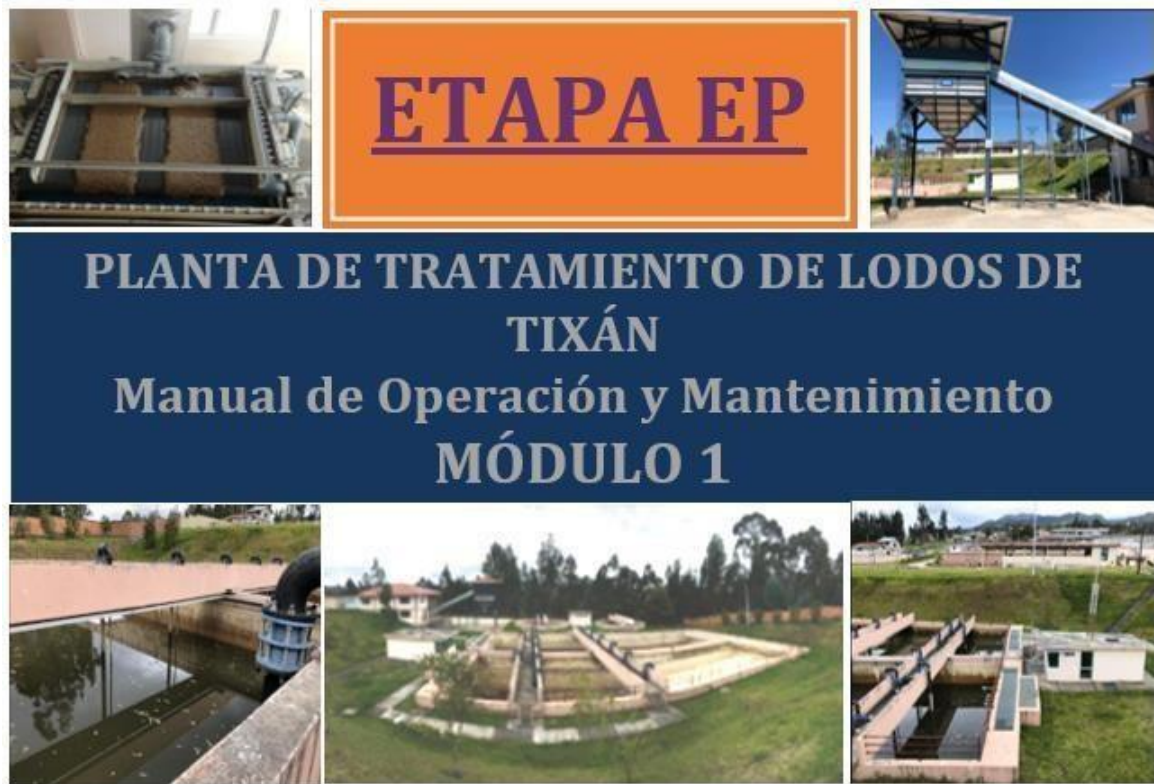
56. Felipe, S., & Juan, M. (2002). *Desinfeccion del agua* . Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf
57. Fernandez, I. (2017). *Polimero en solucion*. Obtenido de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/publicados/fernandez.pdf>
58. Gutierrez, J. (2014). *Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilizacion de agua*. Medellín.
59. Moro, T. (Marzo de 2018). Obtenido de <https://www.tomasmoro.ec/la-importancia-del-agua-para-la-vida/>
60. Perez de la Cruz, F. (2011). *Universidad Politecnica de Cartagena*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
61. Restrepo, H. (2009). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/11051313.pdf>
62. Rodriguez, C. (2008). *Uso y control del proceso de coagulacion en PTAP*. Sincelejo.
63. Rojas, J. (2015). *Modelamiento de los sistemas de potabilización del agua*. Cuenca.
64. Romero, M. (2008). *Tratamientos utilizados en poabilizacion de agua*. Guatemala.
65. UCLM. (2018). *Coagulación-Floculación*. Obtenido de http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf
66. Vasconez, D. (2013). *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1500/1/T-UCE-0017-40.pdf>

4. ANEXOS



ANEXO 1

MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS





INDICE:

OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO	102
ALCANCE	102
TÉRMINOS Y DEFINICIONES	102
RESPONSABLE DEL PROCEDIMIENTO	103
DESCRIPCIÓN / DIAGRAMA	103
Diagrama de Bloque	104
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	104
1. SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUA	105
2. DECANTACIÓN	106
2.1. Decantación	106
2.2. Drenaje de agua clarificada.....	106
2.3. Funcionamiento y Controles.....	107
2.4. Monitoreo y mantenimiento	112
2.4.1. Energizar válvulas.....	112
2.4.2. Mantenimiento para lavado	113
2.4.3. Mantenimiento general	115
2.5. Reseteo de bombas	116
3. Espesamiento.....	117
3.1. Agitador tipo hélice.....	118
3.2. Funcionamiento y control	118
3.3. Monitoreo y Mantenimiento.....	118
3.3.1. Lavado de espesadores;	119
4. AREA DE FLOCULACION	121
4.1. EDIFICIO DE DESHIDRATACION DE LODOS.....	121
4.2. Preparación de polielectrolito.....	122



3.1. Funcionamiento	125
3.2. Monitoreo y mantenimiento	132
3.2.1. Mantenimiento de sedimentadores	132
3.2.2. Mantenimiento del tanque del polielectrolito	133
3.2.3. Mantenimiento general	135
4. FILTRACIÓN- DESHIDRATACIÓN DE LODOS	135
4.1. Filtro banda	135
4.2. Filtros banda principio de funcionamiento	136
4.4. COMPRESORES	137
4.5. BOMBAS DE LAVADO	138
4.6. FUNCIONAMIENTO	139
4.7. Paro de emergencia del filtro	142
4.8. Monitoreo y mantenimiento	142
4.8.1. Mantenimiento del filtro.....	142
4.8.2. Mantenimiento de compresores	144
4.8.3. Mantenimiento de bandas del filtro.....	144
5. TRANSPORTE DE LODO DESHIDRATADO	145
6. MANTENIMIENTO GENERAL DE LA PLANTA	146
6.1. Consideraciones generales	146
6.1.1. Mantenimiento eléctrico y engrasado de la electroválvula	146
6.1.2. Consideraciones en el proceso	146
6.2. Descarga de tolva de lodos	146
6.3. Responsables de mantenimiento	147
6.4. Paros de emergencia	147
7. RESETEO DE ALARMAS	147
8. TIPO DE FALLOS	149



8.1. Falla en encendido de filtro.....	149
8.2. Falla de presión mínima en la banda de los filtros.....	149
8.3. Cuba de poli electrolito nivel bajo.....	150
8.4. Falla de sensor de banda de filtro	150
8.5. Falla en lavado de filtro	151
9. DOCUMENTOS ASOCIADOS AL PROCEDIMIENTO	Error! Marcador no definido.



OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO

El objetivo del tratamiento de lodos es lograr la deshidratación de los mismos mediante varias etapas, para así lograr una humedad óptima para su posterior almacenaje y desecho.

ALCANCE

El tratamiento de lodos se inicia con las aguas provenientes de lavado de filtros y sedimentadores, el agua que llega al proceso de decantación viene de procesos previos en el tratamiento de agua potable, proviene de los tanques de oxidación, lavado de filtros y de la purga de sedimentadores y floculadores, estas aguas pasan por procesos de decantación, espesamiento, floculación y deshidratación en un filtro banda, logrando así disminuir en gran porcentaje la humedad del agua y así depositando en la tolva para su posterior transporte hacia el relleno sanitario de la ciudad de Cuenca.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES:

Drenaje: Asegurar la salida de líquidos o de una humedad en exceso por medio de cañería, tubos o zanjás. (Buenaño.Gabriela, 2015)

Lodos: Barro de contextura fina el cual se forma en el suelo cuando llueve o que se deposita en el fondo de una corriente o un depósito de agua. (EP, Planta de tratamiento de agua potable de Tixán, 2005)

Ecualizador: Los tanques de igualación o ecualizadores son aquellos cuya función consiste en homogeneizar las características del flujo de llegada, especialmente en aquellas plantas de tratamiento donde existen fluctuaciones considerables tanto de caudal como de composiciones químicas y físicas del agua residual. (Buenaño.Gabriela, 2015)



Decantación: el objetivo de la decantación es la eliminación de sólidos presentes en el agua, por la acción de la gravedad. Existen partículas que por sí solas van a sedimentar en el decantador, otras van a ir agrupándose formando flóculos, favoreciendo su precipitación. (Hidritec, 2010)

Espesador: Tanque utilizado para disminuir la proporción de agua contenida en una solución, mediante sedimentación, por lo general es un tanque redondo, grande y bajo, en el cual el fluido rebosa y los sólidos se van hacia el fondo. (Williams, 2019)

Agitador: Motor que funciona con una hélice regular, que sirve para mezclar o revolver por medio de la agitación algunas sustancias. (LabProcess, 2015)

Bombas transportadoras: Bombas que son utilizadas para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro. (transporte, 2018)

Reactor floculador: Forma partículas llamadas flóculos para mejorar la consistencia del lodo mediante un floculante adicionado a la mezcla a tratar. (Bravo, 2010)

Dosis óptima: Cantidad de reactivo correcta para cumplir los objetivos planteados en un proceso específico. (Fausto, 2015)

Compresión: Oprimir, estrechar, apretar o reducir a menos volumen. (RAE)

Filtros banda: Para realizar la deshidratación del fango, se ha seleccionado los filtros banda frente a otras alternativas: filtros prensa, filtros de vacío y centrífugas; por las experiencias existentes para resolver problemas similares. (Filtro banda, 2015)

RESPONSABLE DEL PROCEDIMIENTO

Supervisor de Plantas:

Ing. Juan Diego Espinoza.

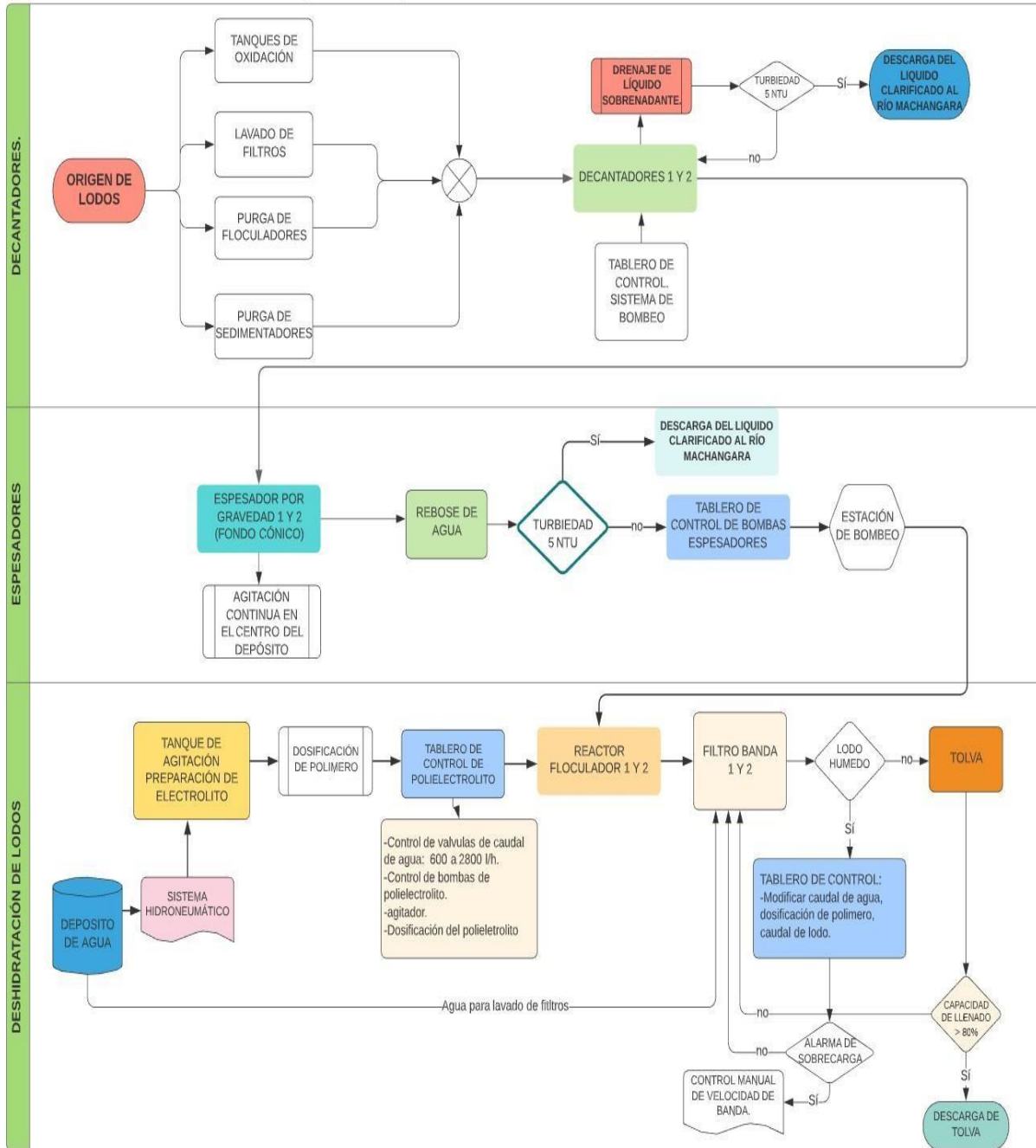
Operador planta de lodos:

Técnico Carlos Ávila

DESCRIPCIÓN / DIAGRAMA

Diagrama de Bloque:

Diagrama de bloques: Planta de tratamiento de lodos Tixán



Fuente: Autoras.



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1. SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUA.

El agua con residuos sólidos que llega a la planta de tratamiento de lodos proviene de los mantenimientos civiles de los tanques de oxidación de manganeso, purgas de floculadores y sedimentadores, retrolavado de las unidades de filtración y purgas de las cámaras de contacto con cloro gas.

La cantidad de estos residuos sólido/líquido dependen de la cantidad y calidad del agua cruda que ingresa para tratamiento, dosis de químicos utilizados para tratamiento, rendimiento de los procesos de tratamiento, remoción de turbiedad en las diferentes unidades de tratamiento, la eficiencia de la sedimentación y la frecuencia de lavado de las unidades de tratamiento.

El caudal de lavado de los filtros de la PTAP de Tixán es de 348 l/s, con una duración del lavado de 10 minutos. Por lo tanto, el volumen que se obtiene de la limpieza de los filtros para estas condiciones es de 209 m³ por unidad lavada.

Actualmente realizan el vaciado de dos sedimentadores simultáneamente, y se vacían los 8 sedimentadores en una semana, por tanto, el caudal máximo esperado por el vaciado sería de 600 l/s. En tanto que el volumen por vaciado correspondiente a los 8 sedimentadores sería de 1.832 m³. El período de descarga de los sedimentadores es cada semana durante 30 minutos aproximadamente, mientras que la descarga de los filtros es realizada una vez que alcance una de las tres condiciones de operación perdida de carga, calidad de agua o carreras de filtración.

Los diferentes efluentes son captados a través una tubería, en cada una de estas etapas las cuales se unen en una cámara común.

2. DECANTACIÓN

2.1. Decantación:

Este proceso consta de dos ecualizadores, en donde, por efecto de la gravedad se logra la separación de agua clarificada y lodo, estos tanques están diseñados de manera inclinada con el fin de enviar la mayor cantidad de lodo hacia las bombas. (Buenaño.Gabriela, 2015)



Ilustración 10 Tanques de decantación.

2.2. Drenaje de agua clarificada:

En el centro de cada decantador se encuentra un drenaje, el mismo que sirve para la eliminación de agua de cada decantador, dicha agua va directamente al alcantarillado a través de la tubería de 300mm con válvula de compuerta para regulación de caudal.



Ilustración 11. Drenaje



Ilustración 12. Salida de drenaje a río.

2.3. Funcionamiento y Controles:

- 1) Dirigirse a la sala de tableros y control: Se encuentra ubicada frente a los decantadores, aquí se encuentran los tableros de control de bombas y electroválvulas.



Ilustración 13. Sala de tableros y control.

Aquí se encuentran los tableros de control de cada una de las bombas que participan en el proceso de transporte desde los tanques de decantación hasta los espesadores.

Bombas transportadoras: Hay un total de 14 bombas en este proceso ordenadas de la siguiente manera de 1.1 a 1.7 que corresponden al ecualizador número 1 y 2.1 a 2.7, que corresponden al ecualizador número 2. Estas son encargadas de transportar los lodos asentados hacia los espesadores, aquí se trabaja con un sistema informático Scada, el cual enciende automáticamente el sistema de bombeo en orden descendente.

- 2) Energizar los compresores (revisar manual de mantenimiento) para ello ingresar al turno dirigirse al tablero eléctrico TB 0.1 en modo manual, para así dar apertura a las válvulas V1 y V2 como se observa en la fig. 5 para el ingreso del agua cruda a los ecualizadores.

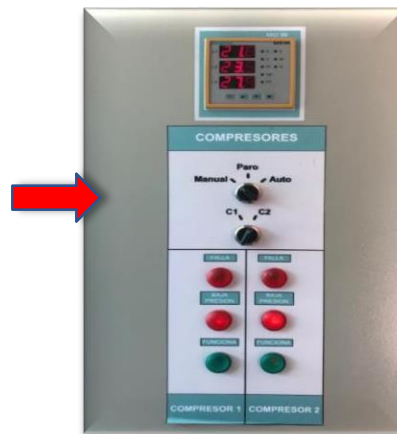


Ilustración 14 Tablero de compresores.

- 3) Controlar las electroválvulas en el tablero TBL 0.1 de control también se controla las electroválvulas, su objetivo es abrir o cerrar las válvulas V1 y V2 en modo manual para el ingreso del agua proveniente de los procesos de agua potable mencionados anteriormente como se observa en la fig. 16.



Ilustración 15. Tablero para control de válvulas V1 y V2.



Ilustración 16 Válvula V1 y V2.

- 4) Comparar que las 14 válvulas (mariposa) de impulso estén totalmente abiertas, como se observa en la fig. 8, caso contrario abrirlas en sentido de las manecillas del reloj, para su normal funcionamiento.



Ilustración 17. Abertura de válvula manualmente.

- 5) Supervisar que las bombas estén en modo automático para ello dirigirse al tablero principal TBL 2, 3, 4 y si el indicador de luz verde, esta encendido, caso contrario revisar el manual de mantenimiento que está a continuación, como se observa en la fig. 9 TBL+2.

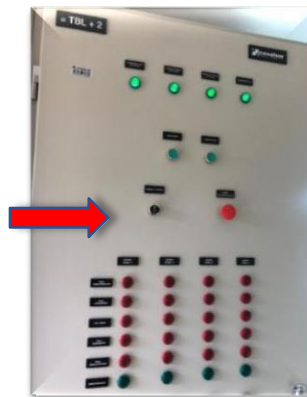


Ilustración 18 Tablero para control de bombas en automático.

- 6) Revisar que esté funcionando normalmente para el bombeo a los espesadores, en caso de que no estén funcionando correctamente dirigirse al manual de mantenimiento.
- 7) Verificar que no salten los guardamotores y el motor de arranque. Como se observa en la fig. 10. En caso de estar con falla, leer el manual de mantenimiento.

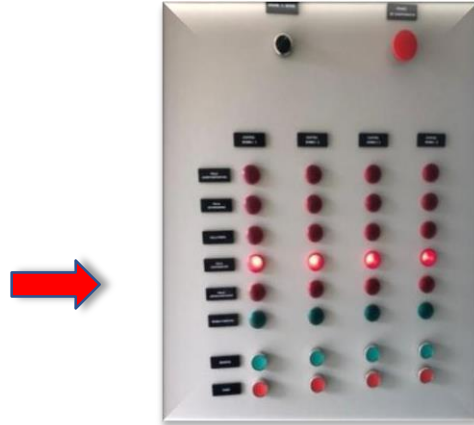


Ilustración 19 Tablero de control de bombas del proceso de decantación.

- 8) Cambiar del modo manual al modo automático para empezar con el proceso,

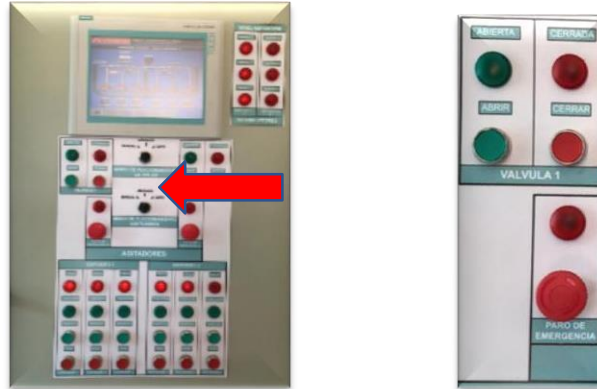


Ilustración 20. Botón para cambiar de modo manual a modo automático

- 9) Encender el trabajo de bombas de decantadores en los tableros TBL 1+2+3+4. Puede ser manual o automático, en el botón que se indica en la fig. 12, al ser manual se elige que bomba va a trabajar y si es automático se realiza el trabajo en secuencia.



Ilustración 21 Tablero de bombas para iniciar su funcionamiento.

Nota: Las bombas se encienden en orden descendente.

Principio de funcionamiento de las bombas:

Se basa en trabajar cuatro minutos y descansar 10 minutos, es decir, que cada bomba realiza su trabajo cuatro minutos se apaga diez y se enciende la siguiente bomba. Por ejemplo, al prenderse la 2.7 y trabajar cuatro minutos se apaga



automáticamente y empieza a trabajar la 2.6 y así sucesivamente hasta completar el trabajo de todas las bombas.

Transporte de lodos:

Con ello se asegura de que las bombas transporten en mayor porcentaje lodo que agua. El fango sedimentado en el depósito de ecualización será extraído mediante bombas sumergibles, de 14 m³/h de capacidad unitaria, e impulsado a un espesador de gravedad.

2.4. Monitoreo y mantenimiento:

Para el mantenimiento de los decantadores los pasos a seguir son los siguientes:

2.4.1. Energizar válvulas:

- 1) Seleccionar modo manual, en el tablero 0.1 y proceder a encender el compresor para energizar las válvulas de ingreso a los ecualizadores, aquí se selecciona el ecualizador 1 o 2 para el cierre de la válvula de ingreso, según el ecualizador al que se vaya a dar mantenimiento, para no detener el proceso.
- 2) Escoger en el tablero TBL 0.1.1, el ecualizador 1 y/o el ecualizador 2 respectivamente para su mantenimiento (lavado).
- 3) Proceder con el apagado de las bombas del tanque a seleccionar en TBL 1+2, TBL +3 y TBL +4.



Ilustración 22. Botón de encendido de bombas en el tablero 1.1-1.7 y 2.1-2.7.

- 4) Regresar a modo automático para que el otro ecualizador siga funcionando normalmente
- 5) Cerrar las 7 válvulas de impulso correspondientes al espesador donde se vaya a realizar mantenimiento.
- 6) Proceder a la apertura manual de la válvula interna de desfogue que se encuentra bajo la caseta de los tableros de decantación.



Ilustración 23 Válvula de desfogue en la zona del tanque espesador.

2.4.2. Mantenimiento para lavado:

- 1) Apagar todas las bombas del ecualizador para el lavado, en el tablero principal TBL+2+3+4, según el ecualizador.
- 2) Verificar que los compresores estén energizados, para abrir la válvula de ingreso hacia los ecualizadores, caso contrario activarlos en modo manual.

- 3) Verificar que ya una vez cerrada la válvula de ingreso al equalizador en el que se quiere realizar el mantenimiento, proceder a abrir las válvulas de mariposa manualmente para el desfogue. Esto se realiza en el TBL 0.1.1. principal, en el cual se tiene dos tipos de desfogues internos y por rebose.



Ilustración 24. Botones para abertura de válvulas.

- 4) Seleccionar el botón en "0" en el TBL+2, apagar las bombas del equalizador a realizar el mantenimiento.



Ilustración 25. Pantalla donde se puede visualizar el funcionamiento de las bombas.

- 5) Cerrar las 7 bombas y la válvula de mariposa girando en dirección hacia las manecillas del reloj, esto para evitar que el lodo se regrese, para proceder al lavado dirigirse hacia el equalizador.



Ilustración 26. Tanque de decantación.

- 6) Lavar con mangueras a presión las paredes el piso, las flautas y las bombas.



Ilustración 27 Tanque lavado.

- 7) Abrir un circuito de tuberías para lavado manualmente el cual realiza el lavado de tuberías y flautas de succión de la bomba, por un tiempo máximo de 5 minutos.



Ilustración 28 Tuberías y flautas del tanque decantador.

- 8) Cerrar los desfogues, abrir las válvulas, bombas y el ingreso hacia el tanque, para poner en marcha el ecualizador

Frecuencia de lavado: Cada dos tres meses, dependiendo del estado de lodo.

Tiempo de lavado: Un día

Personal a cargo: Personal de mantenimiento civil.

2.4.3. Mantenimiento general.

- 1) Las electroválvulas que se encuentran en esta zona siempre permanecen abiertas para el paso de agua hacia los decantadores.
- 2) En cuanto a los agitadores que presenta el tablero, cabe añadir que los mismos ya fueron retirados en tiempo anterior.

- 3) Si se encuentra una bomba en mal estado, se recomienda operar en modo manual, de tal manera que se enciendan las bombas disponibles en orden descendente.

2.5. Reseteo de bombas.

Cuando se visualiza en el panel de control que el nivel de las bombas alcanza su nivel más bajo el cual es detectado mediante el salva motor que funciona como sensor y al detectar el problema apaga automáticamente las bombas, se realiza un reseteo en el TBL+2+3+4 de todas las bombas. Una vez reseteados ya vuelve a su funcionamiento normal.

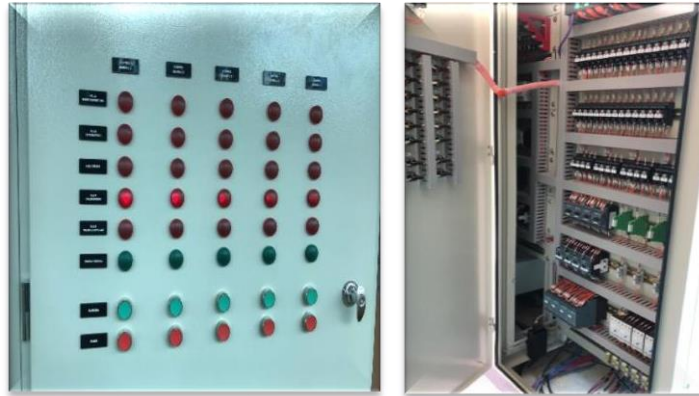


Ilustración 29 Circuitos de bombas en tableros.

Nota: Cuando se realiza el mantenimiento del tanque 1 el tanque 2 sigue funcionando en modo automático, en donde sus bombas van funcionando de la 1-7 a la 1-1 trabajando cuatro minutos y descansando 10, el proceso en este tanque no se detiene para así evitar el paro total del tratamiento.

3. Espesamiento

El proceso de espesamiento consiste en la reducción del volumen de los lodos con el objeto de disminuir su tamaño y el número de los equipos posteriores a usar para la deshidratación.

El lodo llega de los decantadores y el espesador maneja esta solución de sólido líquido que se obtuvo en el proceso previo, por medio de gravedad más o menos como un decantador.

La suspensión de lodos se introduce en el espesador con un tiempo de permanencia elevada en el que se produce el asentamiento del lodo sobre sí mismo, efectuándose su extracción por el fondo mediante bombas de lóbulos, mientras el líquido sobrenadante se evacua por la parte superior.



Ilustración 30 Espesador.

3.1. Agitador tipo hélice.

En este tanque se utiliza un agitador en el centro, que realiza la separación, pero en esta además se produce también una sedimentación zonal y por compresión.

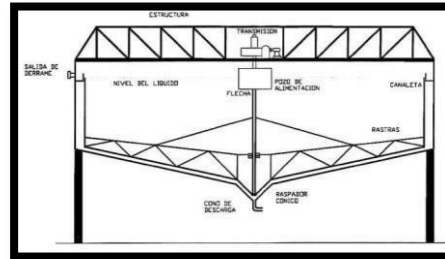


Ilustración 31. Esquema de espesador con agitador interno.



Ilustración 32 Agitador del espesador tipo hélice.

3.2. Funcionamiento y control.

Para el funcionamiento de esta etapa dirigirse al edificio de deshidratación de lodos en el área de floculación, debido a que es un encendido y control en secuencia.

3.3. Monitoreo y Mantenimiento

Se obtiene una muestra el agua que se dirige al alcantarillado para su posterior análisis para así verificar que cumple con los parámetros de descarga estipulados en la norma.

3.3.1. Lavado de espesadores:

- 1) Cerrar la válvula manualmente de ingreso hacia el espesador estos se encuentran ubicadas en la vereda al frente de cada espesador bajo una tapa de metal negra y mandar mediante la bomba de lóbulos el sobrenadante.



Ilustración 33. Depósito de válvula manual de espesador.

- 2) Encender la bomba de lóbulos para su descarga sobrenadante en el tablero TDL+2 en la opción "bombeos de lodos espesados" como se observa en la fig. 25.



Ilustración 34. Pantalla TDL+2.

- 3) Cerrar el bypass manualmente en el cuarto de estación de bombeo en la zona de los espesadores, el lodo se desfoga mediante el desfogue del sedimentador.



Ilustración 35. Estación de bombeo para cierre de Bypass.

- 4) Realizar el lavado interno del espesador con mangueras a presión. Tener en cuenta que el agitador continúa encendido.

Frecuencia de lavado: Cada tres meses, dependiendo del estado de lodo.

Tiempo de lavado: Un día.

Personal a cargo: Mantenimiento civil.

3.3.2. Mantenimiento de bomba de lóbulo:

- 1) Cerrar manualmente las entradas y salidas de las válvulas provenientes de los esperadores.
- 2) Abrir la línea de impulso de agua por 10 minutos para su lavado y retirar el tapón de desfogue en la misma línea de la bomba.
- 3) Sacar el tapón para desfogar los residuos de la limpieza,
- 4) Volver a tapar el desfogue, cerrar el agua de lavado y abrir las válvulas de entrada y salida para volver a ponerla en marcha

Frecuencia de lavado: Este proceso se lo hace dos veces por semana como mantenimiento correctivo

Personal a cargo: operador de planta junto a mantenimiento electromecánico

Tiempo: sin tiempo determinado



Ilustración 36. Mantenimiento bomba de lóbulos.

4. AREA DE FLOCULACION

Esta operación tiene por objeto provocar la agregación de pequeñas partículas, aumentando el tamaño de las mismas, promoviendo, de esta manera, su eliminación mediante sedimentación por gravedad o filtración

La agitación es una parte muy importante y debe ser controlada, si es demasiado fuerte los esfuerzos cortantes que se producen romperán el floculo en partículas más pequeñas, mientras que, si no es suficiente, impedirá que las partículas colisionen y puedan formar floculas de mayor tamaño.

4.1. EDIFICIO DE DESHIDRATACION DE LODOS:

El lodo que se encuentra en los espesadores es bombeado hacia el edificio, en donde se encuentran filtros banda para realizar la respectiva deshidratación mediante la técnica denominada filtración.



Ilustración 37. Edificio de deshidratación de lodos.

En este edificio se encuentra la mayor parte de equipos, dispositivos y controladores de la planta, a continuación, se detallan los mismos.

4.2. Preparación de polielectrolito.

Depósito de agua: Se encuentra a un costado del edificio en un pozo cisterna, cuya capacidad de almacenamiento bordea los 90 m³ aproximadamente, en este lugar se encuentra toda el agua que usa el edificio ya sea para lavar filtros, bandas y/o preparación de polielectrolito.



Ilustración 38. Depósito de agua.

Sistema hidroneumático: Equipo encargado de transportar agua desde el depósito hacia el tanque de polielectrolito para la respectiva preparación de la solución.



Ilustración 39. Bombas para transporte de agua.

Reactor o Tanque de preparación: Se trata de un recipiente de 3 compartimentos en donde se realiza la mezcla de agua y polímero para generar la solución de polielectrolito. En el compartimento 1 ingresa agua y polímero, el agua es controlada por un caudalímetro (600 a 2800 l/h) mientras que la cantidad de polímero es constante, al llenarse el compartimento 1 pasa al 2 mediante un rebose superior y este a su vez al 3

mediante otro rebose similar al primero para finalmente salir por una tubería inferior. Cabe añadir que tanto el compartimento 1 y 2 poseen agitadores para garantizar una mezcla homogénea y concentración igual en todos los puntos del reactor.



Ilustración 40. Reactor floculador.

Bombas de polielectrolito: Equipos encargados de enviar la solución de polielectrolito hacia el reactor floculador, este tipo de bombas se controlan directamente desde la sala de tableros ubicada dentro del edificio, desde aquí se realiza la apertura de cada bomba según el caudal requerido.



Ilustración 41. Bombas Polielectrolito.



Ilustración 42. Tablero de bombas de polielectrolito.

Válvula de caudal: Tiene la función de regular el caudal de agua de ingreso en un rango de 600 a 2800 l/h, el caudal que se suministre al reactor de preparación de sobre el reactor de polielectrolito, desde este tablero se puede controlar el trabajo manual o automático del agitador, electroválvulas y dosificación de polímero.



Ilustración 43 Válvula de caudal del tanque polielectrolito.

Tablero de control polielectrolito: Se encuentra sobre el reactor de polielectrolito, desde este tablero se puede controlar el trabajo manual o automático del agitador, electroválvulas y dosificación de polímero.



Ilustración 44 Tablero de control de polielectrolito

Reactor floculador: Se trata de un tanque en disposición vertical en el cual se realiza la mezcla de polielectrolito y lodo para la respectiva floculación.



Ilustración 45 Reactor floculador.

4.1. Funcionamiento.

- 1) Encender la bomba encargada de succionar el agua de la cisterna hacia el tanque de polielectrolito, en el tablero TCBP + 1.



Ilustración 46 Tablero de bombas de polielectrolito.

- 2) Encender en modo automático para ello dirigirse a la estación de polielectrolitos en el tablero TCP +1.



Ilustración 47.

automático.

Estación de polielectrolito en modo

- 3) Abrir la válvula de mariposa de entrada de polielectrolito al tanque floculador, que se indica en la fig.39 ya sea el tanque 1 o 2.



Ilustración 48 Válvula manual para la entrada de polielectrolito.

- 4) Encender electroválvula 1 o 2 para el ingreso de lodo al tanque floculador dependiendo del filtro que vaya a trabajar.



Ilustración 40 Electroválvula.

- 5) Revisar que siempre este en modo automático el agitador del espesador, para ello Dirigirse al tablero TDL+2. La luz verde indica el correcto funcionamiento, caso contrario encender en el botón verde, este por lo general no tiene variación siempre esta encendido.



Ilustración 41 Tablero TDL+2 para espesadores.

- 6) Seleccionar el modo manual, para ello dirigirse a bomba de espesadores en el TDL+2 como indica la fig. 42



Ilustración 42 Botón para cambiar proceso de espesamiento a modo manual.

- 7) Encender la opción de polielectrolito y revisar que el nivel de cuba de polielectrolito este en el nivel correcto, en el tablero TDL+4 como indica la Fig. 43.

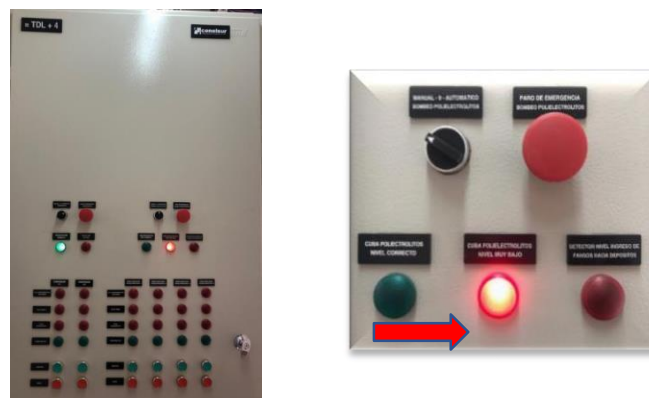


Ilustración 43 Tablero de control de nivel de tanque y preparación del polielectrolito.

- 8) Controlar las bombas de dosificación de polielectrolito en el tablero TDL+4, se deben encender la B1 y la B2, ya que la B3 y B4 son bombas alternas en caso de que las ya mencionadas se desgasten. Botón verde.

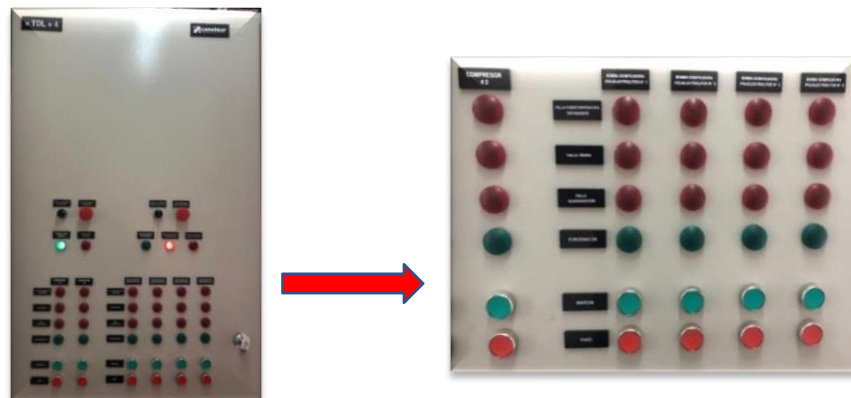


Ilustración 44 Tablero de control de bombas de polielectrolito.

- 9) Seleccionar la frecuencia de la bomba en el interior del tablero TDL + 4, en el dispositivo señalado en la fig. 45 se recomienda trabajar con el valor de (12-15) Hz, para conseguir la dosificación óptima del polímero, esto variará según el caudal de agua a trabajar.



Ilustración 45 Dispositivo para seleccionar frecuencia de la bomba. Tablero TDL+3.

- 10) Seleccionar en automático dosificación del polímero en el tablero TCP + 1.



Ilustración 46 Tablero de control de dosificación de polímero.

- 11) Encender el reactor floculador, para ello dirigirse al grupo deshidratados del tablero TDL+3. Seleccionamos el floculador con el que vayamos a trabajar F1 o F2, como se indica en la fig.47

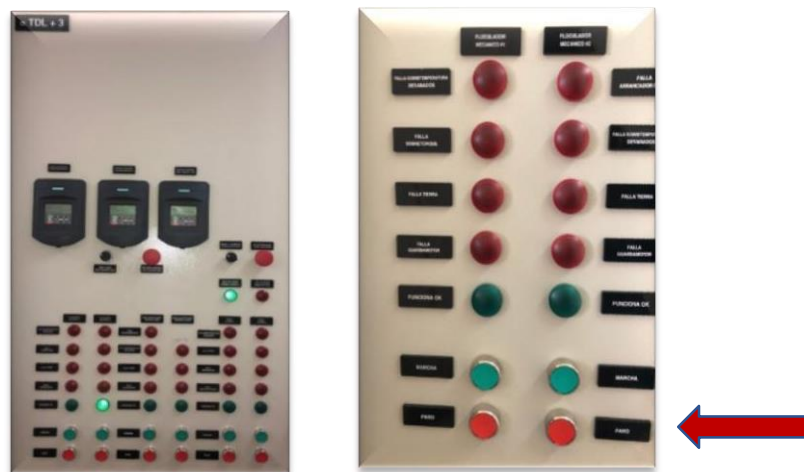


Ilustración 47 Tablero de control para el reactor floculador

- 12) Encender la banda transportadora de lodos inclinada y la banda transportadora de lodos horizontal, en el tablero TDL + 3.

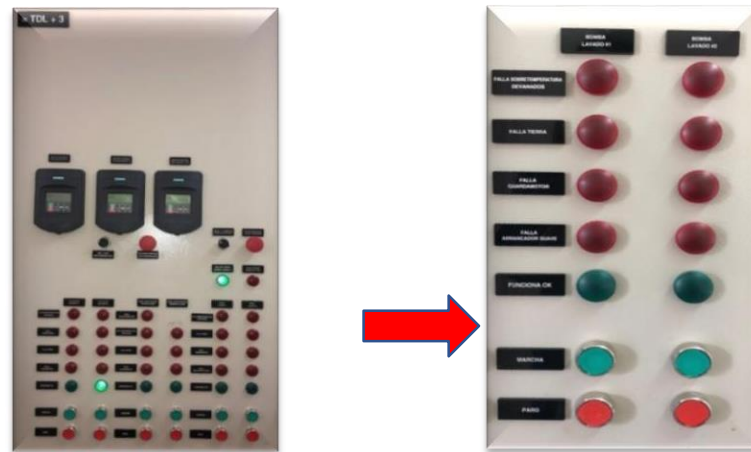


Ilustración 50 Tablero para encendido de bomba de lavado del filtro.

- 15) Encender el filtro en manual para ello dirigirse al tablero TCFB + 1+2. Según el filtro que se vaya a trabajar.



Ilustración 51. Tablero para control del proceso de filtración.

4.2. Monitoreo y mantenimiento.

4.2.1. Mantenimiento de sedimentadores.

- 1) Su mantenimiento se realiza con el filtro apagado mediante el tablero principal.
- 2) Cerrar manualmente la electroválvula que se indica en la fig. 47



Ilustración 52. Válvula manual.

- 3) Abrir la válvula de desfogue y lavar con una manguera desde la parte superior, como se indica en la fig. 48.

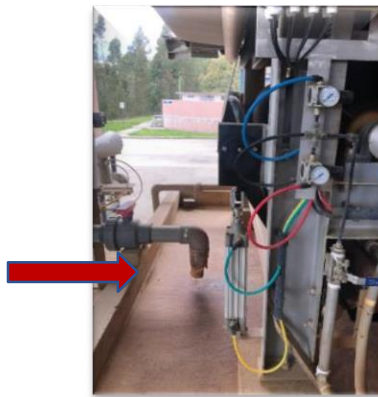


Ilustración 53. Válvula de desfogue.

- 4) La purga del tanque floculador deberá realizarse por lo menos una vez cada semana o las veces que sean necesarias.

4.2.2. Mantenimiento del tanque del polielectrolito

- 1) El mantenimiento del equipo se realiza con la limpieza diaria del tornillo al empezar y terminar el proceso.



Ilustración 54. Tornillo de preparación de polielectrolito.

- 2) Desfogar si el depósito donde se encuentra la mezcla del polielectrolito ha estado mucho tiempo de almacenaje para evitar malos olores y daño en la solución.



Ilustración 55 Tanque de preparación de polielectrolito.

- 3) Abrir las válvulas de desfogue.

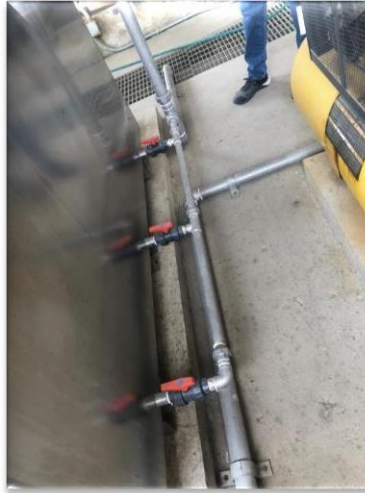


Ilustración 56 Válvulas de desfogue.

4.2.3. Mantenimiento general.

- 1) Si el lodo se encuentra en estado de putrefacción, se debe descargar al alcantarillado, porque esto puede ocasionar que el polímero no actúe de forma eficiente.
- 2) El polímero que se ha preparado no debe tener más de un mes, se recomienda preparación cada semana y que se encuentre dentro de las fechas de uso especificadas en el empaque, de no ser así, el operador deberá dar aviso al jefe de planta para que el disponga lo necesario.
- 3) El sistema automatizado deberá ser revisado periódicamente con el objetivo de verificar si se encuentra calibrado y con un rendimiento óptimo.

5. FILTRACIÓN- DESHIDRATACIÓN DE LODOS

5.1. Filtro banda:

Es un sistema mecánico de deshidratación que permite al lodo floculado un drenaje libre y un posterior prensado progresivo. La estructura del lodo floculado es relativamente frágil, por ello la suspensión debe ser manipulada con cuidado para no formar finos por ruptura de los mismos.



Esta ruptura de los flóculos obstaculizaría el drenaje por atascamiento de la banda o conduciría a pérdidas de sólidos que pasarían a través de la tela. Un filtro banda se fundamenta en un bastidor, una serie de rodillos, dos telas filtrantes y unos sistemas de arrastre, de tensionado, de guiado y lavado de las telas. Este sistema de filtración consiste en tres fases: la primera de drenaje libre, la segunda de prensado sucesivo y la tercera de cizallamiento.

5.2. Filtros banda principio de funcionamiento:

El lodo se distribuye a la zona de pre deshidratación del filtro banda mediante un peine de reparto y finalmente prensado entre dos telas permeables apretadas mediante rodillos hasta alcanzar un grado de sequedad adecuado.

El filtro trabaja en las siguientes condiciones:

Presión de agua de lavado.	10 bar
Presión aire de servicio	6 bar
Potencia Instalada.	0.55 kW



Ilustración 57 Filtro Banda.

5.3. Lodo floculado:

El lodo espesado es acondicionado en un mezclador floculador después de haber recibido la adición de la solución de polielectrolito.



Ilustración 58 Lodo floculado en filtro banda.

5.4. COMPRESORES:

Equipos usados exclusivamente para tensar las bandas de los filtros para una mejor compresión en el proceso de filtración.



Ilustración 59 Compresores

5.5. BOMBAS DE LAVADO:

Se encargan de la succión y aumento de presión de agua desde el depósito para el lavado de las bandas de los filtros.



Ilustración 60 Bombas de lavado de filtro.

5.6. FUNCIONAMIENTO.

Tableros de control de filtros.

- 1) Encender el filtro en manual, dirigirse al tablero TCFB + 1+2. Según el filtro que se vaya a trabajar.



Ilustración 61 Tablero para control del proceso de filtración

- 2) Encender la opción de bomba de lavado del filtro en el tablero TCBD + 1. En manual como indica la fig. 54



Ilustración 62 Tablero para encendido de bomba de lavado del filtro

- 3) Encender las bombas para lavado de filtro, en el tablero TDL + 3. Encender la bomba de lavado en modo manual, ya sea la B1 o B2, dependiendo el filtro banda con el que se trabaje.

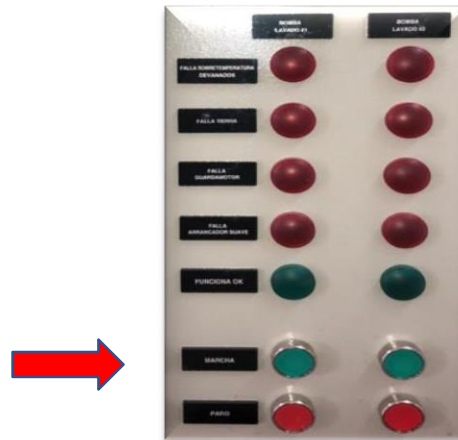


Ilustración 63 Selección de bombas según el filtro a trabajar

- 4) Encender la banda transportadora de lodos inclinada y la banda transportadora de lodos horizontal, en el tablero TDL + 3.

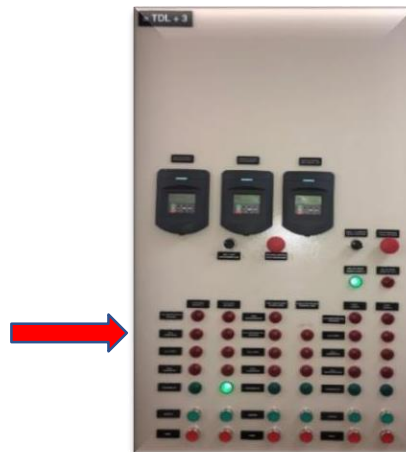


Ilustración 64 Encendido de filtro banda horizontal e inclinado

- 5) Revisar la presión de aire de los compresores en modo automático en el tablero TDL+4, este por lo general no tiene variación, siempre pasa encendido, verificando que el botón tenga el indicador de la luz verde, este sirve para dar la presión a las bandas del filtro.
- 6) Encender la cuba de polielectrolito en modo manual, dependiendo el filtro que se utilice por lo general la B1 y la B2, ya que la B3 y B4 son bombas alternas en caso de que las ya mencionadas se desgasten.



Ilustración 65 Tablero de selección de filtro a utilizar.

- 7) Encender electroválvula 1 o electroválvula 2, solo del filtro que se va a trabajar, debe estar en automático como indica la fig.60, caso contrario usar en manual.



Ilustración 66 Electroválvula.

- 8) Verificar que este encendido en modo manual en el tablero TDL+3 de grupos deshidratados, seleccionamos el modo automático para su normal funcionamiento con el sistema SCADA, como indica la fig.62



Ilustración 67 Tablero de encendido de filtros en sistema SCADA.

- 9) Seleccionar la potencia de la bomba del filtro. Para una mejor filtración trabajar de (20 a 30) en el VARIMOT.



Ilustración 49 Bomba para proceso de filtración

Nota: El sistema en automático funciona en forma continua, por eso en caso de falla de una de las estaciones seleccionar el modo manual.

5.7. Paro de emergencia del filtro.

En caso de deslizamiento de bandas, fallos en el sistema, el operador puede detener el proceso de filtración de forma manual, como se observa en la imagen:

O caso contrario el equipo detectará el fallo automáticamente y detendrá el proceso.



Ilustración 69. Cinta roja paro de emergencia de filtro.

5.8. Monitoreo y mantenimiento

5.8.1. Mantenimiento del filtro

- 1) Su mantenimiento se realiza con el filtro apagado mediante el tablero principal. TDL+3.
- 2) Cerrar manualmente la electroválvula.



- 3) Abrir la válvula de desfogue y se va lavando con una manguera, bandas, rodamientos, rasquetas y los demás componentes.



Ilustración 70 Filtro Banda.

5.8.2. Mantenimiento de compresores.

También se realiza un mantenimiento de los compresores dos veces por semana, en donde:

- 1) Apagar manualmente los mismos.
- 2) Cerrar el ingreso de aire.
- 3) Abrir el desfogue en una llave en la parte inferior de los mismos. Para proceder a retirar los líquidos que genere el compresor.



Ilustración 501. Compresores

- 4) Revisar la presión que se encuentre dentro del valor recomendado. 6 bar como indica la fig.67.



Ilustración 72. Presión de compresores 6 bares.

5.8.3. Mantenimiento de bandas del filtro.

El lavado de la banda se debe realizar con ayuda de agua a presión mediante una hidrobomba por lo menos 1 vez por mes. Para evitar su saturación en sus cavidades.

6. TRANSPORTE DE LODO DESHIDRATADO:

Finalmente, el lodo sale hacia dos bandas transportadoras las mismas que transportan el lodo hacia la tolva.

La tolva tiene una altura aproximada de 15 metros, donde se realiza el almacenado. La tolva presenta un sensor que mide el porcentaje de llenado, el mismo que no deberá sobrepasar el 80% correspondiente a 4 m³, esto es verificado en el tablero de control. Finalmente, el lodo almacenado es descargado en volquetas para ser depositado en el relleno sanitario.



Ilustración 73. Salida del lodo deshidratado.



Ilustración 74. Tolva de lodos deshidratados.



7. MANTENIMIENTO GENERAL DE LA PLANTA.

7.1. Consideraciones generales.

7.1.1. Mantenimiento eléctrico y engrasado de la electroválvula:

Frecuencia: Una vez al año.

Responsable: Departamento técnico de mantenimiento.

7.1.2. Consideraciones en el proceso.

- 1) Si las bandas del filtro se deslizan, se debe retirar despresurizar el filtro y correr las bandas, y mediante movimientos lograr estabilizar y centrar las bandas.
- 2) Cuando el lodo esta con porcentaje de humedad elevado (No floculado), el lodo se desliza por los lados del filtro, lo que ocasiona que sea detectado por el sensor y suene la alarma, por lo tanto, se debe detener el proceso y modificar las variables implicadas.
- 3) Revisar los sensores de nivel, que se encuentren dentro del nivel normal.
- 4) Si no arranca la bomba de lóbulos, desarmar la bomba y arreglar con los encargados de mantenimiento técnico.
- 5) En caso de que se apaguen las bombas por fallas de luz revisar y resetear.

7.2. Descarga de tolva de lodos.

- La tolva de 4m³ se dispone a la descarga cuando llega hasta el 80% de capacidad.
- En el tablero, del grupo deshidratados, en el menú principal seleccionar tolva, lodos deshidratados y contralar el nivel de llenado.

Frecuencia: Descargar una vez por semana.



Ilustración 75. Nivel de tolva en tablero.

7.3. Responsables de mantenimiento.

- El mantenimiento de la planta como filtro banda, sedimentador, realiza el operador.
- El mantenimiento civil por parte de la cuadrilla de la planta, lo que respecta a lavado de ecualizadores y espesadores.
- El sistema se revisa con el departamento de mantenimiento electromecánico de la planta.

7.4. Paros de emergencia.

En todo proceso dentro de la planta, existe el comando de paro de emergencia, en el cual el operador puede detener el proceso en caso de presentarse inconvenientes de fuerza mayor.

Observación: El polímero se separa naturalmente del lodo cada 6 meses.

8. RESETEO DE ALARMAS:

Este sistema sirve para controlar que todos los equipos estén funcionando correctamente, mediante sensores en caso de anomalías y fallas en el sistema automático.

- Para contralar las alarmas del sistema, se dirige al tablero de lodos deshidratados (TDL + 2)
- En el menú principal seleccionamos alarmas en la parte baja del panel táctil.

- 3) Observar las alarmas que nos indica el sistema.
- 4) Dirigirse al sitio donde muestra el fallo, reparar o corregir.
- 5) Resetear las alarmas del sistema.
- 6) Poner el sistema en marcha y continuar en modo automático.
- 7) Si el error persiste, continuar en modo manual y llamar al departamento de mantenimiento técnico para su revisión



Ilustración 76. Sistema de reseteo de alarmas en el tablero.

9. TIPO DE FALLOS:

9.1. Falla en encendido de filtro.

Solución: Reseteo de fallos.

- En el tablero de filtro, en caso de que no encienda el filtro: presionar los botones reset y auxiliar claxon al mismo tiempo y volver a poner en marcha el filtro, como indica la fig.72
- Luego en el panel de alarmas resetear los fallos:



Ilustración 77. Reseteo de fallos.

9.2. Falla de presión mínima en la banda de los filtros.

Solución:

- Verificar la presión en la válvula del filtro, por lo general 6 bares.
- Revisar las mangueras de aire de las bandas.
- Corregir la tensión de los compresores. (según la sección 4.6.2.)



Ilustración 78. Manómetro de filtro.

9.3. Cuba de poli electrolito nivel bajo.

Solución:

- Si el sensor se encuentra con nivel bajo, corregir inmediatamente el nivel del tanque.
- En el tablero resetear la falla y se corrige automáticamente.

9.4. Falla de sensor de banda de filtro:

Esta se da por sobre peso en la banda o desvió del mismo

Solución: Alinear la banda:

- Desconectar la presión en los brazos hidráulicos



Ilustración 79 Brazos hidráulicos.

- Cerrar la línea de presión del aire, verificar que este en cero y comenzar a alinear la banda.

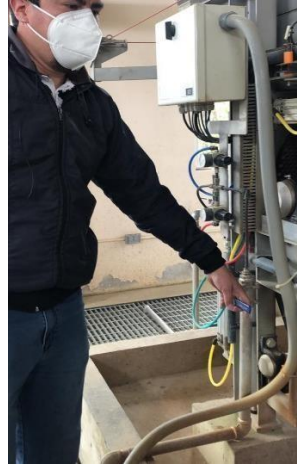


Ilustración 80. Cierre de válvula de aire.

- Correr los rodillos y alinear la banda manualmente.



Ilustración 8151. Bandas del filtro

9.5. Falla en lavado de filtro.

Solución:

Verificar las bombas de impulso B1 y B2

Verificar en el tanque cisterna las válvulas check.

**ANEXO 2****EXPERIMENTACIONES:****CAUDALES Y CONCENTRACIONES DE POLIELECTROLITO**

DATOS TANQUE POLIELECTROLITO						
Caudal Tanque Polielectrolito		Caudal de lodos Q (l/s)	Frecuencia Bomba	Caudal polielectrolito	Concentración Polielectrolito de entrada (ppm)	Concentración Polielectrolito de salida (ppm)
Q (l/h)	Q (l/s)					
2800	0.78	0.1	5	0.0525	333.48	114.80
2600	0.72	0.1	8	0.084	359.13	163.95
2400	0.67	0.1	10	0.105	389.06	199.27
2200	0.61	0.1	11	0.1155	424.43	227.48
2000	0.56	0.1	12	0.126	466.8	260.25
1800	0.5	0.1	15	0.1575	518.67	317.24
1600	0.44	0.1	16	0.168	583.51	365.78
1400	0.39	0.1	17	0.1785	666.86	427.41
1200	0.33	0.1	18	0.189	778.01	508.80
1000	0.28	0.1	19	0.1995	933.61	621.89
800	0.22	0.1	20	0.21	1167.01	790.56
600	0.17	0.1	30	0.315	1556.02	1181.08
2800	0.78	0.2	5	0.0525	333.48	69.34
2600	0.72	0.2	8	0.084	359.13	106.22
2400	0.67	0.2	10	0.105	389.06	133.94
2200	0.61	0.2	11	0.1155	424.43	155.38
2000	0.56	0.2	12	0.126	466.8	180.42
1800	0.5	0.2	15	0.1575	518.67	228.50
1600	0.44	0.2	16	0.168	583.51	266.39
1400	0.39	0.2	17	0.1785	666.86	314.49
1200	0.33	0.2	18	0.189	778.01	378.00
1000	0.28	0.2	19	0.1995	933.61	466.22
800	0.22	0.2	20	0.21	1167.01	597.74
600	0.17	0.2	30	0.315	1556.02	951.74
2800	0.78	0.3	5	0.0525	333.48	49.67
2600	0.72	0.3	8	0.084	359.13	78.56



2400	0.67	0.3	10	0.105	389.06	100.87
2200	0.61	0.3	11	0.1155	424.43	117.98
2000	0.56	0.3	12	0.126	466.8	138.07
1800	0.5	0.3	15	0.1575	518.67	178.56
1600	0.44	0.3	16	0.168	583.51	209.47
1400	0.39	0.3	17	0.1785	666.86	248.77
1200	0.33	0.3	18	0.189	778.01	300.70
1000	0.28	0.3	19	0.1995	933.61	372.88
800	0.22	0.3	20	0.21	1167.01	480.53
600	0.17	0.3	30	0.315	1556.02	796.99
2800	0.78	0.4	5	0.0525	333.48	38.69
2600	0.72	0.4	8	0.084	359.13	62.33
2400	0.67	0.4	10	0.105	389.06	80.89
2200	0.61	0.4	11	0.1155	424.43	95.10
2000	0.56	0.4	12	0.126	466.8	111.82
1800	0.5	0.4	15	0.1575	518.67	146.53
1600	0.44	0.4	16	0.168	583.51	172.59
1400	0.39	0.4	17	0.1785	666.86	205.76
1200	0.33	0.4	18	0.189	778.01	249.65
1000	0.28	0.4	19	0.1995	933.61	310.68
800	0.22	0.4	20	0.21	1167.01	401.76
600	0.17	0.4	30	0.315	1556.02	685.52
2800	0.78	0.5	5	0.0525	333.48	31.69
2600	0.72	0.5	8	0.084	359.13	51.66
2400	0.67	0.5	10	0.105	389.06	67.52
2200	0.61	0.5	11	0.1155	424.43	79.65
2000	0.56	0.5	12	0.126	466.8	93.96
1800	0.5	0.5	15	0.1575	518.67	124.24
1600	0.44	0.5	16	0.168	583.51	146.75
1400	0.39	0.5	17	0.1785	666.86	175.44
1200	0.33	0.5	18	0.189	778.01	213.42
1000	0.28	0.5	19	0.1995	933.61	266.27
800	0.22	0.5	20	0.21	1167.01	345.17
600	0.17	0.5	30	0.315	1556.02	601.41
2800	0.78	0.6	5	0.0525	333.48	26.83
2600	0.72	0.6	8	0.084	359.13	44.10
2400	0.67	0.6	10	0.105	389.06	57.95
2200	0.61	0.6	11	0.1155	424.43	68.51
2000	0.56	0.6	12	0.126	466.8	81.01
1800	0.5	0.6	15	0.1575	518.67	107.84
1600	0.44	0.6	16	0.168	583.51	127.64



1400	0.39	0.6	17	0.1785	666.86	152.90
1200	0.33	0.6	18	0.189	778.01	186.37
1000	0.28	0.6	19	0.1995	933.61	232.96
800	0.22	0.6	20	0.21	1167.01	302.56
600	0.17	0.6	30	0.315	1556.02	535.68
2800	0.78	0.7	5	0.0525	333.48	23.27
2600	0.72	0.7	8	0.084	359.13	38.48
2400	0.67	0.7	10	0.105	389.06	50.75
2200	0.61	0.7	11	0.1155	424.43	60.11
2000	0.56	0.7	12	0.126	466.8	71.21
1800	0.5	0.7	15	0.1575	518.67	95.27
1600	0.44	0.7	16	0.168	583.51	112.94
1400	0.39	0.7	17	0.1785	666.86	135.50
1200	0.33	0.7	18	0.189	778.01	165.40
1000	0.28	0.7	19	0.1995	933.61	207.07
800	0.22	0.7	20	0.21	1167.01	269.31
600	0.17	0.7	30	0.315	1556.02	482.90
2800	0.78	0.8	5	0.0525	333.48	20.54
2600	0.72	0.8	8	0.084	359.13	34.13
2400	0.67	0.8	10	0.105	389.06	45.14
2200	0.61	0.8	11	0.1155	424.43	53.55
2000	0.56	0.8	12	0.126	466.8	63.52
1800	0.5	0.8	15	0.1575	518.67	85.32
1600	0.44	0.8	16	0.168	583.51	101.27
1400	0.39	0.8	17	0.1785	666.86	121.65
1200	0.33	0.8	18	0.189	778.01	148.68
1000	0.28	0.8	19	0.1995	933.61	186.35
800	0.22	0.8	20	0.21	1167.01	242.65
600	0.17	0.8	30	0.315	1556.02	439.59
2800	0.78	0.9	5	0.0525	333.48	18.38
2600	0.72	0.9	8	0.084	359.13	30.66
2400	0.67	0.9	10	0.105	389.06	40.65
2200	0.61	0.9	11	0.1155	424.43	48.27
2000	0.56	0.9	12	0.126	466.8	57.33
1800	0.5	0.9	15	0.1575	518.67	77.25
1600	0.44	0.9	16	0.168	583.51	91.79
1400	0.39	0.9	17	0.1785	666.86	110.37
1200	0.33	0.9	18	0.189	778.01	135.03
1000	0.28	0.9	19	0.1995	933.61	169.40
800	0.22	0.9	20	0.21	1167.01	220.79
600	0.17	0.9	30	0.315	1556.02	403.41



2800	0.78	1	5	0.0525	333.48	16.63
2600	0.72	1	8	0.084	359.13	27.83
2400	0.67	1	10	0.105	389.06	36.97
2200	0.61	1	11	0.1155	424.43	43.95
2000	0.56	1	12	0.126	466.8	52.24
1800	0.5	1	15	0.1575	518.67	70.57
1600	0.44	1	16	0.168	583.51	83.93
1400	0.39	1	17	0.1785	666.86	101.01
1200	0.33	1	18	0.189	778.01	123.67
1000	0.28	1	19	0.1995	933.61	155.28
800	0.22	1	20	0.21	1167.01	202.54
600	0.17	1	30	0.315	1556.02	372.73

ANEXO 2

Floculación variando parámetros como potencia de la bomba, realizada

a para determinar la potencia que mejores resultados nos da en la formación de flóculos.

Tiempo (min)	POTENCIA FILTRO	POTENCIA BOMBA PE	PRESION (bar)	FILTRO	CAUDAL DE LODOS (l/s)	ESTADO DE FLOCULACION
40	30	15	6	2	0.8	bueno
40	30	14	6	1	0.8	bueno
40	30	13,3	6	2	0.8	malo
40	25	15	6	1	0.8	malo
40	25	14,1	6	1	0.8	bueno
40	25	13	6	1	0.8	muy bueno
40	22	15	6	1	0.8	malo
40	22	14,2	6	1	0.8	bueno
40	22	13,5	6	1	0.8	bueno

Tiempo (min)	POTENCIA FILTRO	POTENCIA BOMBA PE	PRESION (bar)	FILTRO	CAUDAL DE LODOS (l/s)	ESTADO DE FLOCULACION
40	25	12	6	1	0.7	MALU
40	25	13	6	1	0.7	bueno
40	30	13,5	6	2	0.7	maio
40	25	14.1	6	1	0.7	malo



40	25	14,5	6	1	0.7	excelente
40	25	13	6	1	0.7	muy bueno
40	22	15	6	1	0.7	malo
40	22	14	6	1	0.7	bueno
40	22	13	6	1	0.7	bueno

Tiempo (min)	POTENCIA FILTRO	POTENCIA BOMBA PE	PRESION (bar)	FILTRO	CAUDAL DE LODOS (l/s)	ESTADO DE FLOCULACION
40	25	12	6	1	0.7	MALO
40	25	13	6	1	0.7	bueno
40	30	13.5	6	2	0.7	malo
40	25	14.1	6	1	0.7	malo
40	25	14,5	6	1	0.7	excelente
40	25	13	6	1	0.7	muy bueno
40	22	15	6	1	0.7	malo
40	22	14	6	1	0.7	bueno
40	22	13	6	1	0.7	bueno

Tiempo (min)	POTENCIA FILTRO	POTENCIA BOMBA PE	PRESION (bar)	FILTRO	CAUDAL DE LODOS (l/s)	ESTADO DE FLOCULACION
40	25	12	6	1	0.7	MALO
40	25	13	6	1	0.7	bueno
40	30	13.5	6	2	0.7	malo
40	25	14.1	6	1	0.7	malo
40	25	14,5	6	1	0.7	excelente
40	25	13	6	1	0.7	muy bueno
40	22	15	6	1	0.7	malo
40	22	14	6	1	0.7	bueno
40	22	13	6	1	0.7	bueno