

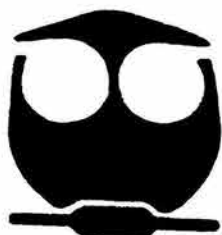


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR EL DICTAMEN DE UN SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA EN UNA PLANTA QUÍMICA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
RICARDO SUÁREZ CASTILLO



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente	Profr. GENOVEVO SILVA PICHARDO
Vocal	Profr. JORGE ALCARAZ CIENFUEGOS
Secretario	Profr. JOSE FERNANDO BARRAGÁN AROCHE
1er suplente	Profr. MARTÍN RIVERA TOLEDO
2do suplente	Profr. BALDOMERO PÉREZ GABRIEL

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

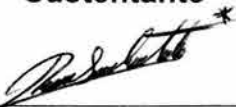
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE QUÍMICA, CONJUNTO E.**

Asesor del tema



Fernando Barragán Aroche

Sustentante



Ricardo Suárez Castillo

DEDICATORIAS

A mis padres Maria y Javier por esa lucha constante y por su inmenso amor, les agradezco todo el apoyo que me brindaron, tanto en lo económico como en lo moral, este logro es solo suyo. Los quiero.

A mis hermanos Javier y Marisol es todo una experiencia el compartir y aprender junto a cada uno de ustedes, gracias por todo el cariño y por los malos ratos que les hago pasar pero sobre todo por estar ahí, y sé que siempre cuento con ustedes.

A Karina Rea mi Princesa por tu infinito apoyo, las experiencias compartidas y sobre todo tu inmensa confianza y compañía a lo largo de nuestras carreras, muchas gracias. Te amo.

Muy especialmente a la memoria de mi hermano José Suárez Ávila: por esas experiencias tan hermosas que siempre compartimos en vacaciones y que jamás olvidare gracias. Algún día nos volveremos a encontrar.

A mis tíos: Rosario Ismael y Leonardo por sus consejos, su amor y su apoyo incondicional, de verdad muchas gracias.

A mi familia: Brenda, Aldo y Verónica: Con respeto y cariño por que ustedes son el pilar mas fuerte y la bendición de nuestra familia.

A mis amigos: Israel, Saúl, Jacqueline, Salvador, Alejandro, Alfredo, Cristina y Teresa por todos los momentos que compartimos juntos y su ayuda incondicional.

A todos las personas que conocí y tuvieron el tiempo, la disposición y que de alguna manera contribuyeron a este trabajo.

A todos aquellos que en este momento no menciono pero que están en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por que siempre esta conmigo e ilumina mi camino.

A Nuestra UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y muy especialmente a la FACULTAD DE QUÍMICA, por ser el lugar donde conocí aprendí y crecí.

A mi José Fernando Barragán: por haber sido mi maestro, mi amigo y haberme otorgado las facilidades para la realización de este trabajo. Muchas gracias

Al ingeniero José Antonio Ortiz Ramírez: por su enseñanza, amistad y por su calidez y calidad humana.

A mis sinodales: Ingeniero Genovevo Silva Pichardo y al Doctor Jorge Alcaraz Ciénfuegos por sus apreciados comentarios y su contribución a la revisión de este trabajo.

**PROCEDIMIENTO PARA
EFECTUAR EL DICTAMEN
DE UN SISTEMA DE
CLARIFICACIÓN DE AGUA
EN UNA PLANTA QUÍMICA**

	página
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I	
<i>AGUA, PRINCIPALES CONTAMINANTES Y TRATAMIENTOS</i>	
1.1 Propiedades del agua	1
1.2 Estructura molecular	2
1.3 Ciclo hidrológico	2
1.4 Tipos de aguas	3
1.4.1 Aguas superficiales	4
1.4.2 Aguas subterráneas	4
1.5 Usos principales	5
1.6 Contaminantes principales	5
1.6.1 Contaminantes físicos	6
1.6.2 Contaminantes químicos	7
1.6.3 Contaminantes biológicos	9
1.7 Límites permisibles de calidad de agua	10
1.7.1 Agua para uso y consumo humano	10
1.7.2 Aguas residuales tratadas para reúso	12
1.7.3 Descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado	14
1.8 Tipos de análisis	15
1.8.1 Análisis para contaminantes físicos	15
1.8.2 Análisis para contaminantes químicos	16
1.8.3 Análisis para contaminantes biológicos	20
1.9 Clasificación de tratamientos	21
1.9.1 Tratamientos básicos	22
1.9.2 Tratamientos avanzados	22
1.10 Tratamientos de aguas negras	27
1.10.1 Tratamiento primario de las aguas negras	27
1.10.2 Tratamiento secundario de las aguas negras	28
1.10.3 Tratamiento terciario de las aguas negras	29
1.11 Tratamientos de agua para reúso	30
 CAPÍTULO II	
<i>PROCESO DE CLARIFICACIÓN</i>	
2.1 Clarificación	33
2.2 Tipos de clarificadores	34
2.2.1 Clarificador central	34

2.2.2 Clarificador rectangular	36
2.2.3 Clarificador de alimentación periférica	37
2.2.4 Clarificador de recirculación de lodos	38
2.2.5 Clarificador de colchón de lodos	38
2.2.6 Clarificador de placas inclinadas	39
2.2.7 Clarificador DAF	42
2.3 Pruebas de laboratorio	43
2.3.1 Prueba de jarra	43
2.3.2 Prueba del cilindro	45
2.4 Coagulación	46
2.4.1 Coloides	48
2.4.2 Potencial zeta	48
2.5 Agentes coagulantes	48
2.5.1 Compuestos de aluminio	49
2.5.2 Compuestos de hierro	51
2.6 Mezclado	55
2.7 Floculación	56
2.8 Agentes floculantes	57
2.9 Condiciones ideales para la coagulación	59
2.9.1 Efecto del pH	59
2.9.2 Temperatura	60
2.9.3 Mezclado	60
2.9.4 Tiempo de retención	61
2.10 Sedimentación	61
2.10.1 Diseño de tanques para sedimentación	63
2.10.2 Tiempo de retención	63
2.10.3 Limpieza de tanques	64
2.11 Espesamiento	65
2.12 Desecamiento	66
2.13 Equipos de tratamiento de lodos	67
2.14 Filtración	70
2.14.1 Filtro rápido	70
2.14.2 Filtros al vacío	72
2.14.3 Filtros de carbón activado	74
2.14.4 Filtros neutralizadores	75
2.15 Métodos de desinfección	76
2.15.1 Cloración	76

2.15.2 Ozono	77
2.15.3 Luz ultravioleta	77

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO PARA DICTAMINAR UN SISTEMA DE CLARIFICACIÓN

3.1 Dictamen	79
3.1.1 Objetivos	79
3.1.2 Introducción	79
3.1.3 Consumo y distribución de agua en la planta	79
3.2 Procedimiento del dictamen	82
1) Recopilación de información	82
2) Procesamiento de la información recopilada	83
3) Diagrama global	83
4) Levantamiento en campo	84
4.1 Levantamiento de corrientes y equipos	84
4.2 Levantamiento fotográfico	84
4.3 Levantamiento de información de drenajes	85
5) Ubicación de los puntos de muestreo	85
5.1 Monitoreo y aforo	85
6) Muestreo	89
6.1 Limpieza del equipo de muestreo	91
6.2 Calibración de equipo en campo	91
6.3 Elaboración de guías de seguridad	91
6.4 Anotaciones en campo	92
6.5 Formato de custodia	93
6.6 Procedimiento para medir contaminantes comunes	93
6.7 Envío de muestras	94
7) Inspección técnica al sistema	94
8) Mecanismo coagulación – floculación	98
9) Fundamentos de diseño de los clarificadores	99
9.1 Criterios de diseño del clarificador CL-001 B	99
9.2 Criterios de diseño de los filtros de gravedad FG-001	101
9.3 Criterios de diseño del clarificador CL-002 B	102
9.4 Criterios de diseño de los filtros de gravedad FG-002	103
10) Disposición de los lodos generados en los clarificadores CL-001 y CL-002	104
11) Análisis de resultados	105

12) Diagnostico y recomendaciones para el sistema de clarificación de la Planta química	105
12.1 Análisis de la planta de pretratamiento No. 1	105
12.2 Análisis de la planta de pretratamiento No. 2	106

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Informe de resultados	108
4.1.1 Alimentación de agua	108
4.1.2 Planta de pretratamiento No. 1	111
4.1.3 Planta de pretratamiento No. 2	114
4.2 Resultados pruebas de jarras	117
4.2.1 Caracterización inicial de la muestra	117
4.2.2 Determinación de la dosis mínima de coagulante	118
4.2.2.1 Dosis mínima para Cal (1%) + 4800 (catiónico al 1%)	119
4.2.2.2 Dosis mínima para Cal (1%) + 2624 (aniónico al 1%)	120
4.2.2.3 Dosis mínima para $Al_2(SO_4)_3$ (1%) + 4800 (catiónico al 1%)	120
4.2.2.4 Dosis mínima para $Al_2(SO_4)_3$ (1%) + 2624 (aniónico al 1%)	121
4.2.2.5 Dosis mínima de Quimifloc 4800 (catiónico al 1%) + 3 mL de Cal (1%)	121
4.2.3 Determinación del pH óptimo del coagulante (Cal 150 mg/L)	122
4.2.4 Determinación de la dosis óptima de coagulante Cal	123
4.3 Tablas comparativas de remoción	125
4.4 Cálculo de la concentración de ácido sulfúrico y ácido cítrico en función del pH para los Clarificadores CL-001 B y CL-002 B	126
4.5 Conclusiones	130
4.6 Memoria de cálculo	132
Apéndice I	146
Apéndice II	148
Apéndice III	151
Apéndice VI	156
Bibliografía	159

INTRODUCCIÓN.

El creciente desarrollo alcanzado por la industria, ha originado que los efluentes de la mayoría de éstas se depositen en ríos o lagos, contaminando de esta manera a las fuentes de abastecimiento de comunidades o industrias. La contaminación de los ríos o lagos se debe principalmente a sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en elevadas concentraciones.

Por lo general, las aguas superficiales como son los ríos, lagos y lagunas se encuentran contaminados, es decir sus valores exceden los límites permisibles establecidos por las normas, este tipo de agua siempre se encuentra turbia, es decir con partículas en suspensión. Por tal razón es recomendable realizar un tratamiento para mejorar sus condiciones físicas químicas y biológicas, el agua tratada no garantiza que sea útil para consumo humano, se requiere de un tratamiento posterior de desinfección para que sea potable.

El propósito de la presente tesis consiste en seleccionar y recopilar toda la información posible para poder dar al Ingeniero Químico una visión general de los parámetros óptimos de selección, así como de las principales características de operación de los equipos que componen un sistemas de clarificación de agua en las industrias, de tal manera que se pueda elaborar un dictamen el cual nos sirve para evaluar y conocer dichos sistemas, y para llegar a satisfacer la demanda de agua óptima que requiere una planta química.

Para desarrollar este trabajo, se procederá a dictaminar una planta química que se encuentra en el estado de Veracruz y que se abastece de agua a través de un canal proveniente de un río. Se establecerán las condiciones óptimas de clarificación, selección y dosificación de coagulantes y floculantes para la clarifloculación y, de esta manera, obtener la mayor eficiencia posible de remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda de alimentación a la planta.

Los equipos de clarificación de agua tratan ciertos volúmenes, tanto de agua cruda que requiere la planta, como agua de desecho que se emite en los procesos y servicios. Al final del dictamen se podrá establecer o definir la cantidad de químicos a dosificar, así como el tiempo de mezclado idóneo para poder remover y sedimentar todas las partículas coloidales, quedando de esta manera, agua clarificada.

Introducción

Una vez clarificada el agua se puede mandar a filtros convencionales para su filtración y posteriormente su desinfección, de esta manera se aumenta la eficiencia y durabilidad de los filtros evitando obstrucciones en el material filtrante. A los lodos generados y recolectados se les tendrá que hacer un análisis CRETIB previo para determinar que no se trate de un residuo peligroso, para poder desecharlos, o en su defecto, se les dará un tratamiento para neutralizarlos y que no afecten el medio ambiente.

Los caudales de aguas residuales se establecen y se clasifican considerando su procedencia, ya sean zonas residenciales, instalaciones públicas, comercios y distritos industriales, las grandes industrias tienden a reutilizar sus aguas residuales para riego de jardines y enfriamiento de algunos procesos, con lo cual se reduce el caudal de las mismas.

Las aguas residuales no se pueden descargar directamente a las alcantarillas, y mucho menos a los ríos y mares, ya que, cuando un vertido de agua residual sin tratar llega a un cauce, produce varios efectos sobre él: cubre de vegetaciones el agua; la acumulación de los sólidos en suspensión - cuando sedimentan - se depositan en el fondo y en las orillas obstaculizando el paso del agua, la formación de malos olores por el agotamiento del oxígeno por la entrada de grandes cantidades de microorganismos, así como contaminación por compuestos químico-tóxicos.

Se tendrán que plantear tratamientos para los efluentes residuales que no cumplan con las condiciones particulares de descarga o que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad vigente, con el fin de satisfacer las condiciones de calidad del agua residual.

CAPÍTULO 1

AGUA, PRINCIPALES CONTAMINANTES Y TRATAMIENTOS

1.1 PROPIEDADES DEL AGUA

El agua es un líquido que en su estado puro es incoloro, inodoro e insípido y esencial para la vida animal y vegetal. Entre las propiedades del agua de mayor importancia en el aspecto de control de calidad están: estructura molecular, densidad, viscosidad, presión de vapor, tensión superficial, poder de solución, absorción de luz, capacidad calorífica y absorción de calor. Algunas de estas propiedades se presentan en la tabla 1.1. Todas las propiedades físicas del agua dependen de la temperatura y son tan grandes que controlan su comportamiento.

Tabla 1.1 Propiedades del agua.

PROPIEDADES	
Apariencia	Incoloro, inodoro e insípido
Punto de congelación	0 °C
Punto de ebullición normal	100 °C
Densidad a 20°C	0.9982 g/mL
Calor específico del líquido	1.00 cal/g °C
Calor de fusión específico	80 cal/g
Calor de vaporización específico	540 cal/g
Viscosidad dinámica a 20 °C	1.01 (cp)
Presión de vapor a 20 °C	17.5 mm Hg
Tensión superficial a 20 °C	72.8 dinas/cm

El agua tiene una alta tensión superficial consecuencia del enlace de hidrógeno, esta tensión superficial hace que el agua pueda subir por un tubo vertical capilar, ésta capilaridad es parcialmente responsable del sistema de circulación que tienen los vegetales a través de sus tejidos.

La capacidad calorífica del agua es la cantidad de calor necesaria para elevar su temperatura. El agua, al congelarse, desprende más calor que muchos otros compuestos; o sea, que por cada cambio de temperatura, el agua absorbe ó desprende más calor que muchas sustancias, por lo tanto, es un medio efectivo para la transmisión de calor. El congelamiento del agua también es diferente con respecto al de otras sustancias. El enlace de hidrógeno produce al congelarse un arreglo ó estructura en forma de cristal, lo que provoca que el hielo se expanda y tenga un volumen mayor que el líquido original.

La viscosidad, es una medida de la resistencia a fluir que presentan los líquidos, la viscosidad del agua disminuye conforme aumenta su temperatura, esta propiedad se relaciona directamente con las fuerzas de atracción que existe entre las moléculas de hidrógeno del agua, como consecuencia, las sales se disuelven más rápido en agua caliente.

1.2 ESTRUCTURA MOLECULAR DEL AGUA

La molécula del agua está constituida por dos átomos de hidrógeno unidos por enlaces covalentes al átomo de oxígeno, determinando un ángulo entre los enlaces H – O – H de 104.5 ° aproximadamente, los átomos de hidrógeno tienen carga eléctrica positiva, mientras que los de oxígeno tienen carga eléctrica negativa lo cual determina dicha separación.

Debido a esta distribución de carga, el agua es una molécula fuertemente dipolar, los dipolos de la molécula se atraen entre sí y forman los llamados puentes de hidrógeno que son los responsables de muchas de las propiedades importantes y poco comunes que presenta esta sustancia, la polaridad del agua es un factor importante para determinar sus propiedades disolventes.

El enlace de hidrógeno provoca que las moléculas de agua no puedan abandonar la superficie del líquido tan fácilmente, como lo harían si no existiera la mencionada atracción intermolecular, la energía requerida para romper el enlace de hidrógeno y liberar una molécula de agua para formar vapor, es mucho mayor para el caso de otros enlaces que forman la mayoría de los compuestos químicos, es por esto, que el vapor de agua tiene un contenido de energía muy alto, lo que lo hace un medio efectivo para transmitir energía en la operación de plantas industriales.

El agua es llamada comúnmente el “solvente universal” y esto es debido a que las moléculas de agua, al entrar en contacto con un cristal, se auto-orientan para neutralizar las fuerzas de atracción intercrystalinas, los iones que son así liberados son hidratados y las moléculas de agua les impiden recombinarse para recristalizar, esto implica la relativamente alta constante dieléctrica del agua.

1.3 CICLO HIDROLÓGICO

El agua existe en la tierra en tres estados: sólido (hielo y nieve), líquido y gas (vapor de agua). Océanos, ríos, nubes y lluvia están en constante cambio. El agua se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza y sus fuentes de suministro se han considerado inagotables, debido a su ciclo básico: el agua se evapora, condensa y vuelve a caer en forma de lluvia.

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano, a medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua, las gotas se juntan y forman una nube, luego caen por su propio peso. Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo, si es más cálida, caerán gotas de lluvia (figura 1.1).

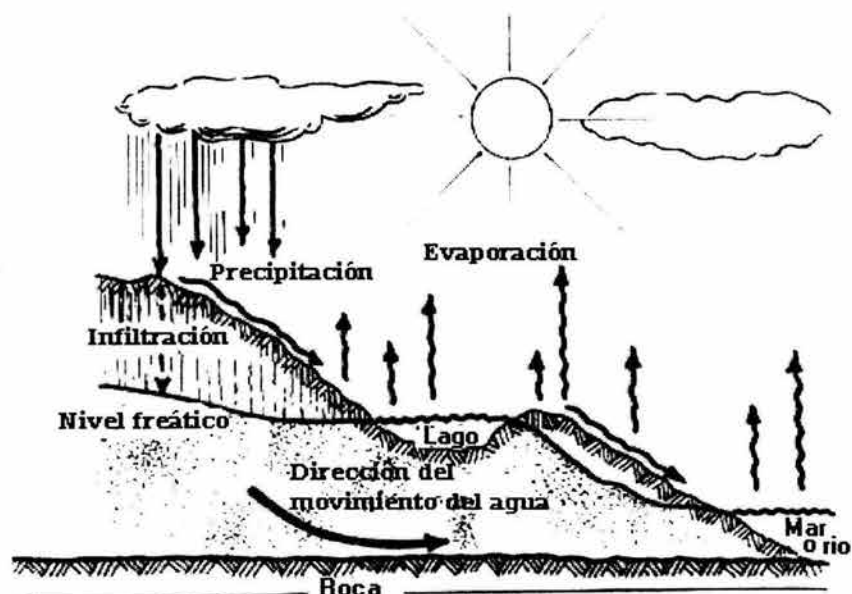


Figura 1.1 Ciclo hidrológico del agua.

Al caer el agua de lluvia, las primeras gotas arrastran partículas de polvo y gases presentes en la atmósfera, contaminando esta agua. Normalmente, después de unos minutos, el agua de lluvia se encuentra libre de impurezas y puede ser utilizada para las necesidades básicas; sin embargo, en áreas donde la contaminación atmosférica (generalmente muy industrializada) presenta cierto grado de contaminación grave, el uso del agua es inconveniente.

Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos, otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano. Otro poco de agua se filtrará a través del suelo, formando capas de agua subterránea y tarde o temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación. Todo este proceso que ocurre en la naturaleza recibe el nombre de "ciclo hidrológico".

1.4 TIPOS DE AGUAS

Las tres cuartas partes de la superficie de la tierra están cubiertas de agua y solo un 3 % de toda esa agua es apta para las necesidades del hombre, durante las precipitaciones pluviales se forman dos tipos de aguas, incluyendo las que provienen de nieve y del granizo que, por su origen, se clasifican en:

- a) aguas superficiales y b) aguas subterráneas.

1.4.1 AGUAS SUPERFICIALES

Dentro de las aguas superficiales se encuentran los ríos, lagos y lagunas, estas aguas independientemente de su origen, no se pueden considerar como puras, por que a medida que se precipitan sobre la corteza terrestre, van absorbiendo polvos y gases, conforme empiezan a escurrir sobre ésta, van recolectando impurezas de la tierra como: arena, arcilla, minerales disueltos y color proveniente de desechos orgánicos.

Por lo general, esta agua se encuentra contaminada, por tal razón se recomienda realizar un tratamiento, comenzando por clarificarla si ésta se encuentra muy turbia, luego filtrarla y/o desinfectarla para mejorar sus condiciones físicas, químicas, y biológicas, obteniendo de esta forma agua apta para consumo humano.

1.4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas (manantiales, acuíferos y pozos), son las que después de haber sido filtradas a través de los diferentes estratos de la corteza, generalmente están libres de materia orgánica, pero más concentrada en sales que va disolviendo a medida que pasan por las diferentes capas de la corteza, siendo las sales más comunes:

Ca y Mg provenientes de las rocas,

SiO₂ provenientes del cuarzo (arenas),

Fe y Mn provenientes de constituyentes metálicos.

El agua de pozos con poca profundidad, puede llegar a ser agua blanda o dura dependiendo de la composición del área que la rodea. La filtración natural hace que estas aguas esten relativamente libres de turbidez y de materia orgánica, en general, el agua de pozo es mas clara e incolora que el agua de manantiales, afectados estos por los contaminantes que los rodean.

Todas las aguas superficiales y muchas de las subterráneas deberán desinfectarse, aún cuando parezcan ser limpias y presumiblemente seguras, ya sea en su estado natural o después de su tratamiento.

1.5 USOS PRINCIPALES

El recurso del agua se puede dividir en dos categorías: el agua dulce, esto es, que no ha sido utilizada para cubrir las necesidades del hombre y el agua que éste ha emitido como residuo después de haberla usado. Cuando la calidad del agua captada no es satisfactoria, se tendrá que introducir algún tratamiento para que la purifiquen, de tal manera, que se adecue para los fines requeridos.

Las ciudades y las industrias reciben agua potable para satisfacer todas sus necesidades. El agua para consumo humano debe estar libre de organismos patógenos, químicos, e impurezas que causen problemas para la salud humana. Por esta razón, es indispensable asegurarse de la buena calidad del agua, factor determinante del estado de salud de una comunidad.

Principales usos del agua:

- Usos potables y culinarios.
- Aseo, lavado y baños, así como limpieza de pisos.
- Riego de prados y cultivos.
- Empleo en numerosos y variados procesos industriales.
- Protección de la vida y la propiedad contra incendio.

1.6 CONTAMINANTES PRINCIPALES

Los contaminantes son aquellos compuestos que en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente. El agua pura no se encuentra en forma natural porque está normalmente contaminada por el aire y el suelo, las impurezas pueden ser orgánicas o inorgánicas, ya sea disueltas, o en forma de material particulado. La calidad del agua se mide en términos de sus características físicas, químicas y biológicas, cualquier cambio en estas propiedades se debe a las impurezas que están disueltas en ella.

Características físicas

Son cinco características físicas del agua que se determinan: turbidez, color, olor, sabor y temperatura, se llaman físicas porque se pueden detectar simplemente con los sentidos (vista, olfato, gusto y tacto).

Características químicas

Son muchos los parámetros químicos que se pueden determinar, principalmente: metales pesados, minerales, fosfatos, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, flúor, detergentes, grasas y aceites, pH, oxígeno disuelto, zinc y plaguicidas.

Características biológicas

Aquí se hace referencia a la presencia de organismos patógenos como: huevos de helmintos, quistes, bacterias y virus que se encuentran presentes en las excreciones humanas, en los basureros, en las aguas estancadas y en suelos contaminados con excrementos. Aunque el agua se vea limpia, es necesario realizar un tratamiento que elimine los organismos patógenos que no se ven a simple vista.

1.6.1 CONTAMINANTES FÍSICOS

Turbidez: la turbidez en el agua es un efecto óptico producido por la dispersión e interferencia que opone a que atraviesen los rayos luminosos, debido a su contenido en partículas en suspensión, esas partículas pueden tener varios tamaños y formas, y su naturaleza puede ser mineral u orgánica. Son fuentes de turbiedad, las partículas de microorganismos, humos, vertidos superficiales con contenidos más o menos elevados en materia orgánica, y óxidos de hierro procedentes generalmente de corrosión en tuberías.

Color: el agua suele ser incolora en su estado natural; sin embargo, al ser contaminada, obtiene cierto color, ya que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, en agua residual el oxígeno disuelto se reduce a cero y el color cambia a negro, en esta condición se dice que el agua residual es séptica.

Olor: los olores son debido, entre otras cosas a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual tiene un olor peculiar muy desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica, el olor mas característico de esta agua es el de sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos. Las aguas residuales industriales contienen muchas veces compuestos olorosos, o capaces de producir olores en el proceso de su tratamiento.

Temperatura: la temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto que tiene en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción, una temperatura más elevada puede, por ejemplo, producir un cambio en las especies que existen en el agua. A las empresas industriales que utilizan aguas superficiales para refrigeración les interesa mucho la temperatura del agua de captación. La temperatura de un agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedentes de las actividades industriales y comunitarias; por otro lado, el oxígeno es mas soluble en agua caliente que en agua fría.

1.6.2 CONTAMINANTES QUÍMICOS

Se ha demostrado que la introducción de contaminantes en las fuentes acuíferas está relacionada con la lluvia, la naturaleza geológica de la cuenca colectora o del manto acuífero y las actividades de la naturaleza y de la población humana. Los contaminantes del agua que se van a analizar con más detalle caen en dos categorías: materia disuelta y componentes insolubles, incluyendo los gases disueltos que afectan la calidad del agua.

Metales pesados: vestigios de muchos metales, tales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg) son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia de cualesquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad, por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

Cloruros: ya que son muy solubles son un parámetro de calidad importante. Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua y, en las regiones costeras, de la industria del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales. En lugares donde la dureza del agua es elevada, el agua aportará grandes cantidades de cloruros.

Compuestos tóxicos: por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre (Cu^{2+}), plomo (Pb^{2+}), plata (Ag^+), cromo (Cr^{2+}), arsénico (As^{3+}) y Boro (B^{3+}) son tóxicos en distintos grados para los microorganismos y, por tanto, deben tenerse en consideración al proyectar una planta de tratamiento biológico.

Oxígeno disuelto: el oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en el agua. La cantidad real de oxígeno que puede estar presente en solución viene regida por los siguientes parámetros: la solubilidad del gas, la presión del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua.

Puesto que la velocidad de las reacciones bioquímicas que utilizan el oxígeno se incrementa al aumentar la temperatura, la presencia de oxígeno disuelto es deseable por que evita la formación de olores desagradables.

Dureza: todas las aguas que contienen sales de calcio y/o de magnesio en cantidades considerables, se les llaman aguas duras por la dificultad que presentan para formar espuma con el jabón o detergente, estas sales se van a clasificar en 2 tipos: las que producen una dureza temporal y las que tienen una dureza permanente.

Se llama dureza temporal ó carbonatada porque se puede precipitar calentando simplemente el agua que la contienen, y la dureza permanente ó no carbonatada es llamada así por que no produce incrustaciones, a no ser que su concentración sea alta y las condiciones de operación sean extremas, como en el caso de algunas calderas.

Sílice: la mayoría de las aguas contienen sílice, en concentraciones que oscilan de 1 a 100 ppm; se considera que la sílice es coloidal, ya que su comportamiento es similar al de los coloides y es debido a ésta complejidad, que es difícil predecir las condiciones de operación en las que la sílice permanece en solución, conforme el agua se evapora la sílice se concentra.

pH: la concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

Alcalinidad: la alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. Los más frecuentes son los bicarbonatos de magnesio y de calcio. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico.

Fósforo: el fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos, debido a los crecimientos explosivos y nocivos que tienen lugar en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas.

Fenoles: los fenoles y otros compuestos orgánicos de los que se encuentran vestigios, son también importantes constituyentes del agua. Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, especialmente cuando ésta está clorada. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones de hasta 500 mg/L.

Pesticidas y productos químicos agrícolas: los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida y, por lo tanto, pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos químicos suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne de pescado, (que disminuye así su valor como fuente de alimentación) y empeoramiento del suministro de agua.

Conductividad: el agua en su estado puro tiene muy poca conductividad, por lo tanto, la medida de ésta en un agua nos puede dar una idea de la cantidad de sólidos disueltos que se encuentran en la misma.

1.6.3 CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Los principales contaminantes biológicos son los organismos microscópicos que se encuentran principalmente en los restos fecales y en la materia orgánica, y que al ser ingeridos por el hombre, ocasionan muchas enfermedades como: cólera, fiebre tifoidea y gastroenteritis, etc.

Materia orgánica: en las aguas superficiales se encuentran varios tipos de crecimiento micro-biológico que por lo general son: diatomeas, limos, algas, bacterias, virus, parásitos, gérmenes, etc. Algunas de ellas son dañinas a la salud, otras producen mal olor y sabor, y algunas otras producen depósitos que obstruyen el paso del agua.

Demanda biológica de oxígeno: este es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y suele determinarse en un plazo de cinco días (DBO₅), siendo el resultado de la degradación de la materia que se encuentra en el agua.

Los contaminantes biológicos del agua y sus efectos se dan a conocer en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Microorganismos presentes en el agua.

Microorganismo	Nombre	Enfermedad
Bacteria	<i>Salmonell typhi</i>	<i>tifus</i>
Bacteria	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>cólera</i>
Bacteria	Shigellas	<i>disenteria</i>
Bacteria	Grupo de salmonella	<i>gastroenteritis</i>
Virus	Grupo de salmonella	<i>hepatitis</i>
Ameba	<i>Entamoeba hystolitica</i>	<i>disenteria amébica</i>
Lombriz	<i>Taenia saginata</i>	<i>triquinosis</i>

1.7 LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DE AGUA

1.7.1 AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual, se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y biológicas.

Según la Norma Oficial Mexicana *NOM-127-SSA1-1994* establece que, “el agua para beber debe cumplir con una serie de requisitos químicos, físicos y biológicos.”²¹ El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la tabla 1.3. Los límites se expresan en mg/L, excepto cuando se indique otra unidad. Implicando que el agua potable no debe contener los siguientes elementos o compuestos en concentraciones totales mayores a las indicadas:

Tabla 1.3 Límites permisibles de algunos contaminantes químicos.

CARACTERÍSTICA	EXPRESADO COMO	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	Al	0.20
Arsénico	As	0.05
Amoniaco	N	0.25
Bario	Ba	0.70
Cadmio	Cd	0.005
Cianuros	CN ⁻	0.07
Cloruros	Cl ⁻	250
Cobre	Cu	1.0
Compuestos fenólicos	Fenol	0.002
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	0.05
Detergentes	SAAM	0.50
Flúor	F	1.5
Hierro	Fe	0.3
Magnesio	Mg	125
Manganeso	Mn	0.10
Mercurio	Hg	0.001
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Nitritos	NO ₂ ⁻	1.0
pH	Unidades de pH	6.5-8.5
Plomo	Pb	0.05
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	400
Sólidos Disueltos Totales	SDT	1000.00
Zinc	Zn	5.00

Desde el punto de vista físico el agua tiene ciertas características las cuales se tienen que controlar por ejemplo, debe ser traslúcida, con una turbiedad y color mínimo (según normas de las autoridades de salud) inodora e insípida. Las características físicas y organolépticas deben ajustarse a lo establecido en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Límites permisibles de las características físicas del agua.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y Sabor	Agradable (aceptándose aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico.
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Para asegurar la salud de la población, al agua se le exige que no contenga microorganismos patógenos, principalmente bacterias del grupo coliforme como *Escherichia coli*, indicativa de contaminación fecal. La tabla 1.5 muestra los límites permisibles de las características bacteriológicas. Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

Tabla 1.5 Límites permisibles de coliformes en agua potable.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 mL
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 mL

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 mL (número más probable por 100 mL).

1.7.2 AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA REÚSO

Las aguas residuales tratadas son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos y biológicos, se han adecuados para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público.

La Norma Oficial Mexicana *NOM-003-ECOL-1997* establece, "los límites máximos permisibles de contaminación para las aguas residuales tratadas que se reúsan con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población."¹⁸

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas, son los siguientes y se establecen en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Contaminantes en aguas residuales.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REÚSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100	Huevos de helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO ₅ mg/L	SST mg/L
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	5	15	30	30

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada y no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles.

Reúso en servicios al público con contacto directo:

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. Considerándose los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato; lavado de vehículos y riego de parques y jardines.

Reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional:

Es el que destina a las actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia considerándose los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas así como en avenidas; campos de golf; abastecimiento de hidrantes en sistemas contra incendio; lagos artificiales no recreativos y panteones.

1.7.3 DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Para establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado ya sea municipal o urbano existe la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, con el fin de poder prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Esta norma no se aplica a las descargas de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Los límites máximos permisibles para los contaminantes que son descargados en las aguas residuales a los sistemas de alcantarillado ya sean de tipo urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Límites de contaminantes descargados a drenajes.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (mg/L excepto cuando se especifique otro)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTÁNTANEO
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables mL/L	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1.0	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

El promedio mensual es el valor que resulta de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis del laboratorio practicado al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

El promedio diario es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Los límites máximos establecidos en la columna de instantáneo son únicamente valores de referencia; en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a representar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales.

El intervalo permisible de pH (potencial de hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades, el límite máximo de la temperatura es de 40°C, se permitirá descargar con temperaturas mayores siempre y cuando se demuestre por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema mismo.

No se debe descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

1.8 TIPOS DE ANÁLISIS PARA CONTAMINANTES

Para satisfacer las necesidades de identificar rápida y precisamente las impurezas contenidas en el agua, las técnicas instrumentales se vuelven muy importante. Están bien establecidas varias técnicas para el análisis de los constituyentes en el agua. A continuación se hace una breve descripción de algunos análisis que existen para determinar las impurezas que se encuentran en el agua.

1.8.1 ANÁLISIS PARA CONTAMINANTES FÍSICOS

Cuando el agua se encuentra contaminada se recomienda realizar algún tipo de tratamiento mediante un proceso que la transforme en agua segura para consumo humano.

La turbidez del agua es la inversa de su transparencia. Al no disponer de una técnica que sea a la vez fácil y precisa para la medida de la turbidez en el agua, lo más útil es seleccionar un método y utilizarlo como referencia, tanto para la alteración de la calidad del agua, como para la eficacia de los tratamientos.

“Observación óptica.- Medida de la profundidad a la que deja de ser visible un disco blanco de 0.2 m de diámetro, sujeto a una varilla y sumergido en el agua problema.

Pozo iluminado.- Observación de la distancia de un foco luminoso a la que dejan de observarse las partículas del agua.

Prueba de platino.- Un tubo de vidrio de 0.6 m de longitud y 0.03 m de diámetro, cerrado por la base por un tapón provisto de un hilo de platino brillante de 0.01 m de diámetro. La altura del agua a la que deja de verse el hilo, da la medida de la turbidez.

Célula fotoeléctrica.- Sumergida en el agua, la distancia a la que se pierde el contacto eléctrico da la medida de la turbidez.

Medidas nefelométricas.- Medida de la luz difractada en un turbidímetro, comparando con suspensiones de sílice al 10 %, si la comparación se hace con patrones a base de sulfato de hidracina y hexametileno de hidracina, entonces el resultado se expresaría en unidades de turbidez".¹

Colorímetros.- los colorímetros utilizan el ojo humano como detector y el cerebro como transductor; sin embargo, el ojo y el cerebro solamente pueden comparar colores. Como resultado, los métodos colorimétricos requieren siempre la utilización de uno o más patrones en el momento en el que se realiza el análisis. Otra desventaja consiste en que el ojo humano responde a un intervalo espectral relativamente limitado (400 a 700 nm), y es capaz de realizar la comparación requerida si la solución del analito contiene una segunda sustancia coloreada.

A pesar de estas limitaciones, los métodos de comparación visual son válidos para análisis de rutina donde los requerimientos de precisión son modestos, existen ensayos colorimétricos sencillos para determinar el pH y contenido de cloro en agua.

1.8.2 ANÁLISIS PARA CONTAMINANTES QUÍMICOS

El riesgo para la salud, provocada por las sustancias químicas que pueden existir en el agua potable, es distinto al que causan los contaminantes microbiológicos. Los problemas relacionados con los componentes químicos surgen fundamentalmente por la posibilidad de que esas sustancias, después de períodos prolongados de exposición, ocasionan problemas para la salud.

Para los metales pesados se hace un análisis químico a través de una técnica llamada absorción atómica que consiste en absorber la mayor cantidad de partículas fraccionadas de agua y detectarlas con un haz de luz de electrones excitados del metal a determinar, los cuales son absorbidos y detectados para su conteo por el mismo equipo (espectrofotómetro de absorción atómica). Además, las cantidades de muchos de estos metales pueden determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales como la polarografía.

Absorción atómica.- La absorción atómica es una técnica para medir metales específicos en sistemas tanto acuosos como no acuosos, aunque este método es empleado en problemas analíticos de otro tipo, se ajusta en forma única al análisis del agua en virtud de la sensibilidad disponible y de la gran diversidad de cationes y constituyentes metálicos que pueden registrar.

La operación del instrumento es simple y rápida. Pueden determinar alrededor de 68 elementos distintos con diversos grados de sensibilidad por debajo de 1 mg/L. Los resultados son precisos dentro del 5 % de los valores verdaderos. La técnica esta relativamente libre de interferencias en comparación con los procedimientos químicos con vía húmeda y es mucho mas rápida.”¹

Los análisis más frecuentes que pueden efectuarse por medio de los espectrofotómetros de absorción atómica incluyen:

- Agua cruda – trazas de metales y dureza.
- Salmuera y sales – metales pesados y otras trazas de impurezas.
- Agua tratada – dureza, hierro y cromo.
- Efluentes de plantas – contaminantes, tales como Mn Cr, Sn, Hg y Pb.

El espectro atómico de un elemento, se obtiene midiendo la absorbancia en función de la longitud de onda de una muestra. Para la mayoría de los elementos, estos espectros son relativamente sencillos, y consisten en unas pocas líneas discretas con longitudes de onda características para cada elemento.

Cromatografía.- La cromatografía comprende un grupo de métodos de separación variado e importante que permiten al científico separar, identificar y determinar compuestos afines en mezclas complejas que no podrían separarse de otra manera. En cualquier caso, todos estos métodos utilizan una fase estacionaria y una fase móvil. Los componentes de una mezcla son arrastrados a través de una fase estacionaria mediante el flujo de una fase móvil; las separaciones se basan en las diferencias de las velocidades de migración de los componentes de la mezcla.

Gravimetría.- Un análisis gravimétrico se basa en la medida del peso de una sustancia de composición conocida y químicamente relacionada con el componente a analizar. El análisis gravimétrico se basa en dos medidas experimentales: el peso de la muestra tomada, y el peso del sólido obtenido a partir de esta muestra. Los resultados del análisis se expresan frecuentemente en porcentaje de contaminante.

Volumetría.- En el análisis volumétrico, la concentración del contaminante se determina midiendo su capacidad de reacción con un reactivo patrón. El reactivo patrón es una solución de concentración conocida capaz de reaccionar, más o menos completamente, con la sustancia que se analiza. El volumen de la solución patrón requerido para completar la reacción con el componente se considera como parámetro analítico. Este procedimiento se denomina análisis volumétrico.

El análisis volumétrico se basa en reacciones de precipitación, neutralización (ácido-base), formación de complejos, y de oxido reducción. El peso equivalente se define de diferente manera en cada tipo de reacción; las diferencias entre ellos depende de los distintos equilibrios, así como de los reactivos, patrones primarios y los indicadores que se utilizan.

Fotometría.- Un fotómetro es un dispositivo sencillo relativamente barato, para los análisis por absorción, el fotómetro proporciona medidas tan precisas como las obtenidas con instrumentos más complejos. El equipo utiliza una lámpara de filamento de wolframio, lentes para proporcionar un haz paralelo de radiación, un obturador, un filtro, un atenuador de haz en forma de cuña y un detector. El atenuador se mueve hacia adentro o hacia fuera del haz para variar su intensidad.

Los fotómetros se suministran con diversos filtros, cada uno de los cuales transmite en una zona diferente del espectro. La selección del filtro adecuado determina en gran parte la sensibilidad de las medidas de absorbancia para cualquier aplicación dada. El color de la luz absorbida es el complementario del color transmitido por la solución.

"Espectrofotometría.- Se refiere a la medida de cantidades relativas de luz absorbida por una muestra, en función de la longitud de onda. Cada componente de la solución tiene su patrón de absorción de luz característico. Comparando la longitud de onda y la intensidad del máximo de absorción de luz de una muestra, es posible determinar la identidad y la concentración de componentes disueltos en la muestra. Las ventajas de la espectrofotometría sobre otros métodos analíticos de laboratorio son varias: es rápida, precisa, versátil y fácil de usar; estos equipos han mejorado en precisión y versatilidad, y hoy se consideran indispensables en un laboratorio de química analítica.

La espectrofotometría se usa para diversas aplicaciones, como:

- Análisis cuantitativo y cualitativo de soluciones desconocidas.
- Detección de niveles de contaminación en aire y agua.

Un espectrómetro típico posee cuatro componentes básicos: una fuente de radiación que tiene intensidad constante en el rango de longitud de onda que cubre (usualmente es una lámpara de tungsteno para luz visible, y deuterio para ultravioleta), un compartimiento para la muestra, un monocromador que separa la banda de longitud de onda deseada del resto del espectro y la dispersa al compartimiento de la muestra, y un foto detector, que mide cuantitativamente la radiación que pasa por la muestra.”²

Los espectrómetros miden en porcentaje de transmitancia (T) y absorbancia (A). El porciento de transmitancia se refiere a la cantidad de radiación que pasa a través de la muestra y alcanza al detector. La absorbancia se relaciona con la transmitancia como:

$$A = \log 1 / T$$

DQO.- La demanda química de oxígeno. Esta prueba mide la capacidad de una solución de ácido crómico caliente que oxida a la materia orgánica. Esta analiza tanto la materia orgánica biodegradable como la que no lo es, y se expresa como O₂.

“Fluorescencia y difracción de rayos X.- La fluorescencia de rayos X se ha empleado en gran medida para el análisis de depósitos formados en el agua y productos de corrosión provenientes de diferentes sistemas industriales. Cuando la técnica de fluorescencia es complementada con otros métodos químicos de análisis, es posible obtener una identificación completa de estos depósitos.”¹

La tabla 1.8 muestra algunos métodos analíticos que existen para determinar cantidad y tipo de contaminante en una muestra de agua.

Tabla 1.8¹ Métodos analíticos para determinar contaminantes en agua.

TIPO	PRUEBAS USUALES
Volumétrico (titulación)	Alcalinidad, dureza, cloruros, sulfuros, zinc y DQO
Espectrofotométrico	Fosfatos, hierro, manganeso, cromatos, sílice, nitratos y sulfatos
Instrumental	Conductividad, electrodos selectivos de iones O ₂ y turbidez
Extracción	Aceite, sustancias orgánicas
Incubación	Cuentas en placa, filtros de membrana y DBO

1.8.3 ANÁLISIS PARA CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

La medición de la calidad del agua no basta con un criterio bacteriológico, es básico e indispensable el análisis físico y químico que se le debe realizar a tan prestigiado líquido. Los parámetros fisicoquímicos mediante los cuales se califica la calidad del agua deben ser precisos y válidos.

DBO.- Demanda biológica de oxígeno. Mide la capacidad de las bacterias comunes para digerir la materia orgánica, generalmente en un periodo de incubación de 5 días a 20 °C, analizando la disminución de oxígeno. Esta mide la materia orgánica biodegradable, expresada como O₂. Aquí se emplea una celda electrolítica para obtener una medida continua de la DBO, las lecturas de DBO se determinan anotando el periodo de tiempo durante el que el oxígeno fue consumido y correlacionándolo con la cantidad de oxígeno producido por la reacción de electrólisis.

Organismos coliformes.- El procedimiento mas común para determinar la presencia de coliformes consiste en la realización de ensayos presuntivos y confirmados. El ensayo presuntivo se basa en la capacidad del grupo coliforme para fermentar el caldo de lactosa, con desprendimiento de gas. El ensayo confirmado consiste en el desarrollo de cultivos de bacterias coliformes sobre medios que eliminan el crecimiento de otros organismos, el ensayo completo se basa en la capacidad de los cultivos desarrollados en el ensayo confirmado para fermentar de nuevo el caldo de la lactosa.

Existen en la actualidad dos métodos aceptados para obtener los números de los organismos coliformes presentes en un volumen de agua dado. La técnica del número más probable (NMP) se basa en un análisis estadístico del número de resultados positivos y negativos obtenidos al hacer ensayos múltiples sobre fracciones de igual volumen, para la presencia del organismo coliforme.

La técnica del filtro de membrana también determina el número de organismos coliformes presentes en el agua, la determinación se consigue haciendo pasar un volumen conocido de la muestra del agua a través de un filtro de membrana que tenga unos poros de tamaño muy pequeño. Las bacterias son retenidas en el filtro por que son mayores que los poros y se ponen, entonces, en contacto con agar que contiene los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento de las mismas. Tras su incubación las colonias coliformes pueden ser contadas y determinar seguidamente la concentración en la muestra de agua original.

Nitrógeno orgánico.- Se determina por el método Kjeldahl. La muestra acuosa se hierve primero para eliminar el amoníaco y a continuación se digiere. Durante la digestión, el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. El nitrógeno total Kjeldahl se determina de la misma manera que el nitrógeno orgánico, excepto que el amoníaco no se quita antes de la fase de digestión. El nitrógeno Kjeldahl es, por tanto, el total de nitrógeno orgánico y del amoniacal.

Método Kjeldahl: En su forma original se procedía a la oxidación de la muestra por medio del H_2SO_4 concentrado y caliente, se presume que el nitrógeno orgánico se convierte completamente en sulfato de amonio por este tratamiento. Esta sal es descompuesta por una base fuerte, y el amoníaco liberado es destilado, es recogido en una solución valorada de ácido en la que se determina por retroceso con una solución valorada de base.

Se ha convertido en el método normativo para la determinación de nitrógeno en agua, granos, carnes y otros materiales biológicos.

1.9 CLASIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS.

Los procesos de tratamientos de aguas se dividen en dos clases principalmente:

Tratamiento básico.- Hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales o crudas con un tiempo de residencia considerable, en grandes tanques o en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua sustancias químicas que aceleran la sedimentación. Se considera además aquellos procesos donde se eliminan las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos.

Tratamientos avanzados.- Consiste en procesos químicos y biológicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes tales como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento alto en costo, con respecto a los anteriores.

1.9.1 TRATAMIENTOS BÁSICOS

Coagulación / filtración

La coagulación es un proceso de tratamiento por el cual las cargas eléctricas de las sustancias coloidales disueltas o suspendidas son neutralizadas con la adición de sustancias insolubles en el agua, lo que permite la formación de partículas mayores o aglomerados que puedan ser eliminadas por sedimentación o filtración.

El tipo y la dosis del coagulante y el pH influyen en la eficiencia del proceso. El rendimiento del sulfato de aluminio es ligeramente menor que el del sulfato férrico. A un pH de 7.6 o menor, ambos coagulantes tienen la misma eficiencia de remoción, sin embargo el sulfato férrico remueve mejor a un pH menor de 7.6.

Oxidación química

En algunos casos la reducción de toxicidad puede ser lograda mediante la oxidación química, en la cual, se introduce oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos. Los oxidantes más comunes incluyen permanganato, ozono y peróxido de hidrógeno. La degradación química de compuestos orgánicos resistentes pueden tomar varias formas.

Clarifloculación

El proceso de clarifloculación se emplea para eliminar coloides y como filtro final para sustancias suspendidas. Por medio de la clarifloculación se puede reutilizar el 50 % del agua tratada, su implementación presenta ventajas en presencia de elevadas cargas contaminantes y metales en suspensión.

1.9.2 TRATAMIENTOS AVANZADOS

Electrodiálisis

La electrodiálisis es simplemente la migración de electrones a través de una membrana bajo el efecto de una corriente eléctrica. Las unidades de electrodiálisis consisten en lotes de membranas alternas de intercambio de cationes e intercambio de aniones.

Bajo efectos de una corriente eléctrica los aniones y cationes pasan por las membranas y forman una solución electrolítica concentrada, lo que separa las impurezas del agua residual que esta siendo tratada. Dicha agua debe filtrarse antes de ser sometida a la electrodiálisis para retirar la materia particulada que pueda atascar los poros.

También se recomienda el pretratamiento para separar sustancias oxidantes como el hierro o el manganeso, si estas cantidades están presentes en concentraciones de más de 0.3 mg/L, para que no se manchen tanto las membranas. También debe realizarse la neutralización con ácido y productos químicos para evitar la formación de escamas, lo que mejora la eficacia y extiende la duración de la unidad. La electrodiálisis funciona mejor en corrientes ácidas.

Intercambio iónico

El intercambio iónico generalmente se usa para remover iones de dureza, u otros constituyentes inorgánicos. Los intercambiadores de iones contienen sustancias orgánicas (resinas) de gran peso molecular que tienen la habilidad de intercambiar un ión por otro. Por ejemplo, hay resinas que intercambian iones hidrógeno por iones calcio u otros iones cargados positivamente. Los intercambiadores de iones son conocidos como zeolitas.

En la industria se emplea cambiadores tanto catiónicos como aniónicos para preparar agua de alimentación a calderas, desionizar o desmineralizar aguas de proceso, concentrar soluciones diluidas de electrolitos y preparar reactivos químicos. Para ser efectivos, los intercambiadores de iones sólidos deben: 1) contener sus propios iones; 2) ser insolubles en agua, y 3) proporcionar suficiente espacio en su estructura porosa para que los iones puedan pasar libremente al interior y hacia el exterior del sólido.

Suavización

Este proceso resulta más económico desde el punto de vista operativo. Requiere soluciones de NaCl para su regeneración; sin embargo, debido a la naturaleza del sistema, sólo es capaz de remover cationes de tipo de calcio y magnesio principalmente, aniones de sulfato y carbonato. Esta remoción es mediante la sustitución de dichas especies iónicas por iones sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-), para los cationes y aniones respectivamente. El resto de los sólidos, como es el sílice no se remueven y la sustitución de cationes de calcio y magnesio por sodio provoca una ligera mejora en la conductividad.

Desmineralización

Las resinas cambiadoras catiónicas empleadas en el proceso de desmineralización son regeneradas con ácidos fuertes. Generalmente se utiliza H_2SO_4 , aun cuando éste precipita ocasionalmente a $CaSO_4$ en el lecho de intercambio. Si van a removerse ácidos débiles como dióxido de carbono y ácido silícico, se deben emplear cambiadores aniónicos fuertemente básicos.

La desmineralización produce agua de alta calidad para la industria, especialmente para servicio como agua de repuesto en plantas generadoras de vapor. Las resinas de intercambio iónico sólo se emplean para abastecimiento con menos de 500 mg/L de sólidos disueltos. La introducción de resinas cambiadoras para electrolitos débiles de alta capacidad y elevada eficiencia de regeneración incrementa la economía en el tratamiento de aguas hasta concentraciones de sólidos disueltos de 1000 a 2000 mg/L.

Tratamientos con membranas

Las membranas de ósmosis inversa, ultrafiltración, nanofiltración y microfiltración ofrecen muchas ventajas contra tratamientos de agua convencionales, ya que casi hace desaparecer el uso de químicos en la operación, reduce importantes costos de operación con sistemas automatizados, hacen mediciones más controladas y confiables, así como la reducción de espacios.

Existen para todo tipo de aplicaciones: agua residual, para proceso, pura, ultrapura, potable, sanitaria, biológica, municipal y para gran diversidad de flujos.

Ósmosis inversa.- Estas tecnologías se usan para la remoción de concentraciones altas de sólidos disueltos. Básicamente la ósmosis inversa filtra los sólidos disueltos del agua haciendo pasar el agua a través de una membrana mediante un exceso de presión osmótica de los componentes disueltos en la solución.

Ultrafiltración y Nanofiltración.- Aquí la presión es usada para conducir un líquido a través de una membrana que es permeable a algunos componentes. Es similar a la ósmosis inversa. El proceso es usado para separar grandes moléculas de compuestos pesados del agua. Este proceso no es muy usado para el tratamiento de agua.

Microfiltración.- Opera con membranas de gran tamaño para filtrar pequeñas partículas, así como bacterias que se encuentran en el agua.

Tratamientos biológicos

En este tipo de tratamientos se emplean mecanismos biológicos o bioquímicos para llevar a cabo un campo químico en las propiedades del contaminante. Estos tratamientos se basan en la utilización como alimento de compuestos orgánicos por parte de los microorganismos. Dependiendo del medio en el que se desarrollen los microorganismos distinguimos dos tipos de tratamiento biológicos:

1. Tratamientos aerobios: los microorganismos se desarrollan en presencia del aire.
2. Tratamientos anaerobios: los microorganismos se desarrollan en ausencia de aire.

La tabla 1.9 ejemplifica algunos tratamientos que se tendrán que utilizar, si al analizar una muestra de agua llega a contener algunos de los siguientes contaminantes, que fuera de los parámetros permisibles llegan a ser dañinos tanto para los seres humanos, como a los equipos que se utilizan en los procesos.

Tabla 1.9 Tratamientos existentes para remover algunos contaminantes.

COMPONENTE	TRATAMIENTO
Aniones	
Alcalinidad	1)Proceso con cal en frío ó caliente, asentamiento y filtración.
	2)Intercambio catiónico.
	3)Intercambio aniónico.
Sílice	1)Absorción con hidróxido férrico precipitado por adición de sulfato férrico, seguida por asentamiento y filtración.
	2)Absorción con hidróxido de magnesio formado por adición de cal; seguida por asentamiento y filtración. La adición de magnesia activada al proceso de ablandamiento con cal en frío ó en caliente beneficia la absorción.
	3)Intercambio aniónico.
	4)Desmineralización.

COMPONENTE	TRATAMIENTO
Cationes	
Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+})	1)Proceso de ablandamiento calcarbonato en frío ó caliente, asentamiento y filtración. 2)Intercambio iónico.
Sodio (Na^+) Potasio (K^+) y Amonio (NH_4^+)	1)Si los bicarbonatos presentes exceden a la dureza total, utilizar intercambio catiónico. 2)Desmineralización.
Hierro (Fe^{+3}) y Manganeseo (Mn^{+3})	1)Oxidación (aereación) y precipitación, asentamiento (si se tiene en grandes cantidades) y filtración (puede requerirse cloro). 2)Filtración a través de zeolita de manganeso. 3)Intercambio iónico.
Impurezas no iónicas	
Color, turbidez, materia suspendida y sílice coloidal	1)Para pequeñas cantidades de turbidez únicamente se emplea filtración; si se desea un efluente más claro, se adiciona un coagulante directamente al agua antes de la filtración. 2)Para grandes cantidades de turbidez se utiliza la coagulación, asentamiento y filtración. En caso de requerirse, se adiciona un álcali para ajustar el pH. 3)Se utiliza coagulación, asentamiento y filtración adicionando arcillas para mejorar la densidad de los flóculos.
Materia orgánica	1)Coagulación - floculación. 2)Absorción con carbón activado (en polvo o gránulos). 3)Absorción por intercambio aniónico.
Fenoles	1)Oxidación.
Bacterias	1)Coagulación - floculación, asentamiento y filtración. 2)Supercloración.
Aceites	1)Coagulación - floculación, asentamiento y filtración 2)Adición de flóculos de aluminio, y a continuación filtración.
Productos de corrosión contenidos en el condensado	1)Filtración con filtros de celulosa. 2)Intercambio catiónico. 3)Combinar la filtración y el intercambio iónico.
Impurezas gaseosas	
Metano	1)Aereación: aereador abierto 1)Intercambio iónico.
Dióxido de carbono	1)Desaereación a vacío. 2)Aereación: aereador abierto ó aereador de tiro forzado.
Exceso de cloro residual	1)Absorción con carbón activado en polvo ó granular. 2)Filtración a través de sulfito de calcio granular. 3)Decloración adicionando agentes reductores como sulfito de sodio ó ácido sulfuroso.

Continuación tabla 1.9

1.10 TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son aquellas que generan el desarrollo de las actividades humanas, por lo que las principales fuentes de aguas negras son la industria, ganadería, agricultura y las actividades domésticas que se incrementan con el crecimiento de la población humana. Las aguas negras deben ser tratadas para eliminar los componentes considerados peligrosos.

Los contaminantes biodegradables de las aguas negras pueden ser degradados mediante procesos naturales, en los que se acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica con microorganismos. Se le llama tratamiento primario de aguas negras al proceso que se usa para eliminar los sólidos de las aguas contaminadas; secundario, al que se usa para reducir la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias (disminuir la demanda bioquímica de oxígeno) y terciario, al proceso que se usa para eliminar los productos químicos como fosfatos, nitratos, plaguicidas, sales, materia orgánica persistente, entre otros.

1.10.1 TRATAMIENTO PRIMARIO DE LAS AGUAS NEGRAS

Entre las operaciones que se utilizan en los tratamientos primarios de aguas contaminadas están: la filtración, sedimentación, flotación, separación de aceites y la neutralización.

El tratamiento primario de las aguas negras es un proceso mecánico que utiliza cribas para separar los desechos de mayor tamaño como palos, piedras y trapos. Las aguas negras de los alcantarillados llegan a la cámara de dispersión en donde se encuentran las cribas, de donde pasan las aguas negras al tanque de sedimentación, posteriormente los sedimentos pasan a un tanque digestor y luego al lecho secador para ser utilizados como fertilizante en las tierras de cultivo o para relleno sanitario. Del tanque de sedimentación el agua es conducida a un tanque de desinfección con cloro (para eliminar a las bacterias) y una vez que cumple con los límites de depuración es arrojada a un lago o un río.

Tanques separadores de grasas

Un tanque separador de grasas consiste en un depósito dispuesto de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del tanque de forma continua, a través de una abertura situada en el fondo, o por debajo de unos muros o deflectores de espuma bastante profundos. Esta operación puede conseguirse en un tanque especial. La finalidad de los separadores de grasas, es la separación del agua residual de las sustancias más ligeras que tienden a flotar. El material recogido en la superficie de los tanques separadores de grasas incluye aceite, grasa, jabón, pedazos de madera y corcho, residuos vegetales y pieles de frutas que se producen en las casa y en la industria.

La mayoría de los separadores de grasas son rectangulares o circulares y están provistos para un tiempo de retención de 1 a 15 minutos. La salida, esta sumergida y se halla situada en el lado opuesto a la entrada, a una distancia inferior a ésta para facilitar la flotación y eliminar cualquier sólido que pueda sedimentarse.

Colectores de grasas

Los colectores de grasas son pequeños tanques separadores de grasas que se sitúan próximos a la fuente productora de las grasas, como puede ser una industria. En la mayoría de ellos la entrada está situada por debajo de la superficie y la salida se encuentra en el fondo. Para que resulten eficaces, deben ser bastante grandes a fin de retener y, si fuera necesario, enfriar las descargas repentinas de residuos grasientos y aceitosos, debiendo limpiarse frecuente y regularmente, aunque en muchos casos no se cumple ninguno de estos requisitos. Se han venido utilizando tiempos de retención de 10 a 30 minutos.

El tratamiento primario de las aguas negras elimina alrededor del 60 % de los sólidos en suspensión y el 35 % de los materiales orgánicos (35 % de la demanda bioquímica de oxígeno).

1.10.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS NEGRAS

Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas contaminadas están: el proceso de lodos activados, la aereación u oxidación total, filtración por goteo y el tratamiento anaeróbico.

El tratamiento secundario de aguas negras es un proceso biológico que utiliza bacterias aerobias como un primer paso para remover hasta cerca del 90 % de los desechos biodegradables que requieren oxígeno. Después de la sedimentación, el agua pasa a un tanque de aereación en donde se lleva a cabo el proceso de la degradación de la materia orgánica y posteriormente pasa a un segundo tanque de sedimentación, de ahí al tanque de desinfección por cloro y después se descarga para su reutilización.

El tratamiento secundario más común para el tratamiento de aguas negras es el de los lodos activados. Las aguas negras, que provienen del tratamiento primario, pasan a un tanque de aereación en donde se hace burbujear aire o en algunos casos oxígeno desde el fondo del tanque, para favorecer el rápido crecimiento de las bacterias y otros microorganismos. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los desechos orgánicos de las aguas negras. Los sólidos en suspensión y las bacterias forman una especie de lodo conocido como lodo activado, el cual, se deja sedimentar y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado. Finalmente, el lodo activado es utilizado como fertilizante en los campos de cultivo, para relleno sanitario o incinerado.

Existe otro dispositivo para el tratamiento de aguas negras llamado filtro percolador. En este método, las aguas negras a las que les han sido eliminados los sólidos grandes, son rociadas sobre un lecho de piedras de aproximadamente 1.80 m de profundidad. A medida que el agua se filtra entre las piedras entra en contacto con las bacterias que descomponen a los contaminantes orgánicos, y a su vez, las bacterias son consumidas por otros organismos presentes en el filtro. Del tanque de aereación o del filtro percolador se hace pasar el agua a otro tanque para que sedimenten los lodos activados, el lodo sedimentado en este tanque se pasa de nuevo al tanque de aereación mezclándolo con las aguas negras que se están recibiendo; o se separa, se trata y luego se tira o se entierra.

El proceso de eliminación de sólidos de las aguas negras no consiste en quitarlos y tirarlos, sino en tratarlos antes de tirarlos y su eliminación es muy complicada y costosa.

1.10.3 TRATAMIENTO TERCIARIO DE LAS AGUAS NEGRAS

Los tratamientos primario y secundario de las aguas negras no eliminan los productos químicos persistentes como los plaguicidas. Estos tratamientos eliminan cerca del 90% de los sólidos en suspensión y casi el 90 % de la materia orgánica.

Entre las operaciones que se utiliza en el tratamiento terciario de aguas contaminadas están: la microfiltración, coagulación, precipitación, adsorción de carbón activado, el intercambio iónico, la osmosis inversa, electrodialisis, remoción de nutrientes, cloración y ozonificación.

A cualquier tratamiento de las aguas negras que se realiza después de la etapa secundaria se le llama tratamiento terciario y, en este se busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. En el tratamiento terciario de aguas negras de desecho se pretende hacerla lo más pura posible antes de ser arrojada

1.11 TRATAMIENTOS DE AGUA PARA REÚSO

Los tratamientos para disminuir la concentración de uno o más contaminantes en las corrientes con potencial de reúso se pueden clasificar en:

1) *Tratamientos físicos:* Son aquellos que no requieren que se les adicionen químicos, y como su nombre lo indica, son separaciones en base a métodos físicos; por ejemplo:

Filtración.- Es la separación de sólidos de un líquido y se efectúa haciendo pasar el líquido a través de un medio poroso, los sólidos quedan detenidos en la superficie del medio filtrante en forma de torta, el medio filtrante deberá seleccionarse en primer término por su capacidad para retener los sólidos sin obstrucción y sin derrame de partículas al iniciar la filtración.

Sedimentación.- La sedimentación implica el asentamiento por gravedad de las partículas sólidas suspendidas en un líquido, las cuales generan sólidos residuales o lodos que deberán ser tratados.

Cribado.- El cribado se realiza por medio de rejillas (rejas, mallas o cribas) que se instalan en las líneas de captación de las aguas residuales en las plantas de tratamiento y tienen como objetivo retener y separar los materiales voluminosos, flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual.

2) *Tratamientos físico-químicos:* Este tratamiento en especial requiere de la adición de aditivos químicos para llevar acabo la separación, como son:

Floculación.- En esta operación se agrega una sustancia química (coagulante), la cual actúa sobre las bacterias y algunas otras impurezas orgánicas, esto lo hace mediante la formación de cúmulos semi esféricos, los cuales contienen las impurezas en su interior, estos cúmulos son llamados flóculos.

Precipitación.- Con esta operación se pretende eliminar la excesiva cantidad de iones presentes en el agua, para este fin se utiliza una sustancia química la cual reacciona con los iones del agua y forma sustancias que no son solubles y por tanto caen en el fondo del tanque.

Esta tecnología es, hasta cierto punto, obsoleta pero efectiva para la eliminación de calcio y magnesio, que llegan a provocar problemas de incrustación en las tuberías.

3) *Tratamientos avanzados:* Son tratamientos que requieren la combinación de tratamientos físicos y químicos, son, en general, procesos más complejos y de mayor costo que los necesarios en el tratamiento físico-químico ya que requiere un mayor cuidado en la operación, estos pueden ser:

Ósmosis inversa.- Es un sistema que tiene asociada una membrana a la que se le debe practicar procesos periódicos de limpieza especializada. Es necesario evitar la entrada de sólidos suspendidos y materia orgánica, por lo cual es recomendable incorporar un sistema de pretratamiento que elimine dichos agentes. Un sistema de ósmosis inversa puede reducir sustancialmente la cantidad de metales disueltos en el agua como magnesio, calcio y sodio. La ósmosis inversa es una membrana que actúa como filtro molecular que remueve hasta un 99 % de todos los minerales disueltos. El agua tratada obtenida tiene calidad de agua desmineralizada.

Desmineralización.- Un sistema de desmineralización cuenta con dos cámaras, la primera remueve todos los iones metálicos positivos y los reemplaza por iones hidrógeno; la segunda absorbe los iones negativos remanentes y los reemplaza por iones hidroxilo, tiene como inconveniente el alto costo de instalación así como los períodos de regeneración que son frecuentes.

Electrodeposición.- Esta operación se utiliza para concentrar los iones metálicos de una solución de manera sencilla empleando un potencial suficientemente catódico para ocasionar la reducción de todos los metales de interés.

Evaporación.- En el proceso de evaporación, la concentración de un producto se obtiene mediante ebullición del disolvente en el que se encuentra (generalmente agua). La recuperación del producto final debe tener un contenido de sólidos, que sea consistente con la calidad del producto deseado y bajo los costos de operación requeridos. En esta operación es necesario dar calor a la disolución para que llegue a su temperatura de ebullición y proporcione el calor suficiente para su evaporación.

Todos los tratamientos generan a su vez corrientes de rechazo o purgas las que se les debe realizar un análisis CRETIB para clasificarlos como residuos peligrosos o no peligrosos.

Con la clasificación anterior se pueden establecer tres categorías de distribución con potencial de reúso:

1) *Reúso directo*.- Las corrientes que cumplan con esta clasificación son aquellas que, por la calidad de agua que presentan, pueden ser reutilizadas en algún otro proceso o incorporarse a otra corriente sin realizarles ningún tratamiento que altere su composición. Como datos económicos, se deben considerar los costos de bombeo, tubería y almacenamiento.

2) *Reúso con tratamiento básico*.- Se puede aplicar a las corrientes que, por sus características, lleguen a tener concentraciones elevadas o en exceso de un contaminante que pueda ser eliminado mediante métodos físicos, empleando sistemas de filtros, separadores de placas o equipos de clarifloculación, aquí se deben considerar los costos de instalación de dichos equipos, costos de bombeo, tuberías y montaje de las mismas.

3) *Reúso con tratamiento avanzado*.- Son aquellas corrientes que tengan un alto nivel de contaminación, de dos o más contaminantes y éstos, no pueden ser separados por métodos físicos básicos y requerirá la implementación de un tratamiento fisicoquímico complejo, que puede ser: evaporación, cristalización, desmineralización, celdas electroquímicas, sistemas de membranas y ósmosis inversa. La implementación de estos equipos implica un mayor costo que las dos categorías anteriores, pues se deben considerar además de los costos de bombeo, tuberías, instalación y montaje en racks de estas últimas, los costos de captación y operación de los equipos.

CAPÍTULO 2

PROCESO DE CLARIFICACIÓN

2.1 CLARIFICACIÓN

La clarificación remueve la materia suspendida en el agua por coagulación y floculación. Aquí el pretratamiento de agua se enfoca, casi exclusivamente, a las partículas suspendidas con tamaños que caen en el rango coloidal, es decir, de 1 a 500 milimicras. Las partículas más grandes se asientan razonablemente en forma rápida, las partículas coloidales comúnmente tienen una carga negativa y no se asientan. Cada partícula cargada negativamente tiende a formar una envoltura de iones positivos los cuales evitan la estrecha aproximación de otras partículas. Cuando se adicionan iones trivalentes como el aluminio o el hierro, hacen coagular la suspensión coloidal neutralizando la carga de la partícula, promoviendo la aglomeración y un rápido asentamiento. Bajo un apropiado pH, los iones de aluminio y hierro forman hidróxidos gelatinosos, los cuales atrapan partículas desestabilizadas.

En la clarificación del agua cruda casi siempre se usa un coagulante, ya que debe eliminarse la neblina coloidal para producir la baja turbidez requerida por la mayoría de los procesos que utilizan agua. En la clarificación de las aguas de desecho sólo se necesita un coagulante, cuando los sólidos suspendidos crean un problema para satisfacer los lineamientos respecto a los efluentes; aquí es necesario un floculante para acelerar la velocidad del asentamiento.

Los procesos de aglomeración y asentamiento pueden ser adicionalmente acelerados por la floculación, con la adición de sílice activada y electrolitos apropiados que conectan las partículas formando las cadenas de polímero. La reacción de coagulación requiere de varias etapas. Primero, el pH debe ajustarse a valores apropiados para el coagulante; segundo, un coagulante es adicionado en área de agitación vigorosa para asegurar un contacto rápido de las partículas coloidales con el coagulante; tercero, sílice activada y polielectrólitos son adicionados también con la presencia de una agitación vigorosa; finalmente, en una zona de agitación moderada, un polímero aniónico de cadena larga puede ser adicionado para agrandar los flóculos por un mecanismo de puenteo. Estos flóculos se asientan y separan, permitiendo al agua clarificada su salida del equipo en el cual se lleva el tratamiento y que es llamado "clarificador".

La eliminación del color en el agua cruda se efectúa mediante dos esquemas básicos de tratamiento: clarificación convencional o filtración directa. La operación más común en la planta de tratamiento de aguas es la convencional: mezclado instantáneo, mezclado lento, sedimentación y filtración. Cuando el color o la turbidez son muy bajos en el agua cruda, a menudo se practica la filtración directa en las plantas de clarificación. En una planta de filtración directa, el agua se somete a mezclado instantáneo, algunas veces se añade un floculador y, entonces, pasa a los filtros directamente, como hay pocos sólidos en el agua los filtros no se atascan en exceso.

Las corrientes de agua de desecho contienen más sólidos que el agua cruda y puede ser que la eliminación de sólidos suspendidos no sea tan crítica. En general, para clarificar aguas de desecho, antes se usaba mucho el mezclado mecánico, semejante al que tienen las plantas de clarificación del agua cruda para mejorar la eliminación de los sólidos suspendidos.

2.2 TIPOS DE CLARIFICADORES

En los años recientes se han utilizado varios diseños de tanques clarificadores en los que la remoción de sólidos suspendidos tiene lugar por efecto de una filtración ascendente a través de un lecho flotante de lodo. En otros, la clarificación se lleva a cabo por recirculación forzada y mezcla íntima de una masa coagulada preparada y flujo ascendente, dando por su resultado una clarificación más efectiva de la obtenible en tanques comunes que dependen únicamente del asentamiento para la remoción de materia en suspensión.

CLARIFICADORES POR GRAVEDAD

Los clarificadores por gravedad se clasifican en tres grandes tipos:

- Sedimentación simple.
- Unidades de contactos de sólidos.
- Asentadores de planos inclinados.

Hay varios diseños para los clarificadores de sedimentación simple, el clarificador de alimentación central es el más común, existen también clarificadores rectangulares y de alimentación periférica.

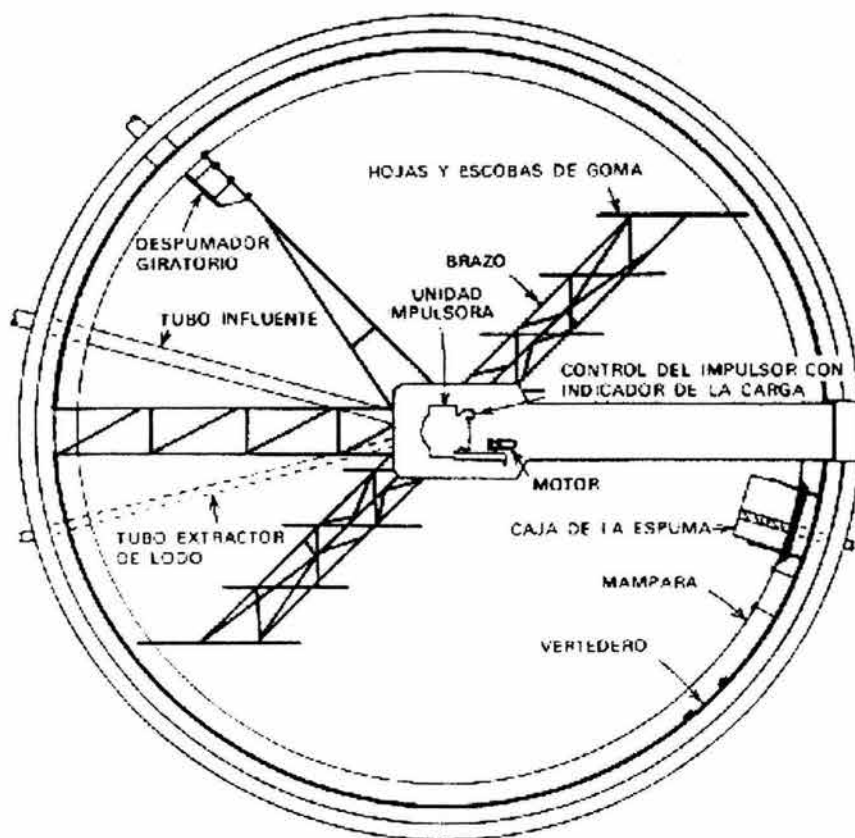
2.2.1 CLARIFICADOR CENTRAL

El clarificador de alimentación central tiene cuatro secciones distintas, cada una con una función propia.

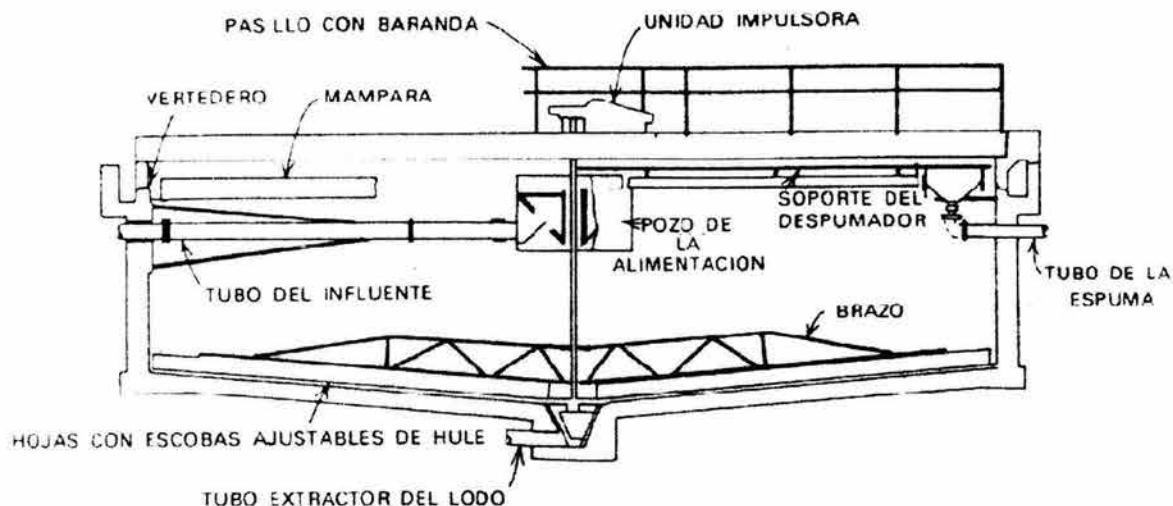
- Primera sección: la sección de entrada proporciona una transición suave entre las velocidades altas del tubo de entrada y la baja velocidad uniforme que requiere la zona de asentamiento. Este cambio en la velocidad deberá controlarse cuidadosamente para evitar turbulencia y arrastres.

- Segunda sección: la tranquila zona de asentamiento debe ser lo bastante grande para reducir la velocidad de flujo neto de agua hacia arriba, por debajo de la velocidad de asentamiento de los sólidos.
- Tercera sección: la zona de salida proporciona una transición entre la baja velocidad de la zona de asentamiento y las velocidades relativamente altas del rebosamiento.
- Cuarta sección: la zona de lodos deberá asentar, comprimir y coleccionar los sólidos de manera efectiva y eliminar el lodo del clarificador sin perturbar la zona superior de sedimentación. El fondo del clarificador circular tiene comunmente una pendiente de 5 a 8 grados al centro de la unidad donde se recoge el lodo en una tolva para ser eliminado.

Figura 2.1 En los siguientes incisos a) y b) se muestra un clarificador circular simple de alimentación central con despumadera y raspadores de lodo.³



a) Vista superior.



b) Vista inferior.

2.2.2 CLARIFICADOR RECTANGULAR

El depósito rectangular se asemeja a una sección tomada a través de un clarificador de alimentación central con la entrada en un extremo y la salida en el otro. Un clarificador rectangular típico es aproximadamente cuatro veces más el largo, que el ancho. La remoción del lodo en estos tanques de sedimentación se efectúan por un sistema de paletas teniendo un doble propósito, agitar bien el agua y recolectar el lodo.

Las aspas desnatan la superficie para eliminar la materia flotante y entonces viajan a lo largo del fondo para conducir el lodo a la tolva de descarga; sin embargo, desnatar la superficie no es una operación común, usándose exclusivamente para el tratamiento de agua cruda. Este sistema de aspas debe moverse lentamente para no producir turbulencias, que podrían interferir con el asentamiento. Este clarificador tiene la ventaja de que pueden usarse paredes comunes entre las múltiples unidades, lo que reduce el costo de construcción.

2.2.3 CLARIFICADOR DE ALIMENTACIÓN PERIFÉRICA

En este clarificador, la alimentación es en el borde, aquí se pretende emplear todo el volumen del depósito del clarificador circular para el asentamiento. El agua entra por la parte inferior de la periferia con velocidades extremadamente bajas, permitiendo la sedimentación inmediata de partículas grandes. La velocidad aumenta hacia el centro y baja después hasta que se invierte el flujo y es dirigida nuevamente al vertedero periférico de derramamiento. Ya que el patrón del flujo depende por completo de la hidráulica, este tipo de clarificador es sensible a los cambios de temperatura. En el diseño de alimentación en la periferia es muy difícil la recirculación del lodo.

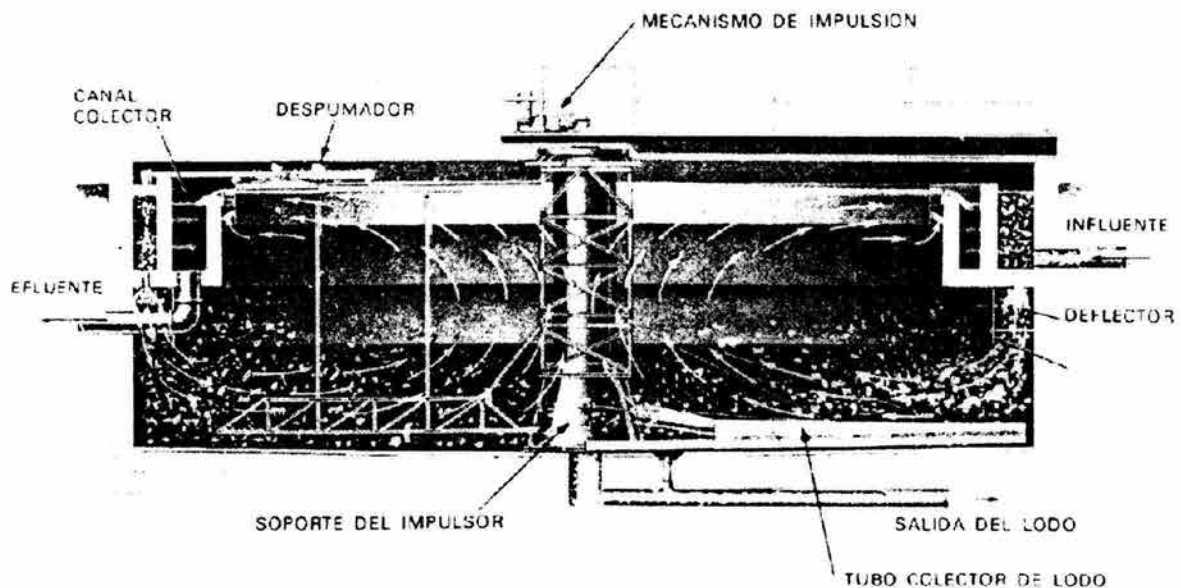


Figura 2.2 Clarificador de alimentación periférica con tubo de lodos y dispositivo para la remoción de la espuma.³

Dentro de la segunda categoría de clarificadores de unidad de contacto de sólidos, se presentan dos tipos básicamente: el clarificador de recirculación de lodos y el clarificador de colchón de lodos.

Ambos combinan el mezclado químico, la floculación y la clarificación en una sola unidad. En la zona de contacto de sólidos la concentración de sólidos puede llegar a ser hasta cien veces la concentración que se tiene en un clarificador simple. Este nivel grande de sólidos aumenta considerablemente la velocidad de las reacciones químicas de desestabilización y el crecimiento de la partícula.

2.2.4 CLARIFICADOR DE RECIRCULACIÓN DE LODOS

En la unidad de recirculación de lodos, el gran volumen de flóculos se obtiene mediante recirculación de la zona de floculación a la zona de clarificación. Estas unidades por contacto de sólidos se usan especialmente en los ablandamientos con cal.

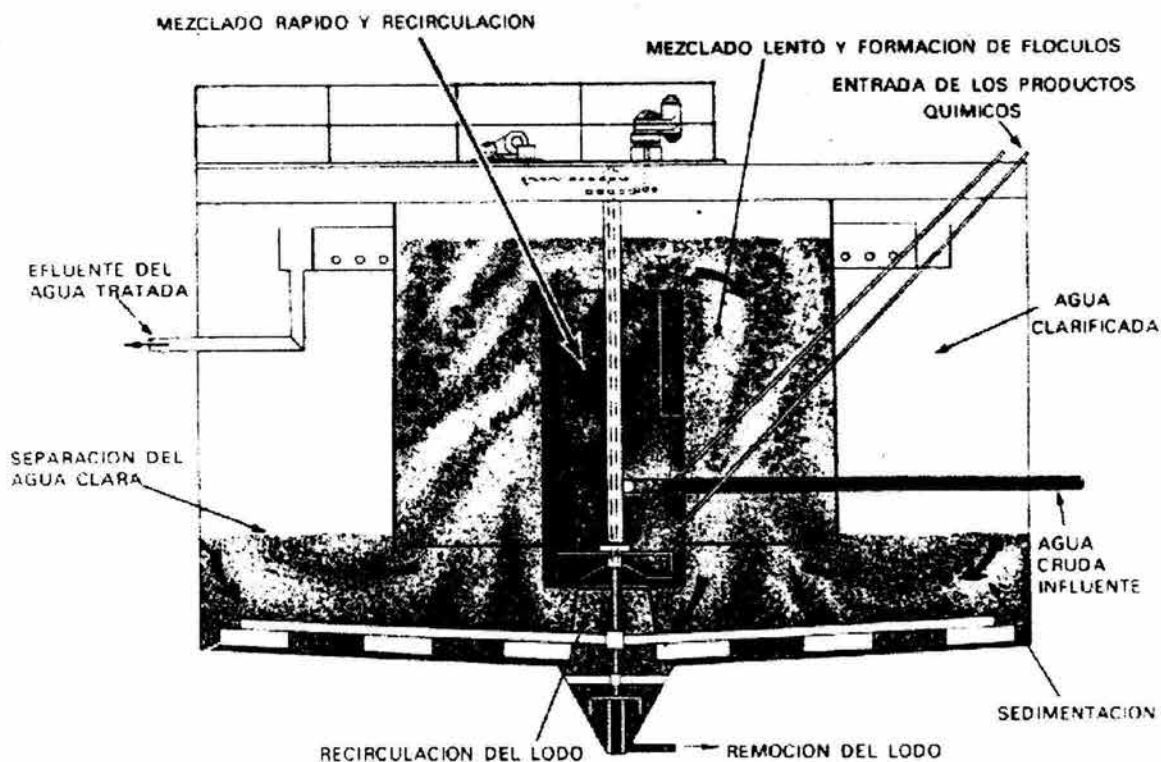


Figura 2.3 Clarificación con recirculación de lodos.³

2.2.5 CLARIFICADOR DE COLCHÓN DE LODOS

En el clarificador de colchón de lodos, los sólidos floculados se mantienen en un colchón fluidizado por el cual debe fluir agua. En virtud del aumento de sólidos, el tamaño del clarificador puede disminuirse. La distribución uniforme del flujo de entrada y el patrón del flujo vertical en este tipo de clarificador, ofrecen un mayor rendimiento que los clarificadores de flujo horizontal. Al pasar a través del colchón de lodo, los flóculos mayores se asientan por gravedad en el fondo y los flóculos finos son eliminados por colado y adsorción.

Se emplean mezcladores de velocidad variable para controlar la floculación y la concentración de sólidos en la zona de reacción. La eliminación del lodo puede efectuarse por un tubo de escape de lodos o por un sistema convencional de rastrillo y bomba.

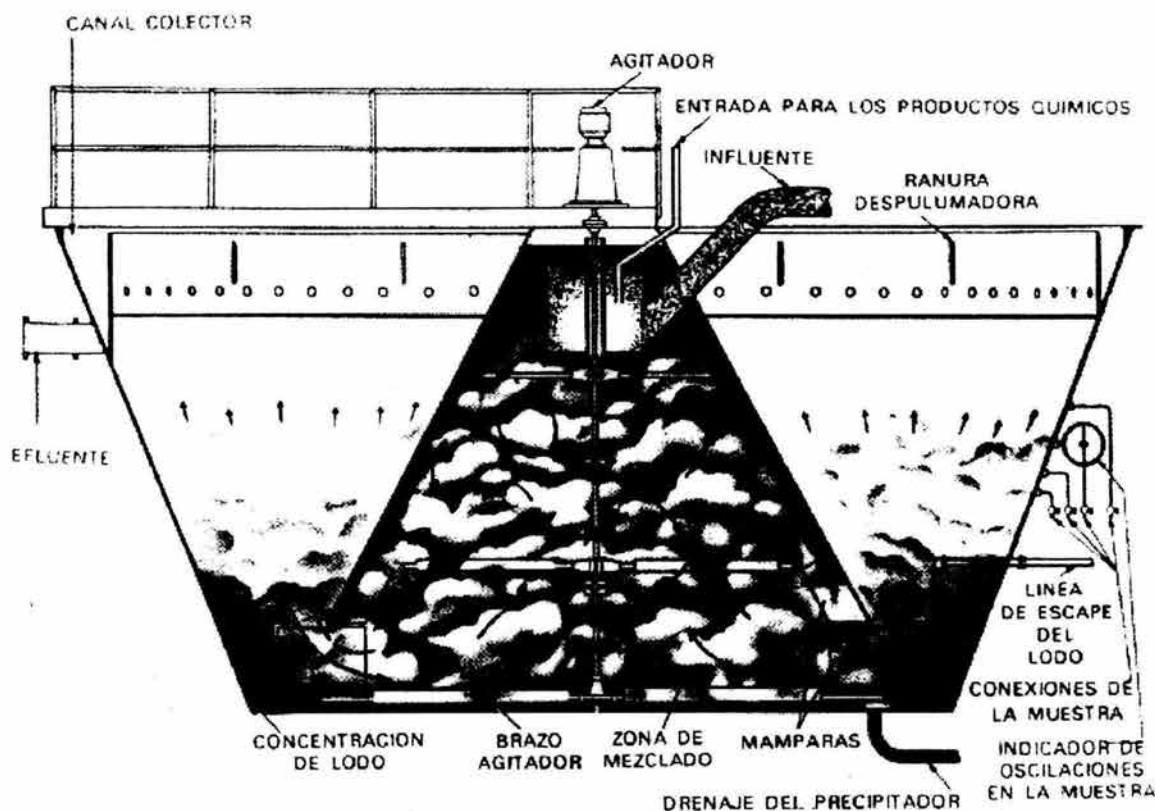


Figura 2.4 Clarificación de colchón de lodos, proporciona un área mayor para aumentar la velocidad de asentamiento del lodo.³

En la tercera categoría de clarificadores por asentamiento de planos inclinados, se encuentra básicamente, el clarificador de placas inclinadas.

2.2.6 CLARIFICADOR DE PLACAS INCLINADAS

Es un equipo que por un procedimiento físico, separa los sólidos del agua, en un tercio de espacio de lo que lo hace un clarificador circular. Después de la floculación, estos sólidos reposan en las placas inclinadas y por gravedad resbalan al fondo. Pueden ser con fondo cónico o cilíndrico. Su construcción es de acero al carbón con recubrimientos epóxicos internos y externos, o bien, de acero inoxidable. Su capacidad se encuentra desde 38 hasta 7,570 L/min.

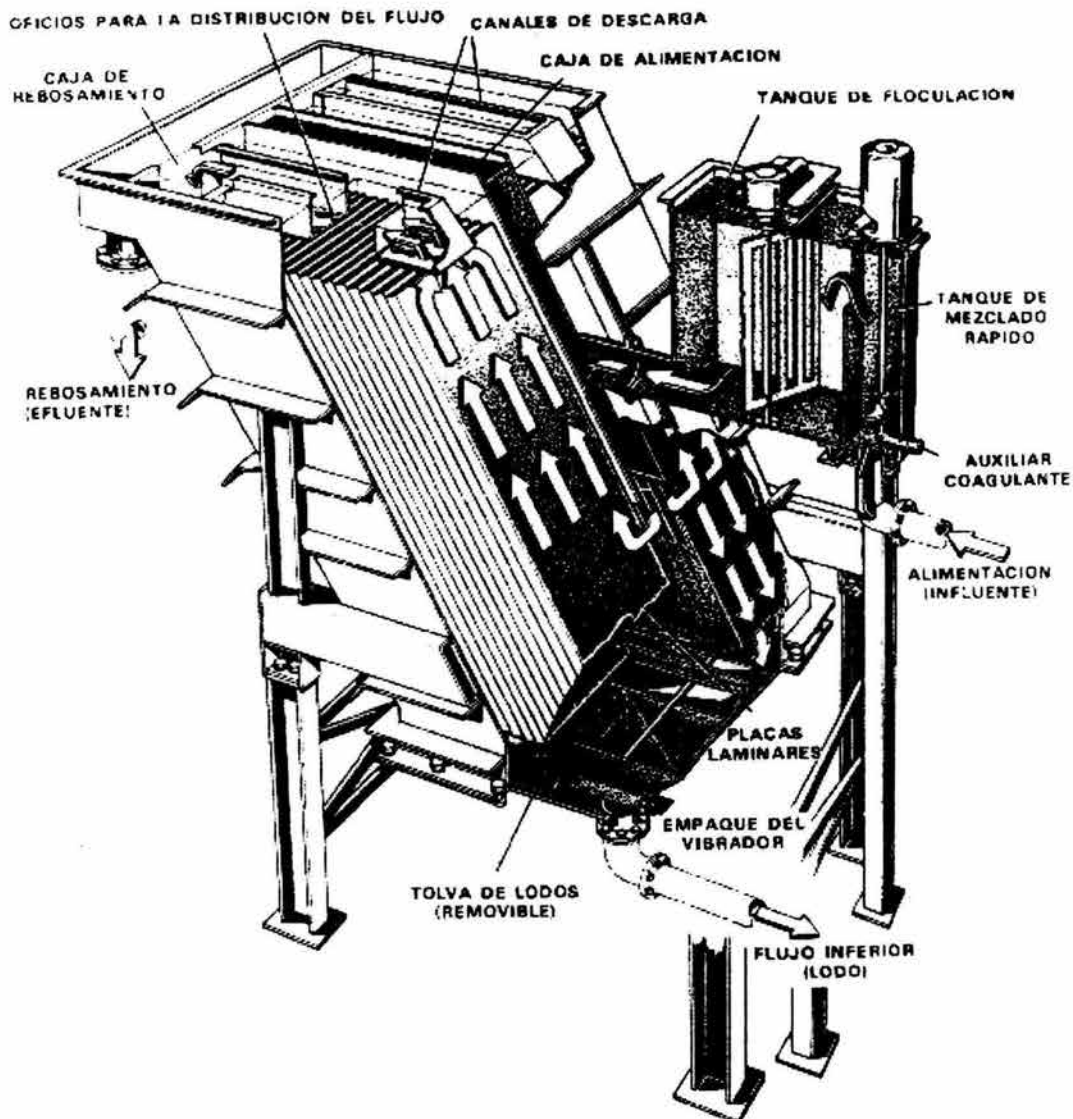


Figura 2.5 Clarificador de placas inclinadas. Disminuye el espacios de instalación y multiplican la superficie para mejorar el asentamiento.³

Principio de operación

La partícula es arrastrada por la velocidad del líquido que la contiene. Debe dejarse reposar el tiempo suficiente para sedimentar y se pueda depositar en el fondo del equipo antes de ser arrastrada nuevamente y expulsada por el flujo natural del agua hacia la superficie. La clarificación horizontal realiza auto limpieza en sí misma, debido a que las placas están inclinadas a tal ángulo, que excede el ángulo de reposo natural de los sólidos. El flujo de agua, ya sin turbulencia, entrará por la parte final de dichas placas, los sólidos se sedimentaran en las placas y se deslizarán al fondo del tanque, logrando una clarificación eficiente.

Una reducción de espacio adicional se adquiere al disminuir la separación entre las placas para solo dejar espacio a que el acumulamiento de sólidos permita la sedimentación y no provoque taponamientos e inclinando las placas lo suficiente para que se de el autolavado, 45° para partículas pesadas y 60° para partículas ligeras.

Remoción de sólidos

Los sólidos que han resbalado de las placas, se sedimentarán y acumularán en el fondo del equipo, por lo cual éste deberá estar provisto de una capacidad de almacenamiento de sólidos adecuada a la cantidad que se piensa se acumularán; también es necesario el suficiente espacio para prevenir turbulencias y acumulamientos excesivos, que provoque el arrastre de los sólidos a la superficie.

Existen dos diseños de clarificadores de placas inclinadas, estos tienen que ver con la acumulación y el peso de los sólidos: los clarificadores de fondo cónico ó pirámide invertida y los clarificadores de fondo plano con rastra.

- El clarificador de fondo cónico hará que el lodo resbale y se acumule en el fondo, pero el lodo no deberá compactarse, tendrá que ser un lodo ligero.
- El clarificador de fondo plano con rastra, se diseña para sólidos con alta capacidad de compactación que son muy difíciles de remover, la rastra los mantendrá en movimiento ligero y los guiará hasta la salida. Este diseño, permite la máxima capacidad de acumulamiento de lodo (hasta tres veces mayor que el de fondo cónico).

Espesamiento de lodo

En algunas aplicaciones, no es suficiente el espacio bajo las placas inclinadas para almacenar lodo, por lo que se requerirá de un espesador de lodos o una compactación directa a través de un filtro prensa. Usualmente, el lodo debe de ser retenido en condiciones no turbulentas por espacio de 4 a 24 horas para alcanzar una óptima concentración, una clarificación típica de un efluente bien floculado y sedimentado debe contener entre 300 a 500 ppm de sólidos suspendidos. Este espesador de lodos debe tener la capacidad de acumular sólidos de por lo menos 24 horas y el filtro prensa deberá ser capaz de compactar los sólidos colectados diseñado en ciclos.

2.2.7 CLARIFICADOR DAF

Los clarificadores DAF (por sus siglas en ingles: Dissolved Air Flotation, es decir, flotación por aire disuelto) se utilizan normalmente para remover sólidos suspendidos. Estos sistemas son 100 % presurizados o de recirculación, mezclan floculación, clarificación y engrosamiento de lodos en una sola operación, su capacidad es de 30 a 3785 gpm y en sus usos comunes remueve partículas suspendidas, así como grasas, aceites y emulsiones.

Principios de operación

Un influente es penetrado con químicos, es presurizado con aire disuelto y transferido al clarificador, ahí se libera la presión y millones de burbujas de aire son liberadas, adhiriéndose a los sólidos suspendidos y otros contaminantes, elevándolos a la superficie. El material flotante y el sedimentado, es removido por brazos desnatadores en la superficie y rastra en el fondo, para su desalojo.

La cámara central se diseña para retener la mezcla y realizar una distribución general en el tanque, también permite el tiempo adecuado para que las moléculas de aire puedan adherirse y aglomerarse a los sólidos suspendidos.

El flujo disminuye dramáticamente cuando va de la cámara de distribución al tanque de flotación, esto se debe a que el tanque ha sido diseñado para dar espacio y tiempo a que los sólidos viajen a la superficie, y formen una capa de nata lo suficientemente espesa para ser removida con facilidad por el desnatador. El agua tratada y clarificada es expulsada del tanque por las celdas DAF de salida. La porción de agua clarificada que se recicla, es el medio que llevará el aire disuelto al equipo DAF. Este efluente es inyectado al tanque de presurización con aire comprimido a 5.3 kg/cm^2 (75 psi).

Remoción de sólidos

Si existieran sólidos pesados, se irán directamente al fondo del tanque del DAF, una rastra los recoge e impide se acumulen en el fondo, llevándolos al centro para ser desalojados. La válvula puede ser cerrada o abierta de manera manual o automática para desalojar los lodos sedimentados. Un desnatador en la superficie remueve los sólidos que flotan hacia la descarga superficial, ambos lodos son recolectados en el tanque de colección de lodos.

La flotación por aire se ha empleado por muchos años en la industria minera para concentrar mineral, y en la industria papelera para tratar el agua blanca para la recuperación de fibra y la clarificación del agua. El uso de la flotación por aire disuelto se ha extendido para incluir el tratamiento del desecho aceitoso de refinerías, plantas petroquímicas, laminadoras de acero, fabricas de automóviles y terminales de ferrocarriles. En estas industrias, el aceite en el desecho puede revestir partículas sólidas, impartiendoles una tendencia a flotar en vez de asentarse.

2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas en el laboratorio controlan los procesos combinados de coagulación, floculación y sedimentación y consisten en hacer determinaciones de turbidez, color, alcalinidad y pH, junto con el recuento de bacterias en placa. Estas determinaciones se hacen antes de los diferentes pasos del proceso de tratamiento y después de los mismos.

Se emplean dos tipos de prueba de laboratorio para seleccionar el mejor producto químico y aproximarse a la dosis requerida para la clarificación:

- (1) La prueba de jarra
- (2) La prueba del cilindro

Se emplea la prueba de jarra cuando el contenido de sólidos suspendidos en la corriente que deberá clarificarse es menor que 5000 mg/L aproximadamente. La clarificación del agua cruda, el asentamiento de sólidos biológicos y la mayor parte de las corrientes primarias de desecho se encuentran en esta categoría.

Se emplea la prueba del cilindro en corrientes de lodo pesado donde los sólidos suspendidos exceden los 5000 mg/L. Los desechos provenientes del tratamiento del carbón y de los minerales, y el lodo resultante de una clarificación primaria, son ejemplo de lechadas pesadas.

2.3.1 PRUEBA DE JARRA

La prueba de jarra simula los tipos de mezclado y las condiciones de asentamiento que se encuentran en una planta clarificadora. La unidad de laboratorio para efectuar esta prueba permite que se corran simultáneamente hasta seis pruebas. El probador tiene un motor de velocidad que permite controlar la energía del mezclado en las jarras.

Los resultados de la clarificación son sensibles a la dosificación del producto químico y a la duración del mezclado. En la prueba de jarra, para eliminar la neblina coloidal, se añade el coagulante con gran energía para dispersarlo en el agua y promover una mayor frecuencia en las colisiones; si es necesario, se añade un polímero floculante durante los últimos segundos del mezclado rápido. En el periodo de mezclado lento que sigue, se forman flóculos hasta que son tan grandes, que los esfuerzos cortantes superan finalmente a las fuerzas de enlace. Después de un mezclado lento durante un tiempo óptimo, el cual se encuentra después de repetidas pruebas (de 5 a 20 minutos), se dejan asentar las jarras de 5 a 10 minutos.

Se efectúan pruebas en jarras, colocadas una al lado de la otra, estas jarras contienen distintos productos químicos o en diferentes dosis de la misma sustancia. Se compara entre ellas la velocidad de asentamiento de los flóculos, la claridad final o los sólidos suspendidos, y el volumen del lodo producido (cuando este se puede medir). Aun cuando la claridad puede juzgarse a simple vista, la medida estándar más precisa se lleva a cabo con el turbidímetro. Otras pruebas de calidad, como el pH, la DBO, el color y los metales solubles, se llevan a cabo con agua asentada para establecer las normas de desempeño.



Figura 2.6 Batería de agitadores de uso frecuente en las pruebas de jarras.

Al efectuarse pruebas con distintas dosis de coagulantes y floculantes, comparando las velocidades de asentamiento, pueden seleccionarse los productos químicos más efectivos.

2.3.2 PRUEBA DEL CILINDRO

La prueba del cilindro, diseñada para determinar la rapidez con la que se asientan los sólidos, emplea un cilindro graduado de 500 mL con tapón, cronómetro y equipo para dosificar las sustancias químicas que se evaluarán. La muestra se coloca en el cilindro, se añade el coagulante y se invierte cuidadosamente varias veces el cilindro. El mezclado es mucho menos intenso que en la prueba de la jarra, puesto que los sólidos se encuentran en mayores niveles de concentración, de modo que pueden presentarse colisiones frecuentes a esta energía menor de mezclado. Después, el cilindro es colocado boca arriba y se observa la interfase entre el agua y el sólido asentado, se registra el tiempo, el nivel de los sólidos y se llevan los datos a un gráfico. Pueden efectuarse varias pruebas analíticas en el agua limpia (como en el caso de la prueba de jarra), el objetivo es obtener una velocidad grande de asentamiento.

En la figura 2.7 se muestra como las partículas sólidas en el cono izquierdo son un conglomerado de materiales con partículas de tamaños diferentes. Después de asentarse durante 30 minutos se obtiene dos fracciones (cono derecho): sólidos asentables, (expresados en mL/L), y turbidez, (expresada en unidades nefelométricas).

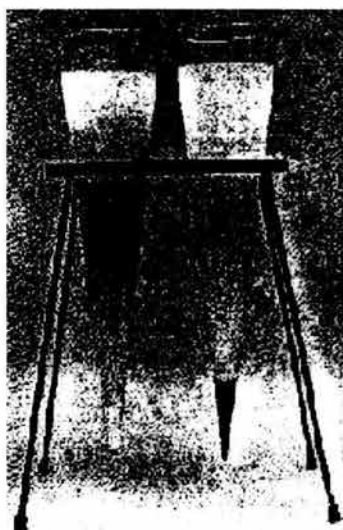


Figura 2.7 Pruebas de cilindro.

2.4 COAGULACIÓN

Las aguas superficiales que, normalmente se encuentran en la naturaleza, contienen proporciones variables de sólidos suspendidos relativamente gruesos, sólidos más finos que aparecen como turbidez y color, y algunos otros materiales coloidales. La coagulación se utiliza normalmente para remover esta clase de contaminantes, reduciendo las concentraciones de estos materiales a límites que puedan ser tolerados y ayuda a las pequeñas partículas coloidales suspendidas en el agua a sedimentar mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las partículas pequeñas a formar grupos grandes (flóculos) de mayor peso para su mejor sedimentación. A las sustancias que se utilizan en este proceso se les llama coagulantes. La turbidez, la alcalinidad y el pH del agua cruda proporcionan generalmente una indicación de la dosificación de coagulante que se requiere, así como de la alcalinidad adicional.

Entre la gran variedad de materiales coloidales en el agua, existe una distribución grande en el tamaño de las partículas, en la tabla 2.1 se muestra cómo el tamaño de la partícula afecta la tendencia de asentamiento en agua tranquila.

Tabla 2.1

Típico	mm	Micras	Tiempo (s) de asentamiento, por 1 m de caída
Grava	10.0	10000	1
Arena gruesa	1.0	1000	10
Arena fina	0.1	100	125
Limo	0.01	10	6480
Bacterias	0.001	1	38880
Materia coloidal	0.0001	0.1	6.5×10^7

Al disminuir el tamaño de las partículas en suspensión, disminuye también su velocidad de asentamiento, las partículas mayores de 100 micras pueden observarse a simple vista y son consideradas como sólidos asentables, en el intervalo de 10 a 100 micras se les considera turbidez, por debajo de las 10 micras se les considera coloidales. Las partículas mayores de 0.1 micras son visibles con el microscopio óptico y para menores de 0.1 micras se usa el microscopio electrónico para detectarlas.

Las partículas coloidales se encuentran cargadas eléctricamente y éste es uno de los principales factores que contribuyen a su permanencia en estado de fina división. Una razón por la cual la sedimentación de tales partículas es relativamente difícil de llevar a cabo, es que tienen cargas eléctricas similares y las partículas se repelen mutuamente, hasta que las cargas son neutralizadas.

Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento, pero aún partículas mayores, que no son realmente coloidales y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requieren de la coagulación para formar un flóculo mayor que se asiente con mayor rapidez.

Cuando en una planta de tratamiento no se dispone de tiempo suficiente para extraer los sólidos suspendidos, la coagulación y la floculación pueden provocar el crecimiento de los coloides para que se asienten con la suficiente rapidez para superar las limitaciones del diseño de la planta.

La coagulación de un coloide es simplemente la remoción y neutralización del material estabilizador. En el caso de las soluciones de arcilla, las partículas arcillosas, cargadas negativamente, pueden ser coaguladas si se les hace absorber iones cargados positivamente, como los iones de aluminio aportados por la adición de sulfato de aluminio.

Cuando la adsorción de iones positivos balancea exactamente las cargas negativas, las partículas se vuelven neutras, y entonces se dice que la solución coloidal se encuentra en condiciones isoelectricas. Las partículas de arcilla tenderán a aglomerarse por la ausencia de fuerzas oponentes y entonces se precipitarán. En algunas soluciones coloidales, es posible ir más allá del punto isoelectrico y causar una reversión en la carga de las partículas por la adición de un exceso de ión adsorbido. Los factores que afectan al proceso de coagulación son: el pH, el contenido en sales, la temperatura y el grado de agitación. Los coagulantes que suelen emplearse en el tratamiento de agua pueden ser los siguientes:

- 1) Los basados en el aluminio, los policloruros de aluminio y el aluminato sódico
- 2) Los basados en el hierro, como los sulfatos férrico y ferroso y el cloruro férrico
- 3) Coagulantes orgánicos de tipo polielectrolito
- 4) Mezclas y formulaciones de los anteriores

Las aguas más difíciles de coagular son las que tienen alto color, libres de turbidez y bajo contenido de materia inorgánica disuelta. Con aguas de tal naturaleza, el intervalo de pH para una buena coagulación puede ser muy estrecho, pero puede ampliarse añadiendo una ayuda a la etapa de coagulación, tal como arcilla, sílice activada o polielectrólitos; el color generalmente se elimina a pH debajo de 6.5.

2.4.1 COLOIDES

Los coloides se clasifican en hidrofóbicos (no afin al agua) e hidrofílicos (afines al agua). Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua. Los coloides hidrofílicos reaccionan con el agua, las sustancias que le proporcionan el color al agua son hidrofílicas. Es importante mencionar, que en el tratamiento del agua los coloides hidrofílicos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso del tratamiento; así, los coloides hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos, los cuales no reaccionan químicamente con el coagulante.

2.4.2 POTENCIAL ZETA (Z)

El potencial zeta es una medida de fuerza para coloides en fuentes de agua natural con un pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre -14 y -30 milivolts; cuanto más negativo sea el número, mayor será la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más, aumentando la posibilidad de una colisión. En un sistema convencional de clarificación con un pH de 6 a 8, los coagulantes proporcionan las cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta. La coagulación se presenta comúnmente a un potencial zeta que es aun ligeramente negativo, de manera que, por lo general, no se requiere que la carga sea neutralizada por completo. Si se añade demasiado coagulante, la superficie de la partícula se cargara positivamente (un potencial zeta positivo) y la volverá a dispersar.

El potencial zeta se determina indirectamente de los datos obtenidos, al observar en el microscopio los movimientos de las partículas. Las medidas del potencial zeta se han empleado con éxito para controlar la dosis de coagulantes en las plantas; sin embargo, las lecturas del potencial zeta por sí solas no son confiables para seleccionar el mejor coagulante. Lo resultados obtenidos en la prueba de la jarra continúan siendo los mejores para seleccionar el coagulante óptimo.

2.5 AGENTES COAGULANTES

La función primordial del coagulante consiste en suministrar iones fuertemente cargados capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y causar su precipitación. El producto químico coagulante soluble, también sufre reacciones químicas bastante complicadas con varios compuestos definidos presentes o adicionados al agua; estas reacciones producen otros compuestos insolubles en forma de partículas diminutas cargadas eléctricamente. Estos compuestos acarrear la precipitación de una porción adicional de la materia coloidal. El material así precipitado, se aglomera para formar los flóculos gelatinosos.

La adición de coagulantes al agua cumple dos funciones: acelera el asentamiento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos.

Aun cuando muchos materiales son capaces de coagular los sólidos contenidos en el agua, los más extensamente usados son las sales de aluminio y hierro, en el intervalo de pH de 6 a 7, otros coagulantes empleados son el alumbre de amonio y potasio, sulfato férrico clorado, aluminato de sodio, sílice activada, almidones procesados y varios otros compuestos.

METÁLICOS

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizar al hierro o al aluminio y generar problemas al personal encargado del tratamiento del agua.

2.5.1 COMPUESTOS DE ALUMINIO

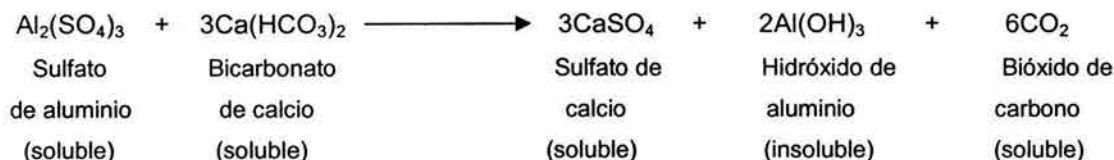
Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es el más usado en el tratamiento de agua que cualquier otro coagulante hasta ahora conocido. Cuando se agrega una solución de sulfato de aluminio a un agua natural, puede ocurrir una o más reacciones químicas. El sulfato de aluminio se prepara tratando óxido de aluminio con ácido sulfúrico y el producto es purificado usualmente para remover la mayor parte del material inerte contenido.

El alumbre en la forma que generalmente se utiliza tiene la siguiente fórmula química $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ y puede obtenerse en forma ácida o básica. El alumbre se aplica al agua mediante una variedad de equipos, ya sea en forma seca o después de ser disuelto. Cuando se incorpora en forma seca, debe encontrarse en forma de polvo o gránulos y debe ponerse en solución antes de ser mezclado con el agua por tratar, aún cuando el alumbre es bastante soluble, es preferible calentar el agua para disolver este producto y agitarla con objeto de acelerar su disolución.

Se ha demostrado que la floculación, por medio de la solución de alumbre, puede o no dar como resultado la formación de hidróxido de aluminio. La composición de la sustancia floculante dependerá de la alcalinidad o acidez relativa del agua. Si el agua se encuentra cercana al punto neutro, el flóculo tendrá una composición probable de $5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3$, pero cuando el agua es suficientemente alcalina para dar una reacción rosa con un indicador de fenolftaleína, se formara hidróxido de aluminio, $\text{Al}(\text{OH})_3$.

"Si la alcalinidad del agua se debe a bicarbonato de calcio, se llevará a cabo la siguiente reacción:"⁴



Cuando la alcalinidad es debida a sales de sodio en vez de sales de calcio, se formara sulfato de sodio en lugar de sulfato de calcio. Se producirá una reacción similar con el bicarbonato de magnesio.

Alumbres de amonio y potasio

Estos coagulantes no se utilizan extensamente en grandes plantas de tratamiento, pero se emplean principalmente en tanques de alumbre, en los que el coagulante se disuelve en un tanque a presión y la solución así formada se inyecta al agua por tratar. Este tipo de equipo se emplea en las operaciones de filtros a presión.

Aluminato de sodio

El aluminato de sodio se emplea ahora con regularidad como coagulante. Este material se vende en forma líquida o como polvo. Sus soluciones contienen varias cantidades de sólidos y agua. Los sólidos presentes en este producto son aluminato de sodio, carbonato de sodio, sosa cáustica y materia orgánica. A causa de la presencia de compuestos sódicos, se produce un ablandamiento cuando se emplea con aguas duras. Es específicamente útil en el tratamiento de aguas crudas, y es de gran ayuda al tratar aguas coloridas y aguas blandas, se ha encontrado que el aluminato de sodio es un útil coadyuvante para coagular ciertos sólidos suspendidos cuando se aplica junto con sulfato de aluminio. Tiene también el mérito de reducir el contenido de sílice de algunas aguas.

"Las reacciones químicas del sulfato de aluminio y el aluminato de sodio al agregarse el agua, son:"⁴



El flóculo es similar al producido por el sulfato de aluminio cuando se emplea solo, pero el material tiene una reacción alcalina mientras que el sulfato de aluminio es un coagulante ácido.

Tabla 2.2 Características principales de los coagulantes mas utilizados.

Nombre Común	Fórmula	Peso Equivalente	pH al 1 %	Disponibilidad
Alumbre	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	100	3.4	Terrón – 17 % Al_2O_3 Líquido – 8.5 % Al_2O_3
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	40	12.0	Terrón – como CaO Polvo – 93 – 95 % Lodo – 15-20 %
Cloruro Férrico	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	91	3 – 4	Terrón – 20 % Fe Líquido – 20 % Fe
Sulfato Férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	51.5	3 – 4	Granular – 18.5 % Fe
Caparrosa verde	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	139	3 – 4	Granular – 20 % Fe
Aluminato de Sodio	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	100	11 – 12	Escama – 46 % Al_2O_3 Líquido – 2.6 % Al_2O_3

2.5.2 COMPUESTOS DE HIERRO

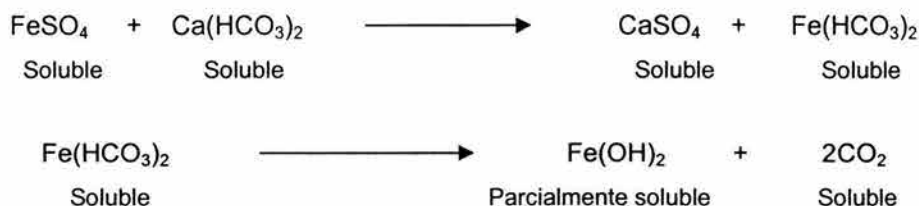
Los compuestos de hierro usados en tratamientos de agua incluyen varias de las sales ferrosas y férricas solubles, estas sales intervienen en reacciones químicas y físicas en el agua para formar compuestos insolubles. El resultado final de estas reacciones es la coagulación y clarificación del agua, la más simple de las reacciones que experimentan tanto los coagulantes ferrosos como férricos, muestran que, en cada caso, el compuesto insoluble en última instancia es hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Una ventaja que poseen los coagulantes de hierro sobre el alumbre es su amplio margen de valores de pH dentro de los cuales se precipitan los compuestos de hierro. En estudios sobre la formación de flóculo mediante coagulantes férricos, se ha demostrado que el punto de coagulación óptima puede ser tan bajo como un pH de 3.8 en el caso de aguas de pantano áltamente colorida o puede encontrarse arriba de 8.0 para otros tipos de agua. En ocasiones, el margen de pH dentro del que puede formarse rápidamente un flóculo apropiado, es relativamente estrecho y el pH del agua debe ser cuidadosamente controlado.

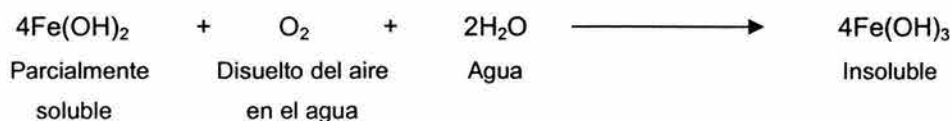
Sulfato ferroso

El sulfato ferroso fue originalmente el mas empleado para clarificar agua muy turbia y aún se utiliza extensamente para este propósito, tiene la fórmula $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar flóculos. Sin embargo, el flóculo inicialmente formado es un compuesto relativamente soluble, hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

"Las reacciones por las que este compuesto se forma son las siguientes:"⁴

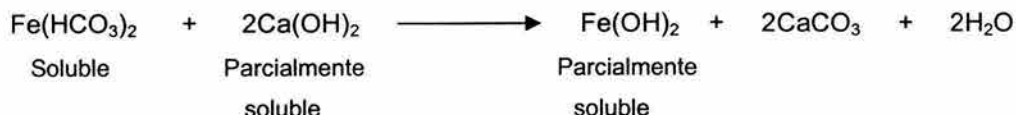


"El hidróxido ferroso bajo ciertas condiciones es fácilmente oxidado a hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el cual es un compuesto muy insoluble."⁴



La oxidación del hidróxido ferroso a la forma férrica se obtiene en forma rápida por efecto del oxígeno disuelto en el agua y la velocidad con que tiene lugar se incrementa rápidamente por aereación. La cantidad de oxígeno requerido para convertir hidróxido ferroso a férrico es 0.03 partes de oxígeno (O_2) por una parte de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Aunque el sulfato ferroso produce flóculos, los resultados son a menudo poco satisfactorios. Tales resultados se deben generalmente a la presencia de dióxido de carbono y a su efecto sobre la solubilidad del hidróxido ferroso. Para contrarrestar este inconveniente, el coagulante se aplica usualmente en combinación con cal hidratada, este último compuesto neutralizará al dióxido de carbono presente en el agua, la reacción es:

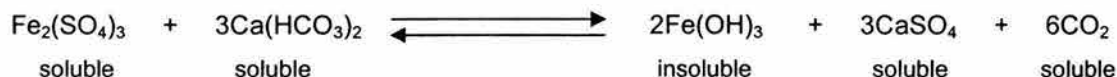


Una ventaja adicional resultante de la adición de cal con el coagulante proviene del incremento resultante en el valor del pH del agua. El valor más alto en el pH favorece la oxidación de hidróxido ferroso a hidróxido férrico.

Sulfato férrico

El sulfato férrico ha sido ampliamente usado en el tratamiento de ciertos tipos de agua, ha remplazado al sulfato ferroso en muchos casos. Este coagulante reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar hidróxido férrico insoluble y, por lo tanto, no requiere la adición de cal hidratada para completar la reacción.

“La reacción química que tiene lugar cuando se agrega sulfato férrico a un agua que contiene alcalinidad cálcica es la siguiente:”⁴



El sulfato férrico es muy soluble y sus soluciones se preparan fácilmente por agitación con dos partes de agua y una parte de sulfato. La solución concentrada se diluye a la cantidad deseada, no se recomienda guardar soluciones concentradas por mucho tiempo. El sulfato férrico puede dosificarse tanto en solución como sólido; en la dosificación como líquido deben emplearse materiales no corrosivos.

Las soluciones de sulfato férrico son corrosivas, usualmente se utilizan tanques y equipos recubiertos con hule o plomo, o contruidos con acero inoxidable.

El sulfato férrico forma un hidrato $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, el cual se solidifica rápidamente en forma similar al yeso. Este cuerpo no se solubiliza rápidamente en el agua fría, la práctica más conveniente es alimentar agua caliente en forma proporcional al flujo de coagulante seco. El pH óptimo para la coagulación debe determinarse por experimentos en el laboratorio.

Cloruro férrico

Este compuesto férrico ha sido conocido y empleado durante muchos años para la coagulación de lodos de aguas negras y, hasta cierto límite, para el tratamiento de algunos suministros de agua usados para fines sanitarios e industriales. El cloruro férrico $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, se emplea extensamente en tratamientos de aguas negras para mejorar el asentamiento y filtrabilidad de los lodos; sin embargo, el cloruro férrico es ventajoso para obtener coagulación a un pH bajo. Se ha encontrado que puede obtenerse una coagulación satisfactoria a un pH de 5.0. El cloruro férrico es muy corrosivo, requiere equipo especial resistente al ácido para el almacenamiento y alimentación de su solución, es a causa de esta propiedad altamente corrosiva que no se emplea tan extensamente como el sulfato férrico.

Sulfato ferroso clorado

El sulfato ferroso clorado, aún cuando no es un coagulante tan eficiente como otros, presenta ventajas considerables a causa de que su preparación puede llevarse a cabo dentro de las mismas plantas de tratamiento. Esto se hace por cloración de una solución de sulfato ferroso produciéndose tanto sulfato férrico como cloruro de acuerdo con la siguiente reacción:



Todos los coagulantes ya sean aplicados mediante dosificadores en seco o en líquido, se disuelven antes de ser agregados al agua que ingrese al pretratamiento de clarifloculación. Algunas propiedades importantes de coagulantes usuales se mencionan a continuación.

2.6 MEZCLADO

El mezclado es una importante operación en muchas fases del tratamiento de aguas crudas y aguas residuales, en las que una sustancia tenga que ser totalmente entremezclada con otra. Esta operación puede hacerse mecánica o hidráulicamente en tanques especiales o tanques comunes. Se basa en el principio fundamental de agitar violentamente el agua que se va a tratar, con el producto químico que se aplique, durante un cierto tiempo.

El mezclado de un líquido puede realizarse de varias formas: 1) en resaltos hidráulicos; 2) en tubos tipo venturi; 3) en conducciones; 4) en bombas, y 5) en recipientes con ayuda de medios mecánicos. El mezclado tiene lugar en las cuatro primeras formas citadas como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de circulación. En la quinta, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios como paletas, turbinas y hélices.

El método hidráulico más común consiste en el conocido estanque con tabiques desviadores, en el cual el agua fluye rodeando los bordes por arriba y por debajo de los tabiques desviadores que han sido dispuestos de manera que se produzca el grado deseado de turbulencia. Desafortunadamente, estos tabiques desviadores son fijos, o cuando menos, no son fáciles de ajustar, por lo que el grado de agitación depende del gasto de agua que pase por el estanque. Los impulsores empleados en el mezclado mecánico generan tanto flujo de masa como turbulencia. Los dispositivos mas usados son: 1)paletas, 2)turbinas y 3) hélices o propelas.

1) Las *paletas* constan de hojas sujetas directamente a flechas verticales u horizontales. Las hojas móviles (rotores) pueden complementarse mediante paletas estacionarias que se oponen al movimiento rotativo de la masa global de agua dentro de la unidad de tratamiento y ayuda a suprimir la formación de remolinos. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas de 2 a 15 rpm. Las corrientes generadas por ellas son tanto radiales como tangenciales.

2) Las *turbinas* se componen de hojas planas o curvas conectadas mediante un brazo radial a una flecha vertical u horizontal. Operando en el intervalo medio de velocidades, de 10 a 150 rpm, generan casi la misma clase de corrientes que las paletas. Las turbinas se utilizan para mezclar el aire con el fango activado en los tanques de aereación y para mezclar el fango en los digestores.

3) Las *hélices* se utilizan para mezclado rápido, tienen una forma similar a la de los barcos. Los álabes se encuentran montados sobre una flecha vertical o inclinada y generan corrientes axiales fuertes que mezclan rápidamente los productos químicos o gases con los líquidos, su velocidad es alta, de 150 hasta 2000 rpm o más y pueden colocarse fuera del centro en las unidades de tratamiento.

2.7 FLOCULACIÓN

La floculación consiste en agitar suavemente el agua tratada con coagulantes, durante un periodo de tiempo apreciable, para poder completar las reacciones de coagulación. Durante este proceso los sólidos suspendidos desestabilizados son conjuntados mediante la utilización de polímeros para formar agregados de mayor tamaño llamados flóculos. El objetivo de esta floculación es permitir la rápida separación de la fase líquida de la fase de sólidos en suspensión, minimizando los sólidos en dicha fase líquida y aumentando el contenido de sólidos en la fase sólida.

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar a su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también afecta su naturaleza física. Los lodos y las lechadas, cuando han sido floculados, se desecan con mayor rapidez sobre capas de arena y en el equipo mecánico de desecamiento, en virtud de la estructura menos gelatinosa del flóculo.

La floculación se lleva a cabo generalmente como una etapa previa a la filtración al efectuar el acondicionamiento de aguas. La secuencia completa de las operaciones básicas para la remoción de turbidez, color y otras materias orgánicas en la preparación del agua para su filtrado es: 1) adición de productos químicos (coagulantes), 2) mezcla rápida, 3) floculación y 4) sedimentación.

Un floculador consta de un juego de paletas operadas mediante un motor que giran alrededor de un eje central. La rotación puede ser en un plano vertical u horizontal, dependiendo del diseño específico usado. Pueden obtenerse varios diseños de floculadores, pero todos ellos están basados en el principio de hacer girar al agua obteniendo los flóculos, con objeto de aumentar el tamaño de las partículas.

El periodo requerido para la floculación depende del diseño del equipo empleado, las características químicas del agua, así como la cantidad y finura de la materia en suspensión arrastrada por el suministro. Generalmente se reconoce que el tiempo de floculación no deberá ser inferior a 20 minutos ni superior a 1 hora, aún cuando algunos diseñadores se apartan de estos límites.

2.8 AGENTES FLOCULANTES

Los productos floculantes aportan una mayor cohesión del floculado y una velocidad de sedimentación superior. Algunas sustancias se emplean para mejorar las características de los coagulantes antes mencionados, favoreciendo, de esta manera, la formación de flóculos más grandes y pesados ayudando a eliminar color, sólidos suspendidos y materia orgánica. Los materiales que se emplean con este propósito pueden ser clasificados como:

- (1) Arcillas
- (2) Sílice activada
- (3) Polielectrólitos

ARCILLAS

Algunas arcillas son muy empleadas como ayuda de la coagulación en la eliminación de color de aguas altamente coloreadas, posiblemente esta práctica tiene su origen en la observación de que las aguas superficiales de bajo contenido mineral, son más fácilmente de coagular cuando tienen turbidez, la práctica profesional nos muestra que algunas arcillas son notablemente efectivas en la eliminación de color y turbidez.

El efecto de estas arcillas se describe comúnmente como “acción de peso”, esto es, con aguas altas en color pero con muy baja turbidez, el flóculo formado por coagulación consta principalmente de materia orgánica, siendo por esto, demasiado liviano y no sedimenta rápidamente; la adición de arcilla aumenta el peso del flóculo y se asienta rápidamente.

Se ha encontrado en la práctica, que la adición de pequeñas cantidades de arcilla promueve la formación de flóculos que se asientan mas fácilmente, cuando se usan junto con coagulantes de aluminio o hierro. Estas arcillas también amplían el rango del pH en el que la coagulación puede efectuarse.

Muestras de arcillas deben ser probadas en el laboratorio antes de ser usadas. La dosificación requerida para un agua dada debe determinarse de tiempo en tiempo en el laboratorio, la dosis usual es de 17 a 51 ppm.

SÍLICE ACTIVADA

La sílice activada es una ayuda de coagulación muy efectiva para la eliminación de turbidez, color, y materia orgánica. Se reconocen propiedades de ciertas formas de sílice, su valor práctico y preparación como ayuda para la coagulación de aguas turbias, la sílice activada, al ser agregada al agua, mejora las características de asentamiento de los sólidos coagulados. La sílice activada se prepara por lotes. La dosis de sílice activada se puede determinar fácilmente en el laboratorio, y en general, cuando se emplea junto con un coagulante común, la dosis varía de 1 a 5 ppm.

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para descubrir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. Un mezclado de gran intensidad, que distribuye al coagulante y promueva colisiones rápidas, es de lo más efectivo.

POLIELECTROLITOS

Este término se ha adjudicado a ciertos complejos orgánicos de origen natural o sintético, que se emplean como ayuda de la coagulación. Los polielectrólitos son grandes moléculas orgánicas solubles en agua, tienen altos pesos moleculares, formadas en bloques denominados monómeros, repetidos en una cadena larga. Aquellas que tienen una carga positiva son catiónicas y las que tienen una carga negativa son aniónicas. Estas moléculas reaccionan con el material coloidal en el agua neutralizando la carga o enlazando partículas individuales para formar un precipitado visible e insoluble, es decir, un flóculo.

El mejoramiento de la formación del flóculo, su asentamiento y la clarificación que se pueden efectuar con el uso de estos polielectrólitos, es a menudo sorprendente. La dosificación y el polielectrolito adecuado deben determinarse por pruebas en el laboratorio. Respecto a la dosis, ésta varía con diferentes aguas y aplicaciones; pero, en general, cuando se usa como ayuda para la clarificación en aguas naturales, la dosis es de 0.5 a 1 ppm, esto reduce la dosis de coagulante y hace al pH menos crítico. Cuando se usa como coagulante en los sistemas en frío, la dosis será de 1 a 2 ppm. En aguas de desperdicio varía de 0.5 a más.

Se tienen algunos polielectrólitos que han sido certificados por el comité de ayuda de coagulantes en el tratamiento del agua (E.U.A) como no tóxicos y pueden emplearse en la coagulación de agua para usos municipales. Estas sustancias cuando no son certificadas, no deberán, por ningún motivo, usarse en aguas que puedan posteriormente ser empleadas para consumo humano, sino solamente en aguas de desecho o industriales.

En la siguiente tabla se muestran algunas características principales de los floculantes orgánicos.

Tabla 2.3

Clase	Forma y Disponibilidad
(1) Floculantes catiónicos: Copolímeros de - Acrilamida y dimetil-aminoetil-metacrilato - Acrilamida y cloruro de dialil-dimetil amonio - Aminas Mannich	Polvos o emulsiones
(2) Floculantes no ionicos - Poliacrilamidas	Polvos o emulsiones
(3) Floculantes aniónicos - Poliacrilatos - Copolímero de acrilamida y acrilato	Polvos o emulsiones

2.9 CONDICIONES IDEALES PARA LA COAGULACIÓN

2.9.1 EFECTO DEL pH

La cantidad de coagulante requerida para efectuar una buena coagulación varía con la naturaleza y cantidades de sólidos suspendidos y en solución, contenidos en el agua. Las condiciones óptimas para la formación del flóculo existen en una estrecha zona correspondiente a un pH de 5.5 a 6.5 para las soluciones diluidas. Mientras más diluida sea el agua respecto al contenido total de sales y menor sea la cantidad de alumbre agregada, más estrecha se vuelve la zona de pH en la que se hallan las condiciones óptimas para la formación del flóculo.

Las dosis de coagulante y el pH óptimo varían para cada agua en particular. De una manera general, se dice que la dosis de coagulantes varía desde fracciones de ppm hasta mas de 80 ppm. El pH favorable para los coagulantes de aluminio es de 5.5 a 6.8; con los coagulantes de hierro el intervalo usualmente es de 3.5 a 5.5 y arriba de 9.0. Hay algunas excepciones para los coagulantes de aluminio, por ejemplo, para aguas muy altas en color se ha empleado un pH menor de 5.5, con aguas altas en sólidos disueltos se emplea un pH de 7.5

2.9.2 TEMPERATURA

La efectividad de la coagulación y la velocidad de formación de los flóculos están influidos grandemente por la temperatura del agua. Conforme disminuye la temperatura del agua, debe aumentar la dosis de productos químicos usados para coagular, con objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados. El efecto desfavorable de la baja temperatura sobre la formación del flóculo puede disminuirse mediante un diseño adecuado del equipo con respecto a un mezclado eficiente previo a una floculación apropiada. Generalmente se requiere más productos químicos que al tratar aguas más calientes.

2.9.3 MEZCLADO

Uno de los requisitos más importantes para una buena coagulación y asentamiento de sólidos suspendidos, es la mezcla rápida y completa de los productos químicos y el agua, seguida de la floculación lenta. Tal tratamiento es necesario para asegurar una incorporación completa de los productos químicos, eliminando porciones del agua que no reciban su parte proporcional del coagulante aplicado. Después de efectuada la mezcla, los coágulos finamente divididos deberán dejarse desarrollar para formar partículas grandes que aseguren máximas velocidades de asentamiento.

La floculación se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. A veces la acción es mejorada por la instalación de paletas auxiliares fijas. Un mayor contacto entre las partículas favorecerá la formación del flóculo; sin embargo, si la agitación es demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo en partículas más pequeñas.

El grado óptimo de agitación, cualquiera que sea, depende de la temperatura y características del agua y del tipo de coagulante usado. Basándose en estudios de laboratorio se puede especificar el grado óptimo de turbulencia.

La práctica moderna aconseja que se agita repentina y violentamente al agregarse el coagulante, disminuyéndose gradualmente la turbulencia en cada etapa sucesiva a través de los procesos de mezclado, coagulación, floculación y sedimentación.

2.9.4 TIEMPO DE RETENCIÓN

Teóricamente se puede calcular el tiempo de retención dividiendo el volumen del tanque entre el gasto. Por ejemplo, para calcular el tiempo de retención que corresponde a un tanque que tiene 8 m de ancho por 3 m de profundidad por 12 m de largo, y por el cual pasa un gasto de 10,000 m³/d, el tiempo obtenido es de:

$$\left[\frac{8 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 12 \text{ m}}{10000 \text{ m}^3 / \text{d}} \right] = \left[\frac{288 \text{ m}^3}{10000 \text{ m}^3 / \text{d}} \right] 0.0288 \text{ días} = 41 \text{ minutos}$$

Durante este lapso, el agua es agitada suavemente para favorecer el contacto íntimo de las partículas coaguladas, las bacterias y la materia suspendida "hasta que se adhieran entre sí formando grandes masas de flóculos". Solamente por agitación suave podrán crecer lo suficiente estas partículas coaguladas, para que se puedan depositar fácilmente en el tanque de sedimentación.

2.10 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación, simplemente es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad, siendo una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas, se utiliza para la eliminación de arena, de materia particulada, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química. El propósito fundamental es obtener un efluente clarificado, pero también es necesario producir un lodo con una concentración de sólidos que puedan ser manejados. La eliminación que se logra depende de la materia que se trate, de la temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención.

La figura 2.8 muestra las etapas del asentamiento de las partículas en el agua: al principio, se observa como las partículas caen libremente en el agua; pero a medida que se van aglomerando disminuye la velocidad de asentamiento y por consiguiente aumenta el volumen del lodo asentado. En las últimas etapas la compactación se vuelve muy lenta.

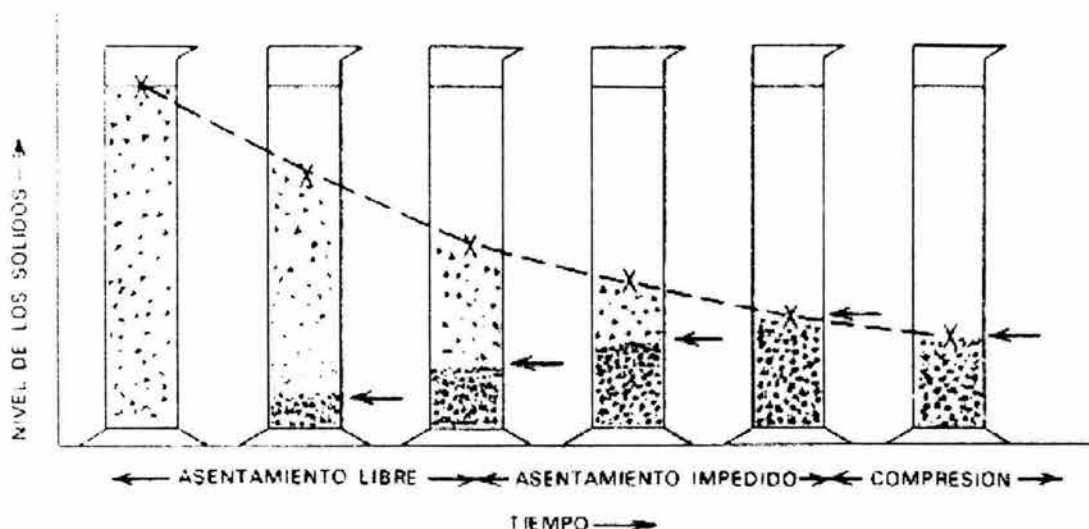


Figura 2.8³ Etapas de partículas asentadas en agua

Los dispositivos para sedimentación caen dentro de dos clasificaciones principales: 1) tanques convencionales de sedimentación, permitiendo un mínimo de retención de 2 horas (usualmente mas), y 2) tanques de tratamiento de flujo rápido que proporcionan un rango de 60 a 90 minutos de tiempo para la retención. El primer grupo incluye tanques de flujo horizontal, y el segundo, que son para plantas relativamente pequeñas, comprende unidades redondas o cuadradas de flujo ascendente.

Un tanque de sedimentación, es una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente clara, la proporción de material suspendido que se elimine será mayor mientras más grande sea el tanque de sedimentación.

La temperatura del agua también afecta al asentamiento. Al elevar la temperatura del agua de 0 a 29 °C se duplica la velocidad de asentamiento de una partícula dada, ya que disminuye tanto la densidad como la viscosidad del agua.

2.10.1 DISEÑO DE TANQUES PARA SEDIMENTACIÓN

Los tanques de sedimentación para plantas grandes son generalmente rectangulares, pero las unidades de capacidad reducida pueden llegar a ser cuadradas o circulares si las limitaciones de espacio así lo requieren. Se acostumbra diseñar los tanques para proporcionar un flujo rectilíneo, aún cuando pueda incluirse una o más mamparas alrededor de los extremos para aumentar la longitud del recorrido del agua desde su entrada a las salidas. El volumen de un tanque de asentamiento común, dependerá de dos factores: los requerimientos de tiempo de retención y el flujo de agua.

No existen relaciones arbitrarias entre la anchura, longitud y profundidad del tanque para proporcionar el volumen necesario; sin embargo, en tanques rectangulares de tamaño grande, la relación de longitud con el ancho usualmente varía de 1 a 2.5 metros, y la profundidad puede ser de 3 a 6 metros.

2.10.2 TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo que el agua deberá ser retenida en los tanques de sedimentación, durante su recorrido desde la entrada a la salida, variará con las características del agua cruda. Los diseños de los tanques requieren de 2 a 8 horas. Si se emplea sílice activada en forma continua, los períodos de retención pueden acortarse a causa de las altas velocidades de asentamiento de los flóculos efectuadas por este auxiliar de la coagulación.

Un tanque de sedimentación que elimine mejor el material sedimentado, no es necesariamente el más adecuado, por que debe depositarse algo del flóculo en la superficie del filtro para que éste opere satisfactoriamente; sin embargo, generalmente se tiene una coagulación y clarificación completa, hasta donde sea posible, ya sea que se logre por el diseño o por detalles de operación. Generalmente, se especifican periodos de retención de 3 a 6 horas y velocidades horizontales menores de 0.90 m/min.

Probablemente los factores de operación más importantes de un tanque de sedimentación son:

- Cuando el agua entre al tanque provoque la mínima turbulencia.
- Evitar corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida.
- Cuando el efluente salga, tratar de no provocar disturbios para que no arrastre hacia fuera del tanque el material ya sedimentado.

2.10.3 LIMPIEZA DE TANQUES

Es indispensable remover los depósitos acumulados de lodo para asegurar una clarificación satisfactoria del agua. Si no es muy grande la cantidad de material suspendido, los tanques de sedimentación pueden limpiarse vaciándolos primero y removiendo después el material del fondo y de los lados por medio de rastrillos y mangueras de presión. Muchos tanques modernos son limpiados por medio de raspadores mecánicos que llevan hacia un extremo el material depositado, o al centro en los tanques circulares, el cual es eliminado después con solo abrir una válvula de drenaje. El método mecánico tiene la ventaja de que el tanque no necesita dejar de operar, no se desperdicia agua porque no necesita vaciar el tanque y además, es posible la eliminación más frecuente del material depositado, logrando así el mínimo de acción bacteriana sobre el material sedimentado, lo cual podría causar problemas de olor y sabor.

Si los tanques de sedimentación son diseñados para ser limpiados periódicamente, es preferible proporcionar suficiente capacidad adicional para que un tanque pueda sacarse de servicio sin sobrecargar las otras unidades, los lodos pueden ser mandados a una fosa para ser descargados.

La eliminación de los sólidos sedimentables y la digestión anaerobia de los mismos se consigue indistintamente en los tanques Imhoff y en las fosas sépticas.

Tanques Imhoff

El tanque Imhoff consiste en un depósito de dos pisos en el que se consigue la sedimentación en el compartimiento superior y la digestión en el inferior. Los sólidos que se sedimentan, atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimiento inferior para su digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimientos de sedimentación, así como en unos respiradores de gas situados al lado del compartimiento superior. El gas producido por la digestión en el compartimiento inferior se escapa a través de respiraderos.

Fosas sépticas

Se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas residuales de residencias individuales, en las zonas rurales. Aunque a menudo se usen fosas de una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie. En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimiento se utiliza para la sedimentación, digestión del fango y almacenamiento de éste. El segundo compartimiento proporciona una sedimentación y capacidad de almacenamiento de lodo adicional y, por tanto, sirve para proteger contra la descarga del lodo u otro material que pueda escaparse de la primer cámara. Es esencial disponer de la adecuada capacidad de almacenamiento, de forma que el lodo depositado pueda permanecer en el tanque durante un tiempo suficientemente largo para que se produzca su descomposición y digestión antes de ser extraído; por lo general, el lodo deberá extraerse cada dos o tres años.

2.11 ESPESAMIENTO

El espesamiento es un método de separación sólido/líquido empleado para incrementar el contenido de sólidos de una lechada antes del desecamiento. El espesamiento sigue al proceso de clarificación donde se han separado del líquido los sólidos suspendidos. En la clarificación los sólidos se encuentran en el intervalo de 10 a 1000 mg/L, mientras que en el influente del espesador por lo común se encuentran en el intervalo de 0.5 a 10 %.

En el clarificador, los sólidos se han separado del agua principalmente por caída libre. Los sólidos reunidos en la región superior han encontrado los efectos del asentamiento impedido, en el espesador no hay caída libre; el proceso de asentamiento impedido controla el diseño y la compactación final del lodo.

Los dos métodos principales son el espesamiento por gravedad y el espesamiento por flotación.

Espesamiento por gravedad

El espesamiento por gravedad se emplea a menudo en plantas municipales para lodos primarios y en muchas plantas industriales para lodos químicos. Una operación típica de espesamiento, por ejemplo, se llevan acabo en las fábricas de acero donde llegan a duplicar la concentración de sólidos.

La construcción de un espesador por gravedad es parecida a la de un clarificador, es circular, con una pared de 3 m de altura aproximadamente, y con el piso inclinado hacia el centro. La inclinación del piso es de 8 a 10°, el lodo es removido por rastrillos hacia el centro y es extraído por una bomba de desplazamiento positivo.

En un espesador por gravedad, ya que el proceso de asentamiento impedido controla la compactación del sólido, el brazo está construido como una valla de estacas para revolver con cuidado al lodo, desalojando el agua del lodo para evitar que los sólidos se enlacen. Cuando se encuentra que hay lodo séptico puede añadirse cloro por la alimentación del espesador. La RVL (relación de volumen de lodos), que se emplea para indicar la edad del lodo, es el volumen de lodo en el colchón, dividido entre el volumen diario de lodo bombeado del espesador. Esto da el tiempo de retención, que comúnmente se encuentra entre 12 y 48 horas.

Espesamiento por flotación

Este método es más efectivo que el de espesamiento por gravedad, cuando la gravedad específica de los sólidos que deben espesarse es cercana o menor que la del líquido del cual deben ser extraídos en virtud de su alta carga de sólidos. Un espesador FAD (flotación por aire disuelto), ocupa por lo común, un tercio o menos del espacio que requiere un espesador por gravedad. La flotación puede ser por aire dispersado o por aire disuelto.

2.12 DESECAMIENTO

Sigue a las operaciones de clarificación y espesamiento. En el tratamiento de desechos, el método de desecamiento está determinado a menudo por la naturaleza de los sólidos. Si el lodo es incinerado, como es el caso de lodo crudo o de desecho biológico, es preciso extraer cuanta agua sea posible para reducir a un mínimo la cantidad de combustible empleado en la incineración. Los sólidos se pueden usar en un programa de aprovechamiento para tierras.

2.13 EQUIPOS DE TRATAMIENTOS DE LODOS

El volumen de lodo producido en los tanques de sedimentación por la adición de coagulantes crean problemas de disposición, por esta razón, deben conocerse o estimarse, de modo que éstos, junto con las instalaciones de tratamiento y eliminación de lodo, puedan proyectarse correctamente. El volumen de lodo producido dependerá de: 1) las características del agua a tratar; 2) el periodo de sedimentación y el grado de tratamiento que se vaya a realizar en los tanques; 3) el estado de los sólidos sedimentados, incluyendo el peso, el contenido de agua y cambios de volumen producidos bajo la influencia de los dispositivos mecánicos de eliminación del lodo o de la profundidad del tanque, y 4) el periodo de tiempo transcurrido entre las operaciones de extracción de los lodos.

El lodo se eliminara bombeándolo por lo menos una vez por turno de trabajo y con mayor frecuencia en tiempo cálido, a fin de evitar que se deteriore el efluente. En las plantas grandes, el bombeo de lodos puede controlarse con un reloj que conecte y desconecte de forma continua la operación. Para retirar y limpiar los tanques por arrastre con agua, se deberán sacar de servicio y vaciarse.

Prensas de filtrar de placa y marco

Además de la centrifugadora y del filtro al vacío, también puede desecarse los lodos mediante filtrado por presión. Un método de filtrado por presión se efectúa con la prensa de placa y marco. La prensa tiene placas verticales sostenidas en un marco y presionadas entre un extremo fijo y el otro móvil, a cada placa se le adapta un medio filtrante, de preferencia propileno monofilamentoso tejido. El agua pasa a través del paño y sale de la prensa. Los sólidos se colectan en la superficie del paño.

Se alimenta la lechada en la prensa hasta que la velocidad del flujo disminuye radicalmente. La mayor parte de las prensas operan con presiones comprendidas entre 7 y 14 kg/cm² (100 a 200 psi). Cuando se detiene el flujo del filtrado, se libera la presión y se abre la unidad, las prensas están equipadas por un mecanismo automático de apertura que separa las placas, de manera que puede descargarse la torta de lodo seca. Cuando las placas se abren, es usual que la torta caiga, las prensas están instaladas por lo común arriba del nivel del piso, de manera que puede colocarse una tolva debajo de la prensa para coleccionar la torta seca. En virtud de las altas presiones implicadas, las prensas de placa y marco producen tortas más secas que las producidas por la centrifugadora o los filtros al vacío; sin embargo, estas prensas no son utilizadas ampliamente en la industria, ya que operan discontinuamente.

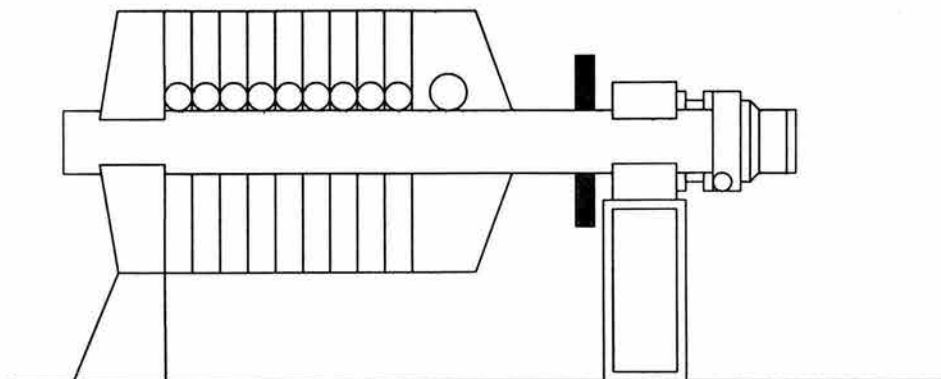


Figura 2.9 Muestra el esquema de un filtro prensa.

Prensas de filtrado por banda

Estos filtros de banda emplean uno o dos bandas móviles en las cuales la alimentación y deshidratación de lodos se lleva a cabo de manera continua, con una concentración de sólidos del producto final de hasta 50 %, que junto con los bajos requerimientos de energía, representa ventajas notorias en este proceso. Sus principales desventajas se asocian con su corta vida útil y la sensibilidad de operación con distintos tipos de lodos. El funcionamiento de este proceso implica la adición de un acondicionador químico, drenaje por gravedad y la aplicación de presión mecánica a los lodos a deshidratar.

El filtro de presión de banda es una unidad típica que contiene tres zonas de desecamiento: la zona de drenado, la de prensado y la de cortado. Ya que un drenado libre es esencial para una prensa banda, es necesario acondicionar previamente el lodo. La mayor parte de la prensa de banda está equipada con un tanque de acondicionamiento donde los polímeros se mezclan con la alimentación del lodo, el lodo acondicionado fluye a la zona de drenado donde se efectúa un espesamiento inicial, el lodo pasa a través de dos tamices donde se aplica una presión y se lleva un desecamiento parcial, al aumentar la presión sobre las bandas se corta el lodo parcialmente desecado.

La banda es una malla de acero inoxidable relativamente gruesa, ya que el lodo entra por la parte superior del material, la recolección del lodo no presenta problemas, como en el caso del filtro al vacío. Estas unidades son apropiadas en particular cuando se tienen lodos difíciles de desecar.

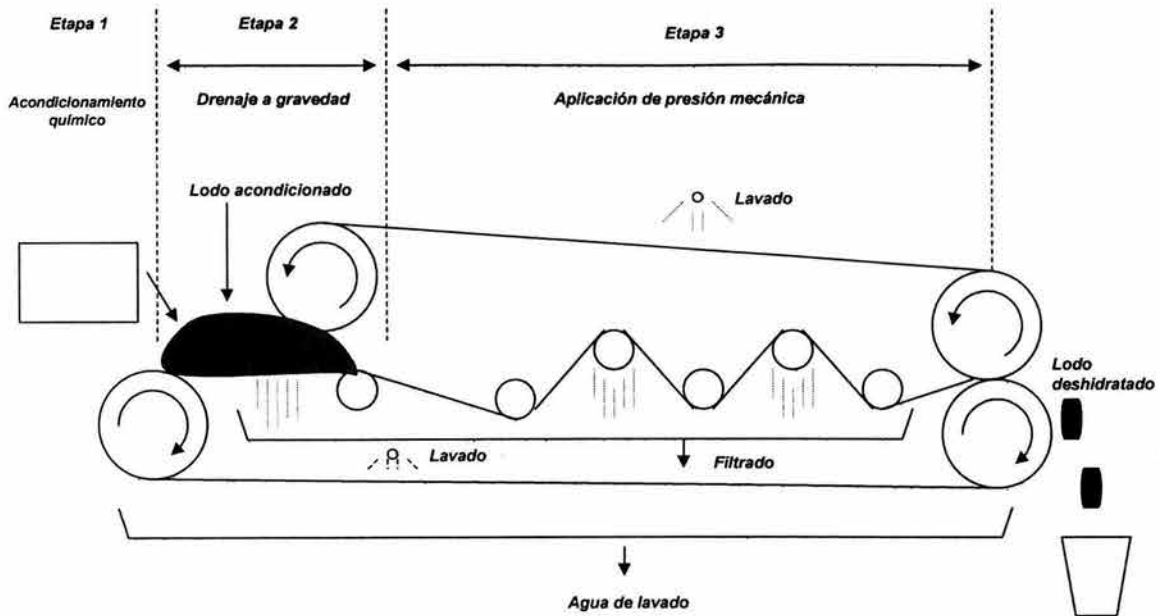


Figura 2.10 Muestra el funcionamiento de un filtro banda.

Lechos secadores

Los lechos secadores se emplean para desecar lodos de desecho cuando se dispone de terrenos y son propicias las condiciones climáticas. En los diseños más antiguos, se empleaba arena como material filtrante. Un lecho de arena típico tiene un desagüe inferior de tejas abierto con grava de 0.3 m, y terminado con una capa de arena de 0.3 a 1.2 mm, de 0.15 a 0.23 m de espesor. El lecho secador ofrece varias ventajas, tiene bajos costos de operación debido a la baja demanda de energía, poco mantenimiento y reducido control de operación. Puede operar con diversos lodos y producir tortas más secas que las producidas en la mayor parte de los dispositivos mecánicos; sin embargo, su empleo está limitado, puesto que debe disponerse de terreno y dependen de las condiciones meteorológicas. Ya que los lechos secadores se hallan a la intemperie, el olor puede presentar problemas cuando se trata de lodos con un alto contenido de materia orgánica.

El drenado del agua deberá ser rápido y completo, reduciendo a una cantidad mínima los residuos que deberán evaporarse, y reducir considerablemente el tiempo de secado.

2.14 FILTRACIÓN

Ya que mucha de la materia suspendida que se encuentra en las aguas turbias es de tamaño coloidal, tiende por esto a pasar a través de los lechos filtrantes. De aquí que, aunque haya excepciones, la sola filtración es de poco valor en la clarificación de un agua turbia, en general, la coagulación precede a la filtración.

La filtración es la etapa final de la remoción física de las impurezas del agua. Es seguro que se puede producir un efluente satisfactorio del filtro, mediante una coagulación eficaz, sin emplear la sedimentación, pero los filtros se taponarían muy rápidamente y los costos de operación serían tan altos que el proceso no sería práctico. En regiones donde se dispone de una fuente de agua cruda con una turbidez muy baja, algunas plantas aplican una filtración en medio granular como único tratamiento para la eliminación de sólidos, sobre todo en agua para procesos industriales.

Los tipos de filtros usados para el agua, son casi todos del diseño que emplea material granular como medio filtrante (eliminando sólidos suspendidos en un intervalo de 5 a 50 mg/L), tales como arena fina, a través de los cuales el agua se filtra en flujo descendente.

A este tipo de filtros se les conoce como filtros de arena. Al tipo antiguo de filtro de baja velocidad se le llamaba filtro inglés. No se agregaba coagulantes y debían madurarse por algún tiempo hasta que apareciera una especie de sedimento formado por desarrollo bacteriano en la superficie del filtro, una vez que esto se lograba se iniciaba la filtración del agua. La velocidad de filtración a través de este tipo de filtro era muy lenta.

La eliminación de sólidos por filtración incluye varios mecanismos, algunos de carácter físico y otros de carácter químico.

2.14.1 FILTRO RÁPIDO

En su operación usa coagulantes, y usualmente es suficiente un período de dos a tres minutos al iniciar el ciclo para que el efluente esté completamente claro. La velocidad de filtración para este tipo de filtros es de 400 L/min por m² de área, y para uso municipal se diseñan con 120 L/min por m² de área de filtrado. Con una buena floculación y asentamiento, las cifras anteriores se pueden aumentar. Los filtros rápidos se pueden dividir en dos clases:

- (1) Filtros de presión
- (2) Filtros de gravedad

Filtros de presión

Los filtros de presión se fabrican en el tipo vertical y horizontal, los filtros están formados por una coraza metálica cilíndrica con tapas abombadas que contienen una capa de medio filtrante (arena) soportado por capas de grava, equipados con los accesorios necesarios para llevar a efecto las operaciones de (1) filtración, (2) retrolavado y (3) enjuague. Los filtros verticales varían de 0.3 a 3 m de diámetro y tienen capacidades de 10 a 900 L/min con una velocidad de filtración de 400 L/min por m² de área de filtrado.

La altura de los filtros verticales es usualmente de 1.60 m en la parte cilíndrica, aunque ocasionalmente se usan de 1.20 m, los filtros horizontales tienen 2.5 m de diámetro y su longitud varia de 3.5 a 8.5 m y tiene capacidad de 760 a 1,950 lpm.

Operación de los filtros

Cuando un filtro se pone en operación de filtrado por algunos minutos, el agua que se filtra se manda al drenaje. Esto se debe a que una buena acción filtrante no se asegura sino hasta después de que el lecho filtrante se haya compactado y se acumule en su superficie una pequeña cantidad de flóculos. La eficiencia de la filtración se obtiene fácilmente tomando muestras y viendo su claridad. Tan pronto como el efluente sea claro, se deja de mandar agua al drenaje y el filtro se conecta en línea. Es obvio que el ciclo de filtrado depende tanto de la naturaleza como de la cantidad de material insoluble presente. Una buena coagulación y asentamiento antes de los filtros, removerá la mayor parte de las materias insolubles, aumentando los ciclos de filtrado.

Cuando los indicadores de pérdida de carga indican que la unidad filtrante debe retrolavarse, el filtro se pone fuera de servicio, se retrolava, se pone a filtrar mandando las primeras porciones de agua al drenaje, y luego es regresado al servicio; estas operaciones usualmente duran 15 min. Los filtros usualmente operan en baterías de 2 ó más unidades, diseñadas de tal manera, que mientras una unidad esté lavándose la otra pueda absorber el flujo total. Si se usan baterías de 4 ó más filtros, se pueden retrolavar escalonadamente, esto puede hacerse lavando cada unidad con el efluente de las otras. En otros casos, los filtros se retrolavan con:

- Agua filtrada que viene de un tanque elevado o cisterna (generalmente se equipa con bomba de retrolavado).
- Agua sedimentada de un tanque sedimentador.
- Agua cruda, ésta se usa únicamente cuando la fuente de abastecimiento tiene poca materia en suspensión, como es el caso de una industria que usa agua municipal que no esta completamente clara pero que es de buena apariencia.

Filtros de gravedad

Los filtros de gravedad no se emplean en la industria tan extensamente como los filtros de presión; sin embargo, se llegan a requerir para algunas aplicaciones industriales y municipales donde llegan a operar de la misma forma que los filtros a presión. Los filtros de gravedad pueden construirse de concreto, acero y en algunos casos hasta de madera, siendo el concreto el material que mas se usa, y la geometría más usada es la rectangular.

El filtro generalmente se monta sobre una cisterna, de la cual se toma para el servicio general y para retrolavado. Las canaletas de lavado, ya sean de concreto o de fierro, que están situadas en la parte superior del filtro, tienen el doble propósito de distribuir el agua durante la filtración y coleccionar el agua de retrolavado cuando se efectúe esta operación. En el fondo del filtro esta el sistema colector que sirve para recoger el agua durante la filtración y distribuirla durante la operación de retrolavado.

En los filtros de gravedad, la presión disponible es únicamente aquella que proporciona el tirante de agua, usualmente se considera como la distancia que hay entre la salida del agua filtrada a la superficie del agua sobre el lecho filtrante, esto usualmente representa aproximadamente de 0.35 a 0.4 kg/cm² (5 - 6 psi). Los filtros de gravedad se pueden lavar por medio de una bomba de retrolavado conectada a la cisterna o mediante la carga de un tanque elevado. Las diferencias de niveles de agua, tanto en la cisterna como en el tanque elevado, afectan la velocidad de retrolavado por eso es muy necesario usar un controlador en esta operación.

2.14.2 FILTROS AL VACÍO

Estos filtros son utilizados frecuentemente para tratar aguas con alto contenido en sólidos y así poder eliminar un porcentaje importante de agua, de esta manera los sólidos pueden ser confinados.

Filtro giratorio al vacío

Los filtros giratorios al vacío han sido empleados durante muchos años por la industria. Este tipo de filtro consiste en un tambor cilíndrico perforado que gira en una tina que contiene la suspensión que deba secarse.

Se practica el vacío en el interior y la separación sólidos/líquidos se efectúa extrayendo el líquido a través del medio filtrante dejando los sólidos sobre el medio para que sean recolectados por separado. A medida que el tambor gira, este medio proporciona un filtro continuo, procediendo a través de las siguientes etapas:

- Formación de la torta. Durante esta etapa se sumerge el tambor en una tina que contiene el lodo y se practica el vacío. Los primeros sólidos que se depositan sobre el medio actúan como un filtro para la formación posterior de la torta. Por esta razón es recomendable que la torta se forme paulatinamente.
- Extracción del líquido o secado. También se practica el vacío en la etapa de la extracción del líquido o secado. Se extrae el agua de la torta del filtro a través del medio filtrador y pasa al interior del tambor y de allí a un receptor del filtrado.
- Remoción de la torta del filtro. La remoción del tambor de la torta del filtro puede efectuarse por alguno de los diferentes métodos que se vieron con anterioridad.
- Lavado del medio. La etapa final en el ciclo de la operación del filtro al vacío puede efectuarse de un modo continuo o intermitente. A menudo es necesario lavar el filtro en forma rutinaria con un medio ácido, sobre todo cuando se emplean como acondicionadores químicos cloruro férrico y cal.

Hay diferentes variantes en los filtros al vacío giratorios. El filtro de tambor emplea una hoja maestra para raspar la torta y ser descargada. A veces eso se complementa con un soplador de presión en la zona de descarga, el medio filtrante nunca abandona la superficie del tambor en este tipo de filtro. El material filtrante es una malla de acero inoxidable o un tejido de fibra sintética o natural. Los materiales más comunes son nylon, polipropileno y polietileno, debe seleccionarse el material filtrante con una porosidad lo bastante pequeña para obtener un filtrado adecuado, pero lo suficientemente grande para evitar el atascamiento. También debe considerarse la compatibilidad del material con el lodo que debe filtrarse.

Filtro de banda

Un segundo tipo de filtro al vacío es el de banda, en donde el material filtrante consiste en una banda continua que abandona la superficie del tambor y pasa por un cilindro de descarga de radio pequeño y es normal que este cambio brusco de la curvatura haga que la torta se desprenda del material filtrante. La ventaja que ofrece este filtro sobre los de tambor es que el material puede lavarse por los dos lados.

Filtro espiral

El filtro de tipo espiral consiste en dos capas de resorte de acero inoxidable en espiral dispuestas en forma de panal alrededor del tambor. Estas capas de resorte actúan como filtros, al terminar el ciclo de desecamiento se desprenden del tambor las dos capas de resortes y son separadas una de la otra de manera que la torta del lodo filtrada se levanta de la capa inferior y es descargada de la primera mediante una barra con punta.

Filtro de discos

Otro tipo de filtro al vacío, es el filtro continuo de discos, basado en los mismos principios generales de operación que los anteriores filtros al vacío, salvo que la superficie de filtración esta formada por las dos caras de varios discos montados perpendicularmente a una flecha horizontal giratoria que pasa por el centro de los discos. El filtrado se extrae de cada disco y se remueve la torta mediante raspadores.

2.14.3 FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

Los filtros de carbón activado se usan ampliamente para eliminar olores y sabores del agua. En las plantas de tratamiento de agua municipal y en las industrias que usan coagulación, asentamiento y filtración, el carbón activado pulverizado se aplica para estos mismos propósitos, en la forma de dosificación cuidadosa en el equipo de asentamiento y coagulación. Los filtros de carbón activado invariablemente son del tipo vertical a presión. Para evitar la acción electrolítica entre el carbón y el metal, el recipiente metálico se recubre interiormente con un plástico.

Los filtros de carbón activado tienen una construcción similar a los filtros de arena. Contienen una capa de carbón activado cuyo espesor varia de 0.6 a 0.9 m, soportado por capas de grava y arena. Los filtros de carbón activado sólo se usan para eliminar olor y sabor.

La densidad del carbón activado es de cerca de 480 kg/m^3 , la velocidad de filtración, depende del grueso del lecho, donde varía de 611 a 937 L/min por m^2 de área de filtrado, en los gastos mayores se usan los lechos más gruesos. Es necesario hacer retrolavados periódicos para mantener el lecho en buenas condiciones. Si es necesario la esterilización del lecho, es mejor efectuarla mediante vapor caliente, ya que el uso de cloro y los hipocloritos es impráctico debido a las propiedades absorbentes del lecho filtrante.

La capacidad del carbón activado para eliminar sabores y olores es elevada, y bajo condiciones usuales una carga es suficiente para un año de servicio. Se considera buena práctica no tener en servicio a los filtros de carbón con la misma carga por mas de un año de servicio ya que los filtros que se trabajan hasta su agotamiento, dan lotes de agua sin tratar

2.14.4 FILTROS NEUTRALIZADORES

Estos filtros se usan para neutralizar el CO_2 y aumentar automáticamente el pH de 7.2 a 7.3, probablemente su uso más general sea doméstico y en los sistemas de recirculación de aguas de alberca, aunque también se emplean en la industria en donde el agua puede ser corrosiva y la cantidad que se trate no sea demasiado grande. Los filtros neutralizadores son de construcción similar a los filtros de arena.

Las ventajas de los filtros neutralizadores son:

- (1) Aumenta automáticamente el pH.
- (2) Reduce la corrosividad.
- (3) Operan bajo presión.
- (4) Requiere el mínimo de atención.

Sus desventajas son que aumenta la dureza del agua incrementándose los costos de ablandamiento. Los flujos tanto para la operación como para el retrolavado, son iguales que en los filtros de arena, 122 L/m^2 para la filtración y 407 L/m^2 en retrolavado.

2.15 MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

Las grandes epidemias de la humanidad han venido por la vía de la contaminación del agua. Este es el principal motivo que impulsa a actualizar los procesos técnicos y el empleo de nuevos productos, para conseguir mediante el tratamiento adecuado, agua de calidad óptima, teniendo en cuenta que el agua, en sus diferentes fuentes de captación esta cada vez mas deteriorada.

2.15.1 CLORACIÓN

El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración, por que se pueden aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro proporciona al agua sabor desagradable en concentraciones mayores de 0.2 ppm llega a eliminar otros sabores y olores desagradables que le proporcionan diferentes materiales disueltos que se encuentran en el agua.

Debido a sus propiedades esterilizadoras, el cloro se emplea ampliamente en las plantas de tratamiento, tanto de aguas crudas como aguas de desecho para la desinfección y destrucción de patógenos; además, la desinfección química, se puede aplicar.

- Antes de la clarificación (pre-cloración).
- Después de la clarificación (post-cloración).
- En ciertos casos antes y después de la clarificación.

Aun cuando el principal objetivo de la cloración es la destrucción de gérmenes debido a su gran poder bactericida, no debe olvidarse que su elevado poder oxidante origina otros efectos muy importantes, como la contribución a la eliminación del hierro y manganeso, eliminación de sulfhídrico y sulfuros, impide el crecimiento de algas y otros microorganismos que interfieren en el proceso de coagulación - floculación y filtración, mantiene los lechos filtrantes libres de posibles crecimientos de bacterias anaerobias y reduce el color orgánico.

El cloro se encuentra en tres estados físicos: gaseoso, líquido o sólido. El equipo requerido para la dosificación del cloro depende del estado en que éste se vaya a dosificar. El cloro es un elemento muy corrosivo y por lo tanto se debe tener precaución en su manejo y los equipos empleados deben ser resistentes a la corrosión.

2.15.2 OZONO

El ozono es un buen desinfectante su eficacia es muy superior, que sobrepasa la fase de la desinfección. El ozono tiene un efecto oxidante por la adición de un átomo de oxígeno, esta propiedad hace que actúe sobre los virus, el sabor, color y sobre ciertos micro contaminantes.

La dosis de ozono necesaria varia mucho, según la calidad del tratamiento previo, Así, con agua de superficie muy contaminada y perfectamente tratada, es necesario, por ejemplo, de 1 a 1.2 g de ozono por m³ de agua para obtener una dosis residual de 0.4 g/m³ después de un tratamiento mal concebido o mal llevado (mala precloración, dosificación insuficiente de coagulante, etc.) es necesario 1.7 g de ozono por m³ de agua para obtener la misma dosis.

A diferencia el cloro, que es muy sensible al pH del medio, este tiene poca influencia sobre la dosis de ozono necesaria para la desinfección.

2.15.3 LUZ ULTRAVIOLETA

La desinfección UV de agua potable ofrece muchas ventajas únicas y significativas. A diferencia de los desinfectantes químicos, UV no le agrega químicos tóxicos al agua potable ni promueve la formación de subproductos mutagénicos ni cancerígenos. UV no deja sabores desagradables y olores en el agua potable tratada. Mientras que un incremento en la dosis de desinfectantes químicos da como resultado subproductos de desinfección adicionales, ningún impacto negativo en la calidad del agua puede ser asociado con una sobredosis de UV.

La luz ultravioleta es la porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos x, y la luz visible.

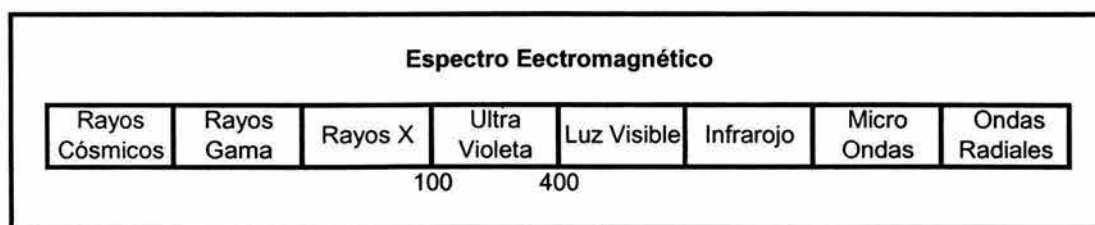


Figura 2.11 Se observa la escala de valor de la luz ultravioleta.

El uso de UV elimina la necesidad de transportar, almacenar y manipular químicos peligrosos. La desinfección UV es efectiva para una amplia variedad de virus y bacterias sobre un rango más reducido de dosis que el cloro u ozono. A diferencia de desinfectantes químicos, las tasas de inactivación microbiana por UV no son dependientes ni del pH ni de la temperatura.

Los sistemas UV pueden ser diseñados fácilmente para caudales pequeños y grandes haciéndolos adecuados para, los hogares; así como, para grandes plantas de tratamiento, estos sistemas son de operación y mantenimiento simple con peligro mínimo de exposición a los usuarios.

Los desinfectantes del agua deben poseer las siguientes propiedades:

- (1) Deben destruir las clases y números de patógenos que se pueden introducir a las aguas superficiales o aguas residuales, y además, hacerlo dentro de un lapso practicable de tiempo, de un intervalo esperado en la temperatura del agua, y la posible composición, concentración y condición de las aguas sujetas a tratamiento.
- (2) En las concentraciones requeridas, no deben ser tóxicos al hombre ni a los animales domésticos, ni de sabor desagradable u objetable por alguna otra razón.
- (3) Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, manipular y aplicar.
- (4) Su concentración en el agua tratada debe ser determinable con facilidad, rapidez y de preferencia, automáticamente.
- (5) Debe persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual razonable contra la posible recontaminación el agua antes de utilizarla.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO PARA DICTAMINAR UN SISTEMA DE CLARIFICACIÓN

3.1 DICTAMEN

Un dictamen nos sirve para conocer y evaluar la eficiencia con la que opera un proceso o sistema. Para elaborar el dictamen de un sistema de clarificación de agua que utiliza una planta química, se deberá establecer y seguir una serie de pasos, los cuales, servirán para definir de una forma fácil y ágil el grado de eficiencia con la que trabaja el sistema de tratamiento de agua; de esta manera, se puede saber si el equipo necesita alguna mejora en la operación y en el diseño de construcción, y así incrementar su eficiencia.

3.1.1 OBJETIVOS

El objetivo del dictamen es proporcionar e informar a la Planta química el estado físico y operativo en que se encuentra actualmente el sistema de entrada de agua para satisfacer sus servicios, con la finalidad de identificar y analizar las deficiencias que existen en el sistema de clarificación.

3.1.2 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como único objetivo el de evaluar y estudiar la etapa de clarificación de agua, por lo cual, solo se analizara y se muestreara la entrada y salida de agua de los clarificadores, así como, el sitio de captación de agua. La planta química se ubica en el estado de Veracruz y se abastece de agua cruda a través de un canal proveniente de un río. El río corre por un costado paralelo a la barda del complejo, (a lo largo de 1 km aproximadamente), en esta parte, el ancho del río oscila entre 50 y 80 m. El agua se recibe en una bocatoma y es conducida a un cárcamo, de ahí es bombeada y alimentada a un vaso de abastecimiento (1), por medio de bombas envía a la planta agua para enfriamiento, a la red contra incendio y a servicio industrial. El vaso (1) esta comunicado, y a su vez, abastece al vaso (2), quien recibe el retorno de agua de enfriamiento de los procesos de la planta.

De acuerdo a los caudales históricos reportados por la planta, se tiene un flujo promedio de entrada de 41,845 m³/d durante época de estiaje, y de 38,904 m³/d en la época de lluvia. Del vaso (2) se alimentan los dos sistemas de pretratamiento de agua que existen en la Planta.

3.1.3 CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA PLANTA

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

El flujo de agua que entra del río a través del canal de llegada es captada en un cárcamo, de ahí se bombea al vaso 1, de donde distribuye el agua a una parte de la planta química (1,201 m³/d a red contra incendio y 5,514 m³/d a servicio industrial).

La capacidad de los vasos de captación es de 140,000 m³ y 100,000 m³ respectivamente, cabe mencionar que estos vasos se encuentran a cierta capacidad de volumen de agua por seguridad y prevención de la planta. Existen pérdidas del 1 al 2 % de agua debido a la evaporación que existe en los vasos de captación durante la época de estiaje. El vaso 1 envía 41 m³/d a uso externo, y a su vez, esta comunicado y distribuye agua al vaso 2, de este vaso, se distribuye el agua cruda a las 2 plantas de pretratamiento de agua que existen, la primera planta recibe 12,123 m³/d, de aquí distribuye 5,720 m³/d de agua para servicio industrial, 4,909 m³/d de agua para enfriamiento y 777 m³/d a la planta desmineralizadora para producir vapor. La segunda planta recibe 22,966 m³/d, de aquí se envía agua a las colonias externas que se encuentran en el perímetro de la planta, y 439 m³/d de agua a servicio industrial.

La planta de pretratamiento No. 1 opera con un flujo de agua de 12,123 m³/d, este flujo se encuentra por debajo de la capacidad de diseño (65,412 m³/d). Esta planta es alimentada con agua cruda proveniente del vaso 2, se le dosifica hipoclorito en la línea de conducción, una vez clorada es conducida al sistema de tratamiento químico que consiste en dos clarificadores circulares (CL-001 A / B) cuya capacidad es de 32,706 m³/d cada uno provisto de agitación mecánica. En esta etapa se adicionan el sulfato de aluminio y el polielectrolito para llevar a cabo el proceso de coagulación - floculación. El efluente del sistema es llevado a los filtros por gravedad (FG-001 I / II / III / IV); estos utilizan grava-arena como medio filtrante, el agua se manda al tanque de almacenamiento inyectándole pequeñas cantidades de cloro para obtener una mejor calidad.

La planta de pretratamiento No. 2 es alimentada con agua cruda proveniente del vaso 2, cuenta con una capacidad de diseño de 87,000 m³/d, actualmente solo procesa 22,966 m³/d de agua cruda. Esta corriente es conducida a un tanque de mezclado donde se dosifica hipoclorito, sulfato de aluminio y polielectrolito. La dosificación de hipoclorito se lleva a cabo mediante el mezclado de cloro gas con una corriente de agua, la cual es conducida al tanque de mezclado. El sulfato de aluminio y el polielectrolito se preparan de manera manual en tanques separados para después ser adicionados al tanque de mezclado. Después del mezclado el efluente es enviado al sistema de precipitación, el cual consta de tres clarificadores (CL-002 A / B / C) rectangulares con capacidad de 20,000 m³/d cada uno, contruidos en concreto, con rastras, colectores en acero al carbón, y recubrimiento y acabado de pintura.

El efluente del sistema de clarificación es conducido a la etapa de filtración, la cual consta de tres baterías de filtros de arena (FG-002 I / II / III / IV / V / VI), operan de forma manual, cada batería cuenta con dos filtros de flujo descendente. Una vez que se ha filtrado el efluente en los clarificadores, se procede a la cloración para que se pueda mandar a las colonias aledañas y a los procesos de la planta.

El siguiente diagrama muestra el manejo actual de agua que utiliza la Planta química para satisfacer sus necesidades, cabe señalar que el presente trabajo solo abarca la etapa de clarificación, siendo esta el primer tratamiento que recibe el agua, de ahí se envía a equipos mas sofisticados dependiendo de la calidad de agua que se desea para cada proceso u equipo.

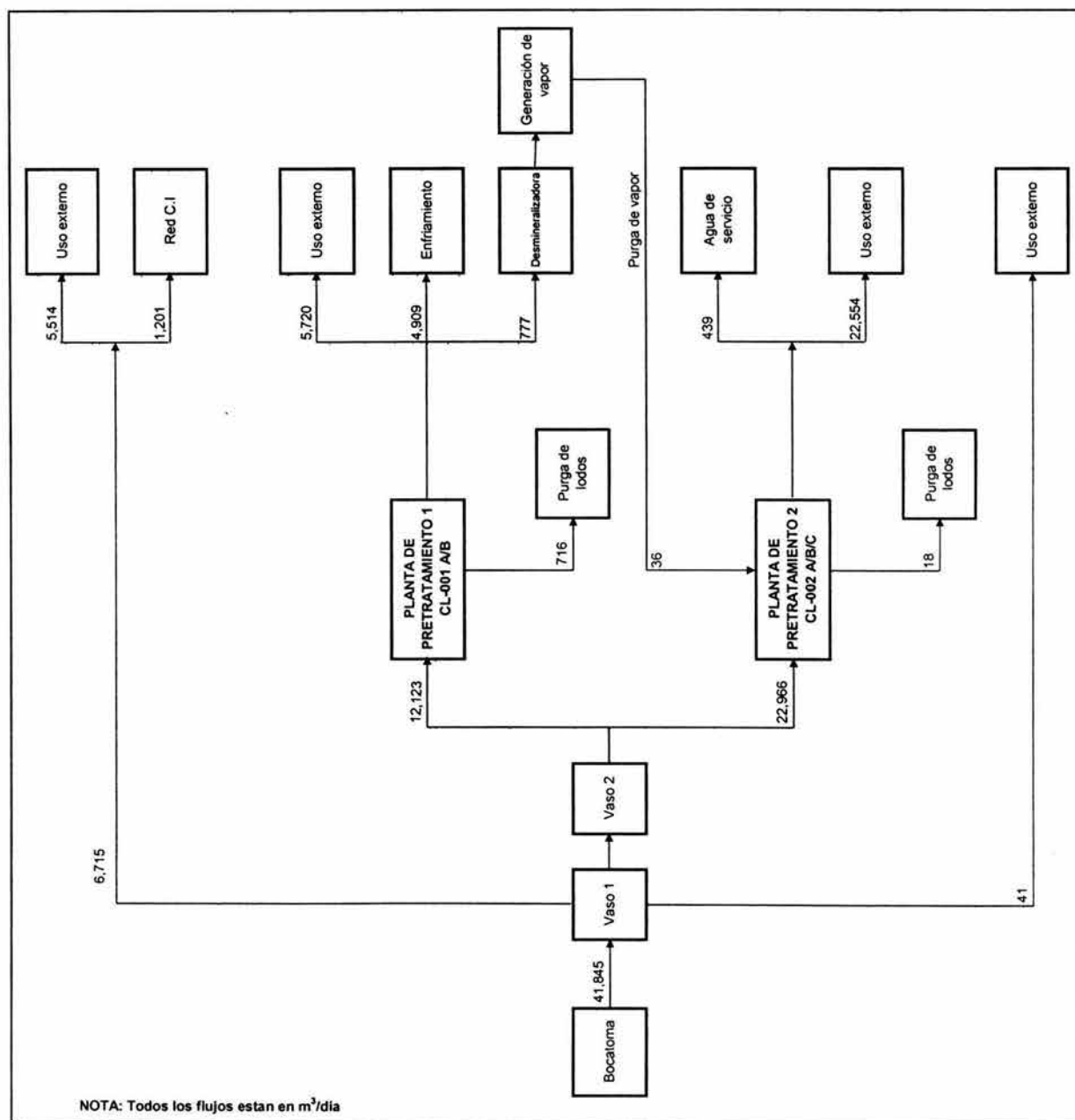


Figura 3.1 Manejo actual de agua en la Planta química.

3.2 PROCEDIMIENTO DEL DICTAMEN

1) RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El primer paso para la elaboración del dictamen es la recopilación de información representativa del sistema que se va a estudiar, es decir, los datos físicos y químicos que definen el sistema. La información histórica se encontrará en la planta y para su obtención se deberá acordar y elaborar un documento en el que se enliste toda la información necesaria que justifique su uso. Esta información deberá ser de por lo menos 5 años anteriores a la fecha del procedimiento al dictamen.

Se solicitará a la gerencia de la planta toda la información existente relativa a la infraestructura; es decir, el manejo, la caracterización y cuantificación del agua que utiliza para su producción, de manera que se pueda establecer el origen, cantidad y calidad del agua, así como información de los equipos, diseño y operación de las plantas de tratamiento existentes. En forma complementaria, se solicitará la información referente a los servicios auxiliares; es decir, la distribución del efluente (al sistema de red contra incendio, agua potable, agua de enfriamiento, servicio a procesos, y si distribuye agua a colonias externas), por otra parte, se pedirá la información referente a la captación y conducción de aguas residuales, al sistema de tratamiento de dichos efluentes.

La información necesaria para establecer un diagnostico de las condiciones actuales del sistema de clarificación de agua de la Planta química se describe a continuación.

- Planos de localización de casetas, oficinas, plantas de proceso servicios auxiliares y en general todo equipo que utilice agua.
- Datos históricos de la entrada del agua.
- Registros de calidad de agua en sus diferentes etapas del tratamiento.
- Diagramas de flujo del proceso (DFP).
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI).
- Arreglos de equipos de la planta.
- Descripción de los procesos.
- Planos y hojas de datos de equipos existentes.
- Planos de drenajes existentes como: sanitario, pluvial, químico e industrial.
- Especificaciones de calidad de agua que requieren los equipos en la planta.
- Información de auditorias ambientales.

Se pondrá especial atención a la documentación relativa al aprovechamiento de agua, es decir, permisos de descarga de aguas residuales, pago por derechos de uso, aprovechamiento de bienes nacionales y en caso de que exista acciones comprometidas derivadas de alguna auditoria ambiental o de medidas correctivas ordenadas a la Planta química.

Toda esta información será otorgada por la Planta química y recibida por el representante o encargado de elaborar el dictamen en dicha planta, firmando de recibido con fecha y nombre. Al termino del dictamen o del plazo brindado por la empresa para desarrollar el dictamen se deberá regresar a la planta, toda la información, tanto la que fue otorgada como la que se produjo en el lapso del trabajo, cabe señalar que toda la información manejada es estrictamente confidencial. Se pueden elaborar documentos de confidencialidad los cuales serán firmados por los integrantes que vayan a elaborar en el dictamen.

2) PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Toda la información recopilada (por lo menos de 5 años) se analizará y se elaborarán, con estos datos, tablas y gráficas para observar claramente el comportamiento y la caracterización del agua en la Planta química, algunos puntos a elaborar son los siguientes:

- Gráficas para flujos históricos.
- Tablas y gráficas para contaminantes o parámetros críticos.
- Comparación de flujos históricos y aforados (una vez que se tengan).
- Matriz de incidencia de contaminantes.
- Caracterización de las corrientes principales del sistema de clarificación de agua.

3) DIAGRAMA GLOBAL

Para facilitar y obtener una visión global del sistema actual del agua, se tendrá que elaborar un diagrama de flujo del proceso general de la Planta química, donde se muestre principalmente la distribución y el uso que tiene el agua en los procesos; es decir, el ó los tratamientos previos que se realizan al efluente obteniéndose de esta manera una cierta calidad aceptable dependiendo de las características de cada uno de los equipos.

4) LEVANTAMIENTO EN CAMPO

En este punto el principal objetivo es obtener información acerca del estado físico de los equipos, corrientes, información de operación y verificar la vigencia de la documentación recopilada, así como identificar la infraestructura que no se encuentre documentada ó sea de nueva adquisición. El levantamiento en campo es realizado por un grupo de trabajo experimentado que debe acudir físicamente a la Planta llevando acabo los recorridos por las instalaciones.

4.1 LEVANTAMIENTO DE CORRIENTES Y EQUIPOS

Este tipo de levantamientos requieren de un formato especial, el cual deberá ser llenado exclusivamente en las visitas a campo, Estos formatos buscan obtener toda la información específica posible de todos los equipos y corrientes que existan en la planta y que exclusivamente manejan agua, una vez obtenidos estos datos se puede corroborar con su existencia en los diagramas de flujo de proceso (DFP) y con la información obtenida en la etapa de recopilación. En el apéndice IV se muestra el ejemplo del tipo de formato que existe para el levantamiento en campo de las corrientes y equipos que utilizan agua.

4.2 LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO

El levantamiento fotográfico de los equipos debe llevarse de manera simultánea con el levantamiento de corrientes y equipos, la información recolectada deberá ser documentada y reportada en formatos especiales llamados "hojas de levantamiento fotográfico", esto se desarrolla con el propósito de documentar la ubicación de los equipos. En el apéndice IV, se muestra el formato para desarrollar esta actividad. Se recomienda el siguiente procedimiento para un levantamiento fotográfico.

- Tomar las fotografías del sitio en cada visita que se lleve a cabo en los puntos establecidos previamente. El punto de la foto seleccionado se determina de forma natural tomando como referencia una piedra ó un árbol de tamaño regular.
- Se tendrá que obtener fotografías complementarias si se llegara a observar la existencia de cambios significativos en los alrededores o en la zona del punto seleccionado.
- Las diapositivas reveladas deberán tener la identificación del sitio, nombre, fecha y hora.
- La empresa que realiza el muestreo deberá tener el negativo original de las fotografías obtenidas.

- Se recomienda colocar las fotografías de cada sitio, en un protector de papeles transparente de 21.5 x 28 cm y archivarse en un lugar adecuado.

4.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DRENAJES

Todas las purgas así como los retrolavados de los equipos que se utilizan en la clarificación de agua en una planta se envían a los drenajes existentes, estos pueden ser: (pluvial, industrial, sanitario y químico). El agua que es conducida hacia los drenajes debe cumplir con una cierta normatividad, por lo que es necesario el levantamiento en campo de los drenajes existentes para así programar puntos de monitoreo y de esta manera conocer la calidad del agua.

5) UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Este punto es muy importante ya que es uno de los puntos principales que tiene un alto impacto dentro del dictamen, se debe revisar en la etapa de recopilación de información si existe con anterioridad ubicación de puntos de muestreo, y evaluar si se tomarán esos puntos o se plantearán nuevos, dependiendo de las instalaciones en la planta. Se debe elaborar un plan de muestreo de mutuo acuerdo con el laboratorio que realizará las determinaciones analíticas de las muestras.

Se deberá realizar, previamente al monitoreo, la determinación de los sitios en los cuales se muestrearán las aguas, de acuerdo al plan que se elaboró con anterioridad, se deberá realizar, en forma general, una descripción del lugar con la finalidad de contar con todos los recursos necesarios para la correcta, segura y confiable obtención de las muestras.

5.1 MONITOREO Y AFORO

Analizando el sistema de clarificación de agua de la planta química, se prevee establecer y monitorear los puntos estratégicos que representen la calidad del agua. Los lugares mas significativos para la clarificación de agua en el caso de estudio de esta Planta son: la alimentación de agua cruda, esto es, en la bocatoma; la distribución a la planta de pretratamiento No. 1 y por consiguiente, la planta de pretratamiento No. 2.

Se realizaron tres campañas de monitoreo y aforo en las instalaciones de la planta química como se indica a continuación.

Alimentación de agua cruda.- Se tendrán que hacer los recorridos de campo necesarios en la bocatoma del río, se seleccionará y establecerán los puntos de muestreo y aforo mas representativos de la calidad del agua, en la bocatoma del río se establecieron 3 sitios de muestreo y aforo, cada uno con una cobertura de 24 horas. Una vez establecido los puntos de muestreo se definirán los requerimientos de acondicionamiento, notificando la autorización a la supervisión de la planta, para reunir las condiciones de seguridad y lograr la mayor representatividad del aforo y muestreo.

En el lugar de muestreo y aforo seleccionado, las campañas se desarrollaron en un período no mayor a 15 días, en cada campaña el flujo de la corriente fue aforado cada 4 horas durante 24 horas continuas. Se tomarán muestras simples con la misma periodicidad y con estas muestras se integrará una muestra compuesta.

Para cada muestra simple que se obtenga, se determinarán en campo los parámetros de temperatura, conductividad, potencial hidrógeno y oxígeno disuelto. Una vez conformada la muestra compuesta, se procederá a la identificación y preservación de las mismas, teniendo mucha atención en el traslado de las muestras al laboratorio para llevar a cabo las determinaciones analíticas.

A continuación se muestra el esquema de localización de los puntos de monitoreo que se fijaron en la entrada de agua a la planta, anexando, de igual manera, el monitoreo en la salida del vaso 2 (cuando el agua es enviada a las 2 plantas de pretratamiento).

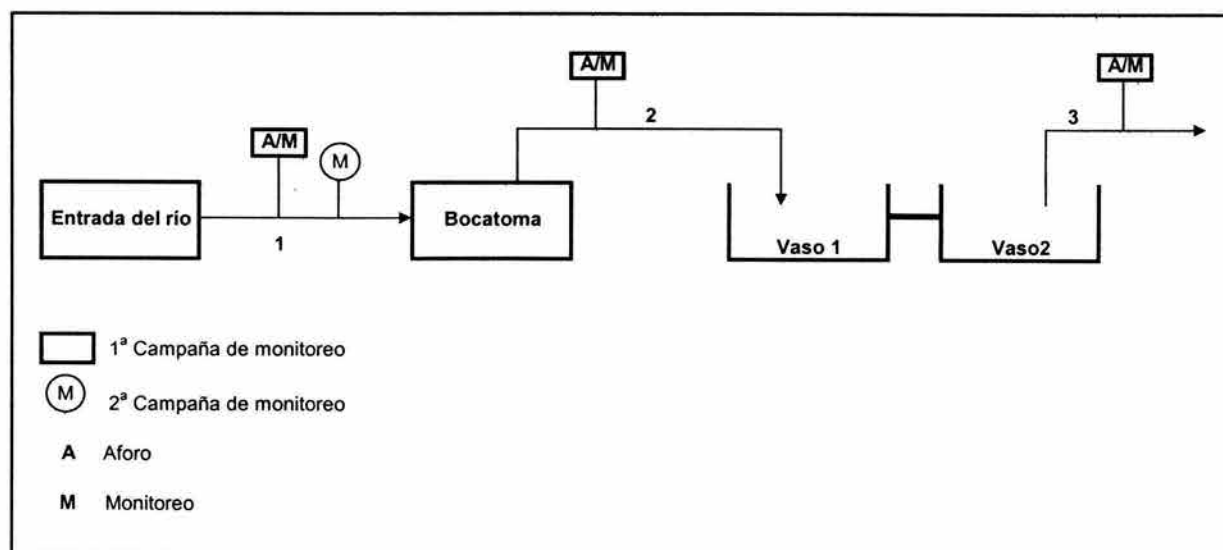


Figura 3.2 Diagrama de alimentación de agua a la planta.

Planta de pretratamiento No. 1.- Se realizaron los recorridos de campo necesarios para identificar los sitios probables en los que se realizarán las actividades de aforo y muestreo de las aguas. Para el caso de esta planta, se prevee el establecimiento de 5 sitios de muestreo y aforo, en cada sitio se realizarán 3 campañas de aforo y muestreo, cada una con cobertura de 24 horas.

Una vez establecidos los puntos de muestreo se definirán los requerimientos de acondicionamiento, notificando y solicitando la autorización de la planta química para reunir las condiciones de seguridad y acceso al sitio de muestreo, logrando, de esta manera, la mayor representatividad del aforo y muestreo.

En cada sitio de muestreo y aforo seleccionado, se tendrán que realizar las campañas de monitoreo con una periodicidad no mayor a 4 días entre ellas; en cada una, el flujo fue aforado cada 4 horas durante 24 horas continuas. Se tomaron muestras simples con la misma periodicidad y con estas muestras se integrara una muestra compuesta.

El siguiente diagrama muestra los puntos de monitoreo que se propusieron para la planta de pretratamiento No 1.

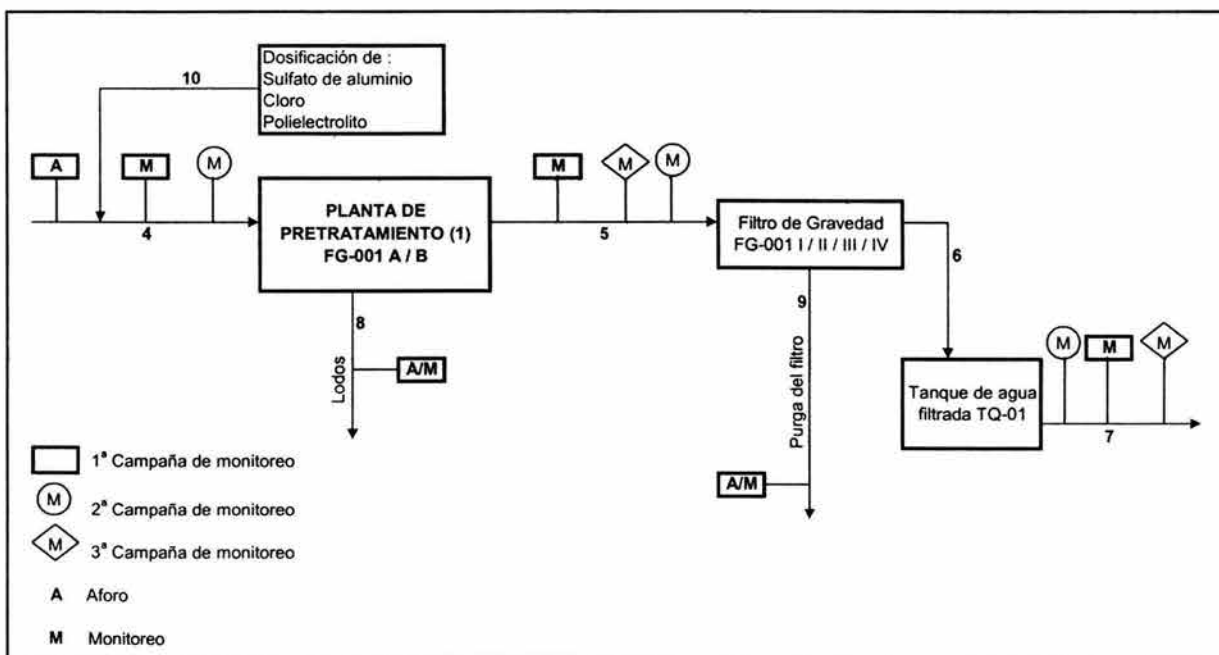


Figura 3.3 Diagrama de alimentación a la planta de tratamiento No 1.

Planta de pretratamiento No. 2.- También aquí se realizarán los recorridos de campo necesarios para identificar los lugares probables en los cuales se realizarán las actividades de aforo y muestreo de las aguas. Se seleccionan los sitios definitivos de aforo y muestreo del agua en función de su representatividad. Para esta planta se prevee el establecimiento de 4 sitios de muestreo y aforo, en cada sitio se establecerán 3 campañas de muestreo y aforo, cada una con cobertura de 24 horas.

Una vez establecidos los puntos de muestreo se solicitará y notificará a la supervisión de la planta, para reunir las condiciones de seguridad y tener una buena representatividad en el muestreo.

En cada sitio de muestreo y aforo seleccionado, se realizaron las campañas con una periodicidad no mayor a 4 días entre ellas, en cada campaña, el flujo será aforado cada 4 horas durante 24 horas continuas, se tomarán muestras simples con la misma periodicidad para integrar la muestra compuesta. Para cada muestra simple que se obtenga se tendrá que realizar en campo los parámetros de temperatura, conductividad, potencial hidrógeno y materia flotante, se procederá a la identificación y preservación, se deberá tener cuidado en el traslado de la muestra a las instalaciones del laboratorio.

El siguiente esquema muestra los puntos de monitoreo que se tomaron, según la representatividad de la calidad del agua para esta planta.

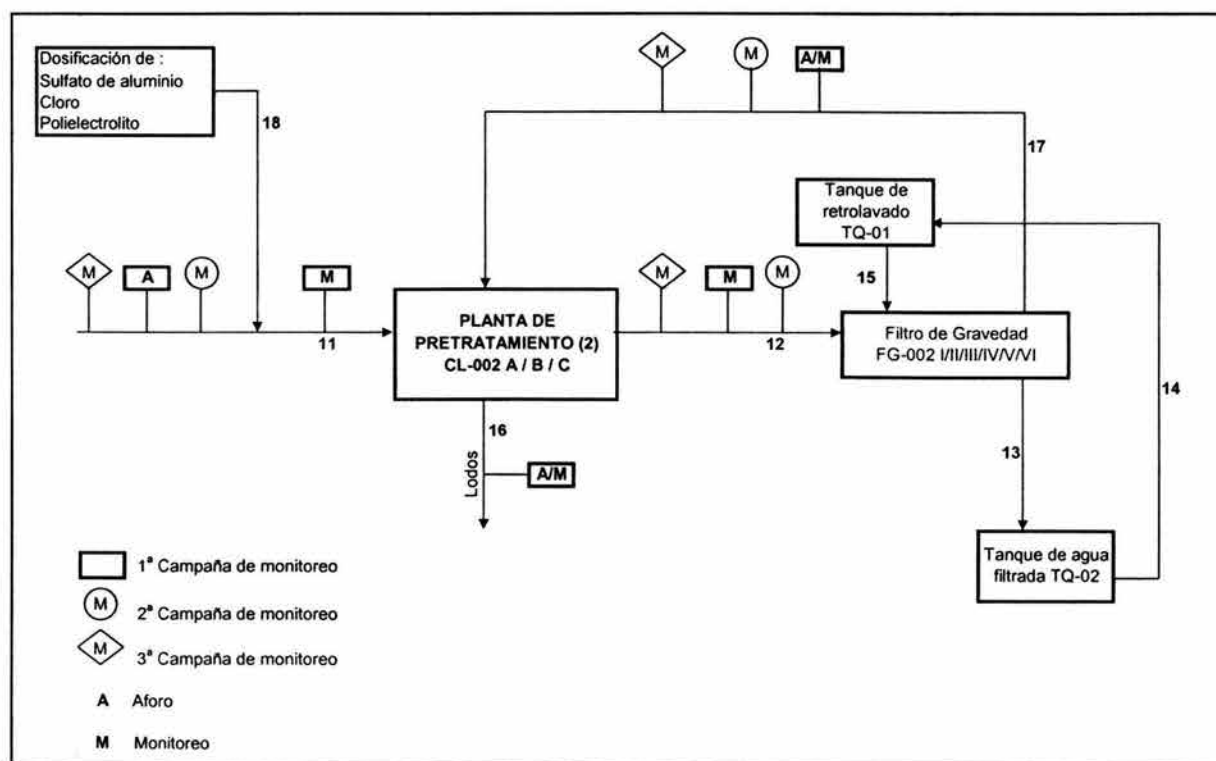


Figura 3.4 Diagrama de alimentación a la planta de tratamiento No 2.

6) MUESTREO

La obtención de muestras representativas del agua superficial y/o subterránea, dependerá de la elección del equipo adecuado en el campo. Si se va a muestrear agua en presencia de metales, se recomienda no usar muestreadores con componentes metálicos; de igual manera, cuando se necesite muestrear agua con presencia de elementos orgánicos, se deberá evitar el uso de muestreadores con componentes plásticos, puesto que este material en particular puede absorber y contaminar las muestras obtenidas.

Comúnmente se requiere realizar previamente un programa de provisiones y de equipo, en el apéndice I se muestra una lista de provisiones para el muestreo en campo, se recomienda revisar y calibrar el equipo dentro de las 24 horas anteriores al empleo en el muestreo. Es importante siempre descontaminar el equipo antes y después de ser utilizado mediante un enjuague apropiado.

Una exploración de campo bien realizada puede compensar una escasez en la información analítica. El muestreo bien dirigido y confiable, asegura la validez de los resultados analíticos. Para este fin, las muestras deberán representar verdaderamente a la masa de agua o de aguas residuales de las que se toman, y no debe haber cambios significativos en las muestras tomadas entre los tiempos de muestreo y análisis. Las observaciones meteorológicas e hidrológicas, incluyendo temperatura, registros de tormentas, escurrimientos, sequías e inundaciones anteriores, aportan información importante.

La obtención de las muestras tiene cuatro puntos muy importantes que siempre tendrán que estar presentes y se tomarán en cuenta. El primero y tal vez el mas importante es la salud y seguridad personal, por tal motivo se deberá asegurar principalmente a todo el personal que labore, que tengan el entrenamiento apropiado sobre la seguridad y la precaución en el plan de muestreo; el segundo punto, es coleccionar una muestra que represente la calidad del agua en tiempo y forma; como tercer punto esta el control y aseguramiento de la calidad; y por último el cuidado, control y manejo de los datos para obtener resultados precisos.

a) Muestreo en canales

En estos casos es recomendable tomar la muestra en el centro del canal y cerca de la superficie, debido a que en este punto la velocidad es mayor, y por consecuencia, hay menor asentamiento de sólidos. Los recipientes deberán ser abiertos a contracorriente, evitando que el agua toque las manos o algún instrumento antes de entrar al recipiente.

Cuando se requiera tomar muestras compuestas, lo mas recomendable es tomar las muestras simples por separado y posteriormente hacer la muestra compuesta.

b) Muestreo en ríos

Los sitios recomendables para la recolección de la muestra son:

- La estación de control.
- Zonas de contaminación de agricultura.
- Descargas industriales.
- Aguas arriba de la descarga.
- Aguas debajo de la descarga.

Con respecto a los sitios a muestrear mencionados al principio para el caso de zona baja del río, se recomienda colectar muestra a tres distancias diferentes, dos pueden ser en cada orilla (tomando en cuenta dos metros de distancia) y la otra será en el centro.

c) Muestreo en lagos

Los sitios recomendables para recolectar la muestra serán en:

- La entrada del lago.
- En las zonas donde tenga alguna influencia la contaminación.
- A la salida de los tanques sépticos domésticos.
- En la zona de embalse o represa.

Para todos los sitios anteriores se deberá tomar la muestra a una distancia de por lo menos 2 m, a una profundidad de 0.3 m con respecto a la superficie. En el caso específico de grasa y aceites deberá recorrerse la distancia mencionada, pero la toma se efectuará de manera superficial.

6.1 LIMPIEZA DEL EQUIPO DE MUESTREO

- Limpiar con detergentes sin fosfatos.
- Enjuagar perfectamente.
- Enjuagar con solución al 10 % de ácido nítrico (si hay contaminación con metales).
- Enjuagar con agua deionizada/destilada.
- Enjuagar con solvente grado plaguicida (si hay contaminación de orgánicos volátiles).
- Enjuagar dos veces con agua desionizada.
- Secar con aire o ventilar con nitrógeno en un ambiente sin polvo.
- Envolver el equipo limpio inorgánico en celofán y el equipo orgánico en papel aluminio para el transporte al lugar de trabajo.

6.2 CALIBRACIÓN DE EQUIPO EN CAMPO

El equipo de campo que se utilizara para medir los parámetros físicos, tiene que ser calibrado antes de que se puedan tomar las muestras de calidad del agua, se recomienda leer siempre las indicaciones dadas por el fabricante, en donde se describe la operación y calibración de los equipos suministrados.

Se recomienda llevar consigo las copias de los manuales del fabricante al lugar donde se efectuarán los trabajos; además, se deberá contar con los manuales en donde se describen los procedimientos de calibración para los parámetros de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y medida de turbidez. Es importante que se documenten los resultados de la calibración de acuerdo a estos procedimientos y se anoten los resultados en la bitácora de campo.

6.3 ELABORACIÓN DE GUÍAS DE SEGURIDAD

Antes de iniciar con la colecta de las muestras de calidad del agua, se tiene que estar enterado de los requisitos apropiados de salud y seguridad. Tomando en cuenta que la colecta de las muestras se realizará en lugares contaminados o en sitios alejados, donde no habrá atención medica inmediata, será importante tener presente lo siguiente:

- 1) Consultar con un representante de seguridad de la planta para recibir las recomendaciones precisas.
- 2) Nunca se deberá salir de manera aislada al lugar de campo donde se muestreará.
- 3) Determinar la ubicación del hospital o clínica mas próxima al sitio de la toma de muestras.

- 4) Recibir las inmunizaciones apropiadas. Se recomiendan vacunas de tétanos, hepatitis B y fiebre tifoidea, en caso de ser aguas muy contaminadas.
- 5) Se informará a los otros compañeros de su itinerario y ubicación existente.
- 6) Llevar identificación personal y si es posible llevar consigo un medio de comunicación rápido como teléfono celular o radio de comunicación.
- 7) Cuando se manejen preservadores como ácidos, siempre se tendrá que usar lentes de seguridad y guantes nuevos descontaminados.

6.4 ANOTACIONES EN CAMPO

Actualmente la colecta de muestras en el campo, requiere de la documentación adecuada para la certificación y control de calidad. La bitácora de registro de muestreo deberá contener apuntes detallados que describan como se tomaron las muestras, medidas de campo, análisis de laboratorio, solicitud de permisos, registros de la cadena de custodia, mapas, fotos y correspondencia. Es necesario que estos registros sean legibles y lo bastante completos, ya que son de mucha importancia como documentos legales y oficiales.

El proceso de anotación se puede acelerar si una persona es la que lleva a cabo el muestreo mientras que otra persona toma las notas necesarias. Se debe hacer el vaciado en algún formato previamente preparado. En el apéndice II se muestra el ejemplo de un formato para hacer anotaciones en campo, se recomienda seguir el siguiente orden.

- Identificación del muestreo.
- Hora y fecha del muestreo.
- Condiciones climatológicas anteriores y actuales.
- Descripción del tipo de muestreo (simple o compuesto).
- Ubicación del sitio y las coordenadas de latitud y longitud.
- Identificación de la muestra (número del sitio de muestreo).
- Métodos y resultados de las medidas de campo, como es el aspecto de la muestra.
- Métodos de muestreo.
- Razón de muestreo.
- Tipo de análisis para las muestras colectadas.
- Firmas de las personas que escriben en la libreta de campo.
- Volumen del agua muestreada incluyendo la hora de comienzo y la hora de término.
- Métodos de conservación de las muestras.

6.5 FORMATO DE CUSTODIA

Debido a que la muestra es la evidencia más importante, se usará el procedimiento de formato de custodia, (un ejemplo de este formato se encuentra en el apéndice II), para mantener y documentar la posesión de la muestra desde la hora en que se colecta ésta, hasta que se introduzca como evidencia. Los requisitos del formato de custodia varían entre laboratorios que analizan las muestras. Cabe mencionar que si una muestra esta en custodia, quiere decir que se tiene la posesión física de una muestra, y en todo caso, se sella para prevenir la falsificación; por lo tanto, el registro de un formato de custodia, empieza a partir de cuando se recibe los envases de muestra del laboratorio quien realizará la toma.

Se deberán manejar las muestras lo menos posible en el campo. Cada muestra de custodia requiere un registro de formato de custodia y podría requerir un sello. En caso de que no se sellen las muestras individuales, se recomienda sellar los recipientes en las cuales se envían las muestras. Cuando las muestras se cambian de posición, las dos personas involucradas en el cambio, deberán firmar y poner la fecha y la hora en el registro de formato de custodia.

En el campo se deberán medir y anotar algunos parámetros como: temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, si se trata de un influente o efluente, y si se desea también se pueden medir otros parámetros. Es recomendable manejar las muestras tomadas siguiendo los siguientes pasos.

- Sellar perfectamente las botellas empleadas.
- Solo usar tinta impermeable cuando se escriba en las etiquetas.
- Asegurar las etiquetas con cinta transparente alrededor de las botellas.
- Usar papel pH en la hielera de envío como indicadora de la condición de la muestra.
- Poner un termómetro en la hielera para asegurar la preservación de las muestras camino al laboratorio.

6.6 PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR CONTAMINANTES COMUNES

Considerando que ciertos contaminantes requieren de métodos diferentes, para el muestreo, se recomienda consultar al laboratorio que hará el trabajo de análisis, para que indique las referencias respecto al tipo y volumen de envase, preservación y tiempo de vigencia, así como una descripción clara de los analitos a usar. En el apéndice III se describe brevemente el procedimiento para recolectar y analizar muestras comunes.

6.7 ENVÍO DE MUESTRAS

Envolver y empacar las muestras con mucho cuidado, para que los envases de las muestras no se rompan en el trayecto al laboratorio. Asegurarse de enviar los blancos por separado de la misma manera que las demás muestras, para que el laboratorio pueda identificarlos y anotar todas las identificaciones en la bitácora de campo. Notificarle al laboratorio la hora de entrega y la forma de envío de las muestras.

7) INSPECCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA

Este punto es muy importante, ya que nos informará el estado físico y operativo en que se encuentra el sistema de clarificación, desde la entrada del agua, hasta la distribución a la salida de las dos plantas de pretratamiento, con la finalidad de identificar y analizar las principales deficiencias existentes en el sistema en cuanto a diseño, operación y mantenimiento de los equipos involucrados. En el apéndice IV se muestra el ejemplo de un formato especial para la evaluación física del sistema, que será debidamente llenado cuando se elaboren los recorridos en campo.

A continuación se presenta la descripción del estado físico que se guarda actualmente en el sistema de clarificación de agua en la planta.

BOCATOMA

Evaluación física:

Bocatoma:

- De las cinco compuertas solo están funcionando tres, mientras las otras dos permanecen cerradas debido a que están obstruidas, tanto por basura, como por maleza.
- La estructura metálica muestra corrosión y oxidación.
- Las paredes cimentadas de la bocatoma presentan fisuras leves, además existen fugas en el sello de las compuertas que controlan el paso de agua hacia el canal de conducción.

Canal de llegada:

- En el canal de llegada se observan fisuras en las paredes. Cuenta con medidor de flujo que se encuentra fuera de operación.
- El canal de conducción hacia el cárcamo de bombeo presenta nivel considerable de azolve.
- Los pasillos laterales del canal se encuentran invadidos por arena y maleza.

Vaso de captación 1:

- El vaso está compuesto por dos secciones en cuyo canal de comunicación y alrededores de la segunda sección presenta crecimiento de lirio acuático.
- El vaso presenta problemas de azolve.
- Carece de letreros de seguridad.

Vaso de captación 2:

- El vaso 2 es alimentado mediante vasos comunicantes por el vaso 1 y recibe el retorno de agua de enfriamiento en un solo paso.
- Este vaso alimenta a las plantas de pretratamiento (1) y (2).
- Presenta problemas de azolve.
- Carece de letreros de seguridad.

Cárcamo de bombeo:

- Se observa azolve y crecimiento de maleza en el cárcamo de bombeo.
- Las rejillas de cribado muestran oxidación y principios de corrosión. Carece de plataforma de acceso para operaciones de limpieza y mantenimiento.
- Las paredes presentan fisuras leves.

Casa de bombas:

- Solamente una bomba se encuentra en operación (capacidad de diseño 3,785 L/min), las otras dos bombas se encuentran fuera de operación debido a falta de limpieza y mantenimiento. Cabe mencionar que las bombas exceden los requerimientos actuales de la planta, por esta razón opera de manera intermitente.
- La casa de bombas presenta alto deterioro en su estructura (corrosión, vidrios dañados y falta de limpieza).

Bombas:

- Las bombas han recibido mantenimiento reciente y están en buenas condiciones físicas para ser operadas.
- Durante el levantamiento en campo solo operan 2 de 6 bombas existentes.
- Las bombas presentan sus placas de identificación correspondiente.

PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 1*Clarificadores (CL-001 A / B):*

- Ambos clarificadores presentan corrosión y oxidación en los canales de distribución, tuberías y bridas.
- El clarificador CL-001 A actualmente se encuentra fuera de operación, las paredes de este equipo presentan incrustaciones, crecimiento biológico y corrosión.
- No hay letreros de seguridad.
- Las condiciones de recubrimiento de pintura se encuentran en mal estado.

Dosificación de sustancias químicas:

- Los equipo operan de manera satisfactoria.
- El dosificador de alumbre con capacidad de 5.45 kg/min, presenta oxidación, suciedad y deterioro en las paredes, también presenta oxidación en tuberías, válvulas, bridas y conexiones.
- El sulfato de aluminio es adicionado de manera manual directamente de los sacos, sin una medida precisa.
- Las escaleras y los barandales se encuentran muy deteriorados
- Existen derrames o residuos de sulfato en la tapa del tanque

Filtros (FG-001 I / II / III / IV):

- Este sistema cuenta con dos baterías de filtros de arena operados en forma manual, los cuales son alimentados por gravedad con el efluente de los clarificadores.
- Las paredes presentan incrustación y oxidación en tubos de recolección del agua filtrada
- Hay crecimiento biológico en la salida de los filtros de la batería FG-001 / II, y presenta grietas en las paredes.
- Las baterías de filtros cuentan con capacidad de 10,902 m³/día cada uno.

Tanque de agua filtrada (TQ-01):

- La construcción del tanque es de concreto.
- Se encuentra en aceptables condiciones físicas.
- Presenta corrosión en válvulas, bridas y conexiones.

Bombas:

- Todas se encuentran en perfectas condiciones de operación.
- Los espacios para revisión y mantenimiento son muy reducidos.

PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 2*Clarificadores (CL-002 A / B / C):*

- Este sistema cuenta con tres clarificadores con capacidad de 29,000 m³/día cada uno, de tipo rectangular horizontal construidos en concreto, con rastras construidas en acero al carbón.
- Los clarificadores muestran corrosión en los canales recolectores, incrustación y agrietamiento en las paredes.
- Las escaleras y los barandales se encuentran en mal estado debido a la falta de recubrimiento.
- Las tuberías de purgas, válvulas y bridas presentan corrosión.
- La tubería de purgas presenta fugas intermitentes.
- La tubería para tomar la muestra de lodos se encuentra taponeada.

Filtros (FG-002 I / II / III / IV / V / VI):

- Este sistema cuenta con tres baterías de arena, operados en forma manual, y cada batería con dos filtros de flujo descendente.
- Actualmente los filtros V / VI están fuera de operación, en el fondo de los filtros se observa concentración de lodos y desarrollo de maleza.
- Los filtros I / II / III / IV están en operación. El retrolavado de estos filtros se recupera para ser utilizado como agua de alimentación al clarificador CL-002 B.
- Los sistemas de filtración requieren cambio de arena.

Tanque de retrolavado (TR-01):

- Existe solo un tanque de elevado donde se almacena agua filtrada para emplearla como agua de retrolavado para los filtros.
- Actualmente presenta fugas en la línea de alimentación de agua a los filtros.
- El tanque presenta fisuras en su estructura, ocasionando derrames de agua al sobrepasar cierto nivel de llenado.

Bombas:

- Las bombas se encuentran en operación y en buenas condiciones.

Tanque de agua filtrada (TQ-02):

- Se observa una pequeña generación de espuma.
- Su construcción es de concreto.
- Se encuentra en perfectas condiciones físicas.

Dosificación de sustancias químicas:

- La dosificación de reactivos proviene de un tanque de mezclado donde se adiciona simultáneamente sulfato de aluminio, el floculante y cloro.
- La adición simultánea provoca una menor eficiencia en la clarificación.

Sulfato de aluminio:

- La dosificación de sulfato de aluminio es de 450 kg/d; este se prepara en un tanque de mezclado para posteriormente ser adicionado al clarificador, donde entra en contacto con el agua cruda de alimentación a la planta No. 2, junto con el floculante y el cloro.

Floculante:

- La ayuda del coagulante (1 ppm) se prepara en un tanque de mezclado para posteriormente ser adicionado al reactor donde entra en contacto con el agua cruda de alimentación a la planta, junto con el sulfato de aluminio y el cloro.

8) MECANISMO COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, el material suspendido puede llegar a tener un tamaño y densidad tal, que pueda eliminarse del agua por simple sedimentación; algunas partículas son de tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial que les hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y formación de una partícula mas pesada. La coagulación en el proceso de clarificación tiene por objeto agrupar a las partículas coloidales dispersas en el agua y formar conglomerados más voluminosos y pesados que pueden ser separados mas fácilmente del agua, por simple precipitación, o bien por procesos de filtración convencional.

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica superficial del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas. Esta neutralización suele realizarse añadiendo al agua coagulantes químicos con agitación, también llamado mezclado rápido. Las sustancias químicas de uso común en estas operaciones son ciertas sales de aluminio y algunas sales de hierro. Generalmente se aplica sulfato de aluminio, como es el caso de la Planta química.

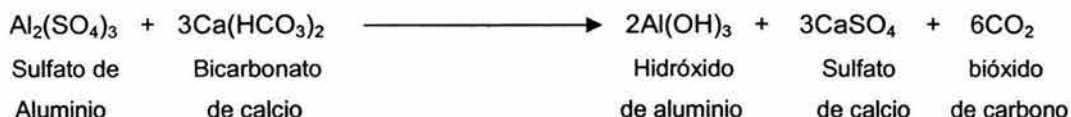
Una vez alcanzada la neutralización eléctrica, las partículas están en disposición de aglomerarse y formar flóculos. Estos flóculos son inicialmente pequeños y es posible inducir el crecimiento de los mismos con ayuda de agentes floculantes, algunos ejemplos de agentes floculantes son la sílice activada, algunas arcillas y los polielectrolitos, siendo este último el que se utiliza en la Planta química.

Para el proceso resulta conveniente trabajar en condiciones tales que el hidróxido de aluminio sea lo menos soluble posible, esta condición esta comprendida en el intervalo de pH de 5.5 a 7.5, en condiciones de un pH ácido se promueve la formación de las sales de aluminio que casi no neutralizan la superficie de los coloides. En condiciones alcalinas no puede alcanzar la superficie de la partícula coloidal. Es por esto que fuera de los límites señalados para el pH, la coagulación con sales de aluminio no tiene éxito.

Tabla 3.1 Intervalo optimo de pH para el reactivo utilizado en la Planta química.

Reactivo	Intervalo óptimo de pH
Sulfato de aluminio	5.5 – 7.5

La reacción del sulfato de aluminio al adicionarse al agua es:



La dosificación de los químicos se realiza en función de la turbidez como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 3.2

REACTIVO	Agua baja en turbidez < 10 NTU	Agua alta en turbidez > 100 NTU
Sulfato de aluminio ppm	20 – 34	35 - 85

9) FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE LOS CLARIFICADORES

En la Planta química se han integrado dos tipos de clarificadores, el primero consta de un clarificador circular (CL-001 B) que se encuentra en la planta No. 1, y el segundo esta formado por el clarificador rectangular de gravedad (CL-002 B) en la planta de pretratamiento No. 2.

9.1. CRITERIOS DE DISEÑO DEL CLARIFICADOR CL-001 B.

El clarificador CL-001 B tiene forma circular donde el mezclado y el inicio de las reacciones del coagulante, el agente floculante y el agua, se lleva a cabo en la cámara de floculación que se encuentra en el centro del tanque (figura 3.5).

Ahí se recibe el agua por la parte superior y se mezcla con el agente floculante, que se agrega de igual manera por la parte superior. Este agente floculante es el polielectrolito para el caso de la Planta química. El sulfato de aluminio se adiciona en el agua antes de que esta ingrese al tanque. Esta mezcla debe ser agitada para permitir que la coagulación se lleve a cabo. El agua abandona la cámara de agitación rápida y asciende por la parte externa en movimiento convectivo, el cual corresponde al mezclado lento. La función de esta etapa es provocar el contacto de los flóculos recién formados de tamaño pequeño con el resto de partículas que han sido neutralizadas por los radicales de aluminio. A medida que las partículas coloidales se conglomeran en flóculos estos aumentan de tamaño. Este fenómeno debe ocurrir aproximadamente a la altura media del tanque.

La fuerza que mantiene suspendidos a los flóculos es el flujo mismo del agua que asciende, a esta variable se le denomina flux volumétrico. Si el flux volumétrico es muy alto los flóculos son expulsados del tanque por los vertederos, si el flux volumétrico es demasiado bajo los flóculos se precipitan al fondo del tanque, en ambos casos no se logrará la captura de las partículas coloidales e implica un alto consumo de reactivos y una baja eficiencia de remoción.

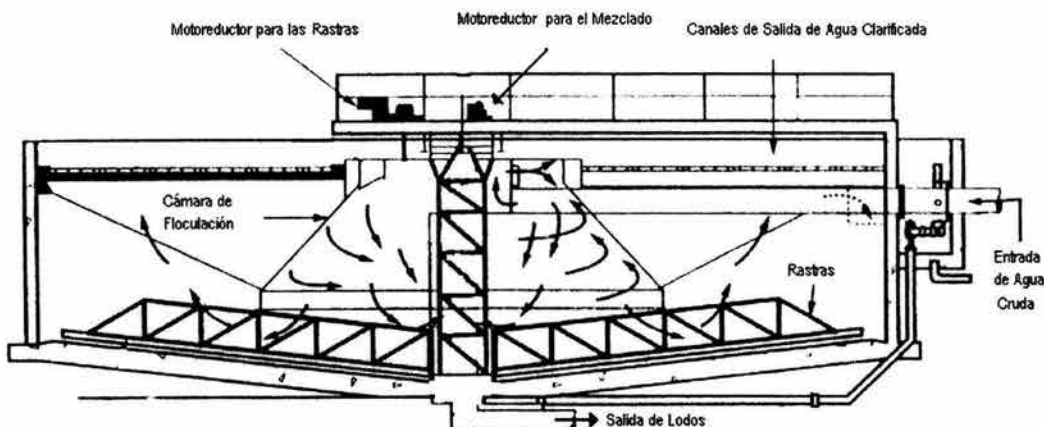


Figura 3.5

Un clarificador de este tipo se diseña para remover del 50 al 70 % de los sólidos suspendidos, en la Planta química se logra una remoción del 53 %. Además, debe operar a máxima capacidad de llenado, porque el agua clarificada abandona el proceso por los canales que se encuentran dispuestos radialmente en la parte superior del tanque.

La remoción de los lodos debe ser constante, las rastras de remoción pueden trabajar con una velocidad de hasta el 30 % del valor de la velocidad máxima con el fin de controlar la velocidad del agua en el tanque, en el caso de la planta es de 1745 rpm y el motor para las rastras es de 1750 rpm (datos tomados en campo).

El tiempo de retención es una variable definitiva y muy importante para la eficiencia de la remoción y se recomienda que este comprendida en el intervalo de 1.5 – 2.5 horas. Actualmente, el clarificador CL-001 B tiene un tiempo de residencia de 3.52 h. Otro factor importante es el valor del flux volumétrico normal por unidad de área en el tanque clarificador. El intervalo recomendado para este clarificador es de 41.54 – 48.05 $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$, (estos valores provienen de la memoria de cálculo). El clarificador presenta un flux volumétrico comprendido entre 28.33 – 30.75 $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$. El mecanismo de floculación que se presenta en este clarificador se observa en la figura 3.6 donde el lecho de floculación se mantiene bajo, cerca de las rastras.

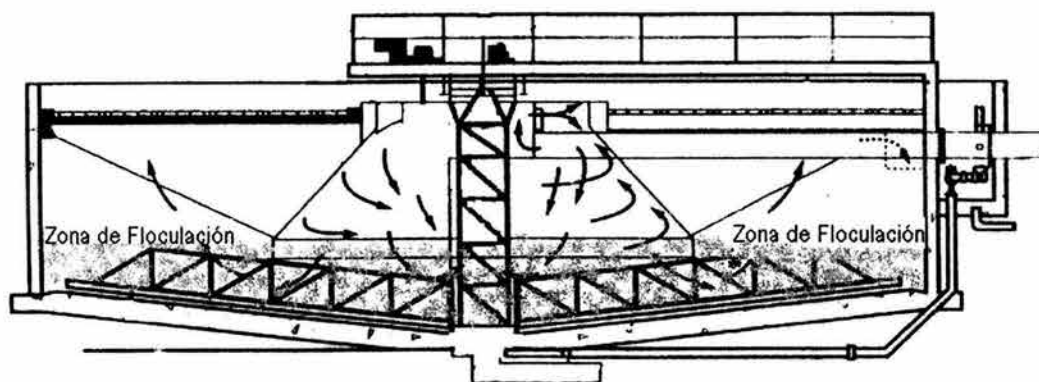


Figura 3.6 Mecanismo deficiente de la floculación en el clarificador CL-001 B.

9.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FILTROS DE GRAVEDAD FG-001 I / II / III / IV

Los filtros de gravedad se dividen en dos secciones (figura 3.7), separadas por una placa de concreto, en la parte superior reciben el agua y la envían a la parte inferior donde se encuentra el filtro de arena. El flux de diseño de este filtro es de 122 $\text{L}/\text{min m}^2$ y se encuentra operando a 151.5 $\text{L}/\text{min m}^2$ en la Planta química. El flujo volumétrico requerido para operar a condiciones de diseño es de 9,742.45 m^3/d y actualmente opera a 12,123. m^3/d .

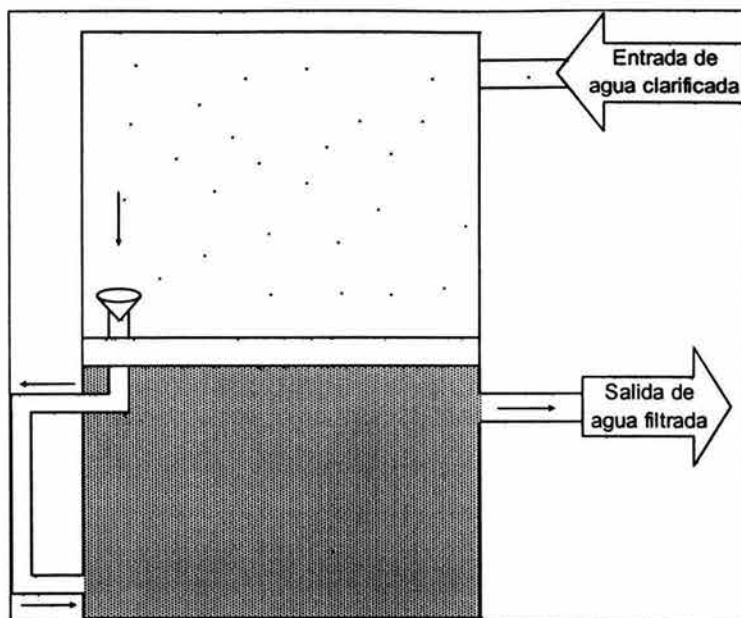


Figura 3.7 Esquema representativo de los filtros de gravedad FG-001.

9.3 CRITERIOS DE DISEÑO DEL CLARIFICADOR CL-002 B

Este tipo de clarificadores, son de forma rectangular (precipitadotes), el agua a tratar ingresa a un contenedor de mezcla junto con los reactivos, a esta acción se le llama, “zona de mezclado rápido”, se alimenta por un canal que distribuye el agua longitudinalmente en el tanque. En el interior se encuentran dos propelas, su objetivo es impulsar un flujo ascendente de agua desde la parte central inferior para mantener una región de floculación, además de enviar los flóculos mas grandes que precipitan solos a los canales de remoción de lodos, que se encuentran en los extremos inferiores del clarificador a lo largo del mismo. Es oportuno señalar que en este equipo, una de las propelas está trabajando en sentido contrario. El agua clarificada abandona el proceso por la parte superior a través de canales recolectores dispuestos a lo largo del tanque de clarificación. En este tipo de sistemas, el flux volumétrico que mantiene a los flóculos suspendidos en el seno del fluido es el impulso que imprimen las propelas. En determinado momento este sistema puede funcionar sin la alimentación continua a diferencia de los sistemas circulares. Las condiciones de remoción y el tiempo de retención de este tipo de clarificación son los mismos que en el circular, es decir, se debe alcanzar una remoción del 50 – 70 % con un tiempo de retención de 1.5 – 2.5 horas. En la Planta química se alcanza una remoción del 67 % con un tiempo de retención de 1.65 horas. El flux volumétrico para este tipo de precipitador debe estar en un intervalo de $43.88 - 73.14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (ver memoria de calculo), en el caso de esta planta se presenta un flux de $66.23 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$.



Figura 3.8 Vista superior del clarificador CL-002 B.

9.4 CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FILTROS DE GRAVEDAD FG-002 I / II / III / IV / V / VI

En estos filtros de gravedad, el agua se alimenta por la parte superior, cayendo por gravedad al filtro de arena (figura 3.9). El flux de diseño de este filtro es de 122 L/min m^2 y en este caso se encuentra operando a 167.37 L/min m^2 en la planta. El flujo volumétrico requerido para mantener el flux de diseño es $17,592 \text{ m}^3/\text{d}$ y actualmente se encuentra operando a $24,288 \text{ m}^3/\text{d}$.

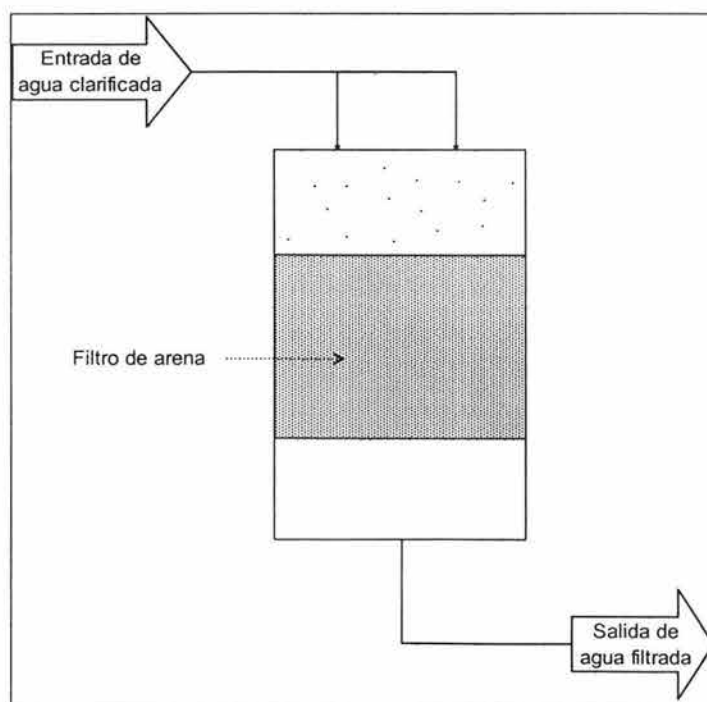


Figura 3.9 Esquema representativo de los filtros de gravedad FG-002.

10) DISPOSICIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LOS CLARIFICADORES CL-001 Y CL-002

Durante el tratamiento del agua cruda que ingresa a la Planta química, principalmente en la etapa de clarifloculación, se generan lodos, es muy importante analizar estos residuos ya que muchas veces se pueden tratar de desechos corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, o hasta inflamables (dependiendo del agua que se clarifique). Su disposición debe ser en sitios debidamente controlados. De acuerdo con las características del lodo se determina la operación unitaria o proceso de tratamiento que más convenga, en función de la disposición final. Los parámetros medidos determinarán si el lodo puede ser reutilizado, desechado directamente al drenaje o si se le debe dar un confinamiento final.

Los lodos generados, son los que provienen de las dos plantas de pretratamiento de agua que existen, es decir, de los clarificadores CL-001 B y CL-002 B. Para conocer la naturaleza de los lodos se llevo a cabo una caracterización incluyendo un análisis CRETIB a la muestra. Los resultados se muestran en el capítulo IV.

Con respecto a los análisis CRETIB los lodos generados en la planta, son residuos no peligrosos, lo cual nos lleva al cumplimiento de norma NOM-052-ECOL-1993, (tabla 3.3).

Tabla 3.3 Resultados obtenidos al analizar los lodos generados por los clarificadores.

SISTEMA	PELIGROSIDAD
Clarificadores CL-001 B	Residuo NO PELIGROSO
Clarificadores CL-002 B / C	Residuo NO PELIGROSO

Respecto a los lodos producidos por dichos plantas de pretratamiento, tienen características semejantes a los que llegan a producir los equipos de clarificación de agua, excepto el clarificador CL-002 B de la planta No. 2, el cual muestra un exceso de aluminio, esto se debe a la mala dosificación al sistema.

De acuerdo al balance que se realizó con los datos de campo que se obtuvieron durante la tercera campaña, se calculo la generación de lodos que producen las plantas de pretratamiento, así como su composición principal, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Generación de lodos.

SISTEMA	FLUJO	SST	CARGA MASICA
Unidades	m ³ /d	mg/L	Kg/d
Planta (1)	17.9	46,934	840
Planta (2)	9.97	14,517	145

11) ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este punto se deberá analizar todos los resultados que se obtuvieron, es decir, los análisis de las muestras de agua y de la generación de lodos producidos por los clarificadores, de tal manera que se puedan elaborar tanto tablas como gráficas de comparación de remoción de los parámetros principales que elimina una clarificación eficiente, y la evaluación del estado físico en que se encuentran los equipos en las plantas de pretratamiento (Los resultados obtenidos de los análisis realizados por el laboratorio se encuentran en el capítulo IV). Los resultados finales son la culminación para poder evaluar el sistema de clarificación de la Planta química.

12) DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE LA PLANTA QUÍMICA

En este punto se tendrá que emitir un diagnóstico general en base a toda la información recabada con anterioridad, es decir, desde que se solicitó la información histórica a la planta, visitas a campo, muestreo de la calidad del agua, así como, los resultados obtenidos por los laboratorios y la inspección física al sistema. Una vez que se cuenta con toda la información anterior, se procede a efectuar el dictamen, es decir, establecer las recomendaciones o propuestas que se le tendrían que hacer al sistema de clarificación de agua, si es que las hubiese. Cabe mencionar que el desarrollo de un dictamen puede cambiar en algunos puntos como puede ser: el tipo de agua que ingresa a los clarificadores, la disposición del agua y la generación de lodos y su disposición final.

12.1 ANÁLISIS DE LA PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 1

- De acuerdo a la tabla 3.2 la turbidez del agua de la Planta química requiere una concentración de sulfato de aluminio de 20 a 34 ppm y calculándose la concentración se obtuvo un valor de 25.6 ppm, este dato nos muestra que es efectiva la dosificación.

- El potencial de hidrógeno con el que opera los clarificadores CL-001 B y CL-002 B tiene un valor de (pH 7.9) esto significa que se encuentra fuera del intervalo recomendado 5.5 - 7.5 (tabla 3.1), esto puede provocar en que el sulfato de aluminio no reaccione en su totalidad con el agua y forme otros compuestos que no precipiten. Para este caso se recomienda la adición de un agente acidulante como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) con una dosificación de 0.015 g/m^3 de agua para el clarificador CL-001 B (tabla 4.32), y para el clarificador CL-002 B (tabla 4.33), de esta manera el pH se encontrará en el intervalo apropiado (pH 6.5). La otra opción es adicionar ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) con una dosificación de 0.029 g/m^3 de agua para el clarificador CL-001 B (tabla 4.34), y para el clarificador CL-002 B (tabla 4.35), con el fin de mantener de igual manera el pH = 6.5 en el agua.
- Debido a que la capacidad de diseño de este clarificador es aproximadamente 3 veces el valor del flujo que recibe, el flux volumétrico es bajo con respecto al recomendado, esto trae como consecuencia que el lecho floculante se mantenga a una altura baja, cerca de las rastras, evitando que asciendan los flóculos y aumenten de tamaño.
- Se recomienda alimentar un flujo cuando menos de $17,100 \text{ m}^3/\text{d}$ ya que con esto se asegura el límite inferior del flux volumétrico recomendado.
- El flux en los filtros de gravedad FG-001 es mayor al flux de diseño, por esta razón se tienen problemas de caída de presión en el filtro FG-001 I, y por consiguiente mayor consumo de energía en las bombas. Para este filtro se recomienda trabajar con un flujo máximo de $9,740 \text{ m}^3/\text{d}$ que corresponde al flujo de diseño.

12.2 ANÁLISIS DE LA PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 2

- En los clarificadores rectangulares el principal problema consiste en que una de las propelas se encuentra girando en sentido contrario, por este motivo se encuentra depositando los lodos en un lugar distinto a los canales de remoción, ejerce una fuerza contraria que precipita a los flóculos que se están formando y rompe la estabilidad de la zona de floculación. Esto abate la eficiencia del sistema. Para este caso se recomienda que las propelas giren contrariamente una de la otra.
- En cuanto al valor del flux volumétrico y el tiempo de retención para el clarificador CL-002 B, se determinó que se encuentra dentro de los valores recomendados.
- La dosificación del sulfato de aluminio es de 30 ppm y es adecuada para la turbidez del agua (8.8 UNT de acuerdo a la tabla 3.2).
- Este clarificador presenta un porcentaje mayor de remoción de lodos, 67 %, comparado con el clarificador de la (planta No. 1).

- El flux que tiene los filtros de gravedad FG-002 es menor que su flux de diseño, por lo que se llega a tener problemas de caída de presión. Para este caso se recomienda trabajar con un flujo máximo de 17,592 m³/d.

En el siguiente capítulo se muestran las tablas de los resultados que se obtuvieron al analizar las muestras de agua cruda en los monitoreos en la Planta química, así como, las pruebas de jarras que se realizaron a una muestra de agua para encontrar el mejor coagulante y floculante, y de esta manera mejorar la remoción de sólidos suspendidos en los clarificadores, comparada con la remoción actual que se tiene en las plantas de pretratamiento.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 INFORME DE RESULTADOS

A continuación se muestra el informe de los resultados que obtuvo el laboratorio encargado de analizar las muestras de agua obtenidas durante el monitoreo y aforo en la Planta química; esto es, en la alimentación de agua y en las dos plantas de pretratamiento que existen.

4.1.1 ALIMENTACIÓN DE AGUA

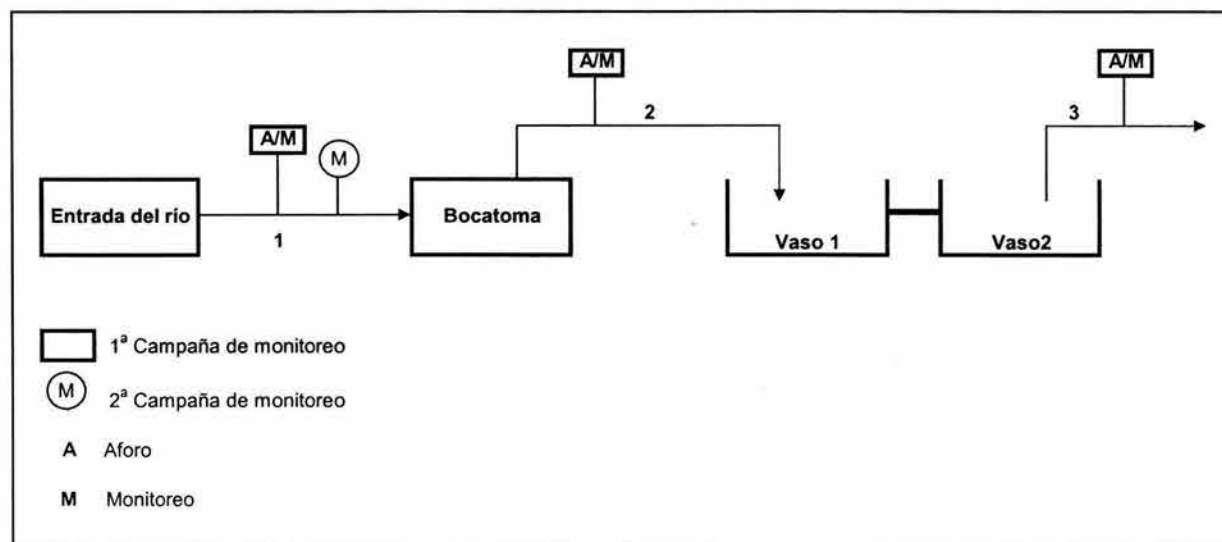


Figura 3.2 Diagrama de alimentación de agua a la planta.

Tabla 4.1 Caracterización del agua a la entrada del río (corriente No. 1).

PUNTO DE MUESTREO		RÍO			LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-001		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-127
PARÁMETROS	UNIDADES						
CAMPAÑA		1RA	2DA	3RA	Uso público		Condiciones Particulares
Aforo	m ³ /día				P.M.	P.D.	P.D.
pH	U de pH		7.9	8.4	5 -10		6.5 - 8.5
Coliformes fecales	NMP/100 ml		230	17	1000		2
Temperatura	°C		28.3	32.3	40	40	
Grasas y aceites	mg/L		1	5	15	25	
Materia flotante	S / U				Ausente		
Sólidos sedimentables	mL/L-h		< 0.1	N/D	1	2	
SST	mg/L		2	4	75	125	
DBO ₅	mg/L			N/D	75	150	
Nitrógeno total	mg/L				40	60	
Fósforo total	mg/L			N/D	20	30	
Arsénico	mg/L				0.1	0.2	0.05
Cadmio	mg/L				0.1	0.2	0.005

PUNTO DE MUESTREO		RÍO		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-001		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES NOM-127
Cianuro	mg/L		N/D	1	2	0.07
Cobre	mg/L		40	60		2
Cromo	mg/L			0.5	1	
Mercurio	mg/L			0.005	0.01	0.001
Níquel	mg/L			2	4	
Plomo	mg/L	< 0.050	N/D	0.2	0.4	0.025
Zinc	mg/L			10	20	5
DQO	mg/L		N/D			
Cromo hexavalente	mg/L					
Cromo total	mg/L					0.05
Fenoles	mg/L	0.026	0.002			0.001
Sulfuros	mg/L	27				
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	97	74.2			
Coniformes fecales	NMP/100 ml	430	< 1,600			N/D
Color	U pt – Co	1	< 15			20
Conductividad	µmhos/cm	271	197			
Sílice	mg/L	18.6	20			
Dureza total	mg/L CaCO ₃	121	92			500
Nitrógeno amoniacal	mg/L	2.46				0.5
Oxígeno disuelto	mg/L	8.66	5.5			
STD	mg/L	167	200			1000
Sulfatos	mg/L	25	23.9			400
ST	mg/L	169	204			
Acidez	mg/L					
Alcalinidad a la fenofaleína	mg/L					
Alcalinidad anaranjado de metilo	mg/L					
Alcalinidad total por carbonatos	mg/L					
Cloruros	mg/L		5			250
Bicarbonatos	mg/L					
Carbonatos	mg/L					
Bióxido de carbono	mg/L					
Dureza de calcio	mg/L					
Dureza no carbonatada	mg/L					
Fosfatos	mg/L					
N – Nitritos	mg/L					0.05
N – Nitratos	mg/L					10
Turbidez	UTN	1	21			5
SAAM	mg/L		0.0038			0.5

Continuación (Tabla 4.1)

Tabla 4.2 Bocatoma a Vasos de captación (corriente No. 2).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Acidez	mg/L	NOM-AA-36	4
Alcalinidad anaranjado de metilo	mg/L	NOM-AA-36	131.00
Alcalinidad total por carbonatos	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad a la fenofaleína	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	131.00
Arsénico total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.005
Carbonatos	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Cianuros	mg/L	NOM-AA-58	< 0.002
Dióxido de carbono (agua)	mg/L	SM 4500 CO ₂ D	116.200
Cadmio total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.010
Cloruros	mg/L	NOM-AA-73	8.00
Color	U Pt-Co	NOM-AA-45	<0.5
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	335.16
Cromo hexavalente	mg/L	NOM-AA-44	< 0.012
Cromo total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.050
Cobre total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.020
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	NOM-AA-28	33.00
Demanda química de oxígeno	mg/L	NOM-AA-30	45.00
Dureza da calcio	mg/L	SM3500-Ca	131.00
Dureza no carbonatada	mg/L	SM2340	23.000
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	154.0
Fosfatos	mg/L	NOM-AA-29	< 11.28
Fenoles	mg/L	NOM-AA-50	< 0006
Grasas y aceites	mg/L	NOM-AA-05	< 1.00
Bicarbonatos	mg/L	NOM-AA-36	131.00
Mercurio total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.001
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.45
N – nitritos	mg/L	NOM-AA-99	0.004
N – nitratos	mg/L	NOM-AA-79	< 0.033
Níquel total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.050
Fósforo total	mg/L	NOM-AA-29	< 3.76
Plomo total	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.050
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
S.A.A.M.	mg/L	NOM-AA-39	0.09
Sólidos disueltos totales	mg/L	NOM-AA-20	216
Sulfatos	mg/L	NOM-AA-74	24.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	7
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	SM2540E	6
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	223
Sólidos totales volátiles	mg/L	SM2540E	7
Sulfuros (agua)	mg/L	NOM-AA-74	< 1.0
Temperatura	°C	NOM-AA-07	17.8
Turbidez	UTN	SM-2130B	10.00
Zinc	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	0.032
pH	U de pH	NOM-AA-08	7.59

Tabla 4.3 Alimentación de agua a Plantas de pretratamiento (corriente No. 3).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	136.00
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	350.00
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	150.0
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.22
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	17
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	231
Temperatura	°C	NOM-AA-07	20.1
Turbidez	UTN	SM-2130B	8.0
pH	U de pH	NOM-AA-08	7.15

4.1.2 PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 1

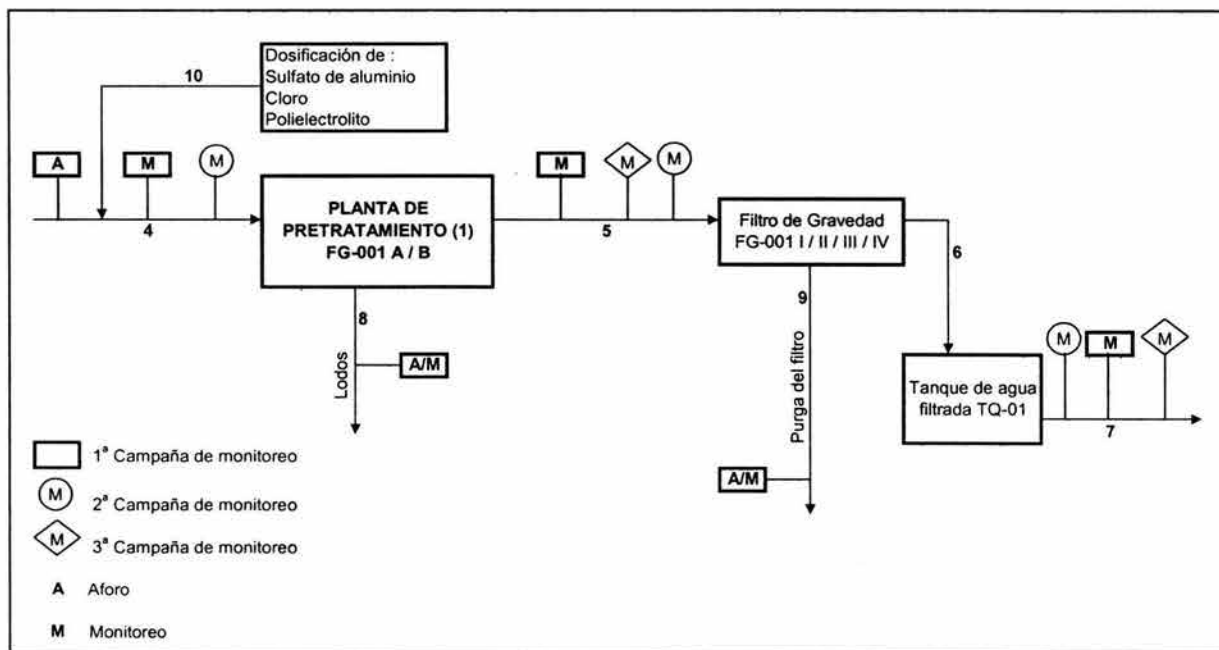


Figura 3.3 Diagrama de alimentación a la planta de tratamiento No 1.

Tabla 4.4 Agua a Clarificador CL-001 B (corriente No. 4).

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADOS
Alcalinidad anaranjado de metilo	mg/L	NOM-AA-36	126.00
Alcalinidad total por carbonatos	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad a la fenoftaleina	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	126.00
Dureza de calcio	mg/L	SM3500-Ca	131.00
Dureza no carbonatada	mg/L	SM2340	24.000
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	150.0
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.22
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	16
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	237
Temperatura	°C	NOM-AA-07	20.9
Turbidez	UTN	SM-2130B	7.50
pH	U de pH	NOM-AA-08	7.55

Tabla 4.5 Efluente de Clarificador CL-001 B a Filtros de gravedad FG-001 (corriente No. 5).

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADOS
Alcalinidad anaranjado de metilo	mg/L	NOM-AA-36	120.00
Alcalinidad total por carbonatos	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad a la fenoftaleina	mg/L	NOM-AA-36	< 1.0
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	120.00
Cloro libre residual	mg/L	NOM-AA-100	1.50
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	357.00
Dureza de calcio	mg/L	SM3500-Ca	131.00
Dureza no carbonatada	mg/L	SM2340	28.000
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	148.0
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.22
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos disueltos totales	mg/L	NOM-AA-20	217
Sulfatos	mg/L	NOM-AA-74	22.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	12
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	229
Temperatura	°C	NOM-AA-07	20.7
Turbidez	UTN	SM-2130B	4.50
pH	U de pH	NOM-AA-08	7.48

Tabla 4.6 Filtros de gravedad FG-001 a Tanque de agua filtrada TQ-01 (corriente No. 6).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	416.00
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.67
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	7
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	224
Temperatura	°C	NOM-AA-07	22.7
Turbidez	UTN	SM-2130B	3.00
pH	U de pH	NOM-AA-08	7.81

Purga de lodos provenientes del clarificador CL-001 B

Para determinar si los lodos proveniente del clarificador de la planta de pretratamiento No. 1 son peligrosos, se les realizó la prueba CRETIB, obteniéndose como resultado que no son peligrosos de acuerdo al reporte de la muestra que se obtuvo de la purga de lodos, efectuándole los análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosas de acuerdo a los parámetros sancionados en las normas: NOM-052-ECOL/93 y NOM-053-ECOL/93.

Tabla 4.7 Purga de lodos provenientes del Clarificador CL-001 B (corriente No. 8).

APARIENCIA	
DESCRIPCIÓN FÍSICA :	Líquido
COLOR:	Café
% DE SÓLIDOS SECOS	4.0
CORROSIVIDAD	
MUESTRAS LÍQUIDAS ACUOSAS pH:	7.06
CORROSIVIDAD AL ACERO	0.09 mm/año
REACTIVIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
EXPLOSIVIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
TOXICIDAD AL AMBIENTE	
METALES:	NO
ORGANICOS	NO
INFLAMABILIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
PUNTO DE INFLAMIBILIDAD °C	NO
BIOLÓGICO INFECCIOSO	
CUENTA TOTAL	110 UFC/g

Tabla 4.8 Purga de los Filtros de gravedad FG-001 a drenaje (corriente No. 9).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MONITOREO
Temperatura	°C	21.50
pH	U de pH	6.60
Turbidez	NTU	
Sulfatos	mg/L CaCO ₃	59.50
Dureza de calcio	mg/L CaCO ₃	
Sólidos disueltos	mg/L	196.00
Sólidos suspendidos	mg/L	120
Sólidos sedimentables	mg/L	1.50
Conductividad	µmhos/cm	355.00
DBO ₅	mg/L	180.00
DQO	mg/L	324.00
Cloro total	mg/L	
Aluminio	mg/L	13.13
Materia flotante	N.A	Ausente
Nitrógeno amoniacal	mg/L	2.69

El intervalo óptimo de pH con que trabaja el sulfato de aluminio, es de 5.5 a 7.5. es posible que la causa en las mediciones donde se detecto aluminio a la salida de los clarificadores (ver tabla 4.5), sea por que el pH del agua cruda se encuentra cerca al intervalo donde no precipita el hidróxido de aluminio y el descontrol que existe en la dosificación de alumbre.

4.1.3 PLANTA DE PRETRATAMIENTO No. 2

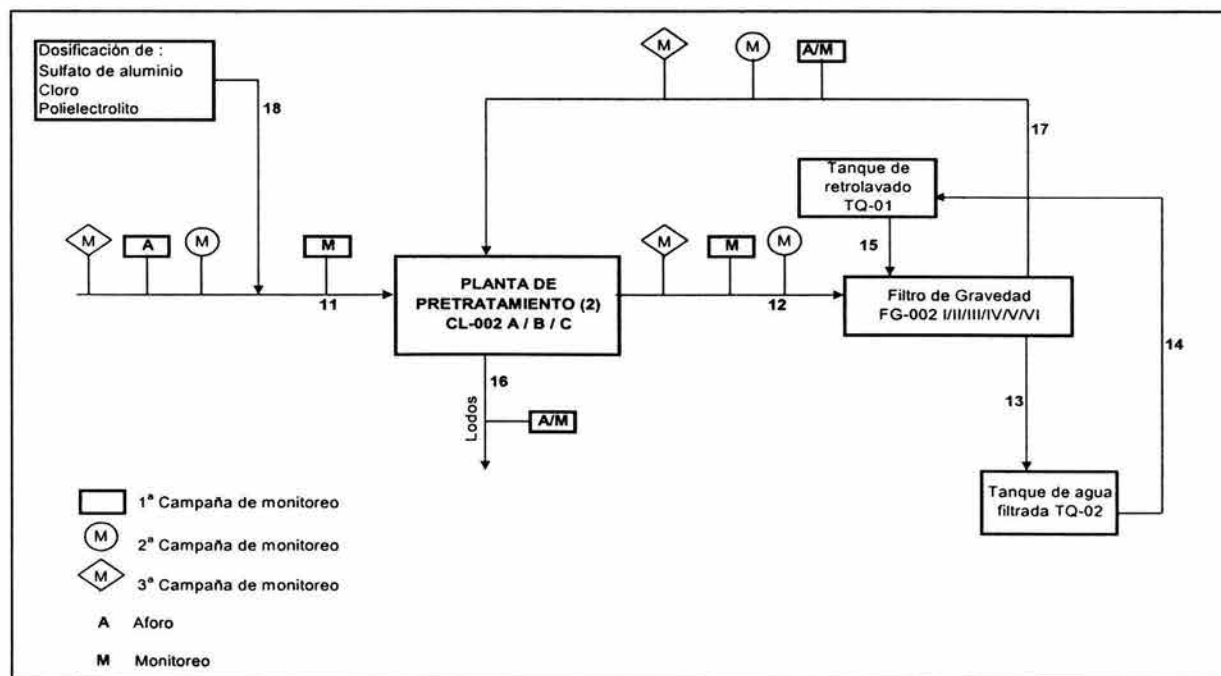


Figura 3.4 Diagrama de alimentación a la planta de tratamiento No 2.

Tabla 4.9 Agua a Clarificador CL-002 B (corriente No. 11).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	126.00
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	352.00
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	157.0
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	< 0.06
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	15
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	253
Temperatura	°C	NOM-AA-07	19.8
Turbidez	UTN	SM-2130B	7.50
pH	U de pH	NOM-AA-08	6.77

Tabla 4.10 Efluente de Clarificador CL-002 B a Filtros de gravedad FG-002 (corriente No. 12).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Alcalinidad total	mg/L	NOM-AA-36	113.00
Cloro libre residual	mg/L	NOM-AA-100	N/D
Cloruros	mg/L	NOM-AA-73	18.00
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	370.00
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	163.0
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	< 0.06
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos disueltos totales	mg/L	NOM-AA-20	222
Sulfatos	mg/L	NOM-AA-74	43.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	3
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	225
Temperatura	°C	NOM-AA-07	20.5
Turbidez	UTN	SM-2130B	3.00
pH	U de pH	NOM-AA-08	6.62

Tabla 4.11 Filtros de gravedad FG-001 a Tanque de agua filtrada TQ-02 (corriente No. 13).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Cloruro libre residual	mg/L	NOM-AA-100	1.50
Cloruros	mg/L	NOM-AA-73	17.00
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	374.00
Dureza de calcio	mg/L	SM3500-Ca	123.00
Dureza total	mg/L	NOM-AA-72	152.00
Fierro	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	< 0.050
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.46
Sulfatos	mg/L	NOM-AA-74	43.4
Temperatura	°C	NOM-AA-07	23.6
Turbidez	UTN	SM2130B	1.50
pH	U de pH	NOM-AA-08	6.88

Tabla 4.12 Purga de lodos provenientes del Clarificador CL-002 B (corriente No. 16).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Aluminio	mg/L	NMX-AA-051-SCFI	2686.000
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	522.00
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	NOM-AA-28	45.00
Demanda química de oxígeno	mg/L	NOM-AA-30	72.00
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	0.45
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	900
Sólidos disueltos totales	mg/L	NOM-AA-20	580
Sulfatos	mg/L	NOM-AA-74	53.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	22600
Temperatura	°C	NOM-AA-07	22.7
pH	U de pH	NOM-AA-08	6.31

Purga de lodos provenientes del clarificador CL-002 B

Para determinar si los lodos provenientes del clarificador CL-002 son peligrosos, se les realizó de igual manera la prueba CRETIB, obteniéndose que no son peligrosos de acuerdo al reporte de los resultados de la muestra que se analizó para determinar sus características de acuerdo a los parámetros sancionados en las normas: NOM-052-ECOL/93 y NOM-053-ECOL/93.

Tabla 4.13 Purga de lodos provenientes del Clarificador CL-002 B (corriente No. 16).

APARIENCIA	
DESCRIPCIÓN FÍSICA :	Lodo
COLOR:	Café
% DE SÓLIDOS SECOS	11.0
CORROSIVIDAD	
MUESTRAS LÍQUIDAS ACUOSAS pH:	7.41
CORROSIVIDAD AL ACERO	0.47 mm/año
REACTIVIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
EXPLOSIVIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
TOXICIDAD AL AMBIENTE	
METALES:	NO
ORGÁNICOS	NO
INFLAMABILIDAD	
POR FENÓMENOS FÍSICOS:	NO
POR FENÓMENOS QUÍMICOS:	NO
PUNTO DE INFLAMIBILIDAD °C	NO
BIOLOGICO INFECCIOSO	
CUENTA TOTAL	70 UFC/g

Tabla 4.14 Retrolavado de Filtros FG-002 a Clarificador CL-002 B (corriente No. 17).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Conductividad	µmhos	NOM-AA-93	364.00
Materia flotante	N.A.	NOM-AA-06	AUSENTE
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NOM-AA-26	< 0.06
Sólidos sedimentables	mL/L-h	NOM-AA-04	< 0.1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NOM-AA-34	18
Sólidos totales	mg/L	NOM-AA-34	230
Temperatura	°C	NOM-AA-07	20.0
Turbidez	UTN	SM-2130B	7.00
pH	U de pH	NOM-AA-08	6.63

Tabla 4.15 Purga de Filtros FG-002 de gravedad a Clarificador CL-002 B (corriente No. 17).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MONITOREO
Temperatura	°C	19.80
pH	U de pH	6.45
Sulfatos	mg/L CaCO ₃	305.70
Sólidos disueltos	mg/L	210.00
Sólidos suspendidos	mg/L	1575.00
Sólidos sedimentables	mg/L	200.00
Conductividad	µmhos/cm	367.00
DBO ₅	mg/L	141.00
DQO	mg/L	448.00
Aluminio	mg/L	165.30
Materia flotante	N.A	Ausente
Nitrógeno amoniacal	mg/L	4.93

4.2 RESULTADOS PRUEBAS DE JARRAS

El objeto que se persigue con las pruebas de jarras es la remoción de sólidos suspendidos y coloides que están presentes en el agua a tratar, así como la selección, determinación, dosificación, condiciones óptimas del coagulante, selección del floculante (polielectrolito), secuencia de aplicación y concentración de reactivos. Asimismo, determinar la influencia de pH en la coagulación.

4.2.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA

Para desarrollar en el laboratorio las pruebas de jarras se determinaron las características iniciales de una muestra de 40 L de agua procedente del influente que se manda a las plantas de pretratamiento existentes, ingresando al laboratorio para su análisis. Cabe mencionar que esta muestra fue obtenida después de la segunda campaña. Los parámetros y resultados que se obtuvieron de acuerdo a las normas mexicanas fueron los siguientes:

Tabla 4.16 Caracterización inicial de la muestra.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
Temperatura	(°C)	30.0	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH	(unidades de pH)	8.06	NMX-AA-008-SCFI-2000
Conductividad	(µmhos/cm)	353	NMX-AA-093-SCFI-2000
Alcalinidad total	(mg/L) CaCO ₃	120	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza total	(mg/L) CaCO ₃	121	NMX-AA-072-SCFI-2001
Turbidez	(UNT)	15.8	NMX-AA-038-SCFI-2001
Color	(mg/L) escala PtCo	20	NMX-AA-045-SCFI-2001
SST	(mg/L)	13	NMX-AA-034-SCFI-2001
SDT	(mg/L)	199	NMX-AA-034-SCFI-2001

4.2.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS MÍNIMA DE COAGULANTE

Para conocer los efectos de remoción de cada uno de los coagulantes y floculantes utilizados en la muestra problema, se realizó una prueba presuntiva (tabla 4.17), en vasos de precipitado utilizando 200 mL de muestra a la cual se le adicionó 1 mL de coagulante o floculante al 10 % a cada uno por separado encontrando los siguientes resultados en el sobrenadante después de 20 minutos de sedimentación:

Tabla 4.17 Resultados de remoción.

Coagulante ó floculante	pH (Unidades de pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Flóculo
Cal	12.11	762	482	28.10	Pequeño, buena sedimentación
Al ₂ (SO ₄) ₃	4.5	< 1.0	134	13.87	Pequeño, buena sedimentación
4800 (Catiónica)	8.16	118	119	4.40	Pequeña, mala sedimentación
2624 (Aniónico)	8.03	120	119	1.88	Pequeño, mala sedimentación

Estos resultados indican que la acción por separado de los coagulantes y floculantes no es suficiente para lograr una reducción de los parámetros seleccionados. Como se observa los cambios en el pH y la alcalinidad son drásticos con el uso de coagulantes, mientras que los polímeros no producen cambios notables en estos parámetros. Lo anterior permitió definir al uso combinado de coagulante mas el floculante.

Se realizaron pruebas preliminares en vasos de precipitados utilizando 200 mL de muestra a la cual se le adicionó 1 mL de uno de los coagulantes mencionados seguida de una agitación rápida, más 1 mL de uno de los floculantes mencionados seguida de una agitación lenta. Ambos reactivos (coagulante, floculante) se utilizaron al 1 %, encontrando los siguientes resultados en el sobrenadante después de 20 minutos de sedimentación:

Tabla 4.18 Resultados de remoción utilizando coagulante y floculante.

Coagulante ó floculante	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Flóculo
Cal + 4800 (Catiónico)	68	19.54	Grande, buena sedimentación
Cal + 2624 (Aniónico)	140	13.84	Pequeño, buena sedimentación
Al ₂ (SO ₄) ₃ + 4800 (Catiónica)	116	1.73	Pequeña, poca sedimentación
Al ₂ (SO ₄) ₃ + 2624 (Aniónico)	118	2.18	Pequeño, poca sedimentación
Cal + Al ₂ (SO ₄) ₃	99	3.01	Pequeño, poca sedimentación

Estas pruebas preliminares indicaron que la mejor combinación coagulante – floculante, es la cal más el polímero Quimifloc 4800 (Catiónico), ya que formó flóculos grandes y de fácil sedimentación, además de reducir la dureza hasta cerca de un 50 %, mientras que las otras combinaciones disminuyeron este parámetro en muy poco porcentaje. Para confirmar esta aseveración se procedió a la obtención de la dosis mínima de reactivos para las cuatro primeras pruebas de la tabla anterior.

4.2.2.1 Dosis mínima para Cal (1%) + 4800 (catiónico al 1%)

Se determinó la dosis mínima aproximada de coagulante (Cal) de acuerdo al siguiente método. En 6 vasos de precipitado con 200 mL de agua de la muestra se adicionaron dosis de coagulante en incrementos de 1 mL y se adicionó 1 mL de Quimifloc 4800 (Catiónico) a cada vaso, agitando lentamente hasta la aparición del flóculo.

Tabla 4.19 Resultados de las pruebas para Cal y 4800.

Vaso No.	Coagulante Cal (1%) mL	Quimifloc 4800 (Catiónico al 1%) mL	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UTN)
1	1	1	86	3.98
2	2	1	56	4.67
3	3	1	56	1.20
4	4	1	75	1.86
5	5	1	97	1.39
6	6	1	110	1.71

En los 6 vasos el flóculo se empezó a formar a los ocho minutos, siendo mas notorio en los de mayor dosis. En general el flóculo fue pequeño en todos los casos. Como se puede observar el vaso No. 3 presentó las mejores remociones de dureza y turbiedad.

Siguiendo el método descrito con anterioridad, se llevaron a cabo pruebas complementarias de dosis mínima con las siguientes combinaciones de coagulante más floculante.

4.2.2.2 Dosis mínima para Cal (1%) + 2624 (Aniónico al 1%)

Tabla 4.20 Resultados de las pruebas para Cal con 2624.

Vaso No.	Coagulante Cal (1%) mL	QPQ 2624 (Aniónico al 1%) mL	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UTN)
1	1	1	58	22.40
2	2	1	58	14.90
3	3	1	65	15.10
4	4	1	75	8.80
5	5	1	93	6.20
6	6	1	99	6.13

Como se puede observar a dosis bajas de coagulantes existe buena remoción de dureza, pero en la turbiedad sucede lo contrario, es decir, a dosis altas de coagulantes la turbidez disminuye.

4.2.2.3 Dosis mínima para $Al_2(SO_4)_3$ (1%) + 4800 (Catiónico al 1%)

Tabla 4.21 Resultados de las pruebas para $Al_2(SO_4)_3$ y 4800.

Vaso No.	Coagulante $Al_2(SO_4)_3$ (1%) mL	Quimifloc 4800 (Catiónico al 1%) mL	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UTN)
1	1	1	119	1.49
2	2	1	119	0.92
3	3	1	108	2.42
4	4	1	114	7.10
5	5	1	114	8.69
6	6	1	112	8.21

4.2.2.4 Dosis mínima para $Al_2(SO_4)_3$ (1%) + 2624 (Aniónico al 1%)

Tabla 4.22 Resultados de las pruebas para $Al_2(SO_4)_3$ con QPQ 2624.

Vaso No.	Coagulante $Al_2(SO_4)_3$ (1%) mL	QPQ 2624 (Aniónico al 1%) mL	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UTN)
1	1	1	119	2.68
2	2	1	119	1.68
3	3	1	108	1.34
4	4	1	116	2.40
5	5	1	118	1.92
6	6	1	114	1.97

En las dos pruebas anteriores utilizando el sulfato de aluminio junto con los polímeros, no se aprecia una buena remoción de la dureza, referente a la turbidez hay mejor remoción utilizando el 4800 Catiónico.

De las pruebas anteriores se deduce que la mejor combinación de coagulante – floculante resulta ser la de Cal + Quimifloc 4800 (Catiónico) a una dosis de 3 mL de Cal al 1 % con 1 mL de este polímero. Una vez obtenida la dosis mínima de Cal se procedió a obtener la dosis mínima de Quimifloc 4800 (Catiónico) siguiendo el mismo método anterior, manteniendo constante la dosis de Cal y variando la dosis del polímero en incrementos de 1 mL. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

4.2.2.5 Dosis mínima de Quimifloc 4800 (Catiónico) (1%) + 3 mL de Cal (1%)

Tabla 4.23 Resultados obtenidos de pruebas con Quimifloc y Cal.

Vaso No.	Coagulante Cal (1%) mL	Quimifloc 4800 (Catiónico al 1%) mL	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UTN)
1	3	0.5	110	1.60
2	3	1.5	65	4.53
3	3	2.5	71	8.61
4	3	3.5	71	8.89
5	3	4.5	78	7.84
6	3	5.5	67	12.60

De acuerdo a las pruebas elaboradas con anterioridad se puede concluir (tabla 4.24) que las dosis mínimas tanto de coagulante como de polímero son:

Tabla 4.24 Dosis mínima recomendable.

mL de Muestra	DOSIS MINIMA	
	Coagulante Cal mg	Quimifloc 4800 (Catiónico) mg
200	30	10
1,000	150	50

Una vez obtenidas las dosis mínimas de los reactivos se procedió a determinar el pH óptimo de funcionamiento de acuerdo al siguiente procedimiento.

4.2.3 DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO DEL COAGULANTE (Cal 150 mg/L)

Utilizando la dosis mínima aproximada determinada en la (tabla 4.24), se colocaron 6 muestras de agua de 1 L cada una para someterse a esta prueba. En cada muestra se ajustó el pH con H_2SO_4 1N ó NaOH 1N, hasta obtener incrementos de una unidad, de pH 4 a pH 9.

En cada muestra de 1 L de agua a pH diferente, se le adicionó 150 mg de Cal y se agitó 2 minutos a 80 rpm (agitación rápida), después y durante 15 min a 30 rpm (agitación lenta) la muestra floculó, al líquido sobrenadante de las 6 muestras se le determinó pH, dureza total y turbiedad después de 20 minutos de sedimentación se obtuvo lo siguiente:

Tabla 4.25 Determinación de pH óptimo.

Vaso No.	Cal mg	pH inicial (Unidades de ph)	pH final (Unidades de ph)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)
1	150	4	4.29	239	2.17
2	150	5	5.87	273	1.58
3	150	6	6.63	205	1.42
4	150	7	7.60	157	2.49
5	150	8	8.10	112	9.08
6	150	9	9.62	52	1.78

Por lo tanto, el pH óptimo donde la dosis mínima de coagulante realiza una mayor remoción de dureza total en la muestra, corresponde al vaso número 6 con el pH inicial de 9, siendo este pH muy cercano al pH original de la muestra como se mencionó anteriormente (punto 4.2.1), en la caracterización inicial de la muestra.

4.2.4 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE CAL

Utilizando el pH óptimo obtenido con anterioridad, se colocaron 6 muestras de agua de 1 L cada una para la determinación de la dosis óptima de coagulante. En cada muestra se adicionó una cantidad de cal para lograr concentraciones que variaron de 25 % a 200 % de la concentración mínima (150 mg) determinada de igual manera con anterioridad, mientras que la cantidad del polímero floculante (Quimifloc 4800 Catiónico) se mantuvo constante en la dosis mínima de 50 mg.

En cada muestra de 1 L de agua, se le adicionó diferentes dosis de cal y se ajustó el pH a 9 unidades, se agitó 2 minutos a 80 rpm (agitación rápida), se adicionó el polímero en cantidades iguales a cada vaso (50mg) y después se floculó durante 15 minutos a 30 rpm (agitación lenta). Al líquido sobrenadante de las seis muestras se le determinó pH, dureza total y turbiedad, después de 20 minutos de sedimentación se obtuvo lo siguiente:

Tabla 4.26 Determinación óptima del coagulante Cal.

Vaso No.	Cal %	Cal mg	pH inicial (Unidades de pH)	pH final (unidades de pH)	Dureza (mg/L)	Turbiedad (UNT)
1	25	37.5	9	9.37	62	6.42
2	50	75.0	9	9.23	63	6.84
3	75	112.5	9	9.17	58	10.63
4	100	150.0	9	9.00	95	10.30
5	150	225.0	9	8.87	226	9.54
6	200	300.0	9	8.62	312	3.21

Al observar la concentración de dureza total contra la cantidad de cal utilizada en cada vaso, se puede observar una relación directa entre el incremento de cal utilizada y la remoción de dureza total en cada vaso. Esto se debe a la neutralización de cargas en los coloides presentes en las muestra, a medida que se aumenta la cantidad de Cal.

Después de los 112.5 mg de Cal, el exceso de coagulante le confiere cargas nuevamente a los coloides provocando su dispersión y nuevamente su disolución, por lo tanto el porcentaje de remoción tiende a disminuir. Por todo esto la dosis óptima de coagulante (tabla 4.27) corresponde a la mayor remoción de dureza correspondió al vaso No. 3 con una cantidad de cal de 112.5 mg, equivalentes al 75 % de la dosis mínima inicialmente utilizada.

Tabla 4.27 Dosis óptima recomendable.

Dosis óptima de coagulante para 1 L de muestra	112.5 mg de Cal + QUIMIFLOC 4800 Catiónico.
---	--

Una vez conocida la dosis óptima de coagulante, se cuantificó la concentración de flóculos del vaso No. 3 así como sus tiempos de sedimentación. Para esta determinación se utilizó la técnica para medir sólidos sedimentables, entendiéndose estos últimos como el volumen de lodos (flóculos) que sedimentan en un tiempo determinado en un cono imhoff.

En este cono se obtuvo que, a partir de los 20 min de sedimentación se logra el volumen máximo de lodos (2.5 mL/L), lo que constituye el tiempo mínimo que se requiere para separar los lodos generados durante la clarificación de 1L de agua del influente de las plantas de pretratamiento que existen.

El agua sobrenadante, resultante del proceso de sedimentación del vaso No. 3 se utilizó para realizar la caracterización final del agua de la muestra, después de su tratamiento. los resultados de esta caracterización final se presenta en la tabla 4.28 junto a los obtenidos en la caracterización inicial.

Tabla 4.28 Comparación de los resultados iniciales y finales.

Parámetro	Caracterización inicial	112.5 mg de Cal + 50 mg de QUIMIFLOC 4800 Catiónico	% de Remoción
Temperatura (°C)	30	30.0	-----
pH (unidades de pH)	8.06	8.44	- 4.71
Conductividad (µmhos/cm)	353	176	50.14
Alcalinidad total (mg/L) como CaCO ₃	120	37	69.16
Dureza total (mg/L) como CaCO ₃	121	58	52.06
Turbidez (UNT)	15.8	10.63	32.72
Color (mg/L) escala PtCo	20	16	20.00
SST (mg/L)	13	3	76.92
SDT (mg/L)	199	8	95.97

4.3 TABLAS COMPARATIVAS DE REMOCIÓN

A continuación se muestran las tablas de eficiencia de remoción obtenidas de acuerdo a los datos en las campañas de monitoreo. Los parámetros significativos que presentaron mayor remoción son dureza total, turbidez y sólidos suspendidos totales.

Planta No. 1

Tabla 4.29 Eficiencia de remoción en la planta No. 1 de acuerdo a las campañas de monitoreo.

Parámetro	Unidades	Influente a Planta No. 1	Efluente de Planta No. 1	% de Remoción
1ra Campaña.				
Dureza total	mg/L CaCO ₃	150	148	1.33
Turbidez	NTU	18	4.5	75
SST	mg/L	17	12	29.41
2da Campaña.				
Dureza total	mg/L CaCO ₃	135	133	1.48
Turbidez	NTU	16.5	2.5	84.8
SST	mg/L	15	8	46.6

Planta No. 2

Tabla 4.30 Eficiencia de remoción en la planta No. 2 de acuerdo a las campañas de monitoreo.

Parámetro	Unidades	Influente a Planta No. 2	Efluente de Planta No. 2	% de Remoción
1ra Campaña.				
Dureza total	mg/L CaCO ₃	157	153	2.54
Turbidez	NTU	17.5	5.3	69.7
SST	mg/L	15	10	33.3
2da Campaña.				
Dureza total	mg/L CaCO ₃	135	131	3.0
Turbidez	NTU	16.2	5.3	67.2
SST	mg/L	14	5.0	64.3

En la tabla 4.31 se muestra el porcentaje de eficiencia de remoción que tiene el agua cruda que alimenta a las plantas de pretratamiento, comparado con los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad (obtenida en el punto 4.2).

Tabla 4.31 Comparación de resultados variando solamente el floculante.

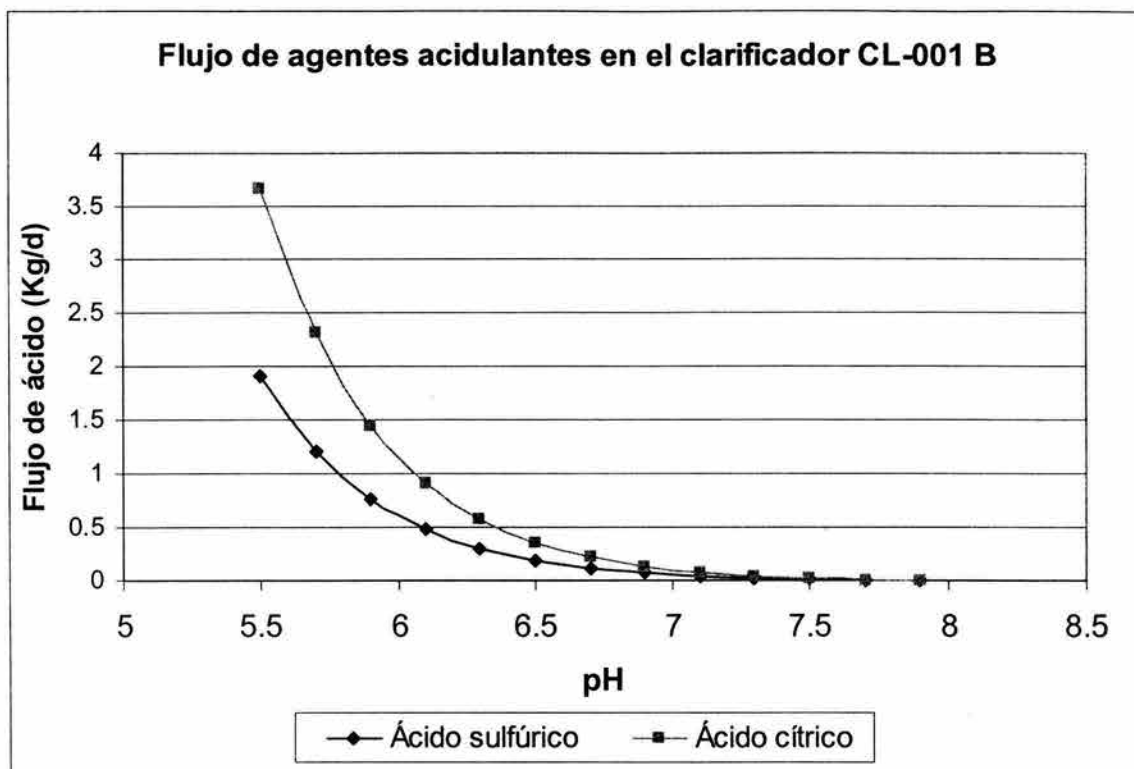
PRUEBAS DE TRATABILIDAD CON SULFATO DE ALUMINIO Y FLOC 4800				
Parámetro	Unidades	Agua cruda	Resultado	% de Remoción
Dureza total	mg/L CaCO ₃	121	119	1.65
Turbidez	NTU	15.8	0.92	94.17
SST	mg/L	13	4	69.23
PRUEBAS DE TRATABILIDAD CON SULFATO DE ALUMINIO Y QPQ 2624				
Dureza total	mg/L CaCO ₃	121	108	10.74
Turbidez	NTU	15.8	1.34	91.52
SST	mg/L	13	5	61.53

Como se puede observar, en la tabla 4.31 y 4.28 comparándolas existe una similitud en los parámetros evaluados como son; turbidez y sólidos suspendidos totales, En las pruebas de tratabilidad con el sulfato de aluminio y cambiando únicamente el floculante ya sea el FLOC 4800 ó QPQ 2624 se remueve un porcentaje mayor con el QPQ 2624, estos productos químicos son los que se utilizan actualmente en la Planta química.

4.4 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄) Y ÁCIDO CÍTRICO (C₆H₈O₇) EN FUNCIÓN DEL pH PARA LOS CLARIFICADORES CL-001 B Y CL-002 B

Debido a que el pH en los clarificadores tiene un valor de 7.9 por arriba del valor recomendado para el uso del sulfato de aluminio como coagulante ($5.5 < \text{pH} < 7.5$), se procedió a calcular los flujos másico y volumétrico de ácido sulfúrico y ácido cítrico requeridos para bajar el pH hasta el límite inferior recomendado, tanto para el clarificador CL-001 B (gráfica 4.1) como para el clarificador CL-002 B (gráfica 4.2). El pH recomendado es el promedio del intervalo anterior, con un valor de 6.5, para el ácido sulfúrico se realizó el cálculo teniendo en cuenta que el ácido que se tiene en la Planta química tiene una concentración de 98 % peso, (datos obtenidos en campo). Todos los cálculos que se realizaron se encuentran en la memoria de cálculo.

Gráfica 4.1 Flujo de acidulantes en el clarificador de la planta No. 1.



Gráfica 4.2 Flujo de acidulantes en el clarificador de la planta No. 2.

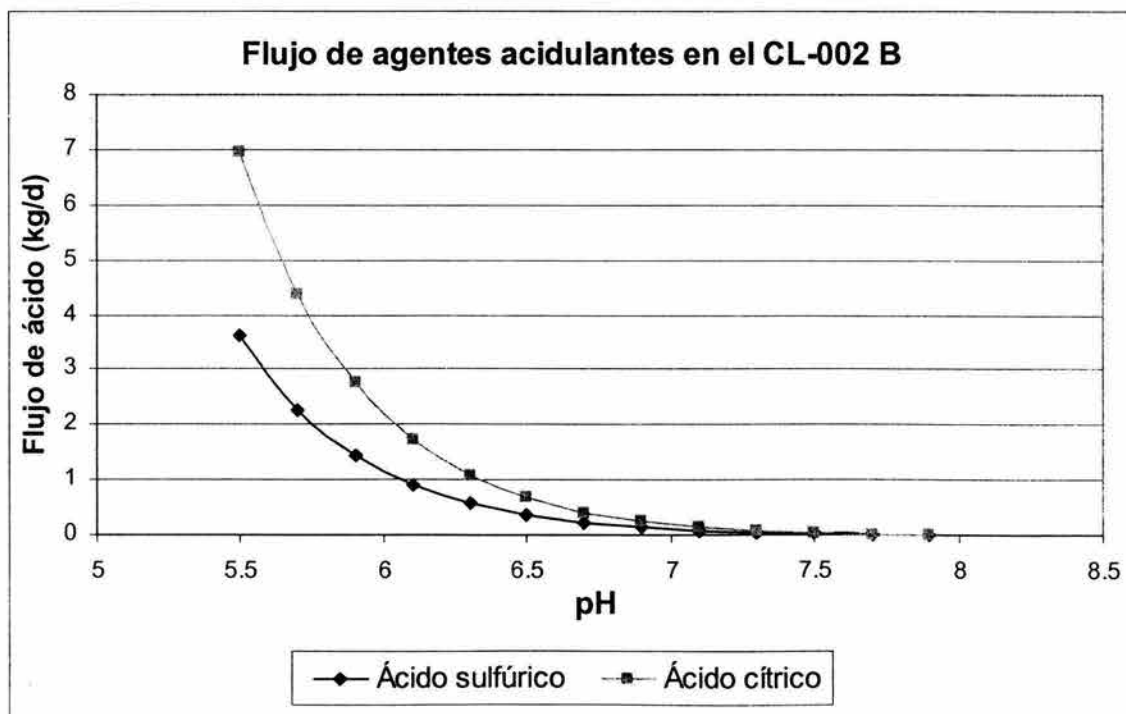


Tabla 4.32 Flujo de ácido sulfúrico en función del pH requerido para el clarificador CL-001 B.

pH Requerido	Concentración de H ₂ SO ₄ (ppm)	Flujo de H ₂ SO ₄ (kg/d)	Flujo de H ₂ SO ₄ (m ³ /d)
5.5	0.154	1.909	1.041
5.7	0.097	1.202	0.655
5.9	0.061	0.756	0.412
6.1	0.038	0.474	0.258
6.3	0.024	0.296	0.161
6.5	0.015	0.184	0.100
6.7	0.009	0.113	0.062
6.9	0.006	0.069	0.037
7.1	0.003	0.041	0.022
7.3	0.002	0.023	0.012
7.5	0.0009	0.012	0.006
7.7	0.0003	0.004	0.002
7.9	0	0	0

Tabla 4.33 Flujo de ácido sulfúrico en función del pH requerido para el clarificador CL-002 B.

pH Requerido	Concentración de H ₂ SO ₄ (ppm)	Flujo de H ₂ SO ₄ (kg/d)	Flujo de H ₂ SO ₄ (m ³ /d)
5.5	0.154	3.617	1.972
5.7	0.097	2.277	1.241
5.9	0.061	1.431	0.780
6.1	0.038	0.898	0.489
6.3	0.024	0.561	0.306
6.5	0.015	0.349	0.190
6.7	0.009	0.215	0.117
6.9	0.006	0.130	0.071
7.1	0.003	0.077	0.042
7.3	0.002	0.043	0.023
7.5	0.0009	0.022	0.012
7.7	0.0003	0.008	0.005
7.9	0	0	0

Tabla 4.34 Flujo de ácido cítrico en función del pH requerido para el clarificador CL-001 B.

pH Requerido	Concentración de ácido cítrico (ppm)	Flujo de ácido cítrico (kg/d)
5.5	0.303	3.666
5.7	0.190	2.308
5.9	0.120	1.451
6.1	0.075	0.910
6.3	0.047	0.569
6.5	0.029	0.353
6.7	0.018	0.218
6.9	0.011	0.132
7.1	0.006	0.078
7.3	0.004	0.044
7.5	0.002	0.022
7.7	0.001	0.009
7.9	0	0

Tabla 4.35 Flujo de ácido cítrico en función del pH requerido para el clarificador CL-002 B.

pH Requerido	Concentración de ácido cítrico (ppm)	Flujo de ácido cítrico (kg/d)
5.5	0.303	6.945
5.7	0.190	4.372
5.9	0.120	2.748
6.1	0.075	1.724
6.3	0.047	1.077
6.5	0.029	0.669
6.7	0.018	0.412
6.9	0.011	0.250
7.1	0.006	0.147
7.3	0.004	0.083
7.5	0.002	0.042
7.7	0.001	0.016
7.9	0	0

4.5 CONCLUSIONES

Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos suspendidos que en ella se encuentran, siempre que su velocidad de sedimentación natural sea demasiado baja para proporcionar una clarificación efectiva. La clarificación del agua, el espesamiento de lodo y el desecamiento dependen de una correcta aplicación de las teorías de coagulación y floculación para que puedan efectuarse con éxito.

Dentro del proceso de coagulación - floculación una etapa importante es la agitación, ya que se requiere de una agitación rápida al agregar el coagulante con la finalidad de tener un mayor contacto de partículas y estimular su aglomeración, seguida a esta una agitación lenta al momento de adicionar el floculante para evitar que los flóculos formados se rompan teniendo así una mejor remoción. El pH también es una de las variables importantes en el proceso de coagulación, ya que al tener controlado el pH dentro del rango de 6.5 a 7.0 se tiene una mejor función del coagulante, y evita una mayor dosificación del mismo para obtener una mejor calidad en el efluente.

En el río durante la caracterización del agua y de acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996 existe un parámetro (coniformes fecales) que excede de los límites permisibles 1000 NMP/100 mL, las elevadas concentraciones de hasta 11,000 NMP/100 mL se deben a las descargas de aguas residuales sanitarias domésticas causadas por las colonias que se encuentran aledañas.

De acuerdo a la NOM-127-SSA-1994, esta contempla las características de agua potable, el río tiene agua cruda, pero además recibe de las descargas que tanto industriales como sanitarias, situación que hace que las aguas del río no puedan considerarse dentro de esta norma. Otros parámetros que se destacan es la presencia de fenoles, plomo y sulfuros, causando contaminación en la calidad del influente del agua a la bocatoma.

Dentro del desarrollo elaboración del dictamen, un punto fundamental es la elaboración de las pruebas de tratabilidad, esto es para obtener el coagulante y floculante mas efectivo para formar flóculos grandes y posteriormente puedan sedimentar, así como, sus respectivas concentraciones que remuevan con mayor eficiencia todos los sólidos suspendidos que se encuentren en al agua a tratar, por este motivo se desarrollaron las pruebas de jarras (estos datos se muestran en el punto 4.2). Considerando las características del sistema de tratamiento de la Planta química, se seleccionó como coagulante la Cal y el Sulfato de Aluminio, por ser los coagulante más utilizados y el segundo por que es usado actualmente en la Planta, además de ser los mas económicos y los que mejores resultados presentan durante la remoción de los sólidos suspendidas. En cuanto a los floculantes se utilizaron los polímeros QPQ 2624 aniónico y Quimifloc 4800.

Los resultados que se obtuvieron durante las pruebas de jarras se encuentran en la tabla 4.36, estos datos permiten establecer el tipo de coagulante y floculante a utilizar, es decir; esta propuesta en las pruebas realizadas se pueden llevar a escala para tratar el agua que ingresa a los clarificadores y obtener una remoción mucho mejor de la que se tiene actualmente.

Tabla 4.36 Descripción de los parámetros óptimos propuestos por litro de agua tratada.

DESCRIPCIÓN	PROPUESTA
Coagulante	Cal
pH óptimo del coagulante	9.0 unidades
Dosis mínima de coagulante	150 mg
Dosis óptima de coagulante	112.5 mg
Floculante	Quimifloc 4800 Catiónico
Dosis mínima de floculante	50 mg
Dosis óptima de floculante	50 mg
Agitación lenta	30 rpm
Agitación rápida	80 rpm
Tiempo de sedimentación	20 minutos
Volumen de lodos	2.5 mL
pH final del efluente	8.44 unidades
Remoción de dureza total	52.06 %

El agua que actualmente se clarifica para consumo y distribución en la Planta química es 35,089 m³/d, esta cantidad de agua actualmente se trata con las 2 plantas de pretratamiento, es decir, con los clarificadores CL-001 B y CL-002 B, durante la información recopilada en campo referente a los equipos que componen las plantas de pretratamiento, se recomienda el mantenimiento y la rehabilitación de los clarificadores CL-001 A / B, así como los filtros FG-001 I / II / III / IV, para que puedan clarificar la demanda de 35,089 m³/d de agua, de esta manera queda fuera de operación la planta de pretratamiento No. 2, de esta manera se puede obtener un ahorro en costos de electricidad, mantenimiento, mano de obra, operación, y de productos químicos. La eficiencia de los clarificadores respecto al flux y operación serán óptimos.

Respecto a los lodos generados en las plantas de pretratamiento (en las purgas de los clarificadores), actualmente son vertidos directamente al drenaje pluvial los cuales descargan en un arroyo que se encuentra cerca de las instalaciones de la Planta. Por este motivo dentro del dictamen se incluyó un análisis CRETIB obteniéndose como resultado que son residuos no peligrosos lo cual cumple satisfactoriamente con la norma NOM-052-ECOL-1993.

En la siguiente tabla se muestra las ventajas y desventajas que se tienen al eliminar la planta de pretratamiento No. 2.

Tabla 4.37

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<i>SITUACIÓN ACTUAL</i>		
Plantas 1 y 2 de pretratamiento	1) Capacidad para procesar un incremento en la demanda de la Planta química	1) Rehabilitación de los 3 clarificadores que se encuentran fuera de servicio tanto el CL-001 A como el CL-002 A / C. 2) Mayor requerimientos de operación y mantenimiento. 3) Condiciones de operación inadecuadas propiciadas por el gasto actual (menor al del diseño).
<i>RECOMENDACIÓN</i>		
Planta 1 de pretratamiento	1) Cubre las necesidades actuales de la planta. 2) Se tendría solamente un sistema para el cual se requeriría un costo menor para su rehabilitación. 3) Con el aumento del agua en la alimentación, se obtendrán mejores condiciones operativas.	1) Operación en el límite máximo de la capacidad actual.

Por otra parte la disposición actual de dichos lodos en la planta no es la adecuada puesto que conducen los lodos al registro final, el cual es susceptible de monitoreos para cumplir con la norma NOM-001-ECOL-1996, donde se incrementan los sólidos suspendidos totales y por consiguiente puede provocar sanciones a la Planta. La disposición final o proceso de los lodos generados se determina de acuerdo a las características y estas determinan si el lodo puede ser reutilizado o se disponen a confinamiento.

Cabe señalar que todos los equipos como; bombas, motores, tuberías, y válvulas, que se encuentran en las plantas de pretratamiento necesitan mantenimiento, así como los tanques de almacenamiento necesitan pintura de recubrimiento. Se pondrá especial atención en los equipos clarificadores ya que las rastras se encuentran oxidadas así como las andaderas, además existen fugas en bombas, La dosificación de reactivos tiene que ser controlada para no saturar de químicos al agua cruda y sea contraproducente.

4.6 MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación se presentan los cálculos de: volumen, tiempo de residencia, flux, concentración de sulfato de aluminio y porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos para los equipos que conforman los sistemas de clarificación, como son; Clarificador CL-001-B, Filtros de gravedad FG-001 y Clarificador CL-002 B, Filtros de gravedad FG-002.

I.- CLARIFICADOR CL-001 B

Cálculo del volumen del clarificador:

$$r = \text{radio del clarificador} = 12.05 \text{ m}$$

$$h = \text{altura del clarificador} = 3.9 \text{ m}$$

Los datos de el radio y la altura del clarificador se determinaron en la visita a campo, debido a que no se disponía de información impresa, proporcionada por la Planta y solicitada en la etapa de recopilación de información.

$$A = \pi \times r^2 = (3.1416)(12.05 \text{ m})^2 = 456.16 \text{ m}^2$$

$$V = A \times h = (456.16 \text{ m}^2)(3.9 \text{ m}) = 1,779.02 \text{ m}^3$$

Cálculo del tiempo de residencia en el clarificador:

$$\tau = \frac{\text{Volumen del clarificador}}{\text{Flujo de la corriente 4}}$$

$$\tau = \frac{1,779.06 \text{ m}^3}{12,123 \text{ m}^3 / d} = 0.14 \text{ d} = 3.52 \text{ h}$$

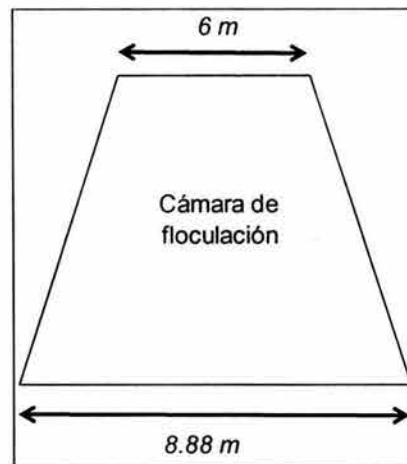
Cálculo del flux volumétrico en el clarificador:

$$\text{Flux} = \frac{\text{Volumen del clarificador}}{\text{Flujo de la corriente 4}}$$

El clarificador circular tiene una cámara de floculación, de donde sale el agua en movimiento ascendente, este flujo volumétrico por unidad de área transversal corresponde al flux. La cámara de floculación tiene un diámetro superior de 6 m y un diámetro inferior de 8.88 m (estos valores fueron tomados en campo), por lo que se presentaran dos valores de flux, uno en la parte inferior y otro a medida que asciende el agua.

El área disponible para el movimiento ascendente del agua es el área total menos el área de la cámara de floculación. El área total se cálculo con anterioridad y tiene un valor de 456.16 m^2 .

La cámara de floculación tiene la siguiente forma:



El área en la parte inferior sería:

$$A = \pi \times r^2 = (3.1416)(4.44 \text{ m})^2 = 61.93 \text{ m}^2$$

Mientras que el área en la parte superior tendría un valor de:

$$A = \pi \times r^2 = (3.1416)(3 \text{ m})^2 = 28.27 \text{ m}^2$$

Ahora se procede a calcular el área disponible para el movimiento ascendente del agua, tanto para la parte inferior de la cámara como para la parte superior de la misma:

$$\begin{aligned} A_{\text{inferior disponible}} &= A_{\text{TOTAL}} - A_{\text{parte inferior de la cámara}} \\ A_{\text{inferior disponible}} &= 456.16 \text{ m}^2 - 61.93 \text{ m}^2 = 394.23 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{\text{superior disponible}} = A_{\text{TOTAL}} - A_{\text{parte superior de la cámara}}$$

$$A_{\text{superior disponible}} = 456.16 - 28.27 \text{ m}^2 = 427.9 \text{ m}^2$$

Como se tienen dos valores de área, se tendrán dos valores de flux, uno para la parte inferior y otro para la parte superior.

$$Flux_{\text{inferior}} = \frac{\text{corriente 4}}{\text{Área transversal inferior}} = \frac{12,123 \text{ m}^3 / d}{394.23 \text{ m}^2} = 30.75 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 d}$$

$$Flux_{\text{superior}} = \frac{\text{corriente 4}}{\text{Área transversal superior}} = \frac{12,123 \text{ m}^3 / d}{427.9 \text{ m}^2} = 28.33 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 d}$$

Los cálculos anteriores nos llevan a que el flux del clarificador circular se encuentra entre estos dos valores:

$$28.33 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 d} < flux < 30.75 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 d}$$

Cálculo del flujo requerido para los límites del flux recomendado en el clarificador:

Con los tiempos de retención recomendados de la literatura⁵ para este tipo de clarificadores se encuentra (1.5 – 2.5 h), se puede calcular el intervalo recomendado para el flux. El clarificador circular tiene un volumen de 1,779.02 m³, con este dato se puede calcular los flujos máximo y mínimo recomendado de acuerdo al intervalo del tiempo de retención:

Tiempo de retención en el clarificador: $1.5 \leq \tau \leq 2.5 \text{ horas}$

$$\tau = 1.5h \quad flujo_{\text{Máximo}} = \frac{1,779.02 \text{ m}^3}{1.5 h} = 1,186.01 \frac{\text{m}^3}{h} \times \frac{24 h}{1 d} = 28,464.3 \frac{\text{m}^3}{d}$$

$$\tau = 2.5h \quad flujo_{\text{Mínimo}} = \frac{1,779.02 \text{ m}^3}{2.5 h} = 711.62 \frac{\text{m}^3}{h} \times \frac{24 h}{1 d} = 17,078.6 \frac{\text{m}^3}{d}$$

Flujo volumétrico en el clarificador: $17,078.6 \frac{m^3}{d} < \text{flujo} < 28,464.3 \frac{m^3}{d}$

Con los valores de los flujos máximo y mínimo recomendados para el clarificador circular y con el área transversal se obtienen los valores del flux.

$$\text{flux} = \frac{\text{flujo volumétrico en el clarificador}}{\text{Área transversal}}$$

El área transversal del clarificador se aproxima como un promedio del área superior e inferior disponibles.

$$\text{Área transversal} = \frac{(A_{\text{inferior disponible}} + A_{\text{superior disponible}})}{2} = \frac{(394.23 + 427.9)}{2} = 411.07 \text{ m}^2$$

$$\text{Flux}_{\text{Máximo}} = \frac{\text{Flujo volumétrico máximo}}{\text{Área transversal}} = \frac{28,464.3 \text{ m}^3 / d}{411.07 \text{ m}^2} = 69.24 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 d}$$

$$\text{Flux}_{\text{Mínimo}} = \frac{\text{Flujo volumétrico mínimo}}{\text{Área transversal}} = \frac{17,078.6 \text{ m}^3 / d}{411.07 \text{ m}^2} = 41.54 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ min}}$$

Flux en el clarificador: $41.54 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ min}} \leq \text{flux} \leq 69.24 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ min}}$

Cálculo de la concentración de sulfato de aluminio en el clarificador:

La concentración del sulfato de aluminio en el clarificador se calcula con el flujo del sulfato de aluminio (datos obtenidos de recopilación de información), el volumen del tanque, suponiendo agitación continua para que la concentración en el tanque sea homogénea:

$$\text{Conc. } Al_2(SO_4)_3 = \frac{\text{Flujo de } Al_2(SO_4)_3}{\text{Flujo en el tanque}} = \frac{310 \text{ kg} / d}{12,123 \text{ m}^3 / d} = 0.0255 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 25.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 25.5 \text{ ppm}$$

El flujo en el tanque corresponde al flujo de la corriente 4.

Cálculo de la remoción de los sólidos suspendidos en el clarificador:

La remoción de sólidos suspendidos esta dada por:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Sólidos suspendidos removidos en el clarificador}}{\text{Sólidos suspendidos que entran al clarificador}} \times 100$$

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{\text{Sólidos suspendidos corriente 4} - \text{Sólidos suspendidos corriente 5}}{\text{Sólidos suspendidos corriente 4}} \right) \times 100$$

Los valores de sólidos suspendidos de las corrientes 4 y 5

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(22 - 10.05)}{22} \times 100 = 54.3 \%$$

II.- FILTRO DE GRAVEDAD FG-001

Cálculo del flux en el filtro:

$$l = \text{largo del filtro} = 10.86 \text{ m}$$

$$w = \text{ancho del filtro} = 5.1 \text{ m}$$

El largo y el ancho del filtro se determinaron en campo, ya que no se contaba con información impresa proporcionada por la Planta química.

$$A_{\text{transversal}} = w \times l \qquad \text{Flujo} = 12,123 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$A_{\text{transversal}} = (10.86 \text{ m})(5.1 \text{ m}) = 55.38 \text{ m}^2$$

$$\text{Flux} = \frac{\text{Flujo}}{A_{\text{transversal}}} = \frac{12,123 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{55.38 \text{ m}^2} = 218.9 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ d}}$$

Se calculó el flujo volumétrico requerido para mantener el flux de diseño en los Filtros FG-001.

$$Flux_{diseño} = 175.92 \frac{m^3}{m^2 d}$$

$$Flux = \frac{flujo}{A_{transversal}}$$

Despejando el flujo de la ecuación anterior obtenemos que:

$$flujo = 175.92 \frac{m^3}{m^2 d} \times 55.38 m^2 = 9,742.45 \frac{m^3}{d}$$

III.- CLARIFICADOR CL-002 B

Cálculo del volumen del clarificador:

$$largo \text{ del clarificador} = 27.74 m$$

$$ancho \text{ del clarificador} = 12.50 m$$

$$altura \text{ del clarificador} = 4.57 m$$

Los valores del largo, ancho y la altura del clarificador, son datos de diseño y fueron corroborados en campo.

$$A_{transversal} = largo \times ancho$$

$$A = (27.74 m)(12.50 m) = 346.75 m^2$$

$$V = A \times h$$

$$V = (346.75 m^2)(4.57 m) = 1,584.6 m^3$$

El área transversal es:

$$A_{transversal} = largo \times ancho = 346.75 m^2$$

Cálculo del flux volumétrico en el clarificador:

$$Flux = \frac{flujo \text{ de la corriente } 11}{Área transversal}$$

El dato de la corriente 11 se tomo de un diagrama de flujo de proceso (DFP) de la Planta.

$$Flux = \frac{22,966 \frac{m^3}{d}}{346.75 m^2} = 66.23 \frac{m^3}{m^2 d}$$

Cálculo del flujo requerido para los límites de flux recomendados en el clarificador:

De igual manera que en el clarificador circular, el libro metcalf⁵ recomienda que el tiempo de retención para este tipo de clarificador se encuentra entre 1.5 – 2.5 horas, con estos valores se puede calcular el intervalo recomendado para el flux. El clarificador rectangular tiene un volumen de 1,585 m³ con lo que se obtiene los flujos máximo y mínimo, recomendados de acuerdo al intervalo del tiempo de retención:

Tiempo de retención en el clarificador: $1.5 \leq \tau \leq 2.5$ horas

$$\tau = \frac{\text{Volumen del clarificador}}{\text{flujo}}$$

Despejando el flujo de la formula anterior obtenemos:

$$\text{flujo} = \frac{\text{Volumen clarificador}}{\tau}$$

$$\tau = 1.5 h \quad \text{flujo}_{\text{Máximo}} = \frac{1,585 m^3}{1.5 h} = 1,056.7 \frac{m^3}{h} \times \frac{24 h}{1 d} = 25,360 \frac{m^3}{d}$$

$$\tau = 2.5 h \quad \text{flujo}_{\text{Mínimo}} = \frac{1,585 m^3}{2.5 h} = 634 \frac{m^3}{h} \times \frac{24 h}{1 d} = 15,216 \frac{m^3}{d}$$

Flujo volumétrico en el clarificador: $15,216 \frac{m^3}{d} < \text{flujo} < 25,360 \frac{m^3}{d}$

Con los valores de los flujos máximo y mínimo recomendados para el clarificador rectangular y con el área transversal calculada anteriormente se obtiene los valores del flux.

$$Flux = \frac{\text{Flujo volumétrico máximo}}{\text{Área transversal}}$$

$$Flux_{\text{Máximo}} = \frac{\text{Flujo volumétrico máximo}}{\text{Área transversal}} = \frac{25,360 \frac{m^3}{d}}{346.75 m^2} = 73.14 \frac{m^3}{m^2 d}$$

$$Flux_{\text{Mínimo}} = \frac{\text{Flujo volumétrico mínimo}}{\text{Área transversal}} = \frac{15,216 \frac{m^3}{d}}{346.75 m^2} = 43.88 \frac{m^3}{m^2 d}$$

Flux en el clarificador:

$$43.88 \frac{m^3}{m^2 d} \leq flux \leq 73.14 \frac{m^3}{m^2 d}$$

Cálculo de la concentración de sulfato de aluminio en el clarificador CL-002 B:

La concentración del sulfato de aluminio en el clarificador se calcula con el flujo del sulfato de aluminio (dato tomado en la etapa de recopilación de información), y el volumen del tanque, suponiendo agitación continua para que la concentración en el tanque sea homogénea:

$$Conc. Al_2(SO_4)_3 = \frac{\text{Flujo de } Al_2(SO_4)_3}{\text{Flujo de la corriente 11}} = \frac{690 \text{ kg} / d}{22,966 m^3 / d} = 0.03 \frac{kg}{m^3} = 30.0 \frac{mg}{L} = 30.0 ppm$$

El flujo de la corriente 11 fue tomado del diagrama de flujo de proceso.

Cálculo de la remoción de los sólidos suspendidos en el clarificador:

La remoción de sólidos suspendidos esta dada por:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Sólidos suspendidos removidos en el clarificador}}{\text{Sólidos suspendidos que entran al clarificador}} \times 100$$

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{\text{Sólidos suspendidos corriente 11} - \text{Sólidos suspendidos corriente 12}}{\text{Sólidos suspendidos corriente 11}} \right) \times 100$$

Los valores de los sólidos suspendidos en las corrientes 11 y 12, fueron tomados del diagrama de flujo de proceso que otorgo la planta en la etapa de recopilación de información.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{22 - 7.26}{22} \times 100 = 67 \%$$

IV.- FILTROS DE GRAVEDAD FG-002:

Cálculo del flux en los filtros de gravedad FG-002

$$A_{\text{transversal}} = 100.33 \text{ m}^2 \qquad \text{Flujo} = 24,287.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{Flux} = \frac{\text{Flujo}}{A_{\text{transversal}}}$$

Sustituyendo:

$$\text{Flux} = \frac{24,287.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{100.33 \text{ m}^2} = 242.08 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ d}}$$

Se calculó el flujo volumétrico requerido para mantener el flux de diseño en los filtros de gravedad FG-002.

$$\text{Flux}_{\text{diseño}} = 175.92 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ d}}$$

$$\text{Flux} = \frac{\text{Flujo}}{\text{Área transversal}}$$

Despejando el flujo de la ecuación anterior obtenemos:

$$\text{Flujo} = \text{Flux} \times \text{Área transversal}$$

$$Flujo = 175.92 \frac{m^3}{m^2 d} \times 100.33 m^2 = 17,650 \frac{m^3}{d}$$

El agua que entra tanto en el clarificador CL-001 B como el clarificador CL-002 B, tiene un pH = 7.9, este valor fue tomado de las corrientes del diagrama de flujo de proceso (DFP), por esta razón se procedió a calcular las concentraciones de ácido sulfúrico y ácido cítrico requeridos para poder bajar el pH del agua (los datos se encuentran en el capítulo IV).

V.- CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ÁCIDO CÍTRICO:

La reacción del H_2SO_4 se lleva a cabo en 2 etapas.



La constante de ionización en función de las concentraciones anteriores tiene un valor de:

$$K_1 = \frac{[SO_4^{2-}][H^+]}{[HSO_4^-]} = 1.2 \times 10^{-2} \quad (3)$$

Con la siguiente ecuación, se obtiene la concentración de ácido sulfúrico que se requiere en función de la concentración de hidrógenos adicionados.

$$[H_2SO_4] = \frac{[H^+]_{adic}^2 + [H^+]_{adic} \times K_1}{[H^+]_{adic} + 2K_1} \quad (4)$$

La concentración de iones H^+ adicionados serán los que se requieren para obtener un pH determinado, por lo consiguiente:

$$[H^+]_{adic} = [H^+]_{Req} - [H^+]_{agua} \quad (5)$$

$$[H^+]_{agua} = 10^{-pH_{agua}} \quad (6)$$

El agua que ingresa a los clarificadores tiene un pH = 7.9 por lo que el pH requerido ecuación (7) se encuentra en el intervalo óptimo para el sulfato de aluminio ($5.5 < \text{pH}_{\text{Req}} < 7.5$).

$$[H^+]_{\text{Req}} = 10^{-\text{pH}_{\text{Req}}} \quad (7)$$

Remplazando las ecuaciones (6) y (7) en (5) se calcula el $[H^+]_{\text{adic}}$ el cual se remplaza en la ecuación (4) para obtener la concentración de H_2SO_4 necesaria para alcanzar el pH requerido. Una vez que se obtiene esta concentración se puede calcular el flujo másico de ácido que se necesita en los clarificadores.

Para el Clarificador CL-001 B se tiene un flujo volumétrico de $12,123 \text{ m}^3/\text{d}$ (dato tomado del diagrama de flujo de proceso).

$$\text{Flujo másico de } \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Concentración } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{Flujo volumétrico corriente 4}$$

Que también es igual a:

$$\text{Flujo másico de } \text{H}_2\text{SO}_4 = [\text{H}_2\text{SO}_4] \times 12,123 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (8)$$

De la misma manera se calcula para el Clarificador CL-002 B, se tiene un flujo volumétrico de $22,966 \text{ m}^3/\text{d}$ (valor tomado del diagrama de flujo de proceso), por lo que:

$$\text{Flujo másico de } \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Concentración } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{Flujo volumétrico corriente 11}$$

Que también es igual a:

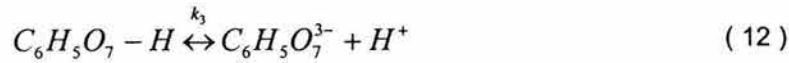
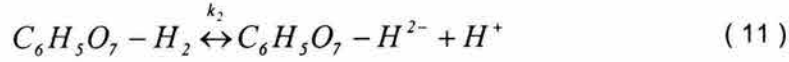
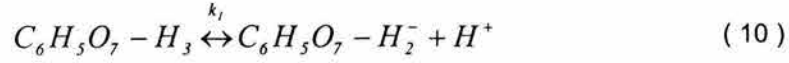
$$\text{Flujo másico de } \text{H}_2\text{SO}_4 = [\text{H}_2\text{SO}_4] \times 22,966 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (9)$$

Con las ecuaciones (8) y (9) se calcularon los valores de ácido sulfúrico que se encuentran en las (tablas 4.32 y 4.33) y con estos datos se obtuvieron las (gráficas 4.1 y 4.2). Además se cálculo el flujo volumétrico necesario de ácido sulfúrico:

$$\text{Flujo volumétrico de } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Flujo másico de } \text{H}_2\text{SO}_4}{\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4}}$$

Donde $\rho_{H_2SO_4}$ es la densidad del ácido sulfúrico y es igual a 1.834 kg/m^3

El ácido cítrico en su forma simplificada ($C_6H_8O_7$), presenta las siguientes reacciones.



Las constantes de disociación K_1 , K_2 y K_3 tienen los siguientes valores:

$$k_1 = \frac{[H^+][C_6H_7O_7 - H_2^-]}{[C_6H_8O_7 - H_3]} = 8.2 \times 10^{-4} = \frac{x_1^2}{[C_i - x_1]} \quad (13)$$

$$k_2 = \frac{[H^+][C_6H_6O_7 - H^{2-}]}{[C_6H_7O_7 - H_2]} = 1.77 \times 10^{-4} = \frac{[x_1 + x_2]x_2}{[x_1 - x_2]} \quad (14)$$

$$k_3 = \frac{[H^+][C_6H_5O_7^{3-}]}{[C_6H_6O_7 - H]} = 3.9 \times 10^{-3} = \frac{[x_1 + x_2 + x_3]x_3}{[x_2 - x_3]} \quad (15)$$

Donde X_1 , X_2 y X_3 son las moles que reaccionan, despejando X_1 , X_2 y X_3 de las ecuaciones (13), (14) y (15) se obtiene:

$$x_1 = \frac{-k_1 + \sqrt{k_1^2 + 4k_1C_i}}{2} \quad (16)$$

$$x_2 = \frac{-x_1 - k_2 + \sqrt{(x_1 + k_2)^2 + 4k_2x_1}}{2} \quad (17)$$

$$x_3 = \frac{(-x_1 - x_2 - k_3) + \sqrt{(x_1 + x_2 + k_3)^2 + 4k_3x_2}}{2} \quad (18)$$

La cantidad de iones hidrógeno que se producen en las reacciones (10), (11) y (12) dan como resultado la totalidad de iones hidrógeno disueltos y por lo tanto la concentración de iones que se adicionan al agua.

$$[H^+] = x_1 + x_2 + x_3 = [H^+]_{adic} \quad (19)$$

Esta concentración de iones hidrógeno que se adiciona, mas la concentración que se encuentra presente en el agua será la concentración total de iones hidrógeno presentes.

$$[H^+]_{Total} = [H^+]_{adic} + [H^+]_{agua} \quad (20)$$

La concentración de iones hidrógeno en el agua se calcula con la ecuación (6), una vez obtenida la concentración total se procede al cálculo del pH en los clarificadores, estos datos están en función de la concentración inicial del ácido cítrico, por lo que se fijaron concentraciones de dicho ácido y se obtuvieron valores de pH con el intervalo recomendado ($5.5 < \text{pH} < 7.5$). Una vez obtenidas las concentraciones se calcula el flujo másico de ácido necesario en los clarificadores. Para el Clarificador CL-001 B se tiene un flujo volumétrico de $12,123 \text{ m}^3/\text{d}$ (dato tomado del diagrama de flujo de proceso).

$$\text{Flujo másico de } C_6H_8O_7 = \text{Concentración } C_6H_8O_7 \times \text{Flujo volumétrico corriente 4}$$

Que es igual a:

$$\text{Flujo másico de } C_6H_8O_7 = [C_6H_8O_7] \times 12,123 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (21)$$

De la misma manera se calcula para el Clarificador CL-002 B, se tiene un flujo volumétrico de $22,966 \text{ m}^3/\text{d}$ (valor tomado del diagrama de flujo de proceso), por lo que:

$$\text{Flujo másico de } C_6H_8O_7 = \text{Concentración } C_6H_8O_7 \times \text{Flujo volumétrico corriente 11}$$

Que es igual a:

$$\text{Flujo másico de } C_6H_8O_7 = [C_6H_8O_7] \times 22,966 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (22)$$

Con las ecuaciones (21) y (22) se calcularon los valores de flujo de ácido cítrico para los clarificadores y se encuentran en las (tablas 4.34 y 4.35) y en las (gráficas 4.1 y 4.2), respectivamente.

APÉNDICES

PROVISIONES

Se detalla una lista de las provisiones mas importantes que se requieren para desarrollar el muestreo de agua en campo. Cabe mencionar que algunas provisiones pueden cambiar dependiendo del tipo de agua y del sitio a donde se va a muestrear.

- Libreta de campo
- Plumas marcadores con tinta indeleble, lápices y masking tape
- Formas de anotación para fotos, para datos de campo y para formatos de custodia
- Botiquín de primeros auxilios
- Lentes y zapatos de seguridad
- Guantes de cuero
- Caja con herramientas básicas
- Cinta para medir
- Linterna con pilas extras
- Uniforme y casco liviano
- Cuerda
- Cámara fotográfica con rollos extras
- Cronometro
- Calculadora
- Termómetros
- Medidor de pH, buffers y papel indicador de pH
- Copias de los manuales de fabricación del equipo para campo
- Medidor de flujo y varilla
- Frascos de vidrio (de 1 Litro)
- Chaleco salvavidas
- Bolsas de hielo
- Tapas recubiertas con teflón (para Radón y orgánicos volátiles)
- Tiosulfato de sodio
- Preservadores (HNO_3 , HCl , H_2SO_4 , HgCl_2)
- Frasco de vidrio (Radón y orgánicos volátiles)
- Botella de vidrio ámbar
- Ácido sulfúrico concentrado (para fenoles, grasas y aceites)
- Botella de plástico con tapa de rosca para metales
- Ácido ascórbico y lentejas de hidróxido de sodio para (cianuros)
- Guantes de látex descontaminados

Apéndice I

- Agua de llave
- Agua deionizada y esterilizada
- Rollo de papel aluminio
- Bolsas de plástico con sellado
- Bolsas de whirl-pak esterilizadas (para coniformes fecales)
- Detergente sin fosfatos
- Jabón antibacteriano

Apéndice II

Los formatos I y II son utilizados generalmente por los laboratorios que se encargan de muestrear en campo y sirven para tener un control de las muestras, así como, de los sitios de muestreo.

FORMATO I

LOGOTIPO DEL LABORATORIO	MUESTREO DE AGUA	Hoja 1 de 2																
I. INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO																		
Empresa: _____																		
Dirección: _____																		
Teléfono: _____																		
Responsable del establecimiento: _____																		
Actividad del establecimiento: _____																		
II. IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO																		
Fecha del muestreo: _____ Hora del muestreo: _____																		
Punto de muestreo: _____																		
Descripción detallada del punto de muestreo y croquis de localización: _____																		
CROQUIS																		
III. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO																		
No. de serie del equipo empleado: _____																		
Valor de pH de la muestra con papel indicador: _____																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th style="width: 25%;">Solución de referencia</th><th style="width: 25%;">Lectura inicial</th><th style="width: 25%;">Lectura después de ajustar el equipo</th><th style="width: 25%;">Temperatura de la solución</th></tr></thead><tbody><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></tbody></table>			Solución de referencia	Lectura inicial	Lectura después de ajustar el equipo	Temperatura de la solución												
Solución de referencia	Lectura inicial	Lectura después de ajustar el equipo	Temperatura de la solución															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;">RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO</td><td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;">RESPONSABLE DEL MUESTREO</td><td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;">RESPONSABLE DEL TRANSPORTE DE LA MUESTRA AL LABORATORIO</td></tr><tr><td style="height: 40px;"> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td style="text-align: center;">Nombre y firma</td><td style="text-align: center;">Nombre y firma</td><td style="text-align: center;">Nombre y firma</td></tr></table>			RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO	RESPONSABLE DEL MUESTREO	RESPONSABLE DEL TRANSPORTE DE LA MUESTRA AL LABORATORIO				Nombre y firma	Nombre y firma	Nombre y firma							
RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO	RESPONSABLE DEL MUESTREO	RESPONSABLE DEL TRANSPORTE DE LA MUESTRA AL LABORATORIO																
Nombre y firma	Nombre y firma	Nombre y firma																
Dirección del laboratorio																		

FORMATO II

LOGOTIPO DEL
LABORATORIO

MUESTREO DE AGUA

Hoja 2 de 2

IV. DATOS DE CAMPO

Fecha	Hora de muestreo	Temperatura (°C)	PH	Materia flotante	Gasto (L/min)	Olor	Color

Materia flotante:	Ausente () Presente ()	Conductividad (µmhos)	
-------------------	-----------------------------	-----------------------	--

V. MEDICIÓN DEL GASTO VOLUMETRICO

Dimensiones del ducto

Diámetro (D): _____ m

Radio (r): _____ m

Método volumétrico: _____

Fecha	Hora	Aforo (mL)	Tiempo (seg)	Gasto volumetrico(L/s)

VI. PREPARACION DE LA MUESTRA COMPUESTA

Fecha	Hora	Gasto Qi (L/s)	Fracción Prop. $X_i = Q_i / \sum Q_i$	% Dist. Para la muestra comp.	Vol. (mL) requerido para ____ L de mtra c.

VI. OBSERVACIONES: _____

Dirección del laboratorio

[illegible]

PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR CONTAMINANTES COMUNES

A continuación se describe de una manera sencilla la forma de coleccionar y manejar los tipos de muestra más comunes que existen en el muestreo de agua, cabe mencionar que dependiendo de las características de la calidad del agua a analizar los procedimientos cambian, por esta razón se debe consultar al laboratorio encargado de analizar las muestras de agua.

Metales

- Si son metales disueltos los que se van a analizar filtrar la muestra utilizando un filtro de cápsula.
- Llenar una botella de plástico de 1 L etiquetándola bien y evitando aereación.
- Agregar ácido nítrico para reducir el pH debajo de 2, cuando se maneje el ácido utilizar lentes y guantes de seguridad.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Llenar frascos adicionales para los blancos de equipo y campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta que se realice su análisis.
- Analizar la muestra antes de 6 meses.

Nitratos

- Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
- Agregar ácido sulfúrico (2 mL de H_2SO_4 por litro de muestra) usar guantes y lentes de seguridad cuando se maneje ácido.
- Tapar con tapa y contratapa .
- Llenar un frasco de 250 mL, para el análisis de los blancos de equipo y campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar esta muestra antes de los 14 días.

Cloruros

- Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Llenar un frasco de 250 mL, para analizar los blancos de equipo y campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de cumplir las 72 horas.

pH (potencial de hidrógeno)

- El pH de la muestra se debe determinar de inmediato en un frasco de vidrio o de polietileno de 500 mL.

Apéndice III

Conductividad eléctrica

- Llenar una botella de polietileno de 250 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Llenar una botella de polietileno de 250 mL para los blancos de equipo y campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar la muestra antes de 28 días.

Grasas y aceites

- Llenar una botella de vidrio de boca ancha y tapón esmerilado.
- Adicionar HCl hasta llegar a un pH = 2
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar la muestra antes de cumplir 28 días.

Sólidos sedimentables

- Llenar una botella de polietileno de 1000 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Llenar un frasco de 500 mL para los blancos de campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar la muestra antes de cumplir 14 días.

Nitrógeno total

- Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
- Adicionar 0.8 mL de H₂SO₄ concentrado por litro.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar la muestra antes de los 14 días.

Fosfatos

- Llenar una botella de polietileno de 100 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 48 horas.

Color

- Llenar una botella de vidrio o polietileno de 100 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 48 horas.

Fenoles

- Llenar un frasco de polietileno de 500 mL.
- Agregar ácido fosforico hasta un pH = 4
- Adicionar 1 gramo de $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ por cada litro de agua.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 48 horas.

Materia flotante

- La materia flotante se debe determinar de inmediato en el sitio de muestreo mediante la separación de esta en una malla de 3 mm de abertura.

Demanda química de oxígeno

- Llenar una botella de vidrio de 300 mL.
- Añadir H_2SO_4 concentrado hasta un pH < 2
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Demanda bioquímica de oxígeno

- Llenar una botella de 300 mL con tapa esmerilada.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Boro

- Llenar una botella de 100 mL de polietileno.
- Adicionar HNO_3 hasta obtener un pH < 2
- Tapar con tapa y contratapa el frasco.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 6 meses.

Sulfatos

- Llenar una botella de polietileno de 250 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Apéndice III

Sulfuros

- Llenar una botella de polietileno de 100 mL.
- Adicionar 4 gotas de acetato de zinc 2N.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 48 días.

Fluoruros

- Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Carbonatos y bicarbonatos

- Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 48 días.

Coliformes

- Llenar una botella de vidrio esterilizado de 125 mL.
- Tapar inmediatamente.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 24 horas.

Cianuros

- Llenar un frasco de polietileno de 500 mL.
- Tapar con tapa y contratapa el frasco.
- Llenar un frasco de 250 mL para los blancos de equipo y campo.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes e 48 horas.

Alcalinidad y acidez

- Llenar completamente una botella de vidrio de 200 mL.
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Fluoruros

- Llenar un frasco de polietileno en 500 mL.
- Llenar un frasco de 250 mL para los blancos de equipo y campo.
- Tapar con tapa y contratapa el frasco.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Oxígeno disuelto

- Llenar hasta el tope una botella de 300 mL de vidrio con tapón esmerilado.
- Añadir 2 mL de sulfato de manganeso, 2 mL de alcali-yoduro-nitrato, agitar y adicionar ácido sulfúrico concentrado y agitar.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 28 días.

Dureza

- Llenar una botella de vidrio o polietileno de 500 mL.
- Acidificar la muestra con HNO_3 hasta un $\text{pH} < 2$
- Tapar con tapa y contratapa.
- Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
- Analizar antes de 6 meses.

Las muestras adicionales tomadas, se usarán para verificar la calidad de descontaminación, colecta, procedimientos de manejo y para verificar que no se haya alterado y afectado la calidad de la muestra del agua. El número, tipo y el manejo de las muestras deben ser claramente especificadas en el plan de muestreo.

Los blancos de equipo, consiste de envases llenos con el agua final del enjuague de la descontaminación de los equipos. Una vez, analizados estos muestran la efectividad de la limpieza de los equipos de campo. Colectar los blancos de equipo, después del muestreo del agua con la contaminación mas alta presentada. Uno por día del muestreo será suficiente.

Los blancos de campo son envases de agua deionizada que se llenan en la estación de muestreo, se etiquetan, empaquetan, sellan y se envían al laboratorio con las otras muestras. Se usan los blancos de campo para investigar la contaminación en el laboratorio, durante la colecta y envío de las muestras. Para el laboratorio será necesario un blanco de campo por cada día de muestreo.

Apéndice IV

El formato IV (levantamiento de equipos) es utilizado en los recorridos en campo y sirve para documentar e identificar minuciosamente los equipos, así como, desarrollar una evaluación y descripción física del estado de los mismos.

FORMATO IV

LOGOTIPO DE LA EMPRESA	NOMBRE DEL PROYECTO	
	FECHA:	ELABORÓ:
	NOMBRE DEL EQUIPO:	
CLIENTE:		TAG:
LUGAR:		CANTIDAD:
SERVICIO:		TIPO:
LOCALIZACIÓN:		FABRICANTE:
LEVANTAMIENTO EN CAMPO:		
Corrientes de entrada: _____		PRESENTAN CORROSIÓN:
Corrientes de salida: _____		Tuberías: _____ Válvulas: _____
TAG: SI: _____ NO: _____		Bridas: _____ Conexiones: _____
Información disponible en TAG: _____		Otros: _____ Especifique: _____
APARIENCIA FÍSICA:		PRESENTAN OXIDACIÓN:
Paredes limpias: SI _____ NO _____		Tuberías: _____ Válvulas: _____
Deterioro en paredes: SI _____ NO _____		Bridas: _____ Conexiones: _____
Incrustación en paredes: SI _____ NO _____		Otros: _____ Especifique: _____
Paredes cuarteadas: SI _____ NO _____		FUGAS EN:
Crecimiento biológico o maleza: SI _____ NO _____		Tuberías: _____ Válvulas: _____
Barandales en buen estado: SI _____ NO _____		Bridas: _____ Conexiones: _____
Escaleras en buen estado: SI _____ NO _____		Otros: _____ Especifique: _____
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:		CONDICIONES DE PINTURA EN:
Presión: _____		Tuberías: _____ Válvulas: _____
Temperatura: _____		Bridas: _____ Conexiones: _____
CONTAMINACIÓN EXTERNA:		Otros: _____ Especifique: _____
Basura: _____ Otras: _____		SEÑALIZACIÓN DE COLORES: SI _____ NO _____
Aceite: _____		LETREROS DE SEGURIDAD: SI _____ NO _____
Especifique: _____		FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS: SI _____ NO _____
PRÁCTICA OPERATIVA:		CONEXIÓN A DRENAJES:
		TIPO: _____ No. _____
CARACTERÍSTICAS ADICIONALES		OBSERVACIONES

Apéndice IV

El formato V (levantamiento fotográfico) sirve básicamente para documentar con fotografías los sitios donde se llevaran acabo las campañas de muestreo y de igual manera para observar, ubicar y documentar el estado físico de los equipos.

FORMATO V

LOGOTIPO DE LA EMPRESA	NOMBRE DEL PROYECTO	
	FECHA:	ELABORÓ:
	NOMBRE DEL EQUIPO O SITIO FOTOGRAFIADO:	
UBICACIÓN: EQUIPO:		
Espacio disponible para la fotografía		

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- GARCÍA GARRIDO, J. 1999. "Agua para la industria", Departamento de Ingeniería Química. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- 2.- SKOOG DOUGLAS, A. 1989. "Química analítica". Madrid, McGraw-Hill.
- 3.- KEMMER, Frank N. 1989. "Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones". México, McGraw-Hill. Tomo I y II.
- 4.- SHEPPART T, Poweell. 1970. "Acondicionamiento de aguas para la industria". México, Limusa-Wiley S.A.
- 5.- Metcalf y Eddy, 1991. "Tratamiento de las aguas residuales". España, Labor S.A.
- 6.- GERMAINS, L. 1982. "Tratamiento de las aguas potables e industriales, alimentación de calderas de vapor y circuitos de refrigeración". Barcelona, Omega S.A.
- 7.- EZQUEL, Nordell. "Tratamiento de agua para la industria y otros usos". México D.F, Continental.
- 8.- DEGREMONT. 1979. "Water treatment handbook". New York, Halsted Press.
- 9.- MASKEW FAIR, Gordon. 1996. "Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales Volumen 1 y 2". México, Limusa.
- 10.- 1998. "Manual de tratamiento de aguas". México, Limusa.
- 11.- WINKLER A, Michael. "Tratamiento biológico de aguas de desecho". México, Limusa.

Bibliografía

12.- 1996. "Manual de tratamiento de aguas negras". México, Limusa.

13.- WILLIAM, See. 1989. "Química". México, Prentice- may.

14.- KEENAM, Kleinfelter y Word. 1987 "Química general universitaria". México, CECSA.

15.- RONALD, L Droste. 1979 "Theory and practice of water and wastewater treatmen". John Wiley & Sons.

16.- NOM – 001 – ECOL – 1996 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales".

17.- NOM – 002 ECOL – 1996 "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal".

18.- NOM – 003 –ECOL – 1997 "Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público".

19.- NOM – 052 – ECOL / 93 "Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente".

20.- NOM – 053 – ECOL / 93 "Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente".

21.- NOM – 127 – SSA1 – 1994 "Salud ambiental, agua para uso y consume humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".