



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
LODOS PROVENIENTES DE EPMAPA – SANTO
DOMINGO”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO QUIMICO

LUCIA YOLANDA CABEZAS YANEZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

AGRADECIMIENTO

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

A Dios por ser mi guía y fortaleza.

A mi Director de Tesis Ing. Mario Villacrés, y al miembro del Tribunal Dr. Gerardo León por haber confiado en mí, por la paciencia y dirección de este trabajo.

A la EPMAPA SD por darme la oportunidad de realizar esta investigación, de forma especial a la planta de tratamiento de agua potable a todo su personal tanto administrativo como productivo por su apoyo incondicional.

A todos ustedes mil gracias.

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres, Yolanda y Manuel quienes me enseñaron desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas.

A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

Para todos ustedes mi cariño y gratitud

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Yolanda Díaz
DECANA FAC. CIENCIAS		
Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA		
Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS		
Dr. Gerardo León
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
Tec. Carlos Rodríguez
DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACION		

“Yo, **LUCIA YOLANDA CABEZAS YANEZ**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**”

INDICE DE ABREVIATURAS

<i>APHA</i>	American Public Health Association
<i>A_c</i>	Área de clarificación
<i>cm</i>	Centímetro
<i>°C</i>	Grados Celsius
<i>EPA</i>	Environmental Protection Agency
<i>g</i>	Gramos
<i>gpm</i>	Galones por minuto
<i>h</i>	Horas
<i>H</i>	Altura
<i>INEN</i>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<i>Kg</i>	Kilogramo
<i>Kg/m³</i>	Kilogramo por metro cúbico
<i>L</i>	Litros
<i>L/s</i>	Litros por segundo
<i>m</i>	Metros
<i>m²</i>	Metros cuadrados
<i>m³</i>	Metros cúbicos
<i>mL</i>	Mililitros

<i>mm</i>	Milímetros
<i>mg</i>	Miligramos
<i>min</i>	Minutos
<i>mg/L</i>	Miligramos por litro
<i>m³/h</i>	Metros cúbicos por hora
<i>m³/d</i>	Metros cúbicos por día
<i>m/min</i>	Metros por minuto
<i>m/s</i>	Metros por segundo
<i>mL/L</i>	Mililitros por litro
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>pH</i>	Potencial Hidrógeno
<i>ppm</i>	Partes por millón
<i>p/p</i>	Peso - peso
<i>p/v</i>	Peso por volumen
<i>psi</i>	Pound per square inch
<i>Q</i>	Caudal
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto

<i>ST</i>	Sólidos Totales
<i>STD</i>	Sólidos Totales Disueltos
<i>SST</i>	Sólidos Totales Suspendidos
<i>t</i>	Tiempo
<i>UNT</i>	Nefelometric Turbidity Unit
<i>UC</i>	Unidad de color
v_s	Velocidad de sedimentación
v_{sz}	Velocidad de sedimentación por zonas
<i>V</i>	Volumen
X_0	Concentración inicial
X_c	Concentración Crítica
%	Porcentaje

TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
ANTECEDENTES.....	iii
JUSTIFICACIÓN.....	iv
OBJETIVOS.....	v
 CAPITULO I	
1 MARCO TEORICO.....	2
1.1 AGUA POTABLE.....	2
1.2 CALIDAD DEL AGUA.....	2
1.3 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	3
1.3.1 CARACTERISTICAS FISICAS.....	3
1.3.1.1 TURBIEDAD.....	4
1.3.1.2 SOLIDOS TOTALES.....	4

1.3.1.3	COLOR.....	5
1.3.1.4	OLOR Y SABOR.....	5
1.3.1.5	pH.....	6
1.3.2	CARACTERISTICAS QUIMICAS.....	7
1.3.2.1	ELEMENTOS Y COMPUESTOS QUIMICOS.....	7
1.3.2.2	MATERIA ORGANICA.....	11
1.4	POTABILIZACION DEL AGUA.....	12
1.4.1	CAPTACION.....	12
1.4.2	CONDUCCION.....	13
1.4.3	AGREGADO DE QUIMICOS.....	13
1.4.4	FLOCULACION.....	13
1.4.5	SEDIMENTACION.....	13
1.4.6	FILTRACION.....	14
1.4.7	DESINFECCION.....	14
1.5	RESIDUOS GENERADOS EN PLANTAS DE AGUA POTABLE.....	15
1.5.1	FUENTES DE GENERACIÓN DE LODOS.....	15

1.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS LODOS.....	16
1.5.3 CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS.....	17
1.6 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	18
1.6.1 CLARIFICACION.....	18
1.6.1.1 COAGULACION.....	18
1.6.1.2 ESPESAMIENTO.....	21
1.6.1.2.1 SEDIMENTACION DISCRETA.....	22
1.6.1.2.2 SEDIMENTACION CON FLOCULACION.....	22
1.6.1.2.3 SEDIMENTACION POR ZONAS.....	24
1.6.2 DESHIDRATACION.....	28
1.6.2.1 DESHIDRATACION NO MECANICA.....	29
1.6.2.2 DESHIDRATACION MECANICA.....	32
1.6.3 RECICLADO DE LODOS.....	37
 CAPITULO II	
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	40

2.1 MUESTREO.....	40
2.2 METODOS Y TECNICAS.....	40
2.2.1 MÉTODOS.....	40
2.2.1.1 INDUCTIVO.....	40
2.2.1.2 DEDUCTIVO.....	41
2.2.1.3 EXPERIMENTAL.....	41
2.2.2. TECNICAS.....	41
2.2.2.1 TECNICAS Y MEDOLOGIA DE ENSAYO.....	42
2.2.2.1.1 DETERMINACION DE POTENCIAL HIDROGENO pH.....	42
2.2.2.1.2 DETERMINACION DE LA TURBIDEZ.....	43
2.2.2.1.3 DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES.....	44
2.2.2.1.4 DETERMINACION DE SOLIDOS DISUELTOS.....	45
2.2.2.1.5 DETERMINACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS.....	46
2.2.2.1.6 DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES.....	47
2.2.3 PROCESOS DE TRATABILIDAD.....	48
2.2.3.1 PRUEBA DE JARRAS.....	48

2.2.3.2 PRUEBA DE SEDIMENTACION.....	50
2.3. DATOS EXPERIMENTALES.....	52
2.3.1 PRUEBA DE JARRAS PARA SELECCION DEL COAGULANTE.....	52
2.3.2 PRUEBA DE SEDIMENTACION DE LODO.....	55
2.3.3 DATOS GENERADOS PARA EL DISEÑO.....	57
2.3.4 DATOS ADICIONALES.....	57

CAPITULO III

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	59
3.1 CÁLCULOS.....	59
3.1.1 CALCULO DEL CAUDAL DE LODO A TRATAR.....	59
3.1.2 CALCULO DEL TANQUE ECUALIZADOR.....	62
3.1.3 CALCULO DEL TANQUE CLARIFICADOR.....	63
3.1.3.1 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION.....	63
3.1.3.2 CALCULO DEL AREA DE CLARIFICACIÓN.....	64
3.1.3.3 CALCULO DEL DIAMETRO DE CLARIFICACION.....	65

3.1.3.4 CALCULO DEL VOLUMEN DEL CLARIFICADOR.....	65
3.1.3.5 CALCULO DE LA PROFUNDIDAD.....	66
3.1.3.6 CAPACIDAD DE LOS CLARIFICADORES.....	67
3.1.4 FILTRO PRENSA.....	68
3.1.4.1 CALCULO DEL VOLUMEN DE LODO A DESHIDRATAR.....	69
3.1.4.2 CALCULO DEL NUMERO DE PLACAS Y MARCOS.....	70
3.1.5 ENCAPSULADO DE LODOS.....	70
3.2. BALANCE DE MASA.....	72
3.3. DIMENSIONAMIENTO.....	73
3.4. TIPOS DE MATERIALES Y CONTROL DEL SISTEMA.....	75
3.4.1 TIPOS DE MATERIALES.....	75
3.4.2 CONTROL DEL SISTEMA.....	76
3.5 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO.....	78
3.5.1 GASTOS DE INVERSION.....	78
3.5.2 GASTOS DE OPERACION.....	79
3.5.3 COSTO TOTAL.....	80

3.6 RESULTADOS.....	80
3.6.1 RESUMEN DEL DISEÑO DE INGENIERIA.....	80
3.6.2 CARACTERIZACION DE MUESTRAS.....	82
3.6.2.1 MUESTRAS DEL AGUA DE RETROLAVADO DE FILTROS.....	82
3.6.2.2 MUESTRAS DE LODO DE SEDIMENTADORES.....	82
3.6.3 PROCESOS DE TRATABILIDAD.....	83
3.6.4 PARAMETROS DE CONTROL.....	86

CAPITULO IV

4 DISCUSION DE RESULTADOS.....	89
--------------------------------	----

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1 CONCLUSIONES.....	93
5.2 RECOMENDACIONES.....	94

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
1.6.1.2.2-1 Columna de sedimentación de laboratorio.....	23
1.6.1.2.3-1 Zonas de sedimentación.....	25
1.6.1.2.3-2 Curva de sedimentación de lodos.....	26
1.6.2.1-1 Base de cálculo para lechos de lodos.....	31
1.6.2.2-1 Esquema de filtro de vacío.....	34
1.6.2.2-2 Esquema de Filtro prensa de bandas.....	34
1.6.2.2-3 Esquema de centrífuga horizontal de tornillo.....	35
1.6.2.2-4 Esquema de filtro prensa de placas y marcos.....	37
2.2.3.1-1 Prueba de jarras con lodo de sedimentadores.....	50
2.2.3.2-1 Prueba de sedimentación de lodos.....	51
3.4.2-1 Diagrama del tablero de control.....	77
3.6.3-1 Curva de sedimentación de lodo sin tratamiento.....	84
3.6.3-2 Curva de sedimentación de lodo con tratamiento.....	85

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
2.2.2.1.1-1 Determinación de pH.....	42
2.2.2.1.2-1 Determinación de turbidez.....	43
2.2.2.1.3-1 Determinación de sólidos totales.....	44
2.2.2.1.4-1 Determinación de sólidos totales disueltos.....	45
2.2.2.1.5-1 Determinación de sólidos totales en suspensión.....	46
2.2.2.1.6-1 Determinación de sólidos sedimentables.....	47
2.3.1-1 Prueba de jarras N° 1.....	52
2.3.1-2 Prueba de jarras N° 2.....	53
2.3.1-3 Prueba de jarras N° 3.....	53
2.3.1-4 Prueba de jarras N° 4.....	54
2.3.1-5 Prueba de jarras N° 5.....	54
2.3.2-1 Prueba de sedimentación N° 1.....	55
2.3.2-2 Prueba de sedimentación N° 2.....	56

2.3.3-1 Datos para el diseño del sistema.....	57
2.3.4-1 Datos adicionales.....	57
3.3-1 Dimensionamiento del sistema.....	74
3.4.1-1 Materiales utilizados en el diseño del sistema.....	75
3.5.1-1 Costo de equipos y materiales.....	78
3.5.1-2 Costo de instalación y mano de obra.....	79
3.5.1-3 Total gastos de inversión.....	79
3.5.2-1 Costo tratamiento/m ³	79
3.5.2-2 Total gastos de operación.....	79
3.5.3-1 Costo Total.....	80
3.6.1-1 Resumen del diseño de ingeniería.....	80
3.6.2.1-1 Características iniciales de las muestras del agua de retrolavado.....	82
3.6.2.2-1 Características iniciales de las muestras de lodo de sedimentadores.....	82
3.6.3-1 Resultados de las pruebas de jarras.....	83
3.6.4-1 Análisis de metales de lodos coagulados.....	86
3.6.4-2 Análisis del agua clarificada.....	87

INDICE DE ANEXOS

ANEXO	Pp.
1. Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá-1978 y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS.....	99
2. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 Agua Potable.....	101
3. Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público (TULAS).....	102
4. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.....	104
5. Resultados del Análisis de Lodos Coagulados.....	105
6. Resultados del Análisis de Lodos Coagulados.....	106
7. Resultados del Análisis del Agua Clarificada.....	107
8. Resultados del Análisis del Agua Clarificada.....	108
9. Hoja Técnica del Coagulante.....	109
10. Hoja Técnica del Floculante.....	110
11. Hoja Técnica del Encapsulante.....	112
12. Diagrama del Tablero de Control.....	113
13. Diagrama de Flujo del Sistema de Tratamiento de Lodos.....	114
14. Diagrama del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento de Lodos.....	115

RESUMEN

El objetivo de la investigación es *diseñar un sistema de tratamiento de lodos provenientes de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Santo Domingo.*

Para el diseño del sistema se realizó la caracterización de lodos; pruebas de tratabilidad como prueba de jarras y prueba de sedimentación con muestras tomadas de las purgas de sedimentadores y retrolavado de filtros, las cuales fueron sometidas análisis físico-químicos, con la ayuda de diversos materiales como: capsulas de porcelana, vasos de precipitación, probetas, pipetas, equipos, entre otros, y con la aplicación de métodos científicos – analíticos y técnicas basadas en el Standar Methods.

Mediante estas pruebas y caracterización se obtuvo los siguientes resultados: tipo de coagulante a utilizarse el policloruro de aluminio (PAC) con una dosis de 100 mg/l, 5% de sólidos al inicio del tratamiento, 10 – 15% de sólidos después de la coagulación, 50 % de volumen de lodo, tiempo de retención de 60 min, velocidad de sedimentación de 0.412 m/h. El sistema de tratamiento está diseñado para tratar un caudal de 10 m³/h y consta de: tanque ecualizador de 50 m³, clarificadores 11.5 m³, filtros prensa 20 pies³/h y recipientes de encapsulado 15 m³.

Cumpliendo así con la finalidad de reducir el daño y mitigar el vertido de estos residuos al medio ambiente. Se recomienda continuar con el monitoreo de los lodos debido a la presencia de metales pesados que afectan al ambiente.

SUMMARY

The investigation objective deals with designing a mud treatment system from the Public Enterprise of Potable Water and Water System of Santo Domingo City.

For the system design, the mud characterization, treatment testing such as jar and sedimentation tests from the sedimentary device purge and filter wash-back were carried out and subjected to physical and chemical analyses with the help of diverse materials such as porcelains tablets, precipitation flaks, test tubes, pipettes and equipment among others and the application of scientific-analytical methods and techniques based on standard methods.

Through these tests and characterization the following results were obtained: aluminum poly-chloride, the clotting type (PAC) to be sued with 100 mg/L dosage, 5% solids at the treatment beginning, 10-15% solids after clotting, 50% mud volume, 60 min retention time and 0.412 m/h sedimentation velocity. The treatment system is designed to treat 10 m³/h volume and consists of a 50 m³ equalizer tank, 11.5 m³ clarifiers, 20 feet³/h press filters and 15 m³ casing containers.

Thus the danger was reduced and the flow of these residues to the environment was mitigated. It is recommended to continue the mud monitoring because of the heavy metal presence affecting the environment.

ANTECEDENTES

Las aguas se captan del río Lelia, de excelentes condiciones físico-químicas, es así, que durante siete meses presenta una turbidez menor a las 5 unidades y, los cinco meses de invierno tiene un promedio de 80 unidades, pero en ciertas ocasiones, sobrepasa las 500 unidades de turbiedad.

Esta toma está diseñada para captar un caudal de 700 a 800 litros por segundo, se toma 300 L/seg, y el resto sale por el rebosadero al caudal normal del río. Actualmente con la nueva tubería instalada de 630 mm de diámetro, se podrá utilizar todo el caudal de esta captación.

Las Plantas de potabilización están ubicadas en el km. 7,5 de la vía a Quito, a una altura de 650 msnm (metros sobre el nivel del mar), estos son los principales sistemas de abastecimiento de agua potable de Santo Domingo.

Según el diseño de la obra, y con los trabajos ampliatorios que se han realizado en el transcurso de los años, la Planta tiene una capacidad óptima de 285 L/seg, para tratar aguas turbias y, máxima de 400 L/s, con agua limpia y operando en su máximo nivel.

Mientras que la planta nueva entró en operación a inicios del 2009 con un caudal de 500 L/s. Esta planta cuenta con dos módulos

JUSTIFICACION

La generación de lodos en las plantas de tratamiento de agua potable no han sido considerados como problemas ambientales, y por tanto se han eliminado en forma abierta a los medios externos sean alcantarillados o esteros, llegando a plantear problemas importantes, ya que, si bien estos residuos son principalmente inorgánicos, van formando depósitos o “bancos de fangos” en los tramos lentos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, más aún si se está empleando carbón, disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, y en definitiva, se plantean problemas medioambientales que hay que considerar, y extraer por tanto los residuos sólidos antes del vertido a los cauces.

Además, no hay que olvidar que las normas medioambientales son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos.

En vista de que los factores bióticos y abióticos y otros medios externos a las plantas de tratamiento se han tornado alterados se cree conveniente cuantificar, los contaminantes que deben poseer estos lodos producto de los procesos de coagulación y floculación, en los cuales se utiliza sulfato de aluminio o policloruro de aluminio (coagulantes) y como medio floculante poliacrilamida.

Por lo tanto, la gestión de residuos (lodos) genera en las plantas potabilizadoras mucho interés ya que se utiliza cantidades apropiadas de los químicos antes mencionados en las dos plantas que posee EMAPA SD.

OBJETIVOS

GENERAL

- Realizar el diseño de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de EPMAPA – Santo Domingo.

ESPECÍFICOS

- Realizar las pruebas de caracterización de lodo.
- Ejecutar los procesos de tratabilidad, que nos permitan obtener los resultados adecuados para el diseño de tratamiento idóneo.
- Realizar los cálculos ingenieriles, dimensionamiento de proceso, especificaciones de la planta.
- Definir un sistema de concentración de lodos.

CAPITULO I

1 MARCO TEORICO

1.1 AGUA POTABLE

“Se conoce con este nombre al agua que ha sido tratada con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos.

Algunas especies biológicas, físicas y químicas pueden afectar la aceptabilidad del agua para consumo humano. Por ejemplo:

- a) Su apariencia estética: turbiedad, olor, color y sabor.
- b) Su composición química: acidez, alcalinidad, aceites y grasas, compuestos orgánicos e inorgánicos en general.

El agua natural para alcanzar estas condiciones, se la debe someter a un proceso de potabilización.

Las fuentes de suministro de agua dulce en la naturaleza son variadas. A las aguas de ríos, arroyos y lagos las llamamos aguas superficiales; a las que se extraen de perforaciones se las llama aguas subterráneas, y encontramos además otros suministros naturales como vertientes y manantiales.

1.2 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la

natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

1.3 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua —que pueden ser de origen natural o antropogénico— define su composición física y química.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes las siguientes:

- turbiedad;
- sólidos solubles e insolubles;
- color;
- olor y sabor; y
- pH.

1.3.1.1 TURBIDEZ

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan como valor guía 5 UNT.

1.3.1.2 SÓLIDOS TOTALES

Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Equivalencias:

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles

Sólidos disueltos o residuos disueltos. Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Sólidos en suspensión. Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

Sólidos volátiles y fijos. Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico.

Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico.

1.3.1.3 COLOR

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico. El color constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo.

El valor guía de la OMS es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida

1.3.1.4 OLOR Y SABOR

Por lo general, la determinación que se realiza es la del olor (el olfato humano es más sensible que el paladar), debido a que el sabor depende de este.

En el agua, todas las sustancias inorgánicas pueden producir olor y sabor, según la concentración en que se encuentren. Los seres vivos, como las algas, el plancton,

etcétera, también pueden producir olor y sabor. Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color); eliminar el fierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas. Sin embargo, cuando el cloro está presente en exceso, puede producir olor y sabor en el agua (principalmente cuando esta tiene fenol).

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable

1.3.1.5 pH

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua.

Con este examen solo determinamos si el agua es ácida (aquella característica que provoca la corrosión de las tuberías de fierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.

El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

Durante la coagulación, la remoción de la turbiedad es eficiente por lo general en un rango de pH de 6,0 a 7,8, mientras que la remoción del color se consigue con un pH de entre 4 y 6. Sin embargo, es necesario puntualizar que el pH óptimo para ambos casos debe determinarse por medio de la prueba de jarras.

La OMS recomienda como valor guía para agua de bebida un rango 6,5 a 8,5 para el pH.

1.3.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

En el anexo I y II se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento.

Asimismo, se citan las recomendaciones que, como criterios de calidad, ha publicado la EPA en el año 2000 en Estados Unidos, así como las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá-1978 y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS. Véase anexo 1.

Entre los principales se encuentran:

1.3.2.1 ELEMENTOS Y COMPUESTOS QUIMICOS

- **ALUMINIO**

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua.

El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo, debido a sus propiedades anfóteras,

que hacen que sus sales se hidrolicen formando ácidos débiles. Durante el tratamiento es posible remover las sales de aluminio solubles, mediante la formación de hidróxido de aluminio. Sin embargo, es necesario tener mucho control del pH, pues si este sube excesivamente, podría producirse la formación de aluminatos, nuevamente solubles. La coagulación, en este caso, se realiza mediante polímeros orgánicos, por lo general aniónicos.

En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.

- **AMONIO**

Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas y debe su origen a los siguientes factores:

- El nitrógeno atmosférico, por fijación química.
- Las proteínas animales o vegetales, por putrefacción mediante acción bacteriana.
- La reducción de nitritos.

La OMS establece como valor guía para aguas de bebida 1,5 mg/L, referido más bien a criterios de aceptabilidad (olor y sabor).

- **ARSENICO**

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre.

Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos.

Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L.

Debido a sus efectos adversos sobre la salud y a la insuficiente información sobre su remoción del agua, la EPA y las guías canadienses recomiendan que el contenido de arsénico en fuentes de abastecimiento no exceda 0,05 mg/L.

El valor guía de la OMS para el agua de bebida es 0,01 mg/L.

- **MERCURIO**

Se considera al mercurio un contaminante no deseable del agua.

En el agua, el Hg se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos.

Los niveles aceptables de ingestión de mercurio se basan en evidencias epidemiológicas mediante las cuales se sabe que la menor concentración de metilmercurio en la sangre asociada con síntomas tóxicos es 0,2 microgramos por gramo de peso, que corresponde a una prolongada y continua ingestión de 0,3 mg/70 kilogramos por día.

Las pruebas realizadas en plantas piloto demuestran que la remoción de mercurio inorgánico depende del pH y de la turbiedad del agua y tienen poca dependencia de la concentración de mercurio, cuando se encuentra entre 0,003 y 0,016 mg/L.

Experimentalmente, se ha comprobado que el tratamiento convencional de coagulación-filtración mediante aluminio o sulfato férrico puede remover entre 70 y 80% de mercurio inorgánico en aguas crudas turbias. Sin embargo, en aguas claras la remoción puede reducirse a la mitad o menos.

Sobre la base de las consideraciones mencionadas, la EPA recomienda no exceder el límite de 0,002 mg/L como mercurio total. Las guías de la OMS y del Canadá recomiendan una concentración máxima de 0,001 mg/L.

- **NITRITOS Y NITRATOS**

Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos.

Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

La presencia de nitratos y nitritos no es extraña, especialmente en aguas almacenadas en cisternas en comunidades rurales.

Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva. Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado.

En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración.

La OMS establece un valor guía provisional de 50 mg/L (N-NO₃) y 3 mg/L (N-NO₂), mientras que el Canadá recomienda un máximo de 10 mg/L para el primero y un mg/L para el segundo.

1.3.2.2 MATERIA ORGANICA

Las aguas naturales, además de sustancias minerales y disueltas, pueden llevar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o del metabolismo de los organismos que viven en ellos. Además, los cuerpos de aguas superficiales pueden recibir descargas de aguas residuales de origen doméstico o industrial, las cuales provocan la polución y la contaminación en niveles variables.

Las sustancias provenientes del lavado de suelos son principalmente ácidos húmicos, mientras que las producidas por el metabolismo de los organismos acuáticos son los hidratos de carbono, las proteínas, las aminos, los lípidos, etcétera, así como pigmentos, hormonas y vitaminas, que funcionan como catalizadores o inhibidores de las funciones biológicas.

Las sustancias provenientes de los desechos animales son principalmente derivados de la urea, la cadaverina y la putrescina, entre otros.

Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia orgánica, salvo aquellas que provienen de bosques o aguas estancadas.

La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, los cuales deben ser eliminados durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano”¹.

1.4 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

1.4.1 CAPTACION

“La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno).

¹ Tratamiento de agua de consumo humano. Ciencias del ambiente, OPS/CEPIS/PUB/04.109, TOMO I
Pp. 4- 35

1.4.2 CONDUCCION

Desde la toma de agua del río hasta la entrada a la planta de tratamiento, el agua se conduce por medio de acueductos ó canales abiertos.

1.4.3 AGREGADO DE QUIMICOS

El agregado de productos químicos (coagulantes) se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

1.4.4 FLOCULACION

En los floculadores que pueden ser mecánicos o hidráulicos, se produce la mezcla entre el producto químico y el coloide que produce la turbiedad, formando los floc.

Los floculadores mecánicos son paletas de grandes dimensiones, y velocidad de mezcla baja. Son hidráulicos con canales en forma de serpentina en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla.

1.4.5 SEDIMENTACION

La sedimentación se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según la planta potabilizadora. En ellos se produce la decantación del floc, que precipitan al fondo del decantador formando lodos. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Los decantadores o sedimentadores en su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua – que contiene menor turbiedad – por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración.

1.4.6 FILTRACION

Un filtro está compuesto por un manto sostén: piedras, granza y arena.

La filtración se realiza ingresando el agua sedimentada o decantada por encima del filtro. Por gravedad el agua pasa a través de la arena la cual retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de decantación.

Los filtros rápidos tienen una carrera u horas de trabajo de aproximadamente 30 horas.

Una vez que el filtro colmató su capacidad de limpieza, se lava ingresando agua limpia desde la parte inferior del filtro hacia arriba, esto hace que la suciedad retenida en la arena, se despegue de la misma.

1.4.7 DESINFECCION

Una vez que el agua fue filtrada, pasa a la reserva, allí se desinfecta según distintos métodos. El más usado es el agregado de cloro líquido. El cloro tiene la característica química de ser un oxidante, lo cual hace que se libere oxígeno matando los agentes patógenos, por lo general bacterias anaeróbicas.

Otros desinfectantes utilizados son: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio (pastillas), ozono, luz ultravioleta, etc.

Durante todo el proceso de potabilización se realizan controles analíticos de calidad”².

² **Procesos de Potabilización del Agua**

<http://www.osm.ar/html/Potabilizacion.htm>

1.5 RESIDUOS (LODOS) GENERADOS EN PLANTAS DE AGUA POTABLE

Las aguas superficiales contienen sólidos suspendidos que son removidos durante el proceso de potabilización, generando lodos químicos. Actualmente estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento en presas, terrenos o en las mismas fuentes de suministro ocasionando daños al medio ambiente y en algunas ocasiones son descargados al alcantarillado y tratados en conjunto con las aguas municipales.

1.5.1 FUENTES DE GENERACIÓN DE LODOS

“Las plantas de tratamiento de agua normalmente producen algún tipo de corriente residual. La calidad y características de esta corriente están relacionadas con el proceso de tratamiento principal. Además, las corrientes residuales pueden impactar la calidad del agua tratada del proceso mismo. Esto es especialmente cierto cuando el residuo se almacena internamente en el proceso o se recicla.

A pesar de la fuerte relación entre el proceso de tratamiento y sus corrientes residuales, sin embargo, la gestión de residuo de una planta de tratamiento de agua históricamente ha sido tratada como una gestión en solitario”³.

³ AWWA y LETTERMAN R. Calidad y Tratamiento del Agua – Manual Suministros de Agua Comunitaria. España: Mc Graw Hill, 2002. Pp. 997.

En la EPMAPA – SD los principales fuentes de de generación de lodos son los procesos de sedimentación debido al alto contenido de lodos coagulados y también en la filtración en el retrolavado de los filtros.

1.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS LODOS

La caracterización física de los residuos de plantas de agua está dirigida principalmente a las corrientes de residuos sólidos/líquidos con concentraciones diversas en porcentajes de sólidos en suspensión.

“Estos lodos se acumulan en los decantadores y lechos de filtrado y están constituidos principalmente de:

- Materias finas o coloidales en suspensión como partículas de arena, arcilla y limo, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, plancton y otros organismos microscópicos, como bacterias y virus, causantes de la turbiedad.
- Los residuos de los productos químicos utilizados para el proceso de tratamiento.

Estos lodos tienen un gran volumen, el cual está compuesto principalmente por agua, y son tixotrópicos; es decir, tienen características gelatinosas en reposo pero líquidas en movimiento. Además, son comprensibles y resistentes al espesamiento y deshidratación, especialmente aquellos generados con aguas de baja turbiedad.

Hay que tener presente que la composición química, por precisa que sea, no nos da una suficiente indicación de las características físico-químicas de los sólidos en suspensión, así por ejemplo la granulometría o tamaño de las partículas, superficie, carga electrostática y las fuerzas de capilaridad que retienen el agua, son factores importantes para determinar el tratamiento a aplicar a un lodo. Es muy útil, por tanto, la realización de test de caracterización, de tratamiento como el test de decantabilidad.”⁴.

1.5.3 CANTIDAD DE RESIDUOS SOLIDOS/LIQUIDOS GENERADOS

“La mayoría de las plantas convencionales de coagulación producen dos residuos principales: residuos tanque de sedimentación (comúnmente llamados *lodos*) y residuos del filtro de retrolavado (conocidos como *agua residual del retrolavado del filtro*).

La cantidad de estos residuos sólido/líquidos generados del tratamiento de plantas de agua depende de la cantidad de agua bruta, la dosis de productos químicos, el rendimiento del proceso de tratamiento, los métodos de remoción de lodos, la eficiencia de la sedimentación y la frecuencia del retrolavado.

Una de las tareas más difíciles que encara la instalación o ingeniería en la planificación y diseño del proceso de tratamiento de residuos es determinar la cantidad de material (volumen y sólido) a tratar.

⁴ **Características Físicas y Químicas de los Lodos**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

Los volúmenes y concentraciones de sólidos suspendidos, de lodos que salen de los depósitos de sedimentación o clarificadores son función de la calidad de agua bruta, tratamiento, y método de remoción de lodo. Cuando los depósitos se limpian, sólo periódicamente por procedimientos manuales, la acumulación de lodos tiende a compactarse y espesarse en el fondo. Hay a menudo una estratificación de sólidos con las partículas más pesadas sedimentando en el fondo y partículas más ligeras, en la parte superior.

El agua de retrolavado de filtros se caracteriza por su gran volumen de agua, elevado flujo o caudal instantáneo, y baja concentración de sólidos”⁵.

1.6 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS

1.6.1 CLARIFICACION

En el proceso de clarificación encontramos dos procesos importantes que van muy ligados como son:

1.6.1.1 COAGULACIÓN

“La Coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se

⁵ AWWA y LETTERMAN R. Calidad y Tratamiento del Agua – Manual Suministros de Agua Comunitaria. España: Mc Graw Hill, 2002. Pp. 999.

aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo”⁶.

“Uno de los objetivos del tratamiento tanto del agua como de lodos es promover la sedimentación de la materia particulada en suspensión.

El proceso de coagulación utiliza lo que se conoce como un coagulante químico para promover la agregación de partículas.

⁶ **Coagulación**

<http://cabierta.uchile.d/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf>

Dependiendo de la calidad del agua bruta o lodo, la promoción del microflóculo puede ser inadecuada sólo con coagulantes químicos y puede precisar de la adición de ayudas a la coagulación, también conocidos como polielectrólitos.

La cantidad de coagulante químico y/o polielectrólito necesario puede determinarse mediante el ensayo de coagulación (conocido por jar test) en laboratorio.

El jar test es un ensayo sencillo compuesto de varios vasos de laboratorio de un litro con muestras del agua bruta. A cada uno se le añade una cantidad distinta y creciente de coagulante y se sigue una mezcla rápida. Se dejan sedimentar las muestras y la muestra con las mejores características de sedimentación se selecciona como coagulante. Si la decantación o la generación de microflóculo es inadecuada, el coagulante puede ayudarse con un polielectrólito.

Los tres coagulantes más comunes son:

- Sulfato de aluminio (alúmina)
- Sulfato de hierro
- Policloruro de aluminio (PAC)

La sedimentación de partículas floculadas (decantación o clarificación) permite el tiempo suficiente en una cuba para que los flóculos decanten y eventualmente sean extraídos como lodos”⁷.

1.6.1.2 ESPESAMIENTO

En el proceso de espesamiento una de las alternativas es la sedimentación.

“La sedimentación asimismo se usa para la concentración de sólidos en espesadores de lodos como lo es en este caso.

Sedimentación es el término aplicado a la separación de las partículas suspendidas con peso específico mayor al del agua por acción de la fuerza de la gravedad. En muchos casos, el principal propósito de la separación por gravedad es producir un efluente clarificado, pero también promover la formación de un lodo con una concentración de sólidos que pueda manejarse y tratarse fácilmente.

Con base en la concentración de partículas y la tendencia de estas de interactuar entre sí, se pueden presentar tres clases de sedimentación:

- Sedimentación discreta
- Sedimentación con floculación

⁷ GERARD, K. Ingeniería Ambiental, Fundamentos Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Volumen II. Madrid – España: Mc Graw Hill, 1999. Pp. 620-627.

- Sedimentación por zonas

1.6.1.2.1 SEDIMENTACION DISCRETA

Se refiere a la sedimentación por gravedad de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos en un campo de aceleración constante. Las partículas sedimentan como entidades individuales, y no hay interferencia significativa con las partículas vecinas”⁸.

“El fundamento para la sedimentación de partículas discretas es la ley de Newton, que se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros homogéneos. Cuando una partícula se sedimenta, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocan la sedimentación, en particular el peso efectivo de la partícula, se equilibran con las resistencias o fuerzas de fricción ofrecidas por el líquido. Cuando se llega a este equilibrio, la partícula alcanza una velocidad de sedimentación constante, denominada velocidad final de sedimentación de la partícula.

1.6.1.2.2 SEDIMENTACION CON FLOCULACIÓN

La sedimentación con floculación tiene lugar cuando la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta, debido a efectos de coalescencia con otras partículas.

Los criterios de diseño para sistemas en los que se hace una sedimentación con floculación se establecen a través de ensayos de sedimentación en el laboratorio. En la figura 1.6.1.2.2-1 se muestra una columna típica de sedimentación de laboratorio.

⁸ CRITES R. / TCHOBANOGLOUS G. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Colombia: Mc Graw Hill, 2000. Pp. 268-269.

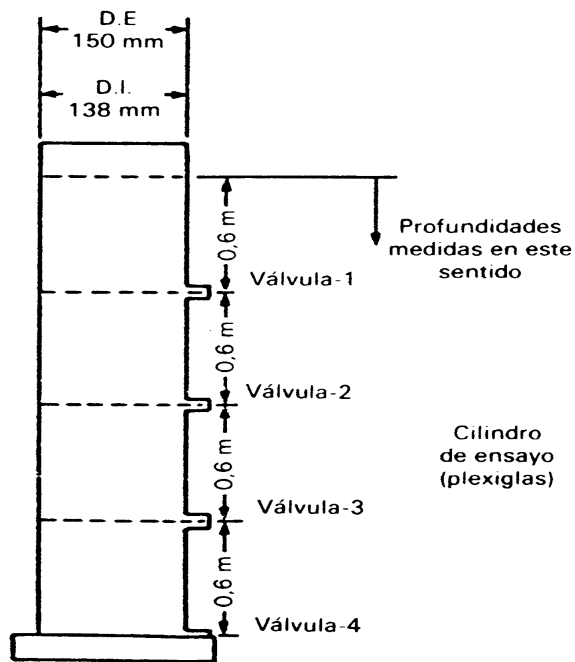


Fig. 1.6.1.2.2-1 Columna de sedimentación de laboratorio.

La concentración de sólidos en suspensión se mantiene uniforme en la columna, al principio de los ensayos, por medio de un agitador portátil. La altura de la columna es aproximadamente la misma que la del tanque de sedimentación que se pretende diseñar. La temperatura se mantiene constante durante los ensayos. Con fines prácticos se puede disponer de una columna de sedimentación de unos 2,4 m de altura, disponiendo de aberturas para muestreo a profundidades de 0,6; 1,2; 1,8 y 2,4 m. Los datos obtenidos en dichos puntos se utilizan para determinar la velocidad de sedimentación y su relación con el tiempo de retención. Los datos del punto de muestreo a 2,4 m se utilizan para determinaciones de compactación y concentración de lodos.

1.6.1.2.3 SEDIMENTACION POR ZONAS

La sedimentación por zonas se presenta en clarificadores con lodos coagulados químicamente, o activos con concentraciones que exceden los 500 mg/L. La capa de lodos presenta varias zonas perfectamente diferenciadas. Cada zona se caracteriza por una concentración específica en lodos y por una velocidad de sedimentación determinada.

Cuando una suspensión que tiene una concentración de lodos uniforme X_0 (mg/L) se coloca en un cilindro de sedimentación (fig. 1.6.1.2.3-1) los lodos comienzan a precipitarse, estableciéndose una interfase (interfase 1) entre la superficie de la capa de sólidos que están sedimentándose y el líquido clarificado que se presenta en la parte superior. La zona inferior del líquido clarificado es lo que se denomina zona interfacial. La concentración de lodos en esta zona es uniforme, precipitándose todo ello como una capa de materia a velocidad constante (V_s). Simultáneamente a la formación de la interfase 1 y de la zona interfacial, empieza una compactación de los sólidos en suspensión en el fondo del cilindro (zona de compactación). En esta zona la concentración de sólidos en suspensión es también uniforme, y la interfase que bordea esta zona (interfase 2) avanza en el cilindro con una velocidad constante (V_c).

Entre la zona interfacial y la zona de compactación hay una zona de transición. En la misma, la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión. En esta misma zona, el lodo cambia gradualmente de concentración entre la correspondiente a la zona interfacial a la de la zona de compactación.

Si consideramos las interfases 1 y 2, se puede obtener la figura 1.6.1.2.3-1 b. La interfase 1 se mueve hacia abajo con una velocidad constante V_s , mientras que la interfase 2 se mueve hacia arriba con una velocidad constante \bar{V} . Eventualmente, las zonas de compactación e interfacial pueden llegar a encontrarse, en un momento crítico (t_c), y la zona de transición desaparece (fig. 1.6.1.2.3-1c). En este momento, el lodo sedimentado tiene una concentración uniforme X_c , que se denomina concentración crítica. Empieza la compactación y el lodo comienza a espesarse, alcanzando eventualmente la concentración final X_u (fig. 1.6.1.2.3-1 d).

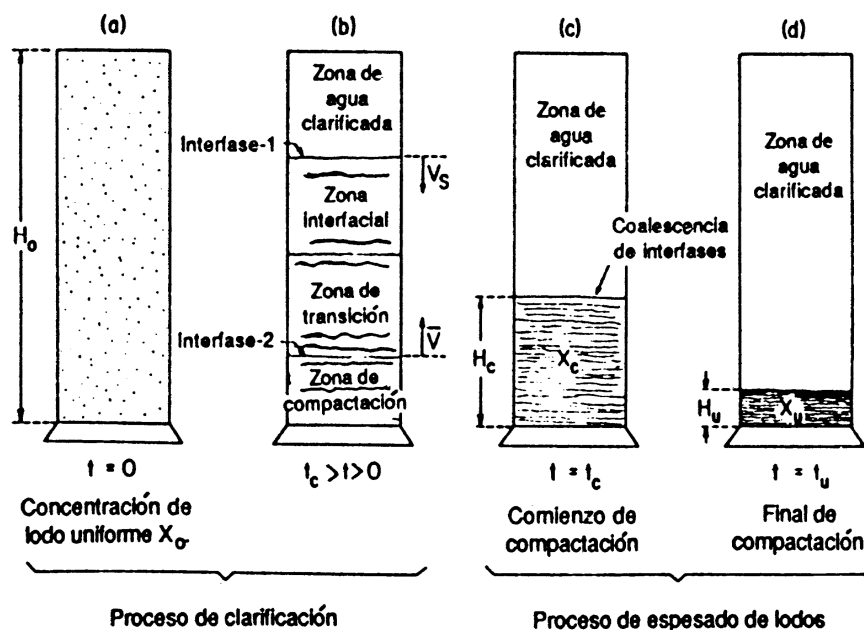


Fig. 1.6.1.2.3-1 Zonas de sedimentación

La velocidad de sedimentación en el momento t_c corresponde a un valor V_c , dado por la pendiente de la tangente a la curva de sedimentación en el punto C, tal y como se indica en la figura 1.6.1.2.3- 2, donde $V_c < V_s$.

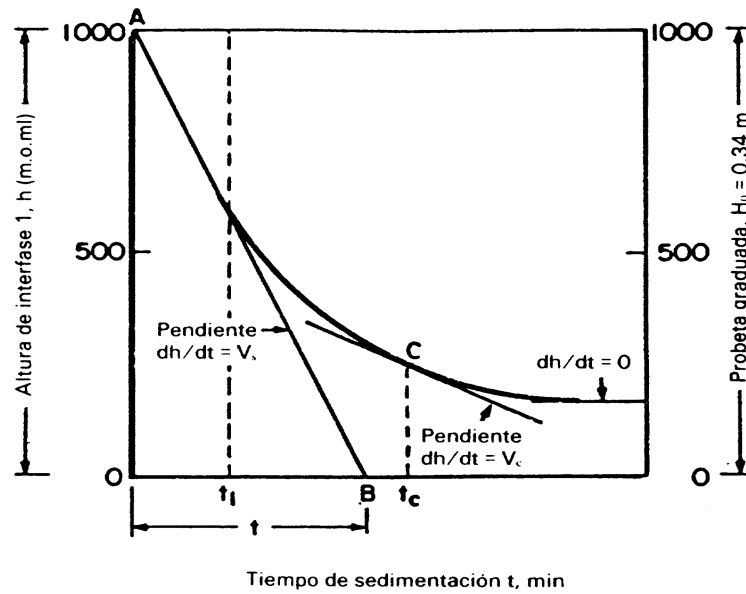


Fig. 1.6.1.2.3-2 Curva de sedimentación de lodo

- Medidas en el laboratorio

Para obtener los parámetros necesarios para el diseño del clarificador, puede llevarse a cabo un ensayo de sedimentación en el laboratorio, para el vertido considerado, usándose probetas graduadas de 1000 mL (la probeta graduada normalizada tiene una altura de 34 cm). La probeta se llena con el vertido a estudiar. Al comienzo del experimento ($t = 0$), la concentración del vertido es uniforme dentro del cilindro. La altura de la interfase 1 se va registrando a intervalos de tiempo seleccionados. Esto nos permite establecer una curva de sedimentación mostrada en la figura 1.6.1.2.3-2.

Es importante remover la suspensión con agitadores, y a una velocidad de 5 rph, esta agitación simula la acción de los rastrillos mecánicos utilizados para la separación de los lodos y evita la estratificación de los mismos.

La figura 1.6.1.2.3-2 muestra que a partir del comienzo del experimento hasta el tiempo t_1 , la interfase 1 cae con una velocidad constante V_s dada por la pendiente de la tangente, que esencialmente coincide con la curva de sedimentación de $t = 0$ a $t = t_1$. Después de $t = t_1$, esta velocidad disminuye apreciablemente. En el momento $t = t_c$, la velocidad es V_c que viene dada por la pendiente de la tangente en el punto C. En el tiempo t_c empieza la compactación y la velocidad se reduce hasta hacerse prácticamente 0, en cuyo caso la tangente se hace paralela a las abscisas.

La velocidad de sedimentación por zonas (VSZ) corresponde a la velocidad a la cual las partículas en suspensión se sedimentan antes de alcanzar la concentración crítica X_c , y viene dada por la pendiente de la tangente AB en la figura 1.6.1.2.3-2:

$$V_s = \overline{OA}/\overline{OB} = H_0/t = 0,34/t \quad (\text{m/min}) \quad \text{Ec. 1.6.1.2.3 - 1}$$

Las determinaciones de laboratorio de la velocidad de sedimentación zonal deberían repetirse con lodos de diferentes concentraciones iniciales X_0 (mg/L) de sólidos en suspensión.

- Determinación del área requerida para conseguir la clarificación de los lodos

El área requerida A_c para la clarificación depende de la velocidad V_s para la cual las partículas en suspensión se sedimentan antes de alcanzar la concentración crítica interfacial X_c . En condiciones de caudal constante, la velocidad del agua sobre el vertedero no debe exceder de V_s , si se quiere obtener la clarificación.

En consecuencia:

$$A_c = Q_e / V_s \text{ Ec. 1.6.1.2.3-2}$$

en la cual Q_e , es el caudal (m^3/h), V_s es la velocidad de sedimentación por zonas (m/min) y A_c el área requerida para la clarificación (m^2).

El valor de la velocidad en la zona de sedimentación V_s viene determinado, como se indica en la figura 1.6.1.2.3-1, por la curva que corresponde a una concentración de sólidos X_0 en el afluente. El valor de t se puede leer directamente de la abscisa (punto B). V_s se puede calcular entonces a partir de la ecuación (1.6.1.2.3-1) y A_c se puede obtener de la ecuación (1.6.1.2.3-2)⁹.

1.6.2 DESHIDRATACIÓN

La deshidratación de los lodos de las plantas de tratamiento de agua potable se clasifican de la siguiente manera:

- Métodos de deshidratación no mecánico
- Métodos de deshidratación mecánico

⁹ RAMALHO, R. Tratamiento de Aguas Residuales. 2a. ed. España: Reverté S.A., 1996. Pp. 112, 128-131.

1.6.2.1 DESHIDRATAACION NO MECANICA

Los sistemas de secado natural o deshidratación no mecánico tienen como principal ventaja el costo de su implementación, siempre que se disponga del área suficiente a bajo precio.

Tienen un bajo consumo de energía y de productos químicos, una baja sensibilidad a las variaciones cuantitativas y cualitativas del lodo y simplicidad de operación.

Son apropiados para plantas pequeñas o aisladas dadas sus altas exigencias de superficie. Otras desventajas son una alta dependencia de las condiciones climáticas y un alto requerimiento de mano de obra para la remoción del lodo.

- **LECHOS SECADORES DE ARENA**

“El secado al aire de lodos en lechos de arena es uno de los métodos de eliminación de agua. Es el método normal en las plantas de tratamiento pequeñas y medianas de efluentes tanto domésticos como industriales.

En los lechos de secadores de arena actúan dos mecanismos:

- a) Percolación (o infiltración) de agua a través del lecho de arena. La proporción de agua eliminada por este mecanismo es del 20 – 55%, dependiendo del contenido inicial de sólidos en el lodo y de las características de los sólidos. La percolación suele completarse en 1 – 3 días, resultando una concentración de sólidos del 15 – 25%.

- b) Evaporación de agua. A través de los mecanismos de radiación y convección. La velocidad es más lenta que la percolación y depende de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.

Para la construcción de los lechos de secado los tubos deben tener un diámetro interior mínimo de 10 cm y con una pendiente mínima de 1%. El filtrado retorna a la planta de tratamiento.

Los lodos se pueden disponer en lechos de secado con profundidades (espesores) de 20 a 30 cm, dejándose secar hasta alcanzar un contenido en sólidos entre el 30 y el 50%. Se recogen cuando alcancen un estado que facilite dicha operación y que varia con la opinión del personal y del medio final de evacuación o tratamiento.

El periodo de tiempo entre la entrada de los lodos y la recogida de sólidos en estado adecuado, varía entre 20 y 75 días, según la naturaleza del lodo, siendo posible reducirlo si se hacen tratamientos previos con coagulantes químicos, con alúmina y polielectrolitos. Con pretratamientos químicos se puede reducir el tiempo de secado hasta un 50%, siendo además posible aplicar los lodos con mayores espesores.

Para el diseño de lechos de secado se ha desarrollado un método desarrollado por Eckenfelder y Ford.

$$1 \text{ m}^2 \times 0,25 \text{ m} \times 1000 \text{ kg / m}^3 = 250 \text{ kg}$$

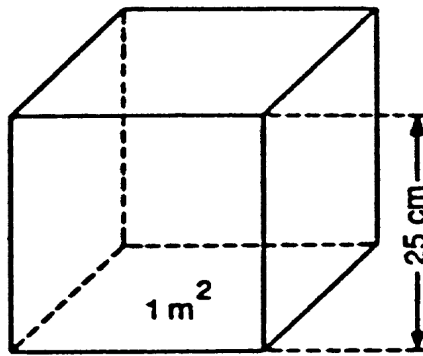


Fig. 1.6.2.1-1 Base para cálculo

Tomar como densidad de lodo 1000 kg/m^3 . Basar los cálculos en los kg de lodo húmedo que corresponden a cada m^2 de lecho, como se ha indicado en la figura 1.6.2.1-1.

El diseño y construcción de lechos de secado de arena es muy específico del lugar, debiendo considerarse todas las condiciones de topografía, suelo disponible y restricciones de operación”¹⁰.

- LAGUNAS DE DESHIDRATACION

“Las lagunas de deshidratación son muy similares a los lechos secadores de arena excepto en que operan a cargas iniciales mucho mayores, y además, tienen mayores tiempos de secado entre limpiezas. En una laguna deshidratante, esta se llena en un periodo de tiempo largo (3 a 12 meses) y después se la deja secar durante un largo periodo de tiempo mientras se llena otra vez. La laguna de deshidratación puede tener

¹⁰ RAMALHO, R. Tratamiento de Aguas Residuales. 2a. ed. España: Reverté S.A., 1996. Pp. 571-574.

una ventaja sobre los lechos de arena de puntas reducidas, porque la caja está distribuida en varios meses. Por ello, las lagunas de deshidratación utilizan una tasa de carga mucho mayor, el volumen drenado es un porcentaje del volumen total aplicado que generalmente sería menor que el lecho secador de arena.

La dificultad principal para fijar el tamaño de un lagunaje deshidratador es predecir la concentración de sólidos drenados $[SS(d)]$ después de completada la carga. El cegado de los medios deshidratadores de arena del fondo de la laguna con múltiples cargas es difícil de predecir y requeriría una prueba piloto cuidadosamente planeada con columnas deshidratadoras, o incluso lagunas deshidratadoras a escala piloto que serían necesarias para afinar con precisión el diseño y el tamaño del sistema. La parte inferior del lagunaje tendría una mayor concentración de sólidos que la parte superior y debe estimarse una concentración neta media de sólidos. Durante la fase de evaporación, las capas inferiores a menudo no secan. Algunas instalaciones han descubierto que remover el lodo durante el ciclo evaporador ayuda a exponer todos los residuos del secado”¹¹.

1.6.2.2 DESHIDRATACIÓN MECÁNICA

“Los sistemas de deshidratación mecánica tienen como ventajas principales el necesitar áreas menores, independencia de las condiciones meteorológicas y minimización de ciertos impactos ambientales. Entre sus desventajas se encuentran el mayor consumo de

¹¹ AWWA y LETTERMAN R. Calidad y Tratamiento del Agua – Manual Suministros de Agua Comunitaria. España: Mc Graw Hill, 2002. Pp. 1024.

energía, la necesidad de utilizar acondicionantes químicos adecuados, una alta sensibilidad a las variaciones cualitativas y cuantitativas del lodo, la necesidad de un lavado frecuente de las telas filtrantes y otros equipos en contacto directo con el lodo y los eventuales problemas de ruido y vibraciones excesivas provocadas por el funcionamiento de las bombas y motores. Cada equipo tendrá una eficiencia y carga de aplicación recomendada que dependerá de la naturaleza del lodo, el grado de acondicionamiento químico, la frecuencia de utilización, la mantención y el producto final deseado.

Hay varios dispositivos mecánicos disponibles para deshidratar y sacar el agua de las plantas de tratamiento de residuos.

- **FILTRACION AL VACIO**

En los filtros al vacío, la remoción del agua contenida en el lodo se realiza por un vacío creado dentro de un tambor recubierto, externamente, con un tejido filtrante. Al girar parcialmente sumergido en un recipiente con lodo acondicionado, el vacío provoca un flujo de líquido hacia el interior del cilindro, permitiendo la retención de las partículas mayores que los poros del material filtrante y, además, de las partículas de tamaño inferior que se adhieren al material ya filtrado, la torta, en la superficie externa del tambor.

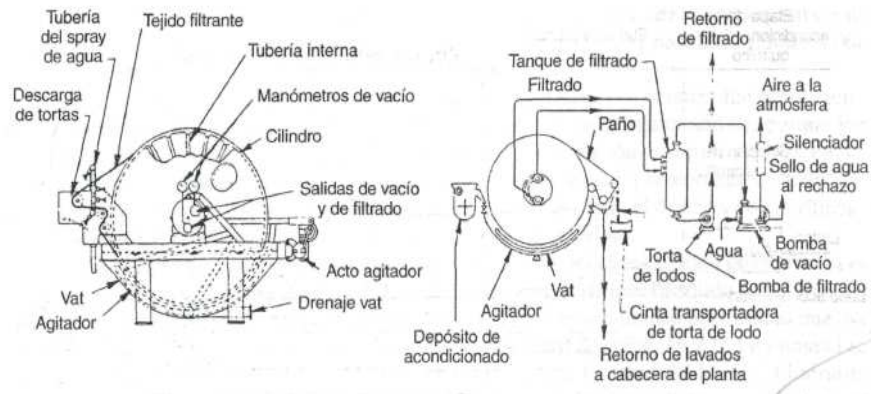


Fig. 1.6.2.2-1 Esquema de filtro de vacío típico

- **FILTRO PRENSA DE BANDA**

En los filtros prensa de banda, la remoción del agua incluye tres etapas: un acondicionamiento químico, usualmente con polielectrolito orgánico; un drenaje y espesamiento gravitacional a una consistencia no fluida; y posteriormente, la compresión del lodo, a baja presión, entre dos bandas sin fin que atraviesan un conjunto de rodillos ajustables de variados diámetros.

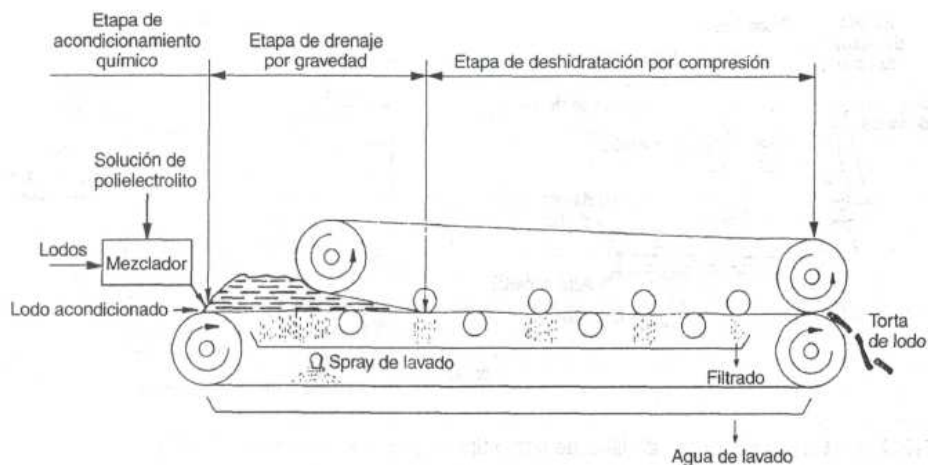


Fig. 1.6.2.2-2 Esquema de filtro prensa de bandas

- CENTRIFUGAS

En las centrífugas, se utiliza esta fuerza, a que el lodo está sometido dentro de un recipiente cilindro-cónico que gira a alta velocidad, para remover el agua. La fuerza actúa desde el centro hacia las paredes causando la sedimentación de las partículas junto a estas y la separación de la fracción líquida, menos densa, en la parte interna. La remoción de los sólidos se hace a través de un tornillo helicoidal, sin fin, que gira dentro del rotor a una velocidad distinta, mayor o menor¹².

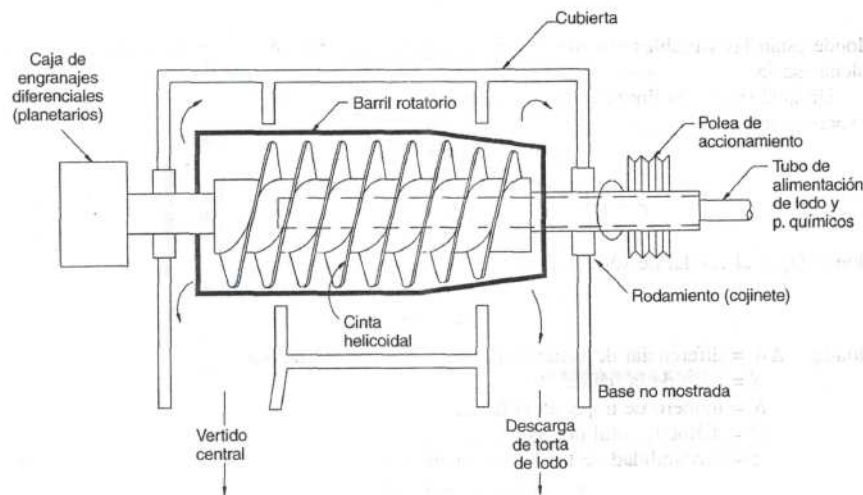


Fig. 1.6.2.2-3 Esquema de centrífuga horizontal de tornillo

- FILTRO PRENSA DE PLACAS Y MARCOS

“Uno de los filtros prensa más importantes es el filtro prensa de placas y marcos. Estos filtros consisten en placas y marcos alternados con una tela filtrante de cada lado de las

¹² <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

placas. Las placas tienen incisiones en forma de canales, para poder drenar el filtrado en cada placa. La suspensión de alimentación se bombea en la prensa y fluye a través del ducto al interior de cada uno de los marcos abiertos, de tal manera que la suspensión va llenando los espacios vacíos. El filtrado fluye entre la tela filtrante y la superficie de la placa, a través de los canales y hacia el exterior, mientras los sólidos se acumulan como torta en ambos lados de los marcos.

La filtración continúa hasta que los marcos quedan completamente llenos de sólidos. Todas las salidas de descargas comunican a un cabezal común. En muchos casos, el filtro prensa tiene una descarga abierta individual para cada marco, que permite una inspección visual para verificar la transparencia del líquido filtrado. Si una de las salidas descarga líquido turbio debido a una perforación de la tela o a otras causas, puede cerrarse por separado y continuar con la operación. Cuando los espacios están totalmente llenos, las placas y marcos se separan y se extraen las tortas. Después se vuelve armar el filtro y se repite el ciclo”¹³.

¹³ GEANKOPLIS, C. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 2a. ed. México: Continental, 1991. Pp. 650.

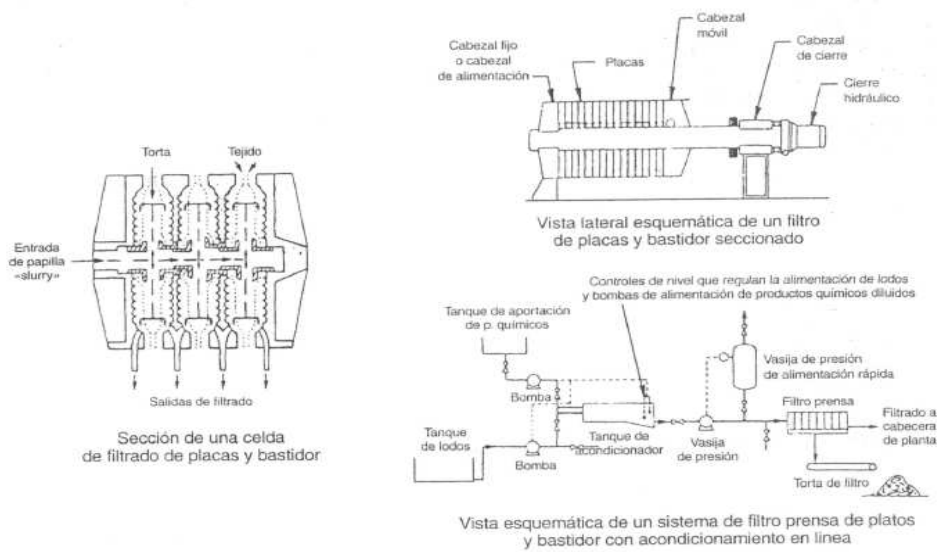


Fig. 1.6.2.2-4 Esquema de filtro prensa de placas y marcos

1.6.3 RECICLADO DE LODOS

“El reciclado se hace más a menudo debido a medidas de ahorro y conservación del agua, para aumentar y mejorar la operación de planta o debido a la imposibilidad de verter los líquidos a un curso de agua o desagüe. En zonas donde el agua escasea, ésta es demasiado valiosa como recurso para vertido, y es necesario el retorno al proceso de tratamiento como medida de conservación del agua.

Una de las posibles corrientes que puede reciclarse es:

El agua de retrolavado de filtro: esta agua de lavado se vierte o vuelve a cabecera de planta para tratamiento”¹⁴.

El reciclado de estos residuos puede transformar el proceso y afectar a la calidad del agua tratada, por lo cual es necesario realizar los correspondientes análisis tanto del lodo como del sobrenadante para así determinar qué hacer con estos.

Con lo que respecta a los lodos serán mezclados con un porcentaje de encapsulante para mitigar cualquier tipo de químico que este presente y poder ser enviados al relleno de seguridad.

¹⁴ GERARD, K. Ingeniería Ambiental, Fundamentos Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Volumen II. Madrid – España: Mc Graw Hill, 1999. Pp. 634.

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

Las muestras de lodo para el análisis fueron tomadas de las purgas de los sedimentadores y del retrolavado de los filtros tanto de la planta convencional como de la planta automatizada.

2.2 METODOS Y TECNICAS

2.2.1 MÉTODOS

El diseño de la planta de tratamiento de lodos requiere la determinación de parámetros característicos del lodo generado tales como: % de sólidos, pH, turbidez, metales, entre otros mediante métodos de análisis gravimétricos, volumétricos y físico – químicos.

En función de las características del lodo, se establecen los diferentes procesos fisicoquímicos que se requieren para su concentración y disposición final. Como fase preliminar se realizan pruebas para establecer las mejores condiciones de operación y definir las secuencia del tratamiento del lodo en análisis.

Luego del análisis por separado de cada uno de los parámetros y fenómenos éstos se relacionan para el Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos.

2.2.1.1 INDUCTIVO

Se entiende por inducción la acción de extraer, a partir de determinadas observaciones o experiencias particulares, el principio general que en ellas está implícito, es decir que va de lo particular a lo general en nuestro caso. Por medio de la caracterización de lodos de

la EPMAPA – SD y las pruebas de tratabilidad se podrá determinar los parámetros indicados, los cuales van a ser el punto de partida en el diseño y dimensionamiento del sistema.

2.2.1.2 DEDUCTIVO

Por deducción se entiende al método por el cual se procede lógicamente de lo universal a lo particular, en la investigación se ha visto la necesidad de desarrollar un sistema de tratamiento de lodos generados en plantas potabilizadoras tomando como referencias los estudios realizados en otros países, además de estudios necesarios como operaciones unitarias entre otras.

2.2.1.3 EXPERIMENTAL

El análisis de este estudio a nivel de laboratorio siguen una serie de variaciones de los parámetros, y así encontrar las condiciones óptimas que sean favorables para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de lodos y al final se encuentren dentro de las normas establecidas.

2.2.2 TECNICAS

2.2.2.1 TECNICAS Y METODOLOGIA DE ENSAYO (correspondientes a los métodos normalizados establecidos por la APHA)

2.2.2.1.1 DETERMINACION DE POTENCIAL HIDROGENO pH

Tabla 2.2.2.1.1-1 Determinación de pH

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del lodo, en una escala numérica de 1 a 14.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • pH metro digital • Vaso de precipitación de 250ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución buffer 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el pHmetro esté calibrado utilizando la solución buffer, de diferentes valores de pH en función del rango de trabajo previsto. • Colocar el electrodo dentro del recipiente que contiene el lodo. • Leer directamente el valor en el equipo 	<p>Lectura directa</p>

2.2.2.1.2 DETERMINACION DE LA TURBIDEZ (NTU)

Tabla 2.2.2.1.2-1 Determinación de turbidez

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro • Celda • Piseta 	<p>Lodo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en la celda el agua obtenida en la prueba de jarras y también el lodo (haciendo diluciones) hasta la línea de aforo. • Colocar la celda en el turbidímetro. • Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10, 0-100, 0-1000)NTU 	<p>Lectura directa</p>

2.2.2.1.3 DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES 2540 B

Tabla 2.2.2.1.3-1 Determinación de sólidos totales

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los <sólidos totales suspendidos>, o porción de sólidos totales retenida por un filtro y los <sólidos disueltos totales> o porción que atraviesa el filtro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas de porcelana • Baño maría • Probeta 25ml • Estufa • Desecador • Balanza analítica 	<p>Lodo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tarar las capsulas • Pesar las capsulas taradas vacías (peso 1). • Colocar 25 ml de lodo en la cápsula. • Poner en baño maría hasta q se evapore el agua contenida en el lodo • Colocar en la estufa a 103-105 °C. • Dejar enfriar y pesar (peso 2) 	$ST(mg/L) = \frac{(P_2 - P_1) * 1000}{V_{muestra}(mL)}$ <p>P_2 = peso del residuo seco + placa, mg.</p> <p>P_1 = peso de la placa, mg.</p>

2.2.2.1.4 DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS 2540 C

Tabla 2.2.2.1.4-1 Determinación de sólidos totales disueltos

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>Mejor conocidos como <i>sólidos filtrables</i>, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.</p> <p>Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro • Cápsula • Estufa • Desecador • Balanza 	<p>Lodo</p>	<p>Si la determinación es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103-105 °C, el incremento de peso sobre el de la cápsula vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable</p>	$ST(mg/L) = \frac{(P_2 - P_1) * 1000}{V_{muestra} (mL)}$ <p>P_2 = peso del residuo seco + placa, mg.</p> <p>P_1 = peso de la placa, mg.</p>

2.2.2.1.5 DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION SECADOS A 103 – 105 °C 2540 D

Tabla 2.2.2.1.5-1 Determinación de sólidos totales en suspensión

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.	<ul style="list-style-type: none"> Filtro: crisol Gooch. Aparato de filtración Estufa de secado Desecador Balanza analítica 	Lodo	<p>Una muestra bien mezclada se pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio, previamente pesado, y el residuo retenido se seca a 103-105°C hasta peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos.</p> <p>Si el material suspendido taponara el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un</p>	$ST(mg/L) = \frac{(P_2 - P_1) * 1000}{V_{muestra}(mL)}$ <p>P_2 = peso del residuo seco + crisol Gooch, mg.</p> <p>P_1 = tara del crisol Gooch, mg.</p>

			estimativo de los sólidos suspendidos totales.	
--	--	--	------------------------------------------------	--

2.2.2.1.6 DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES 2540F

Tabla 2.2.2.1.6-1 Determinación de sólidos sedimentables

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (mL/L) o de un peso (mg/L).	<ul style="list-style-type: none"> • Cono de Imhoff • Soporte para el cono. • Varilla 	Lodo	<p>a) Homogeneizar la muestra e inmediatamente llenar el Cono de Imhoff hasta la marca de 1 L</p> <p>b) Dejar que la muestra sedimente durante 45 minutos.</p> <p>c) Transcurridos los 45 minutos, se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes del mismo.</p> <p>d) Mantener en reposo 15 minutos y registrar el volumen de sólidos sedimentados en el</p>	Lectura directa expresada en mL/L ó en mg/L.

			cono en mL/L.	
--	--	--	---------------	--

2.2.3 PROCESOS DE TRATABILIDAD

2.2.3.1 PRUEBA DE JARRAS (JAR TEST)

Este método se emplea en el laboratorio para determinar de forma rápida y precisa el tipo de coagulante q mejores resultados presente y la dosificación o cantidades de coagulante que van a ser adicionadas en el sistema de tratamiento de lodos.

Para analizar las opciones de tratamiento de lodos referentes a la aplicación de los diferentes procesos u operaciones unitarias se establecen los siguientes elementos:

- REACTIVOS

Se realizaron pruebas de tratabilidad en el lodo utilizando para su efecto los siguientes reactivos:

Coagulantes { Sulfato Férrico
Sulfato de Aluminio 17% (alúmina)
Policloruro de Aluminio (PAC) del 9 – 10% de Al

Poliacrilamida aniónica (floculante) al 0,1 % (p/v)

Que por sus características favorecen a la precipitación de impurezas orgánicas e inorgánicas presentes en las muestras.

Se preparan las soluciones de los productos químicos antes mencionados al 10% (p/v)

Cada mL de la solución de los reactivos equivale a 100ppm, el volumen de la muestras es de 1L.

- **MATERIALES Y EQUIPOS**

1. Un agitador mecánico provisto de paletas, capaces de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto).
2. Vasos de precipitación de 1000 mL de vidrio.
3. Recipientes plásticos graduados, con capacidad superior a 8 litros, para la recolección de la muestra.
4. Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL con graduación de 1 mL, para dosificar rápidamente a las muestras, los coagulantes y floculante.
5. Aparatos para la determinación de pH, turbiedad y sólidos totales en suspensión.

- **PROCEDIMIENTO**

Para realizar la prueba de jarras lo primero es recolectar la muestra de lodo; es decir, tanto de las purgas de los sedimentadores como de los retrolavados de los filtros, a continuación se la llevará al laboratorio para ser depositada en los respectivos vasos, los cuales serán colocados en el agitador mecánico provisto de aspas las cuales operan de 0 a 100 rpm. Una vez encendido el equipo se lo ajusta a 100 rpm por 5 min para q la muestra se homogenice.

Transcurrido este tiempo, se agrega el coagulante en la dosis definida se agita por un (1) min a la misma velocidad. Luego de lo cual, se disminuye la velocidad a 70 rpm

por 3 min, después a 40 rpm por 5min y finalmente a 20 rpm por 5 min., conforme haya pasado este tiempo se irán formando flóculos.

Al terminar esta fase de floculación, se deja reposar por 10 min. y se procede a verificar el vaso en el cual se ha generado la mayor cantidad de flóculo, se determina el pH, la turbidez del sobrenadante, sólidos suspendidos, para así elegir el tipo y la concentración de polímero más adecuado q se van a utilizar en el sistema de tratamiento.



Fig. 2.2.3.1-1 Prueba de jarras con lodo de sedimentadores

2.2.3.2 PRUEBA DE SEDIMENTACION

El test o prueba de sedimentación usado en laboratorio se realiza en una probeta graduada de 1000mL llenada con lodo y mezclado para una rápida distribución de

sólidos. A tiempo cero, se obtiene el mezclado y a los sólidos se les permite la sedimentación. Los lodos de la planta de agua de tanques clarificadores y sedimentadores sedimentarán generalmente como una sábana con una interfase bien definida. Se anota y registra los datos de altura de la superficie vs tiempo (min) para que con ellos se realice los respectivos cálculos que generarán datos para el diseño de equipos.

Los datos generados en estas pruebas nos sirven para determinar el tiempo de sedimentación del lodo y con este tiempo hallar la velocidad de sedimentación la cual nos permite realizar los respectivos cálculos del diseño de clarificadores.



Fig. 2.2.3.2 – 1 Prueba de sedimentación de lodo

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 PRUEBAS DE JARRAS PARA SELECCIÓN DEL COAGULANTE

- PRUEBA N° 1

Tabla 2.3.1-1 Prueba N° 1

N° JARRA	FLOCULANTE (0,1% p/v)(ml)	PAC (mg/l)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	VOL. DE LODO (ml)	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)
1	2	100			380	21	6,96	80
2	2		100		350	89	6,64	56
3	2			100	395	79	6,79	460
MUESTRA CRUDA (sin tratamiento):						32100	7,01	25757

- PRUEBA N° 2

Tabla 2.3.1-2 Prueba N° 2

N° JARRA	FLOCULANTE (0,1% p/v)(ml)	PAC (mg/l)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	VOL. DE LODO (ml)	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)
1	2	100			290	17	7,01	27
2	2		100		275	16	6,70	41
3	2			100	285	30	6,84	21
MUESTRA CRUDA (sin tratamiento):						10700	7,20	23886

- PRUEBA N° 3

Tabla 2.3.1-3 Prueba N° 3

N° JARRA	FLOCULANTE (0,1% p/v)(ml)	PAC (mg/l)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	VOL. DE LODO (ml)	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)
1	2	100			290	17	6,88	1586
2	2		100		275	25	6,76	918
3	2			100	285	18	6,80	922
MUESTRA CRUDA (sin tratamiento):						53250	6,82	110532

- PRUEBA N° 4

Tabla 2.3.1-4 Prueba N° 4

N° JARRA	FLOCULANTE (0,1% p/v)(ml)	PAC (mg/l)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	VOL. DE LODO (ml)	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)	
1	2	100			410	7	6,89	442	
2	2		100		450	13	6,74	284	
3	2			100	495	8	6,81	116	
MUESTRA CRUDA (sin tratamiento):							28000	6,99	42808

- PRUEBA N° 5

Tabla 2.3.1-5 Prueba N° 5

N° JARRA	FLOCULANTE (0,1% p/v)(ml)	PAC (mg/l)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	VOL. DE LODO (ml)	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)	
1	2	100			425	4	6,85	21	
2	2		100		450	6	6,65	85	
3	2			100	500	4	6,75	21	
MUESTRA CRUDA (sin tratamiento):							158000	6,94	9700

2.3.2 PRUEBAS DE SEDIMENTACION DE LODO

- PRUEBA N° 1: Lodo con tratamiento

Tabla 2.3.2-1 Prueba N° 1

H interfaz (m)	VOLUMEN (ml)	TIEMPO (min)
0,340	1000	0
0,323	950	3
0,282	830	8
0,258	760	11
0,238	700	14
0,226	665	16
0,214	630	18
0,194	570	23
0,187	550	25
0,177	520	28
0,163	480	33
0,156	458	38
0,149	438	43
0,142	418	50
0,139	408	53
0,138	405	55
0,133	390	62

- PRUEBA N° 2: Lodo sin tratamiento

Tabla 2.3.2-2 Prueba N° 2

H interfaz (m)	VOLUMEN (ml)	TIEMPO (min)
0,340	1000	0
0,326	958	5
0,303	890	10
0,287	845	15
0,270	795	20
0,252	740	25
0,230	675	35
0,218	640	40
0,207	610	45
0,189	555	50
0,185	545	55
0,174	512	60
0,166	488	65
0,156	458	70
0,146	430	75

2.3.3 DATOS GENERADOS PARA EL DISEÑO

Tabla 2.3.3-1 Datos para el diseño del sistema

% SOLIDOS	Antes clarificación: 5
	Después clarificación: 10 – 15
% VOLUMEN	40 – 50
TIEMPO DE RETENCION (min)	33

2.3.4 DATOS ADICIONALES

Tabla 2.3.4-1 Datos adicionales

UNIDAD DE SEDIMENTACION	DIMENSIONES (m)			Nº DE PURGAS/DIA	TIEMPO PURGA
	L	A	h*		
<i>Planta Convencional</i> 6 sedimentadores	13,90	2,34	0,27	2	30 s
<i>Planta Automática</i> 8 sedimentadores	15,9	2,38	0,08	5	5 min
UNIDAD DE FILTRACION	VOLUMEN AGUA RETROLAVADO (l/s)		TIEMPO RETROLAVADO (min)	FRECUENCIA/DIA	
<i>Planta convencional</i> 8 filtros	120 – 140		15	1	
<i>Planta Automática</i> 8 filtros	32,25		30	2	

*h significa la altura q bajo durante la purga

- **Caudales de entrada a la planta de agua potable**

PLANTA CONVENCIONAL

PLANTA AUTOMATIZADA

Invierno = 350 l/s

Invierno = 350 l/s

Verano = 450 l/s

Verano = 450 l/s

CAPITULO III

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS

3.1 CALCULOS

3.1.1 CALCULO DEL CAUDAL DE LODO A TRATAR

a. UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN

- Planta convencional

- Volumen de lodo evacuado:

$$13.90m * 2.34m * 0.27m = 8.78 m^3$$

- V lodo evacuado (total):

$$8.78 * 2 \text{ purgas/día} = 17.56 m^3$$

- V total = V lodo evacuado * N° de sedimentadores

$$V \text{ total} = 17.56 m^3 * 6$$

$$V \text{ total} = 105.36 m^3$$

$$Q_{\text{lodo } 1} = 105.36 m^3/d$$

- Planta automatizada

- Volumen de lodo evacuado:

$$15.90m * 2.38m * 0.08m = 3.03 m^3$$

- V lodo evacuado (total):

$$V \text{ lodo evacuado (total): } 3.03 * 5 = 15.15 m^3$$

- V total = V lodo evacuado * N° de sedimentadores

$$V \text{ total} = 15.15 m^3 * 8$$

$$V \text{ total} = 121.2 m^3$$

$$Q_{lodo2} = 121.2 \text{ m}^3/d$$

$$Q_{\text{TOTAL SEDIMENTADORES}} = Q_{\text{LODO1}} + Q_{\text{LODO2}}$$

$$Q_{\text{TOTAL SEDIMENTADORES}} = (105.36 + 121.2) \text{ m}^3/d$$

$$Q_{\text{TOTAL SEDIMENTADORES}} = 226.56 \text{ m}^3/d$$

b. UNIDADES DE FILTRACION

- Planta convencional

- Volumen de lodo evacuado en retrolavado = 120 - 140 l/s (determinado en la planta por el operador)

- V lodo evacuado por filtro:

$$140 \frac{l}{s} \times \frac{60s}{1min} \times 15min = 126000l \times \frac{1m^3}{1000l} = 126 \text{ m}^3/d / \text{filtro}$$

- V total = V lodo evacuado por filtro * N° de filtros

$$V_{\text{total}} = 126 \text{ m}^3/d * 8$$

$$V_{\text{total}} = 1008 \text{ m}^3/d$$

$$Q_{lodo1} = 1008 \text{ m}^3/d$$

- Planta automática

- Volumen de lodo evacuado en retrolavado = 32.25 l/s (determinado en la planta mediante caudalimetro)

- Volumen de lodo evacuado por filtro:

$$32.25 \frac{l}{s} \times 30 \text{ min} \times \frac{60s}{1 \text{ min}} \times \frac{2 \text{ veces}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000l} = 116.1 \text{ m}^3 / \text{d} / \text{filtro}$$

- $V_{\text{total}} = V_{\text{lodo evacuado por filtro}} * N^{\circ} \text{ de filtros}$

$$V_{\text{total}} = 116.1 \text{ m}^3 / \text{d} * 8$$

$$V_{\text{total}} = 928.8 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$Q_{\text{lodo2}} = 928.8 \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$Q_{\text{TOTAL FILTROS}} = Q_{\text{LODO1}} + Q_{\text{LODO2}}$$

$$Q_{\text{TOTAL FILTROS}} = (1008 + 928.8) \text{ m}^3 / \text{d}$$

$$Q_{\text{TOTAL FILTROS}} = 1936.8 \text{ m}^3 / \text{d}$$

Debido a las características de los lodos de las dos unidades de proceso (sedimentación y filtración) el caudal a tratar es el de los sedimentadores por la gran cantidad de sólidos que estos presentan, mientras que el caudal de los filtros será retornado a la entrada de la planta de agua potable.

Entonces el caudal a tratar es:

$$Q_s = \frac{226,56 \text{ m}^3 / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}}$$

$$Q_e = 9,44 \text{ m}^3/\text{h} \cong 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

donde Q_e = caudal (m^3/h)

3.1.2 CALCULO DEL TANQUE ECUALIZADOR

El tanque ecualizador tendrá forma de cubo. Altura del tanque se considera por diseño de construcción de 2 m.

Tiempo de residencia de 6 horas para un caudal de $8 \text{ m}^3/\text{h}$

El volumen del tanque es:

$$V = 6h \times \frac{8\text{m}^3}{h}$$

$$V = 48 \text{ m}^3 \cong 50\text{m}^3$$

Entonces: *Volumen = largo x ancho x altura*

$$V = L^2 \times \text{altura}$$

$$50\text{m}^3 = L^2 \times 2\text{m}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

3.1.3 CALCULO DEL TANQUE CLARIFICADOR

3.1.3.1 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Para calcular la velocidad de sedimentación se debe primero determinar el tiempo de retención mediante la sedimentación por zonas para lo cual se utilizó para comparación la prueba 1 y 2 del proceso de sedimentación.

Entonces tenemos:

Lodo sin tratamiento

$$\text{tiempo de retención} \cong 67 \text{ min}$$

Entonces la velocidad de sedimentación será:

$$v_s = \frac{dh}{dt} = \frac{OA}{OB} = \frac{0.34m}{67 \text{ min}} = 0.00507 \text{ m/min}$$

$$v_s = 0,00507 \frac{m}{\text{min}} = 0,3045 \text{ m/h}$$

Lodo tratado con PAC:

$$\text{tiempo de retención} \cong 33 \text{ min}$$

$$v_s = \frac{dh}{dt} = \frac{OA}{OB} = \frac{0,34m}{33min} = 0,0103 \text{ m/min}$$

$$v_s = 0,0103 \frac{m}{min} = 0,618 \text{ m/h}$$

Entonces la velocidad de retención será de la prueba N° 1 es decir *0,618 m/h*

3.1.3.2 CALCULO DEL AREA DE CLARIFICACIÓN

$$A_c = \frac{Q_e}{v_s}$$

donde Q_e = caudal (m³/h)

v_s = velocidad de sedimentación por zonas (m/h)

A efectos de diseño, es costumbre dividir la carga superficial, obtenida en los análisis de laboratorio por un factor que oscila entre 1,25 y 1,75, y multiplicar el tiempo de retención por un factor del mismo rango.

Por tanto,

$$v_s = \frac{0,618 \text{ m/h}}{1,5}$$

$$v_s = 0,412 \text{ m/h}$$

Entonces

$$A_c = \frac{10 \text{ m}^3/h}{0,412 \text{ m/h}}$$

$$A_c = 24,2718 \text{ m}^2$$

3.1.3.3 CALCULO DEL DIAMETRO DEL CLARIFICADOR CIRCULAR “D”

$$D = \left(\frac{4A_c}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{4 * 24,2718}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = 5,56 \text{ m}$$

Considerando que el caudal alimente a dos clarificadores:

$$D = 3,93 \text{ m} ; A_c = 12,1359 \text{ m}^2$$

3.1.3.4 CALCULO DEL VOLUMEN DEL CLARIFICADOR

Multiplicando el tiempo de retención por el factor de seguridad tenemos:

$$\text{Tiempo} * 1.5$$

entonces: $t = 33 * 1,5$

$$t = 49,5 \text{ min}$$

se asume como tiempo de retención = 60 min

el volumen de cada clarificador será:

$$V = Q_e * t$$

$$V = 5 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h}$$

$$V = 5 \text{ m}^3$$

3.1.3.5 CALCULO DE LA PROFUNDIDAD

Siendo la profundidad (H):

$$H = \frac{V}{A}$$

$$H = \frac{5 \text{ m}^3}{12,1359 \text{ m}^2}$$

$$H = 0,412m$$

considerando que se produce un volumen de lodo significativo (50% del volumen total)

$$H = 0,824m \cong 1m$$

para un espacio libre del 20% en el recipiente, entonces:

$$H_{TOTAL} = 1,20m$$

3.1.3.6 CAPACIDAD DE LOS CLARIFICADORES

Considerando que el volumen total requerido es:

$$V = Q_e * t$$

$$V = 10 \frac{m^3}{h} * 1h$$

$$V = 10m^3$$

además, en función de la disponibilidad de recipientes de diferente diámetro al calculado teóricamente, se plantea lo siguiente:

$$\Phi = 2,7 m$$

$$h = 2 \text{ m}$$

área calculada:
$$A_c = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi(2,7)^2}{4}$$

$$A_c = 5,725 \text{ m}^2$$

volumen calculado:
$$V = \text{área} * \text{altura}$$

$$V = 5,725 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V \cong 11,5 \text{ m}^3$$

3.1.4 FILTRO PRENSA

Los filtros prensa serán adquiridos comercialmente con una capacidad de 20 pies³ torta/h, la cual se la determino por el volumen de lodo q se va a tratar.

3.1.4.1 CALCULO DEL VOLUMEN DE LODO A DESHIDRATAR

De los ensayos de las pruebas de jarras se determino que se produce un 40 - 50% en volumen de lodo con una concentración de sólidos a la entrada del filtro prensa del 10 - 15%, por tanto el volumen de lodo es:

Caudal de entrada a la planta de lodos de $10 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{Volumen} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,5 = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Volumen} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,15 = 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El volumen de lodo a tratar en el filtro prensa es de $0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, este volumen se divide para

dos ya que son dos los filtros prensa uno para cada clarificador.

Entonces:

$$\text{Volumen} = 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 2 =$$

$$\text{Volumen} = 0,38 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ lodo} = 13,42 \frac{\text{pies}^3}{\text{h}} \text{ lodo}$$

3.1.4.2 CALCULO DEL NÚMERO DE PLACAS Y MARCOS

Las placas y marcos son de 80 x 80 cm y un espesor de 2.5 cm con estos datos determinamos el volumen de torta que es:

$$V_{\text{torta}} = 0.80\text{m} * 0.80\text{m} * 0.025\text{m}$$

$$V_{torca} = 0.016m^3 = 0.57pies^3$$

Entonces:

$$N^{\circ} \text{ de placas y marcos} = \frac{20 \text{ pies}^3}{0.57 \text{ pies}^3}$$

$$N^{\circ} \text{ de placas y marcos} = 35$$

3.1.5 ENCAPSULADO DE LODOS

Para calcular el volumen de los recipientes de mampostería para el encapsulado se realizó los siguientes cálculos:

El volumen de lodo a tratar en los filtros prensa es de $0.38 \text{ m}^3/\text{h}$ por el número de filtros por el tiempo de deshidratación (hora y media) por el número de paradas que se realizara en los filtros prensa tenemos:

$$N^{\circ} \text{ de paradas} = \frac{10 \text{ h/d}}{1,5 \text{ h}} = 7$$

$$\text{Volumen} = 0,38 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 2 \text{ filtros} \times 1,5 \text{ h} \times 7 \text{ paradas}$$

$$\text{Volumen} = 8 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos un volumen de 8 m^3 sin embargo por efectos de diseño se sobredimensiona el volumen por lo que se ha tomado un volumen de 15 m^3 , ahora con este volumen calculamos los lados que tendrá el recipiente con una altura de 0,5 m y el ancho de 4m:

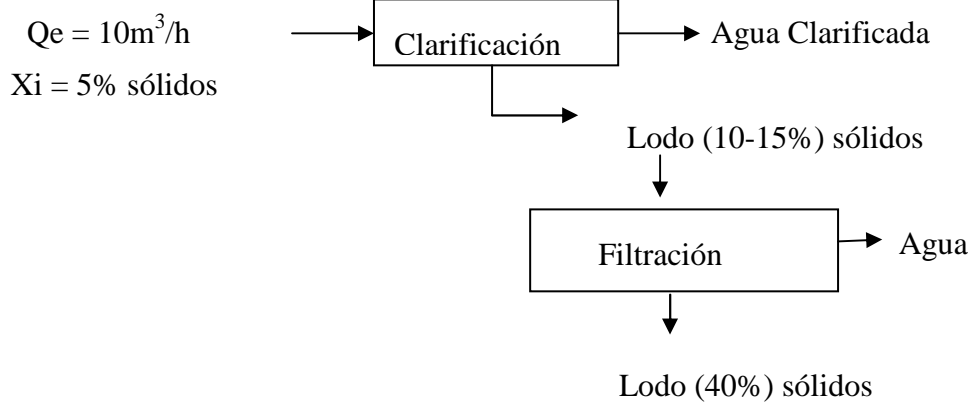
Entonces: $Volumen = largo \times ancho \times altura$

$$15 \text{ m}^3 = L \times 4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$15 \text{ m}^3 = L \times 2 \text{ m}^2$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

3.2 BALANCE DE MASA



BALANCE DE MASA PARA EL CLARIFICADOR

$$Q_2 X_2 = Q_1 X_1$$

$$10*(0,05) = Q_1*(0,15)$$

$$0,5 = Q_1*(0,15)$$

$$Q_1 = 3,33$$

BALANCE DE MASA PARA FILTRO PRENSA

$$Q = 3,33 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 X_2 = Q_1 X_1$$

$$3,33*(0,15) = Q_1*(0,4)$$

$$0,49 = Q_1*(0,4)$$

$$Q_1 = 1,25$$

Es decir tenemos un total de descarga de lodo en los dos procesos de:

$$Q_{Tl} = 4,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para el total de agua clarificada tenemos:

$$Q_e = Q_{Tl} + Q_{Ta}$$

$$Q_{Ta} = Q_e - Q_{Tl}$$

$$Q_{Ta} = 10 - 4,58$$

$$Q_{Ta} = 5,42 \text{ m}^3/\text{h}$$

Es decir se relaciona con los datos experimentales del porcentaje de volumen de lodo a formarse en el proceso que es del 40 – 50%.

3.3 DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento del sistema de tratamiento de lodos consta de la siguiente manera:

Un tanque ecualizador con capacidad de 50 m³ construido en hormigón armado, dos tanques clarificadores en acero al carbono con recubrimiento epóxico con capacidad de 11,5 m³, dos filtros prensa adquiridos comercialmente de 20 pies³ torta/h con 35 placas y marcos y finalmente recipientes apropiados de mampostería para el encapsulado de lodos con capacidad de 15 m³ de tortas de lodo.

Tabla 3.3-1 Dimensionamiento del sistema

DESCRIPCION	VARIABLE	INDICADOR
1 ECUALIZADOR		
Altura	2	m
Largo	5	m
Ancho	5	m
Volumen	50	m ³
Material	Hormigón armado	---
2 CLARIFICADORES		
Diámetro	2,7	m
Altura cilindro	2	m
Altura cono	1,5	m ³
Espesor	6	---

Capacidad Material	11,5 Acero al carbono con recubrimiento epóxico	
Cilindro interno (floculador): Diámetro Espesor	60 4	cm mm
2 FILTROS PRENSA (ADQUIRIDOS)		
Capacidad Nº de placas y marcos	20 35	Pies ³ torta/h
ENCAPSULAMIENTO		
Altura Largo Ancho Volumen	0,5 7,5 4 15	m m m m ³

Fuente: Lucía Cabezas

3.4 TIPOS DE MATERIALES Y CONTROL DEL SISTEMA

3.4.1 TIPOS DE MATERIALES

Entre los tipos de materiales a utilizarse en el diseño del sistema tenemos:

Tabla 3.4.1-1 Materiales utilizados en el diseño del sistema

DENOMINACION	CARACTERISTICAS	TIPO
Tubería: conducción de líquidos (agua clarificada)	4 pulgadas	PVC
Tubería: conducción de líquidos (alimentación)	2 pulgadas	PVC
Tuberías: conducción de lodos	4 pulgadas	Acero negro
Tubería: para inyectar aire en la agitación (clarificación)	1 pulgada	Acero negro
Válvula de bola de media vuelta (entrada de agua clarificadores)	2 pulgadas	Cromada

Válvulas de mariposa	4 pulgadas	Metálicas
Válvulas de bola de media vuelta	1 pulgada	Cromada
Bomba autocevante	3 HP	Centrífuga
Bombas dosificadoras	30 gpm 100 gpm	Desplazamiento positivo
Bombas neumáticas	165 gpm	Desplazamiento positivo
Compresor	5 HP	Desplazamiento positivo

Fuente: Lucía Cabezas

3.4.2 CONTROL DEL SISTEMA

El control del sistema de tratamiento de lodos se lo realizara tanto manualmente como automáticamente para ello, se dispondrá de un tablero eléctrico para el control de las bombas y compresor.

El compresor funciona con el swich de encendido *on/off*, el cual funciona automáticamente mediante el presostato.

La bomba autocevante funciona automáticamente mediante el sensor de nivel de mínimo y máximo. Las bombas dosificadoras funcionan mediante un puente eléctrico.

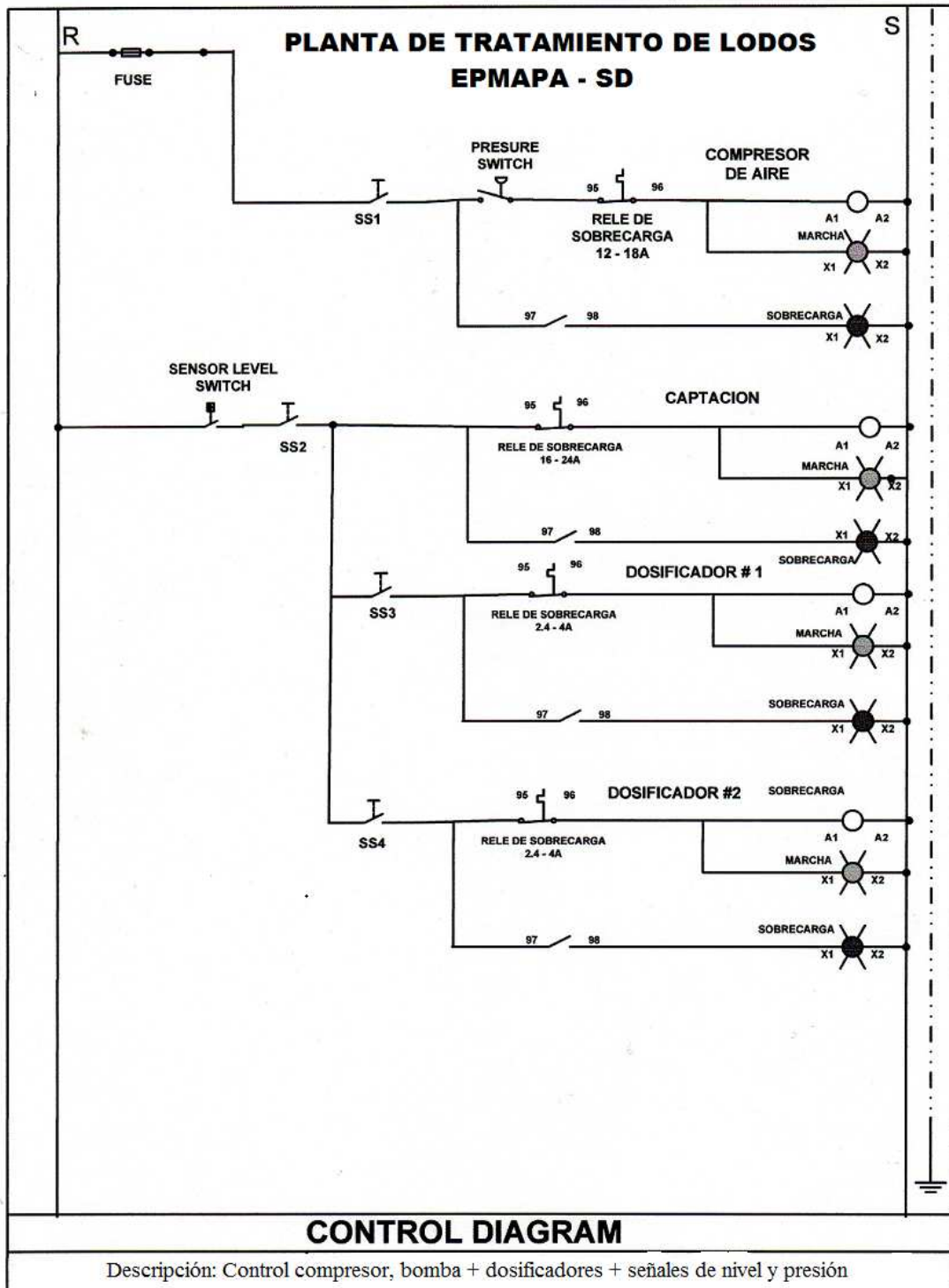


Fig. 3.4.2-1 Diagrama del tablero de control

3.5 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

El presupuesto de la planta de tratamiento de lodos consta de: gastos de inversión, gastos de operación e imprevistos (3-5 %) y costo total.

3.5.1 GASTOS DE INVERSIÓN

Tabla 3.5.1-1 Costo de equipos y materiales

CANTIDAD	EQUIPO O MATERIAL	TIPO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Ecuador en hormigón armado	50 m ³	\$5000	\$ 5000
2	Clarificadores metálicos	11.5 m ³	\$25000	\$50000
1	Bomba centrífuga autocevente	3HP	\$700	\$700
2	Filtro prensa	20 pies ³ torta/h	\$40000	\$80000
1	Tablero eléctrico		\$3000	\$3000
Varios	Tuberías, materiales	PVC, acero negro (1",2",4")	\$8500	\$8500
1	Válvula de bola	Cromada 2"	\$50	\$50
2	Válvulas de bola	Cromada 1"	\$25	\$50
2	Válvulas de mariposa	Metálicas 4"	\$700	\$1400
1	Plancha en hormigón armado		\$6000	\$6000
1	Compresor de aire	5 HP	\$1500	\$1500
1	Tanque para encapsulado de lodos	Mampostería	\$2000	\$2000
1	Bomba dosificadoras	30 gpd	\$800	\$800
1	Bombas dosificadoras	100 gpd	\$1200	\$1200
2	Bombas neumáticas	164 gpm	\$3000	\$6000
TOTAL				166200

Fuente: Lucía Cabezas

Tabla 3.5.1-2 Costo de instalación y mano de obra.

INSTACION	COSTO
Instalación eléctrica e hidráulica y mano de obra	\$5000
TOTAL	\$5000

Fuente: Lucía Cabezas

Tabla 3.5.1-3 Total gastos de inversión

GASTOS INVERSION	COSTO
Equipos y materiales	166200
Instalación eléctrica e hidráulica y mano de obra	\$5000
TOTAL	171200

Fuente: Lucía Cabezas

3.5.2 GASTOS DE OPERACIÓN

Tabla 3.5.2-1 Costo tratamiento/m³

PRODUCTO	Costo/kg/producto \$	DOSIS (g/m3)	COSTO (\$/m ³)
Policloruro de aluminio	0,70	100	0,07
Floculante aniónico poliacrilamida	7,00	1	0,01
Encapsulante de lodos	0,70	9	0,01
TOTAL	8,40		0,09
COSTO DIARIO			21,6
COSTO MENSUAL			648

Fuente: Lucía Cabezas

Tabla 3.5.2-2 Total gastos de operación

DETALLE	COSTO \$
Mantenimiento	166,70
Operadores (2)	800
Servicio básicos	30,00
Tratamiento	648
TOTAL	1644,70

3.5.3 COSTO TOTAL

Tabla 3.5.3-1 Costo total

ITEM	MONTO \$
Gastos de inversión	171200
Gastos de operación	1644,70
Subtotal	172844,70
Imprevistos (5%)	8642,24
TOTAL	181486,94

Fuente: Lucía Cabezas

3.6 RESULTADOS

3.6.1 RESUMEN DEL DISEÑO DE INGENIERIA

Tabla 3.6.1-1 Resumen del diseño de ingeniería

EQUIPOS Y COMPONENTES	DESCRIPCION	UNIDAD
RECEPCION DE LODOS		
1 Tanque Ecuilizador	Capacidad: 50	m ³
	Material: hormigón armado	
UNIDAD DE CLARIFICACION		
2 Tanques Clarificadores	Capacidad: 11,5	m ³
	Diámetro: 2,7	m
	Altura cilindro: 2	m
	Altura cono: 1,5	m
	Espesor: 6	mm
	Cilindro interno: Diámetro = 60	cm
	Espesor = 4	mm
1-Bomba Centrífuga Autocevante	Capacidad: 3	HP
Tuberías: conducción de líquidos	Medida: 2	Pulgadas

(agua clarificada)	Material: PVC	
2 Bombas dosificadoras	Capacidad: 30 100	gpm gpm
1 Válvula	Medida: 2	Pulgadas
1 Compresor	Capacidad: 5	HP
Tubería: inyección aire proceso de floculación	Medida: 1	Pulgada
	Material:	Acero negro
2 Válvulas	Medida: 1	Pulgada
Tuberías: conducción de lodos	Medida: 4	Pulgadas
	Material: metálicas	
2 Válvulas	Medida: 4	Pulgada
	Material: metálicas	
UNIDAD DE DESHIDRATAACION		
2 Bombas neumáticas	Bombeo de lodos a filtro prensa	
2 Filtro prensa	Capacidad: 20	Pies ³ torta/h
	Nº placas y marcos: 35	
Recipientes de mampostería: encapsulado de lodos	Capacidad: 15	m ³

Fuente: Lucía Cabezas

3.6.2 CARACTERIZACION DE MUESTRAS

3.6.2.1 MUESTRAS DEL AGUA DE RETROLAVADO DE FILTROS

Tabla 3.6.2.1-1 Características iniciales de las muestras del agua de retrolavado

N° MUESTRA	pH	TUBIDEZ	SOLIDOS (ppm)			
			TOTALES	SUSPENDIDOS	DISUELTOS	SEDIMENTABLES (mL/L)
1	8.15	297	820	699	121	9.0
2	7.80	155	420	356	64	4.5
3	8.17	44	200	165	35	2.0
4	8.35	31	192	128	64	0.9

3.6.2.2 MUESTRAS DE LODO DE SEDIMENTADORES

Tabla 3.6.2.2-1 Características iniciales de las muestras de lodo de sedimentadores

N° MUESTRA	pH	TURBIDEZ	SOLIDOS (ppm)			
			TOTALES	SUSPENDIDOS	DISUELTOS	SEDIMENTABLES (mL/L)
1	6.82	15800	336116	328330	7786	996
2	6.65	53250	195613	193549	2064	989
3	6.36	46720	249636	223052	26584	992
4	6.78	16500	47528	44918	2610	500
5	6.50	56100	46302	45122	1180	272
6	6.44	73200	181408	177683	3725	876
7	6.84	63250	117140	117022	118	842
8	6.70	11400	60601	58912	1689	391

3.6.3 PROCESOS DE TRATABILIDAD

➤ PRUEBA DE JARRAS

Se realizó las pruebas de jarras con tres tipos de coagulantes para determinar cuál de estos presenta las mejores condiciones de tratamiento como son turbidez, pH, sólidos suspendidos.

Tabla 3.6.3-1 Resultados de las pruebas de jarras

N° PRUEBA	TIPO COAGULANTE	TURBIDEZ NTU	pH	SST (mg/l)
1	PAC	21	6,96	80
	Fe ₂ (SO) ₃	89	6,64	56
	Al ₂ (SO) ₃	79	6,79	460
2	PAC	17	7,01	27
	Fe ₂ (SO) ₃	16	6,70	41
	Al ₂ (SO) ₃	30	6,84	21
3	PAC	17	6,88	1586
	Fe ₂ (SO) ₃	25	6,76	918
	Al ₂ (SO) ₃	18	6,80	922
4	PAC	7	6,89	442
	Fe ₂ (SO) ₃	13	6,74	284
	Al ₂ (SO) ₃	8	6,81	116
5	PAC	4	6,85	21
	Fe ₂ (SO) ₃	6	6,65	85
	Al ₂ (SO) ₃	4	6,75	21

➤ PRUEBAS DE SEDIMENTACION

Curvas de sedimentación

Las curvas de sedimentación se realizan en base a las pruebas de sedimentación de lodos para determinar el tiempo de retención más óptimo para el diseño de los clarificadores.

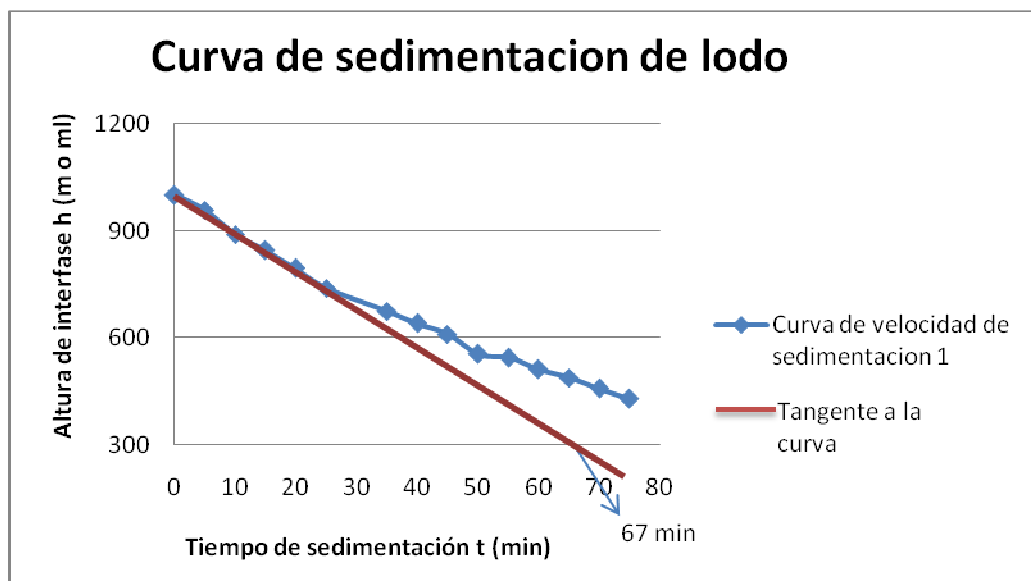


Fig. 3.6.3-1 Curva de sedimentación de lodo sin tratamiento

En esta curva mediante la tangente se determinó que el tiempo de retención de lodos sin tratamiento es de 67 minutos aproximadamente.

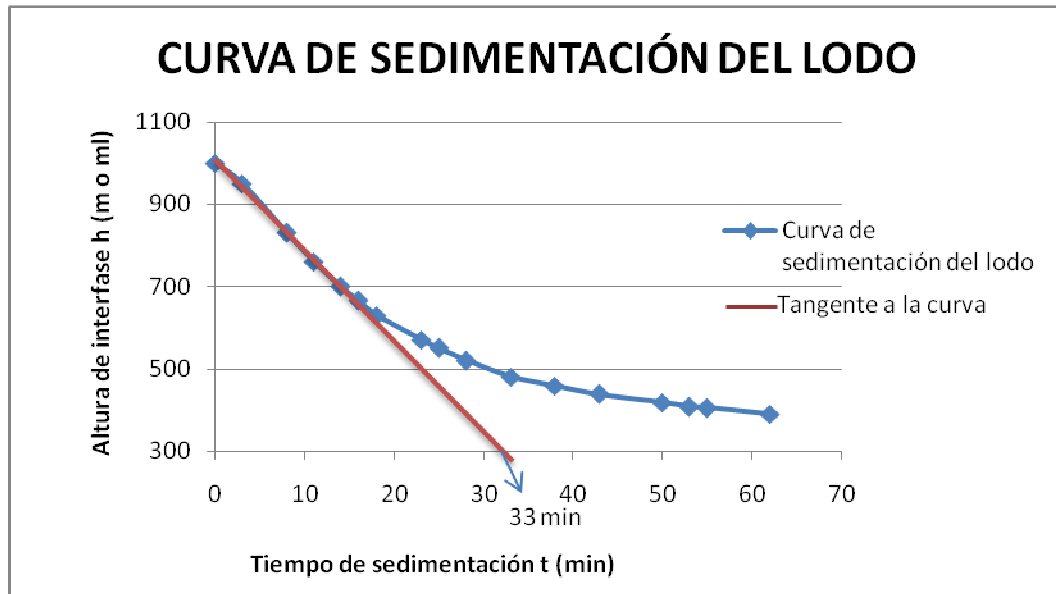


Fig. 3.6.3-2 Curva de sedimentación de lodo con tratamiento

En esta curva mediante la tangente se determinó que el tiempo de retención de lodos con tratamiento es de 33 minutos aproximadamente.

3.6.4 PARAMETROS DE CONTROL

➤ ANALISIS DE METALES EN LODOS COAGULADOS (mg/Kg seco)

En la siguiente tabla se muestra la cuantificación de metales en los lodos utilizados y su respectiva comparación con la norma utilizada para dichos análisis fisicoquímicos (ver anexos IV, V, VI).

Tabla 3.6.4-1 Análisis de metales de lodos coagulados

Metal	Lodo con Al	Lodo con Fe	NOM-004-ECOL-2001 mg/kg en base seca	
	mg/kg en base seca		Bueno	Excelente
Arsénico	9,075	<1,5	75	41
Cadmio	1,474	0,766	85	39
Cromo	28,700	28,335	3000	1200
Cobre	94,400	81,314	4300	1500
Plomo	1558,331	<4,5	840	300
Mercurio	150,248	118,908	57	17
Níquel	31,725	29,727	420	420
Zinc	87,883	65,302	7500	2800
Aluminio	45275,3	41598,9	-----	-----
Hierro	39788,78	37422,58	-----	-----
Manganeso	1220,369	1106,795	-----	-----

Fuente: **Informe de Resultados de análisis fisicoquímicos Universidad Central del Ecuador, Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos**

➤ **ANÁLISIS DEL AGUA CLARIFICADA**

En la tabla siguiente se muestra las comparaciones de los análisis realizados con las respectivas normas existentes para descargas de líquidos al alcantarillado público (ver anexos II, III, VII, VIII).

Tabla 3.6.4-2 Análisis del agua clarificada

Metal	Agua con Al mg/L	Agua con Fe mg/L	NTE INEN 1108 mg/L	TULAS mg/L
Arsénico*	<0,030	<0,30	0,01	0.1
Amonio	3,16	2,55	1,0	----
Mercurio *	<0,050	<0,50	0,0	0.01
Aluminio	1,141	2,135	0,25	5.0
Nitratos	0,7	0,7	10	40
Nitritos	0,040	0,013	0,0	40

Observaciones: (*) se miden en ug/L.

Fuente: **Informe de Resultados de análisis fisicoquímicos Universidad Central del Ecuador, Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación. NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (TULAS)**

CAPITULO IV

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

➤ CARACTERIZACIÓN DE LODOS

Se realizó la caracterización de lodos del purgado de los sedimentadores y del agua de retrolavado de filtros, con los resultados obtenidos se dio inicio al diseño del sistema de tratamiento de lodos, siendo los lodos a tratar los de los sedimentadores por su alto contenido de sólidos como se muestra en la tabla 3.6.2.2-1, mientras que el otro residuo será reciclado a la entrada de agua de las plantas potabilizadoras por su bajo contenido de sólidos.

➤ PROCESOS DE TRATABILIDAD

Prueba de jarras

En base a la tabla 3.6.2-1 se determinó los parámetros de pH, turbidez y SST dando como resultado que el coagulante más apropiado para el proceso de clarificación es el PAC ya que presenta mejores características: turbidez baja con relación a los otros dos coagulantes ($\text{Fe}_2(\text{SO})_3$ y $\text{Al}_2(\text{SO})_3$), los valores de pH también se encuentran dentro de lo establecido.

Además en función de las pruebas de jarras realizadas se definió las siguientes condiciones de operación:

- Dosificar 100 mg/l de policloruro de aluminio, mediante bomba dosificadora 30 gpd en la tubería de conducción del lodo a los clarificadores.

- Dosificar 1 l/m³ de floculante aniónico poliacrilamida en solución al 0.05%, mediante bomba dosificadora 100 gpd en la tubería de conducción del lodo a los clarificadores.

También se determinó un parámetro importante que es el volumen de lodo que se genera en la clarificación el cual oscila entre 40 – 50% en volumen de lodo.

Pruebas de sedimentación

Mediante las pruebas de sedimentación se grafican las curvas de sedimentación de lodo en las cuales trazando la tangente a la curva dada, obtenemos el tiempo de retención más apropiado y con este valor del tiempo obtener la velocidad de sedimentación y a su vez con esta determinar el área de clarificación.

Las curvas expuestas en los resultados nos dan el tiempo de dos tipos de lodos:

- Lodo con tratamiento (PAC) un tiempo de 33 min.
- Lodo sin tratamiento un tiempo de 67 min.

Por lo que se toma el tiempo de 33 min como dato de cálculo en el diseño.

➤ PARAMETROS DE CONTROL

De los resultados obtenidos (ver informes de resultados en anexos), se llegó a determinar que los parámetros analizados en los lodos de los enjuagues tratados cumplen con lo establecido en la normativa ambiental.

Análisis de metales en lodos coagulados

En la tabla 3.6.4-1 se comparó los análisis de metales realizados a las muestras de lodos con coagulantes de aluminio y hierro en la cuales se observa que el plomo y el mercurio se encuentran fuera de norma por lo que son sometidos a un microencapsulamiento con la finalidad de atraparlos y mantenerlos estables y así evitar que puedan salir al ambiente y causar contaminación.

Análisis del agua clarificada

En la tabla 3.6.4-2 se comparó los análisis del agua clarificada con dos tipos de normas, la INEN 1108 para agua potable y el TULAS (límites de descarga al sistema de alcantarillado público).

El amonio, aluminio y nitritos se encuentran fuera de la INEN 1108 es decir que no sería apta para el consumo humano, sin embargo si se encuentran dentro de los límites de descargas al alcantarillado público (TULAS) por lo cual el agua clarificada será vertida al alcantarillado público.

Sin embargo se puede adicionar cloro gas que es el se utiliza en la planta de agua potable EPMAPA SD para bajar la concentración de los elementos problemas.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Mediante las pruebas de caracterización se determinó la cantidad de sólidos al inicio y después del tratamiento siendo estos el 5% (p/p) y el 10-15% (p/p) respectivamente.
2. Por la cantidad de sólidos totales (>500 mg/L) presente en los lodos se determinó el tipo de sedimentación a tratar el cual se escogió la sedimentación por zonas.
3. Los resultados obtenidos mediante las pruebas de tratabilidad son: 40 - 50% de volumen de lodo, tiempo de retención de 33 min y una velocidad de sedimentación de 0.412 m/h.
4. El dimensionamiento de la planta está destinado a tratar un caudal de 10 m³/h de lodo teniendo una descarga final de lodo de 4,58 m³/h.
5. En el sistema de concentración de lodos se empleará un micro encapsulamiento, con la finalidad de disminuir la contaminación de los lodos por la presencia de metales como el mercurio y plomo.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- Tomar en cuenta el funcionamiento del tablero eléctrico que controla el compresor y las bombas.
- Continuar con el análisis de metales tanto en los lodos coagulados como en el agua clarificada.
- Tomar en cuenta el tiempo de encapsulado de lodos el cual es de 72 horas, tiempo en el cual los metales como el mercurio y plomo presentes ya se encuentran encapsulados y no afectan al ambiente al momento de ser transportados al relleno de seguridad.
- Tomar en cuenta que el sistema cuenta con dos trenes, razón por la cual durante mantenimiento o durante el descargue de los lodos en los filtros prensa se puede continuar operando con el otro tren.

BIBLIOGRAFIA

1. GEANKOPLIS, C., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias., 2a. ed.,
a. México., Continental., 1991., Pp. 650.
2. HENRY G. / HEINKE G., Ingeniería Ambiental., 2a. ed., México., Prentice
Hall., 1999., Pp. 179-183.
3. HIMMELBLAU, D., Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química.,
Trad. ESCALONA, R., 6a. ed. México., Prentice Hall Hispanamericana S.A.,
1997., Pp. 142.
4. LA GREGA M. / BUCKINGHAM P. / EVANS J., Gestión de residuos tóxicos.,
1a. ed., Madrid – España., Mc Graw Hill, 1998., Pp. 743-785.
5. LINVIL, R., Operaciones Unitarias de Ingeniería Sanitaria., Trad.
ECHEAGARAY M., 1a. ed., México., Continental S.A., 1963., Pp. 132.
6. Manual de Mantenimiento Preventivo para la Planta de Tratamiento de Agua
Potable EPMAPA SD., Pp. 8-11.
7. MC CABE W. / SMITH J., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 7a.
ed., México., Mc Graw Hill., 2007., Pp. 203-211-1072.
8. PERRY, J., Manual del Ing. Químico., 4a. ed., México., Mc Graw Hill.,
2001., Pp. 2189-2438.

9. QUINTANILLA V. / VILCACUNDO D., Diseño de una planta de tratamiento de lodos provenientes del agua de formación tratada en la estación Sacha Norte., Tesis Ing. Químico., Riobamba - Ecuador., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Facultad de Ciencias., 2008., Pp. 54-57.
10. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., 11a. ed., México., Pp. 218-221.
11. Tratamiento de Agua de Consumo Humano., Ciencias del Ambiente., OPS/CEPIS/PUB/ 04. 10., Tomo I., Pp. 4-35.
12. VIAN A. / OCON J., Elementos de Ingeniería Química., México., Aguilar., 1979., Pp. 339.

INTERNET

1. Bombas y compresores

<http://www.monografias.com/trabajos23/bombas-y-compresores/bombas-y-compresores.shtml#compresor>

(2010-06-18)

2. Características Físicas y Químicas de los Lodos

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

(2010-02-18)

3. Coagulación

<http://cabierta.uchile.d/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf>

(2010-03-02)

4. Deshidratación no mecánico

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

(2010-02-18)

5. Procesos de Potabilización del Agua

<http://www.osm.ar/html/Potabilizacion.htm>

(2009 -11-21)

ANEXOS

ANEXO I

Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá-1978 y las Guías de Calidad para
Aguas de Consumo Humano de la OMS

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Unidades		Nivel máximo del contaminante	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Físicos				
Color	TCU	—	15	15
Sabor y olor		Aceptable	—	Aceptable
Turbiedad	UNT	5 ^a	5	5 ^b
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	—	—	0,2
Amonio	mg/L	—	—	1,5
Antimonio	mg/L	0,006	—	0,005 ^(P)
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,01 ^c
Bario	mg/L	2,0	1,0	0,7
Boro	mg/L	—	5,0	0,3
Cadmio	mg/L	0,005	0,005	0,003
Cianuro	mg/L	0,2	0,2	0,07
Cinc	mg/L	—	5,0	3
Cloro	mg/L	—	—	5 ^d
Cloruro	mg/L	—	250	250
Cobre	mg/L	1,3 ^{na}	1,0	2 ^d
Cromo (total)	mg/L	0,1	0,05	0,05 ^(P)
Fluoruro	mg/L	4	1,5	1,5
Hierro	mg/L	—	0,3	0,3
Manganeso	mg/L	—	0,05	0,5 ^(P)
Mercurio	mg/L	0,002	0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10	10 } ^f	50 } ^j
Nitrito (como N)	mg/L	1	1,0 } ^f	3 } ^j
pH	—	—	6,5 – 8,5	—
Plata	mg/L	—	0,05	0 ^g
Plomo	mg/L	0,015 ^{na}	0,05	0,01
Selenio	mg/L	0,05	0,01	0,01
Sulfato	mg/L	—	500	250
Sulfuros (H ₂ S)	mg/L	—	0,05	0,05 [@]
Sólidos disueltos	mg/L	—	500	1.000

Parámetros		Regulaciones Internas Primarias EPA (2000)	Guías de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Orgánicos	Unidades µg/L	Nivel máximo permitido	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Aldrín + dieldrín	µg/L		0,7	0,03
Benceno	µg/L	5	—	10 ^c
Carbofurano	µg/L	40		5
Clordano	µg/L	2	7	0,2
Clorobenceno	µg/L	100	—	—
Cloroformo	µg/L	—	100	200 ^c
DDT	µg/L		30	2
Dioxina	µg/L	0,00003	—	—
Endrín	µg/L	2	0,2	—
Fenoles	µg/L	—	2	—
Heptacloro + heptaclor-epóxido	µg/L	0,6	3	0,03
Lindano	µg/L	0,2	4	2
Metoxycloro	µg/L	40	100	20
Monocloramina	µg/L	—	—	3.000
Parathión	µg/L		35	—
PCB	µg/L	0,5	—	—
Plaguicidas (total)	µg/L	—	100 ^h	—
Tetracloruro de carbono	µg/L	5		2
Tolueno	µg/L	1.000	—	700 ^d
Toxafeno	µg/L	3	5	—
2,4-D	µg/L	70	100	30
2,4,5-TP	µg/L	50	10	9
Trihalometanos	µg/L	100	350	^e

TCU: Unidades de Color Verdadero.

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

^(p) Valor guía provisional.

⁽¹⁾ En las concentraciones normalmente encontradas, no se ha detectado daño en la salud.

^{*} La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie: (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua. El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en 99,9% y los virus en 99,99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbiedad (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 UNT (los sistemas filtrantes deben asegurar que la turbiedad no supere una UNT [0,5 UNT para filtración convencional o directa] en al menos 95% de las muestras diarias de cualquier mes); HPC: no más de 500 colonias por mililitro.

^b Turbiedad promedio para una efectiva desinfección: = 1 UNT. Muestra simple: = 5 UNT.

^c Por ser consideradas sustancias cancerígenas.

^d Concentraciones establecidas porque a concentraciones mayores, se pueden ver afectados el sabor, el olor y la apariencia del agua.

^e Cuando nitrato y nitrito están presentes, la suma de las dos concentraciones no debe exceder 10 mg/L.

^f La suma de la razón entre la concentración de cada uno y su respectivo valor guía no debe exceder de 1.

^h Se aplica cuando más de un plaguicida considerado en las guías de calidad están presentes en el agua.

[@] Relacionado con el olor y el sabor del agua.

^{**} El plomo y el cobre se regulan mediante una técnica de tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas públicos de agua tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más de 10% los valores permitidos.

ANEXO II

NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108

AGUA POTABLE

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permisible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Inorgánicos		
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,0
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr cromo hexavalente	mg/l	0,05
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	µg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

ANEXO III

Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (TULAS)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	5.2.1.1.1.1.1.1
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1
Cianuro total	CN-	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	250

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	Ph		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO4=	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0

ANEXO IV

NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-
Lodos y biosólidos

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

ANEXO V

RESULTADOS DEL ANALISIS DE LODOS COAGULADOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS AGUAS

Informe No: 10-06-42-A-1
 Fecha: 2010-08-26

Referencia: OT: 10-06-42-A
 Atención: Srta. Lucia Cabezas
 Empresa: PARTICULAR
 Dirección: Santo Domingo de los Tsáchilas
 Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
 Tipo de muestra: Lodo
 Identificación de la muestra: Lodo AL-1 (30-06-2010)
 Muestreo realizado por: CLIENTE
 Fecha de ingreso de muestra: 30-06-2010
 Código de la muestra: OE-10-06-42-A-1
 Fecha de realización de ensayos: 30-06-2010/19-08-2010

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADO
Humedad	%P	Gravimétrico	34,22
pH ⁽¹⁾		PNE/DPEC/A/EPA 9045 C	6,75
Densidad Aparente	g/cm ³	Método Interno	0,6576
Arsénico	mg/kg	APHA 3114 B	9,075
Cadmio	mg/kg	APHA 3111 B	1,474
Cromo Total*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	28,700
Cobre	mg/kg	APHA 3111 B	94,400
Pomo	mg/kg	APHA 3111 B	1558,331
Mercurio	mg/kg	APHA 3117 B	150,248
Níquel*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	31,725
Zinc	mg/kg	APHA 3111 B	87,883
Aluminio	mg/kg	APHA 3111 D	45275,3
Hierro	mg/kg	APHA 3111 B	39788,78
Manganeso	mg/kg	APHA 3111 B	1220,369

Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida de pH, U= ±0,53 unidades de pH (K=2)



Realizado Por: CEG



Revisado Por:

Ing. César Alvarado
 RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:

Ing. Andrés De La Roca, MSc
 DIRECTOR DEL DPEC

ANEXO VI

RESULTADOS DEL ANALISIS DE LODOS COAGULADOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS AGUAS

Informe No: 10-06-42-A-1
Fecha: 2010-08-26

Referencia: OT: 10-06-42-A
Atención: Srta. Lucía Cabezas
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Santo Domingo de los Tsáchilas
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Lodo
Identificación de la muestra: Lodo FE-2 (30-06-2010)
Muestreo realizado por: CLIENTE
Fecha de ingreso de muestra: 30-06-2010
Código de la muestra: OE-10-06-42-A-1
Fecha de realización de ensayos: 30-06-2010/19-08-2010

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADO
Humedad	%P	Gravimétrico	8,32
pH ^(K)		PNE/DPEC/A/EPA 9045 C	6,35
Densidad Aparente	g/cm ³	Método Interno	0,7885
Arsénico	mg/kg	APHA 3114 B	< 1,5
Cadmio	mg/kg	APHA 3111 B	0,756
Cromo Total*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	28,335
Cobre	mg/kg	APHA 3111 B	81,314
Plomo	mg/kg	APHA 3111 B	< 4,5
Mercurio	mg/kg	APHA 3112 B	118,908
Níquel*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111B	29,727
Zinc	mg/kg	APHA 3111 B	65,302
Aluminio	mg/kg	APHA 3111 D	41598,9
Hierro	mg/kg	APHA 3111 B	37422,58
Manganeso	mg/kg	APHA 3111 B	1105,795

Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida de pH, U= ±0,53 unidades de pH (K=2)



Realizado Por: CEG



Revisado Por:

Ing. César Alvarado
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:

Ing. Andrés De La Rosa, MSc
DIRECTOR DEL DPEC

ANEXO VII

RESULTADOS DEL AGUA CLARIFICADA



Informe No: 10-06-42-A-3
Fecha: 2010-08-26

Referencia: OT: 10-06-42-A
Atención: Srta. Lucia Cabezas
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Santo Domingo de los Tsáchilas
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Agua
Identificación de la muestra: Agua AL-2 (30-06-2010)
Muestreo realizado por: CLIENTE
Fecha de ingreso de muestra: 30-06-2010
Código de la muestra: OE-10-06-42-A-3
Fecha de realización de ensayos: 30-06-2010/19-08-2010

DETERMINACIÓN	UNIDADES	METODO	RESULTADO
pH ⁽¹⁾		PHE/DPEC/A/SM 4500-H ⁺ B	6,09
Arsénico	µg/l	APHA 3114 B	< 0,030
Mercurio	µg/l	APHA 3112 B	< 0,050
Aluminio	mg/l	APHA 3111 D	1,141
Sólidos suspendidos	mg/l	APHA 2540 D	< 25
Sólidos sedimentables	ml/l	APHA 2540 F	0,5
Nitratos	mg/l	APHA 4500 NO ₃ ⁻ B	0,7
Nitritos	mg/l	APHA 4500 NO ₂ ⁻ B	0,040
Amonio	mgNH ₄ ⁺ /l	Método Interno	3,16

Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida de pH, U= ±0,07 unidades de pH (K=2)

Realizado Por: CEGE



EX-4378

Revisado Por:

Ing. César Alvarado
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Andrés De La Rosa, MSc
DIRECTOR DEL DPEC

ANEXO VIII

RESULTADOS DEL AGUA CLARIFICADA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS AGUAS

Informe No: 10-06-42-A-4
Fecha: 2010-08-26

Referencia: OT: 10-06-42-A
Atención: Srta. Lucía Cabezas
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Santo Domingo de los Tsáchilas
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Agua
Identificación de la muestra: Agua FE-1 (30-06-2010)
Muestreo realizado por: CLIENTE
Fecha de ingreso de muestra: 30-06-2010
Código de la muestra: OE-10-06-42-A-4
Fecha de realización de ensayos: 30-06-2010/19-08-2010

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADO
pH ⁽¹⁾		PHE/DPEC(A/SM 4500-H ⁺ B	5,99
Arsénico	µg/l	APHA 3114 B	< 0,030
Mercurio	µg/l	APHA 3112 B	< 0,050
Aluminio	mg/l	APHA 3111 D	2,135
Sólidos suspendidos	mg/l	APHA 2540 D	39
Sólidos sedimentables	ml/l	APHA 2540 F	1,2
Nitratos	mg/l	APHA 4500 NO ₃ B	0,7
Nitritos	mg/l	APHA 4500 NO ₂ B	0,013
Amonio	mgNH ₄ ⁺ /l	Método Interno	2,55

Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida de pH, U= 40,07 unidades de pH (K=2)



Realizado Por: CEG



Revisado Por:

Ing. César Alvarado
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:

Ing. Andrés De La Rosa, MSc.
DIRECTOR DEL DPEC

ANEXO IX

HOJAS TECNICAS DEL PAC



WETECH CIA. LTDA.
TECNOLOGÍA EN AGUA Y AMBIENTE

• ARENAS • GRAVAS • ANTRACITA • COQUE
• CARBÓN ACTIVADO
R.U.C.1792152399001

POLIMERO CLARIFICADOR DE AGUA. PAC2PV

DESCRIPCIÓN:

Es un producto formulado a base de sales aluminio y poliaminas catiónicas, con propiedades coagulantes, floculantes, para la obtención de aguas clarificadas de buena calidad.

CARACTERÍSTICAS:

Apariencia: Líquido verde amarillento
pH concentrado: 1-4
Densidad: (g/ml) 1,17- 1,22
Olor: característico.

USO:

-Se aplica en los procesos de clarificación de agua con contenidos de color y turbiedad para consumo humano.

DOSIS:

Está en función de las características del agua a tratarse, variando la dosis desde 8 ppm a 100 ppm. Para la dosis de operación en planta se recomienda realizar prueba de jarras .

PRESENTACIÓN:

El producto se expende en envases plásticos de 30 y 250 kg.

MANEJO:

Se recomienda el uso de guantes de caucho y gafas de seguridad.
En caso de contacto, lavar la parte afectada con abundante agua corriente.

Dirección: Pananorte Cdl. Alegría Llano Grande B07 87 y A01
Teléfonos: 2 822-734 / 2020-717 / 099660-149
wetech@andinanet.net

ANEXO X

FLOCULANTE



SUPERFLOC® **A130** HMW FLOCCULANT

Type: Dry, anionic

SUPERFLOC A130 HMW flocculant is a very high molecular weight, anionic flocculant which works effectively as a coagulant aid or sludge conditioning agent in liquids-solids separation processes. SUPERFLOC A130 HMW flocculant is highly anionic.

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Off-white, granular powder
Degree of anionic charge	High
Bulk density	48-55 lb/ft ³ (770-880 kg/m ³)
pH of 0.5% solution at 25°C (77°F)	7.5-9.5
Viscosity,* cps:	
% solution	25°C
0.1	150
0.25	400
0.5	850

*Brookfield

Environmental Properties*

BOD	~100 mg/L
COD	~9000 mg/L

*Based on a 1% solution

ADVANTAGES

- Economical to use—effective at very low dosage levels.
- Works over a wide pH range and does not alter the system pH.
- Larger, faster-settling flocs are formed in gravity settling operations.
- Increased filtration rates and drier cakes are produced in filtration processes. Sludges contain less ash when incinerated.
- Higher solids capture, increased clarity and greater throughput are attained in centrifugation.

PRINCIPAL USES

SUPERFLOC A130 HMW flocculant is recommended for liquids-solids separation systems:

- Mechanical dewatering—treating inorganic sludges for increased throughput, solids recovery and effluent quality.
- Gravity settling—improves floc formation for faster settling rates, increased sludge compaction and improved water quality.
- Coagulant aid—settling aid with inorganic and organic coagulants as in heavy metal precipitation and phosphorous removal.
- Water clarification—improves water effluent quality by reducing suspended solids and turbidity.

CYTEC

CYTEC INDUSTRIES INC.
Water Treating Chemicals
Paper Chemicals
West Paterson, NJ 07424
201-357-3100

WTT-039-I

Treatment Levels

- Flocculant 0.2-2.0 mg/L
- Coagulant aid 0.5-1.0 mg/L
- Filtration aid 0.01-0.1 mg/L
- Sludge conditioning agent 10-100 mg/L
- Friction reducer in turbulent flow application 25-150 mg/L

Application

SUPERFLOC A130 HMW flocculant should be dissolved in water using an eductor funnel to make a 0.1% to 0.5% solution. Dissolution should be complete after 30 minutes but will be faster in warm water. However, avoid temperatures above 120°F (50°C). Stock solutions are stable for at least two weeks. For best results, further dilute (100:1) with clean water prior to feeding to process stream. Avoid turbulent mixing conditions in the process stream after adding SUPERFLOC A130 HMW flocculant.

Health and Safety

SUPERFLOC A130 HMW flocculant is non-toxic by ingestion and non-irritating to the eyes and skin, based upon standard toxicity and irritation studies using laboratory animals.

Before handling this material, read the corresponding Cytec Industries Inc. Material Safety Data Sheet for safety, health and environmental data.

Handling and Storage

Solutions of SUPERFLOC A130 HMW flocculant are no more corrosive than water and recommended materials of construction for solution handling include mild steel, fiber glass, plastic and any other more resistant materials. Spilled polymer is very slippery—spills should be scooped and/or wiped up prior to flushing with water.

Shipping

SUPERFLOC A130 HMW flocculant is shipped in 55.1-lb (25-kg) moisture-resistant paper bags, FOB Woodbridge, NJ.

IMPORTANT NOTICE

The information and statements herein are believed to be reliable, but are not to be construed as a warranty or representation for which we assume legal responsibility. Users should undertake sufficient verification and testing to determine the suitability for their own particular purpose of any information or products referred to herein. NO WARRANTY OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE IS MADE. Nothing herein is to be taken as permission, inducement or recommendation to practice any patented invention without a license.

CYTEC

• **Asia /Pacific** - Cytec Hong Kong Ltd. (Singapore), 65-733-6788 • **Canada** - Cytec Canada Inc., Markham, Ontario, 416-470-3600 • **Europe** - Cytec Industries B.V., Botlek, the Netherlands, 31-01819-95400 • **Latin America** - Cytec Industries Inc., Coral Gables, Florida, U.S.A. 305-569-3260

2k 8/

ANEXO XI

ENCAPSULANTE



WETECH CIA. LTDA.

TECNOLOGÍA EN AGUA Y AMBIENTE

• ARENAS • GRAVAS • ANTRACITA • COQUE
• CARBÓN ACTIVADO
R.U.C.1792152399001

ENCAPSULANTE-ENCHEM-1

DESCRIPCIÓN

Es un producto formulado en base de componentes minerales activados del tipo aluminio silicatos, carbón mineral y de medios alcalinizantes. Este producto presenta propiedades estabilizantes y encapsulantes para retener metales pesados estabilizados

CARACTERÍSTICAS

- Estado físico: Sólido (polvo)
- Apariencia: Polvo de color gris.
- pH (Solución al 1% (p/p): > 7

APLICACIONES.

En función de las propiedades físicas (granulometría) y de sus características químicas, el producto ENCHEM-1 se aplica en el tratamiento de lodos de naturaleza mineral para evitar la lixiviación de los compuestos derivados de metales pesados por acción del medio ambiente.

DOSIS

La dosificación del producto es dependiente de la naturaleza de lodos, siendo necesario realizar ensayos preliminares para establecer las dosis apropiadas.

Dosis recomendada 10-15% ENCHEM-1

PRESENTACIÓN.

ENCHEM-1 .- Se expende en presentación de 25 kilogramos.

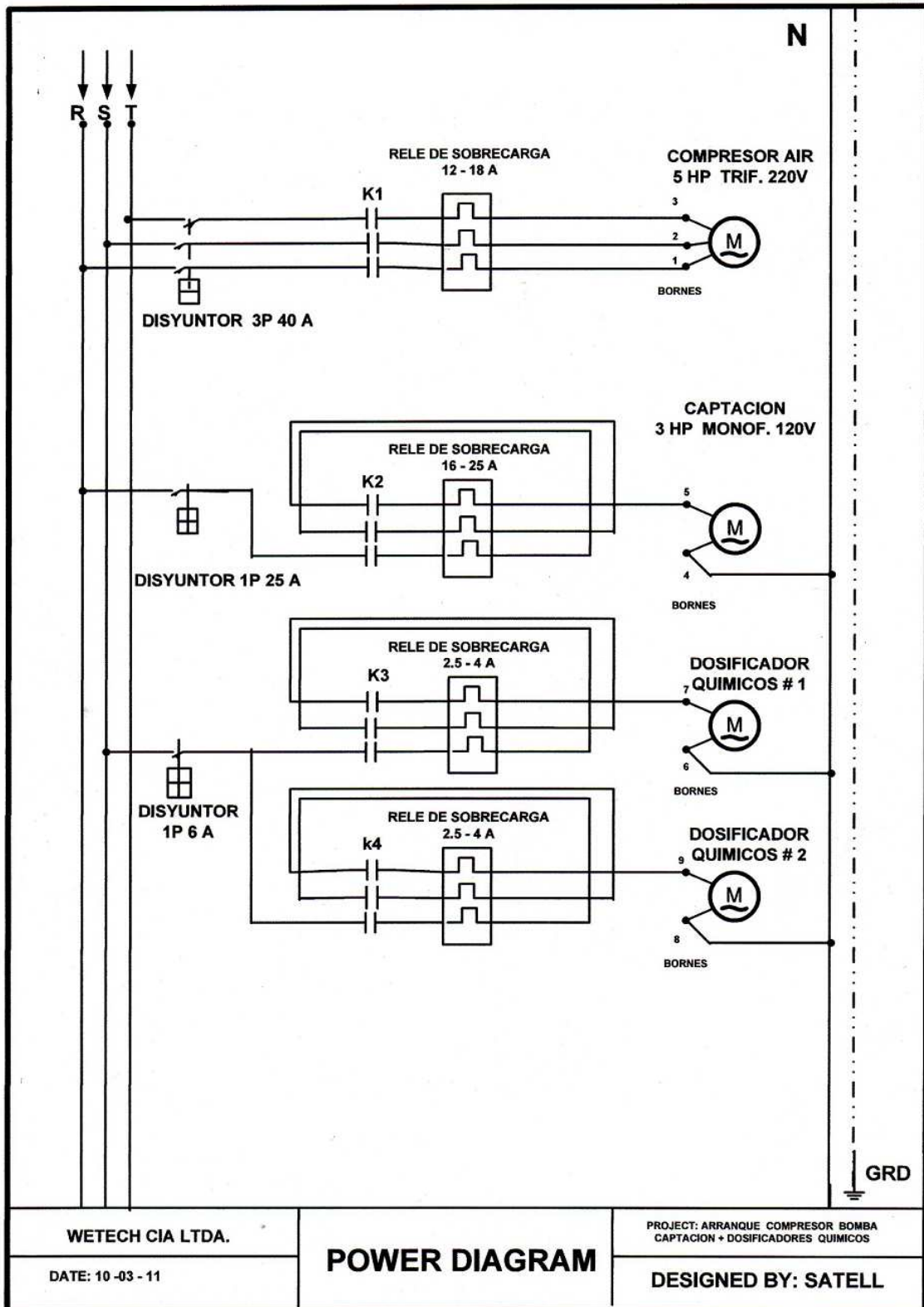
MANTENIMIENTO

Dirección: Pananorte Cda. Alegría Llano Grande B07 87 y A01
Teléfonos: 2 822-734 / 2020-717 / 099660-149

ENCAPSULANTE-ENCHEM-1

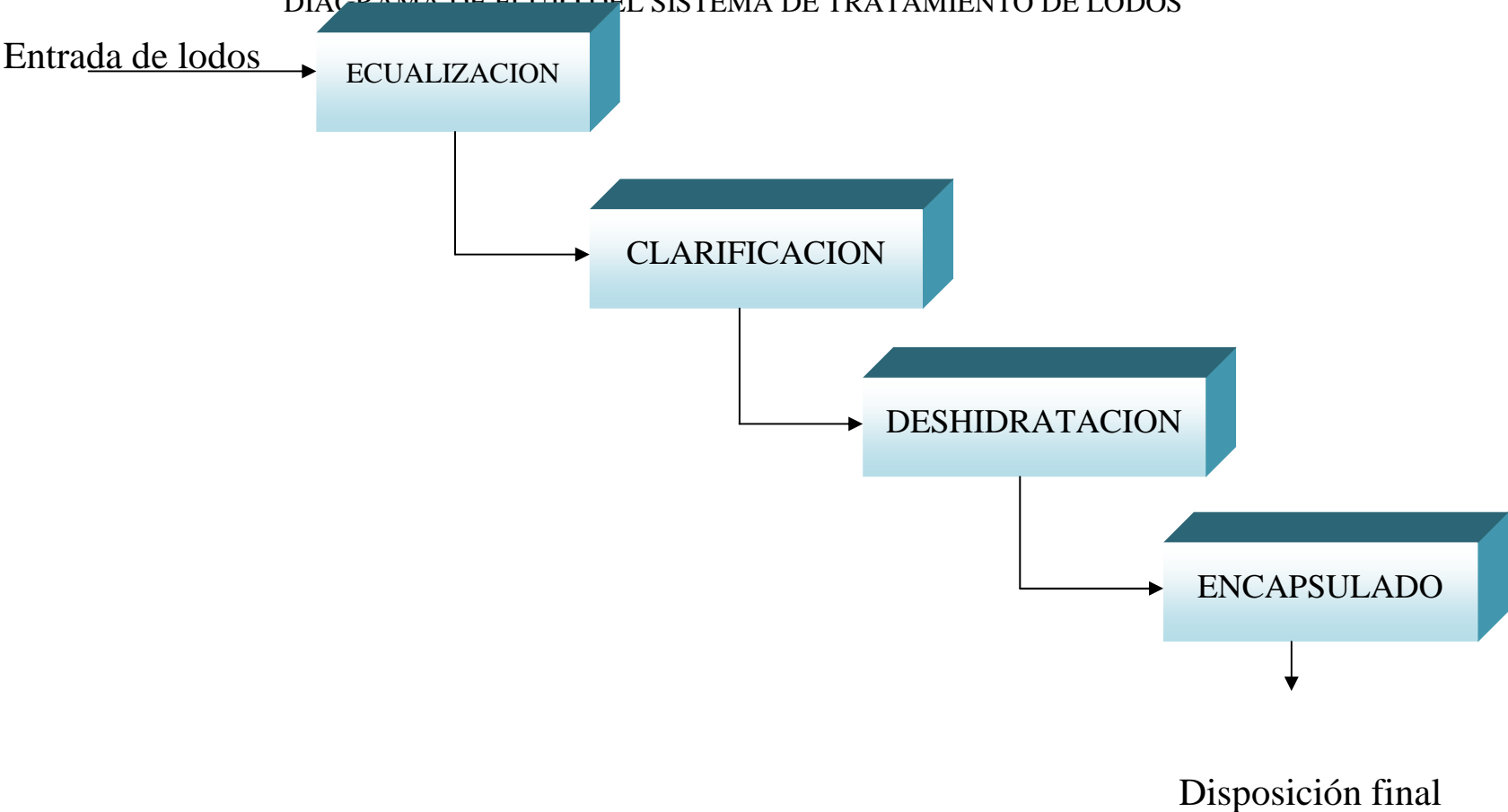
ANEXO XII

DIAGRAMA DEL TABLERO DE CONTROL



ANEXO XIII

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS



ANEXO XIV

DIAGRAMA DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS

