

OS.020
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETIVO	2
2. ALCANCE	2
3. DEFINICIONES	2
4. DISPOSICIONES GENERALES	4
4.1 OBJETIVO DEL TRATAMIENTO	4
4.2 GENERALIDADES	4
4.3 DETERMINACION DEL GRADO DE TRATAMIENTO	9
4.4 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD	11
4.5 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE INGENIERIA BASICA	12
5. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS	13
5.1. GENERALIDADES	13
5.2 PRETRATAMIENTO	15
5.3 AERADORES	17
5.4 SEDIMENTADORES SIN COAGULACION PREVIA	18
5.5 PREFILTROS DE GRAVA	18
5.6 FILTROS LENTOS DE ARENA	20
5.7 COAGULANTES Y SUSTANCIAS QUIMICA	23
5.8 MEZCLA RAPIDA	26
5.9 FLOCULACION	28
5.10 SEDIMENTACION CON FLOCULACION PREVIA	30
5.11 FILTRACION RAPIDA	38
5.12 DESINFECCION	48
5.13 CONTROLES DE PLANTA FLOCULACION PREVIA	50

OS.020
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

1. OBJETIVO

El objeto de la norma es, el de establecer criterios básicos de diseño para el desarrollo de proyectos de plantas de tratamiento de agua para consumo humano.

2. ALCANCE

La presente norma es de aplicación a nivel nacional.

3. DEFINICIONES

Los términos empleados en esta norma tienen el significado que se expresa:

3.1 ABSORCIÓN

Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

3.2 ADSORCIÓN

Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

3.3 AFLUENTE

Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.

3.4 AGUA POTABLE

Agua apta para el consumo humano.

3.5 ALGICIDA

Compuesto químico utilizado para controlar las algas y prevenir cambios en el olor del agua, debido al crecimiento desmedido de ciertos tipos microscópicos de algas.

3.6 BOLAS DE LODO

Resultado final de la aglomeración de granos de arena y lodo en un lecho filtrante, como consecuencia de un lavado defectuoso o insuficiente.

3.7 CAJA DE FILTRO

Estructura dentro de la cual se emplaza la capa soporte y el medio filtrante, el sistema de drenaje, el sistema colector del agua de lavado, etc.

3.8 CARGA NEGATIVA O COLUMNA DE AGUA NEGATIVA

Pérdida de carga que ocurre cuando la pérdida de carga por colmatación de los filtros supera la presión hidrostática y crea un vacío parcial.

3.9 CARRERA DE FILTRO

Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo. Generalmente se expresa en horas.

3.10 CLARIFICACIÓN POR CONTACTO

Proceso en el que la floculación y la decantación, y a veces también la mezcla rápida, se realizan en conjunto, aprovechando los flóculos ya formados y el paso del agua a través de un manto de lodos.

3.11 COAGULACIÓN

Proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en una suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador.

3.12 COLMATACIÓN DEL FILTRO

Efecto producido por la acción de las partículas finas que llenan los intersticios del medio filtrante de un filtro o también por el crecimiento biológico que retarda el paso normal del agua.

3.13 EFLUENTE

Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.

3.14 FILTRACIÓN

Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores.

3.15 FLOCULACIÓN

Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación.

3.16 FLOCULADOR

Estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que decanten con rapidez y que sean resistentes a los esfuerzos cortantes que se generan en el lecho filtrante.

3.17 FLÓCULOS

Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.

3.18 LEVANTAMIENTO SANITARIO

Evaluación de fuentes de contaminación existentes y potenciales, en términos de cantidad y calidad, del área de aporte de la cuenca aguas arriba del punto de captación.

3.19 MEDIDOR DE PÉRDIDA DE CARGA O COLUMNA DE AGUA DISPONIBLE

Dispositivo de los filtros que indica la carga consumida o la columna de agua disponible durante la operación de los filtros.

3.20 MEZCLA RÁPIDA

Mecanismo por el cual se debe obtener una distribución instantánea y uniforme del coagulante aplicado al agua.

3.21 PANTALLAS (BAFFLES O PLACAS)

Paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación o sedimentación para

dirigir el sentido del flujo, evitar la formación de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos.

3.22 PARTÍCULAS DISCRETAS

Partículas en suspensión que al sedimentar no cambian de forma, tamaño ni peso.

3.23 PARTÍCULAS FLOCULENTAS

Partículas en suspensión que al descender en la masa de agua, se adhieren o aglutinan entre sí y cambian de tamaño, forma y peso específico.

3.24 PRESEDIMENTADORES

Unidad de sedimentación natural (sin aplicación de sustancias químicas) cuyo propósito es remover partículas de tamaño mayor a 1 μ .

3.25 SEDIMENTACIÓN

Proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad.

3.26 TASA DE APLICACIÓN SUPERFICIAL

Caudal de agua aplicado por unidad de superficie.

3.27 TASA CONSTANTE DE FILTRACIÓN

Condición de operación de un filtro en la que se obliga a éste a operar a un mismo caudal a pesar de la reducción de la capacidad del filtro por efecto de la colmatación.

3.28 TASA DECLINANTE DE FILTRACIÓN

Condición de operación de un filtro en el que la velocidad de filtración decrece a medida que se colmata el filtro.

3.29 TRATAMIENTO DE AGUA

Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano.

3.30 TURBIEDAD DE ORIGEN COLOIDAL

Turbiedad medida en una muestra de agua luego de un período de 24 horas de sedimentación.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 OBJETIVO DEL TRATAMIENTO

El objetivo del tratamiento es la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua de bebida hasta los límites establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país.

4.2 GENERALIDADES

4.2.1 Alcance

Esta norma establece las condiciones que se deben exigir en la elaboración de proyectos de plantas de tratamiento de agua potable de los sistemas de abastecimiento público.

4.2.2 Requisitos

4.2.2.1 Tratamiento

Deberán someterse a tratamiento las aguas destinadas al consumo humano que no cumplan con los requisitos del agua potable establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país.

En el tratamiento del agua no se podrá emplear sustancias capaces de producir un efluente con efectos adversos a la salud.

4.2.2.2 Calidad del agua potable

Las aguas tratadas deberán cumplir con los requisitos establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país.

4.2.2.3 Ubicación

La planta debe estar localizada en un punto de fácil acceso en cualquier época del año.

Para la ubicación de la planta, debe elegirse una zona de bajo riesgo sísmico, no inundable, por encima del nivel de máxima creciente del curso de agua.

En la selección del lugar, se debe tener en cuenta la factibilidad de construcción o disponibilidad de vías de acceso, las facilidades de aprovisionamiento de energía eléctrica, las disposiciones relativas a la fuente y al centro de consumo, el cuerpo receptor de descargas de agua y la disposición de las descargas de lodos. Se debe dar particular atención a la naturaleza del suelo a fin de prevenir problemas de cimentación y construcción, y ofrecer la posibilidad de situar las unidades encima del nivel máximo de agua en el subsuelo.

No existiendo terreno libre de inundaciones, se exigirá por lo menos, que:

Los bordes de las unidades y los pisos de los ambientes donde se efectuará el almacenamiento de productos químicos, o donde se localizarán las unidades básicas para el funcionamiento de la planta, estén situados por lo menos a 1 m por encima del nivel máximo de creciente.

La estabilidad de la construcción será estudiada teniendo en cuenta lo estipulado en la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.

Las descargas de aguas residuales de los procesos de tratamiento (aguas de limpieza de unidades, aguas de lavado de filtros, etc.), de la planta, deberá considerarse en el proyecto, bajo cualquier condición de nivel de crecida.

4.2.2.4 Capacidad

La capacidad de la planta debe ser la suficiente para satisfacer el gasto del día de máximo consumo correspondiente al período de diseño adoptado.

Se aceptarán otros valores al considerar, en conjunto, el sistema planta de tratamiento, tanques de regulación, siempre que un estudio económico para el periodo de diseño adoptado lo justifique.

En los proyectos deberá considerarse una capacidad adicional que no excederá el 5% para compensar gastos de agua de lavado de los filtros, pérdidas en la remoción de lodos, etc.

4.2.2.5 Acceso

- (a) El acceso a la planta debe garantizar el tránsito permanente de los vehículos que transporten los productos químicos necesarios para el tratamiento del agua.
- (b) En el caso de una planta en que el consumo diario global de productos químicos exceda de 500 Kg, la base de la superficie de rodadura del acceso debe admitir, por lo menos, una carga de 10 t por eje, es decir 5 t por rueda, y tener las siguientes características:
 - Ancho mínimo : 6 m
 - Pendiente máxima : 10%
 - Radio mínimo de curvas : 30 m
- (c) En el caso de que la planta esté ubicada en zonas inundables, el acceso debe ser previsto en forma compatible con el lugar, de modo que permita en cualquier época del año, el transporte y el abastecimiento de productos químicos.

4.2.2.6 Área

- (a) El área mínima reservada para la planta debe ser la necesaria para permitir su emplazamiento, ampliaciones futuras y la construcción de todas las obras indispensables para su funcionamiento, tales como portería, estaciones de bombeo, casa de fuerza, reservorios, conducciones, áreas y edificios para almacenamiento, talleres de mantenimiento, patios para estacionamiento, descarga y maniobra de vehículos y vías para el tránsito de vehículos y peatones.
- (b) El área prevista para la disposición del lodo de la planta no forma parte del área a la que se refiere el párrafo anterior.
- (c) Cuando sean previstas residencias para el personal, éstas deben situarse fuera del área reservada exclusivamente para las instalaciones con acceso independiente.
- (d) Toda el área de la planta deberá estar cercada para impedir el acceso de personas extrañas. Las medidas de seguridad

deberán ser previstas en relación al tamaño de la planta.

4.2.2.7 Construcción por etapas

Las etapas de ejecución de las obras de construcción en los proyectos que consideren fraccionamiento de ejecución, deberá ser, por lo menos, igual a la mitad de la capacidad nominal, y no mayores de 10 años.

4.2.3 Definición de los procesos de tratamiento

4.2.3.1 Deberá efectuarse un levantamiento sanitario de la cuenca

4.2.3.2 Para fines de esta norma, se debe considerar los siguientes tipos de aguas naturales para abastecimiento público.

Tipo I: Aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas, con características básicas definidas en el cuadro 1 y demás características que satisfagan los patrones de potabilidad.

Tipo II-A: Aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas, con características básicas definidas en el cuadro 1 y que cumplan los patrones de potabilidad mediante un proceso de tratamiento que no exija coagulación.

Tipo II-B: Aguas superficiales provenientes de cuencas, con características básicas definidas en el cuadro 1 y que exijan coagulación para poder cumplir con los patrones de potabilidad.

Cuadro 1

Parámetro	TIPO I	TIPO II - A	TIPO II - B
DBO _{media} (mg/L)	0 - 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 5
DBO _{máxima} (mg/L)	3	4	5
* Coliformes totales	< 8,8	< 3000	< 20000
* Coliformes termoresistentes (+)	0	< 500	< 4000

* En el 80% de un número mínimo de 5 muestras mensuales.
(+) Anteriormente denominados coliformes fecales.

4.2.3.3 El tratamiento mínimo para cada tipo de agua es el siguiente:

Tipo I: Desinfección
Tipo II-A: Desinfección y además:

(a) Decantación simple para aguas que contienen sólidos

sedimentables, cuando por medio de este proceso sus características cumplen los patrones de potabilidad, o

- (b) Filtración, precedida o no de decantación para aguas cuya turbiedad natural, medida a la entrada del filtro lento, es siempre inferior a 40 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), siempre que sea de origen coloidal, y el color permanente siempre sea inferior a 40 unidades de color verdadero, referidas al patrón de platino cobalto.

Tipo II-B: Coagulación, seguida o no de decantación, filtración en filtros rápidos y desinfección.

4.2.4 Disposición de las unidades de tratamiento y de los sistemas de conexión.

4.2.4.1 Las unidades deben ser dispuestas de modo que permitan el flujo del agua por gravedad, desde el lugar de llegada del agua cruda a la planta, hasta el punto de salida del agua tratada.

4.2.4.2 Cualquier unidad de un conjunto agrupado en paralelo debe tener un dispositivo de aislamiento que permita flexibilidad en la operación y mantenimiento.

No se permitirá diseños con una sola unidad por proceso. Podrá exceptuarse de esta restricción los procesos de mezcla rápida y floculación.

4.2.4.3 El número de unidades en paralelo deberá calcularse teniendo en cuenta la sobrecarga en cada una de las restantes, cuando una de ellas quede fuera de operación.

4.2.4.4 Las edificaciones del centro de operaciones deben estar situadas próximas a las unidades sujetas a su control.

4.2.4.5 El acceso a las diferentes áreas de operación o de observación del desarrollo de los procesos debe evitar al máximo escaleras o rampas pronunciadas. Estos deberán permitir el rápido y fácil acceso a cada una de las unidades.

4.2.4.6 El proyecto debe permitir que la planta pueda ser construida por etapas, sin que sean necesarias obras provisionales de interconexión y sin que ocurra la paralización del funcionamiento de la parte inicialmente construida.

4.2.4.7 La conveniencia de la ejecución por etapas se debe fijar, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos y financieros.

4.2.4.8 El dimensionamiento hidráulico debe considerar caudales mínimos y máximos para los cuales la planta podría operar, teniendo en cuenta la división en etapas y la posibilidad de admitir sobrecargas.

4.3 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE TRATAMIENTO

4.3.1 Alcance

Establece los factores que se deberán considerar para determinar el grado de tratamiento del agua para consumo humano.

4.3.2 Estudio del agua cruda

Para el análisis de las características del agua cruda se deberán tomar en cuenta los siguientes factores:

4.2.4.9 Estudio de la cuenca en el punto considerado, con la apreciación de los usos industriales y agrícolas que puedan afectar la cantidad o calidad del agua.

4.2.4.10 Usos previstos de la cuenca en el futuro, de acuerdo a regulaciones de la entidad competente.

4.2.4.11 Régimen del curso de agua en diferentes períodos del año.

4.2.4.12 Aportes a la cuenca e importancia de los mismos, que permita realizar el balance hídrico.

4.3.3 Plan de muestreo y ensayos.

Se debe tener un registro completo del comportamiento de la calidad del agua cruda para proceder a la determinación del grado de tratamiento. Este registro debe corresponder a por lo menos un ciclo hidrológico.

La extracción de muestras y los ensayos a realizarse se harán según las normas correspondientes (métodos estándar para el análisis de aguas de la AWWA de los Estados Unidos). Será responsabilidad de la empresa prestadora del servicio el contar con este registro de calidad de agua cruda y de sus potenciales fuentes de abastecimiento.

4.3.4 Factores de diseño

En la elección del emplazamiento de toma y planta, además de los ya considerados respecto a la cantidad y calidad del agua, también se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- a. Estudio de suelos.
- b. Topografía de las áreas de emplazamiento.
- c. Facilidades de acceso.
- d. Disponibilidad de energía.
- e. Facilidades de tratamiento y disposición final de aguas de lavado y lodos producidos en la planta.

4.3.5 Factores fisicoquímicos y microbiológicos

Los factores fisicoquímicos y microbiológicos a considerar son:

- a. Turbiedad
- b. Color
- c. Alcalinidad
- d. pH
- e. Dureza
- f. Coliformes totales
- g. Coliformes Fecales
- h. Sulfatos
- i. Nitratos
- j. Nitritos
- k. Metales pesados
- l. Otros que se identificarán en el levantamiento sanitario (art. 4.2.4.1).

4.3.6 Tipos de planta a considerar

Dependiendo de las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas como meta de calidad del efluente de la planta, el ingeniero proyectista deberá elegir el tratamiento más económico con sus costos capitalizados de inversión, operación y mantenimiento. Se establecerá el costo por metro cúbico de agua tratada y se evaluará su impacto en la tarifa del servicio.

4.3.7 Para la eliminación de partículas por medios físicos, pueden emplearse todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento:

- a. Desarenadores
- b. Sedimentadores
- c. Prefiltros de grava
- d. Filtros lentos.

4.3.8 Para la eliminación de partículas mediante tratamiento fisicoquímico, pueden emplearse todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento:

- a. Desarenadores
- b. Mezcladores
- c. Floculadores o acondicionadores del floculo
- d. Decantadores y
- e. Filtros rápidos.

4.3.9 Con cualquier tipo de tratamiento deberá considerarse la desinfección de las aguas como proceso terminal.

4.3.10 Una vez determinadas las condiciones del agua cruda y el grado de tratamiento requerido, el diseño debe efectuarse de acuerdo con las siguientes etapas:

4.3.10.1 Estudio de factibilidad, el mismo que tiene los siguientes componentes:

- a. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del curso de agua.
- b. Inventario de usos y vertimientos.
- c. Determinación de las variaciones de caudales de la fuente.
- d. Selección de los procesos de tratamiento y sus parámetros de diseño.
- e. Predimensionamiento de las alternativas de tratamiento.
- f. Disponibilidad del terreno para la planta de tratamiento.
- g. Factibilidad técnico-económica de las alternativas y selección de la alternativa más favorable.

4.3.10.2 Diseño definitivo de la planta, que comprende

- a. Dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la planta.
- b. Diseños hidráulico-sanitarios.
- c. Diseños estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos.
- d. Planos y memoria técnica del proyecto.
- e. Presupuesto referencial.
- f. Especificaciones técnicas para la construcción.
- g. Manual de puesta en marcha y procedimientos de operación y mantenimiento.

4.3.11 Según el tamaño e importancia de la instalación que se va a diseñar se podrán combinar las dos etapas de diseño mencionadas.

4.4 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

4.4.1 Los estudios de factibilidad técnico económica son de carácter obligatorio.

4.4.2 El diseño preliminar deberá basarse en registros de calidad de agua de, por lo menos, un ciclo hidrológico. En caso de que dichos registros no existan, el diseño se basará en el estudio de los meses más críticos, es decir, en los meses más lluviosos, según las características de la cuenca.

4.4.3 Con la información recolectada se procederá a determinar las bases del diseño de la planta de tratamiento de agua. Para el efecto, se considerará un horizonte de diseño entre 10 y 20 años, el mismo que será debidamente justificado con base al cálculo del periodo óptimo de diseño. Las bases del diseño consisten en determinar para las condiciones actuales, futuras (final del período de diseño) e intermedias (cada cinco años) los valores de los siguientes parámetros:

- a. Población total y servida por el sistema
- b. Caudales promedio y máximo diario.

4.4.4 Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a seleccionar los procesos de tratamiento que se adecuen a la calidad de la fuente en estudio. Se tendrá especial consideración a la remoción de microorganismos del agua. Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad y se reducirá al mínimo la mecanización y automatización de las unidades a fin de evitar al máximo la importación de partes y equipo.

- 4.4.5** Una vez seleccionados los procesos de tratamiento para el agua cruda, se procederá al predimensionamiento de alternativas, utilizando los parámetros de diseño específicos para la calidad de agua a tratar, determinados a nivel de laboratorio o de planta piloto, dependiendo de la capacidad de la instalación. En esta etapa se determinará el número de unidades de los procesos a ser construidas en las diferentes fases de implementación y otras instalaciones de la planta de tratamiento, como tuberías, canales de interconexión, edificaciones para operación y control, arreglos exteriores, etc. De igual forma, se determinarán rubros de operación y mantenimiento, como consumo de energía y personal necesario para las diferentes fases.
- 4.4.6** En el estudio de factibilidad técnico-económica se analizarán las diferentes alternativas en relación al tipo de tecnología, necesidad de personal especializado para la operación, confiabilidad en condiciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. Para el análisis económico se considerarán los costos directos, indirectos, de operación y de mantenimiento de las alternativas, para analizarlos de acuerdo a un método de comparación apropiado. Se determinará en forma aproximada, el monto de las tarifas por concepto de tratamiento. Con la información antes indicada, se procederá a la selección de la alternativa más favorable.

4.5 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA

- 4.5.1** El propósito de los estudio de ingeniería básica es desarrollar información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se pueden realizar a este nivel se encuentran:
- a. Estudios adicionales de caracterización del curso de agua que sean requeridos.
 - b. Estudios geológicos, geotécnicos y topográficos.
 - c. Estudios de tratabilidad de las aguas, mediante simulación de los procesos en el laboratorio o el uso de plantas a escala de laboratorio o a escala piloto, cuando el caso lo amerite.
 - d. Estudios geológicos y geotécnicos requeridos para los diseños de cimentaciones de las diferentes unidades de la planta de tratamiento.
 - e. En sistemas de capacidad superior a 5 m³/s, los estudios de tratabilidad deben llevarse a cabo en plantas a escala piloto con una capacidad de alrededor de 40-60 m³/día. El tipo, tamaño y secuencia de los estudios se determinarán de acuerdo a condiciones específicas.
 - f. Estudios de impacto ambiental con las acciones de mitigación de los impactos negativos identificados.
 - g. Estudios de vulnerabilidad a desastres naturales frecuentes en la zona.
- 4.5.2** Todo proyecto de plantas de tratamiento de agua potable, deberá ser elaborado por un Ingeniero Sanitario colegiado, quien asume la responsabilidad de la puesta en marcha del sistema. El ingeniero responsable del diseño no podrá delegar a terceros dicha responsabilidad.
- 4.5.3** En el expediente técnico del proyecto, además de lo indicado en el ítem

5.1.2.2, se debe incluir las especificaciones de calidad de los materiales de construcción y otras especificaciones de los elementos constructivos, acordes con las normas técnicas de edificación (estructuras).

La calidad de las tuberías y accesorios utilizados en la instalación de plantas de tratamiento de agua potable, deberá especificarse en concordancia con las Normas Técnicas Peruanas, relativas a Tuberías y Accesorios.

5. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS

5.1 GENERALIDADES

5.1.1 Para el diseño definitivo de una planta de tratamiento se deberá contar como mínimo con la siguiente información básica:

- Levantamiento topográfico detallado de la zona en donde se ubicarán las unidades de tratamiento.
- Estudios de desarrollo urbano y/o agrícola que puedan existir en la zona seleccionada para el tratamiento.
- Datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural de las unidades, incluidos los datos del nivel freático.
- Datos hidrológicos del cuerpo de agua, incluidos los niveles máximos de inundación.
- Registros de la calidad de agua a tratar.
- Resultados de los ensayos de tratabilidad.
- Datos climáticos de la zona.
- Disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica (horas de servicio, costo, etc.).
- Disponibilidad y confiabilidad en el suministro de sustancias químicas.

5.1.2 El diseño definitivo de una planta de tratamiento de agua para consumo humano consistirá de dos documentos:

- el estudio definitivo
- el expediente técnico.

Estos documentos deberán presentarse teniendo en consideración que la contratación de la ejecución de las obras deberá incluir la puesta en marcha de la planta de tratamiento.

5.1.2.1 Los documentos a presentarse en el estudio definitivo comprenden:

- Memoria técnica del proyecto
- La información básica señalada en el numeral 5.1.1
- Dimensionamiento de los procesos de tratamiento
- Resultados de la evaluación de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres.
- Manual preliminar de operación y mantenimiento. Este documento deberá contener:
 - una descripción de los procesos de tratamiento y de sus

- procedimientos de operación inicial;
- una descripción de los procesos de tratamiento y de sus procedimientos de operación normal;
- relación del personal administrativo y de operación y mantenimiento que se requiera, con sus calificaciones y entrenamientos mínimos;
- la descripción de la operación de rutina de los procesos de la planta, la misma que incluirá un plan de mediciones, registros de datos de campo y análisis que se requiera para el adecuado control de los procesos de tratamiento. En la misma forma se deben describir las acciones de evaluación intensiva en los procesos;
- la descripción de la operación de la planta en condiciones de emergencia;
- la descripción de acciones de mantenimiento preventivo de las instalaciones de obra civil y equipos mecánicos, eléctricos e instrumentales.

El manual de operación y mantenimiento definitivo será elaborado por el supervisor de la planta con esta información básica y los ajustes necesarios detectados en la evaluación de la puesta en marcha.

5.1.2.2 El expediente técnico deberá contener:

- Planos a nivel de ejecución de obra, dentro de los cuales, sin carácter limitante debe incluirse:
 - planimetría general de la obra, ubicación de las unidades de tratamiento e instalaciones existentes;
 - diseños hidráulicos sanitario: de los procesos e interconexiones entre procesos, los cuales comprenden planos de planta, cortes perfiles hidráulicos y demás detalles constructivos;
 - planos estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
 - planos de obras generales como obras de protección, caminos, arreglos interiores, laboratorios, vivienda del operador, caseta de guardianía, cercos perimétricos, etc.
 - Memoria descriptiva
 - Especificaciones técnicas
 - Análisis de costos unitarios
 - Metrados y presupuestos
 - Fórmulas de reajustes de precios
 - Documentos relacionados con los procesos de licitación, adjudicación, supervisión, recepción de obra y otros que el organismo competente considere de importancia.

5.1.3 A partir del numeral 5.2 en adelante se detallan los criterios que se utilizarán para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y estructuras complementarias. Los valores que se incluyen son referenciales y están basados en el estado del arte de la tecnología de tratamiento de agua para

consumo humano y podrán ser modificadas por el proyectista previa justificación sustentatoria basada en investigaciones y el desarrollo tecnológico

5.2 PRETRATAMIENTO

5.2.1 Rejas

5.2.1.1 Alcance

Establece las condiciones de diseño que debe cumplir una cámara de rejas.

5.2.1.2 Criterios de diseño

Esta unidad normalmente es parte de la captación o de la entrada del desarenador.

- a) El diseño se efectúa en función del tamaño de los sólidos que se desea retener, determinándose según ello la siguiente separación de los barrotes:
 - Separación de 50 a 100 mm cuando son sólidos muy grandes. Esta reja normalmente precede a una reja mecanizada.
 - Separación de 10 a 25 mm desbaste medio.
 - Separación de 3 a 10 mm: desbaste fino.
- b) La limpieza de las rejas puede ser manual o mecánica, dependiendo del tamaño e importancia de la planta, o de la llegada intempestiva de material capaz de producir un atascamiento total en pocos minutos.
- c) La velocidad media de paso entre los barrotes se adopta entre 0,60 a 1 m/s, pudiendo llegar a 1,40 m/s, con caudal máximo.
- d) Las rejas de limpieza manual se colocan inclinadas a un ángulo de 45° a 60°. Se debe considerar una superficie horizontal con perforaciones en el extremo superior de la reja con la finalidad de escurrir el material extraído.
- e) Debe preverse los medios para retirar los sólidos extraídos y su adecuada disposición.

5.2.2 Desarenadores

5.2.2.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los desarenadores.

5.2.2.2 Requisitos

1. Remoción de partículas

- a) Aguas sin sedimentación posterior deberá eliminarse 75% de las partículas de 0,1 mm de diámetro y mayores.
 - b) Aguas sometidas a sedimentación posterior deberá eliminarse 75% de la arena de diámetro mayor a 0,2 mm.
- Deberá proyectarse desarenadores cuando el agua a tratar acarree arenas. Estas unidades deberán diseñarse para permitir la remoción total de estas partículas

2. Criterios de diseño

- a) El período de retención deber estar entre 5 y 10 minutos.
- b) La razón entre la velocidad horizontal del agua y la velocidad de sedimentación de las partículas deber ser inferior a 20.
- c) La profundidad de los estanques deberá ser de 1,0 a 3,0 m.
- d) En el diseño se deberá considerar el volumen de material sedimentable que se deposita en el fondo. Los lodos podrán removerse según procedimientos manuales o mecánicos.
- e) Las tuberías de descarga de las partículas removidas deberán tener una pendiente mínima de 2%.
- f) La velocidad horizontal máxima en sistemas sin sedimentación posterior será de 0,17 m/s. y para sistemas con sedimentación posterior será de 0,25 m/s.
- g) Deberá existir, como mínimo, dos unidades.

5.2.3 Presedimentadores

5.2.3.1 Alcance

Establece las condiciones de diseño que debe reunir un presedimentador.

5.2.3.2 Criterios de diseño

- a) Este tipo de unidades deben ser consideradas en el diseño de una planta cuando es posible obtener remociones de turbiedad de por lo menos 50%, o cuando la turbiedad de la fuente supera las 1,500 UNT.
- b) El tiempo de retención debe definirse en función de una prueba de sedimentación. Normalmente el tiempo en el cual se obtiene la máxima eficiencia varía de 1 a 2 horas.
- c) En el dimensionamiento de la unidad se emplearán los criterios indicados para unidades de sedimentación sin coagulación previa (art. 5.4).

5.3 AERADORES

- 5.3.1 Sirven para remover o introducir gases en el agua. Pueden ser utilizados en la oxidación de compuestos solubles y remoción de gases indeseables.

5.3.2 Los dispositivos de aeración admitidos son:

- a) Plano inclinado formado por una superficie plana con inclinación de 1:2 a 1:3, dotado de protuberancias destinadas a aumentar el contacto del agua con la atmósfera.
- b) Bandejas perforadas sobrepuestas, con o sin lecho percolador, formando un conjunto de, por lo menos, cuatro unidades.
- c) Cascadas constituidas de por lo menos, cuatro plataformas superpuestas con dimensiones crecientes de arriba hacia abajo.
- d) Cascadas en escalera, por donde el agua debe descender sin adherirse a las superficies verticales.
- e) Aire comprimido difundido en el agua contenida en los tanques.
- f) Tanques con aeración mecánica.
- g) Torre de aeración forzada con anillos "Rashing" o similares.
- h) Otros de comprobada eficiencia.

5.3.3 La conveniencia de usar un determinado tipo de aerador y la tasa de diseño respectiva, preferentemente, deberán ser determinados mediante ensayos de laboratorio.

5.3.3.1 Si no hay posibilidad de determinar tasas de aplicación mediante ensayos, los aeradores pueden ser dimensionados utilizando los siguientes parámetros:

- a) Aeradores conforme el numeral 5.3.2 a., b., c. y d.
Admiten, como máximo, 100 metros cúbicos de agua por metro cuadrado de área en proyección horizontal/día.
- b) Aerador por difusión de aire.
Los tanques deben tener un período de retención de, por lo menos, cinco minutos, profundidad entre 2,5 y 4,0 m, y relación largo/ancho mayor de 2.
El aerador debe garantizar la introducción de 1,5 litros de aire por litro de agua a ser aerada, próxima al fondo del tanque y a lo largo de una de sus paredes laterales.
- c) Aerador mecánico
El tanque debe presentar un período de retención de, por lo menos, cinco minutos, profundidad máxima de 3,0 m, y relación largo/ancho inferior a 2.
El aerador mecánico debe garantizar la introducción de, por lo menos, 1,5 litros de aire por litro de agua a ser aerada.

5.3.3.2 En el caso de dimensionamiento conforme al numeral 5.3.3.1, la instalación debe ser por etapas; la primera servirá para definir las tasas reales de aplicación.

5.3.4 Las tomas de aire para aeración en tanques con aire difundido no pueden ser hechas en lugares que presenten impurezas atmosféricas perjudiciales al proceso de tratamiento. Deben estar protegidas con filtros o tela metálica de acero inoxidable o de latón y el sistema mecánico para la producción de aire no puede ser del tipo que disipe el aceite en el aire a ser comprimido.

5.4 SEDIMENTADORES SIN COAGULACIÓN PREVIA

5.4.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los sedimentadores que no tienen coagulación previa.

5.4.2 Criterios de Diseño

- a) Las partículas en suspensión de tamaño superior a $1\mu\text{m}$ deben ser eliminadas en un porcentaje de 60 %. Este rendimiento debe ser comprobado mediante ensayos de simulación del proceso.
- b) La turbiedad máxima del efluente debe ser de 50 U.N.T. y preferiblemente de 20 U.N.T.
- c) La velocidad de sedimentación deberá definirse en el ensayo de simulación del proceso.
- d) El período de retención debe calcularse en el ensayo de simulación del proceso y deberá considerarse un valor mínimo de 2 horas.
- e) La velocidad horizontal debe ser menor o igual a 0,55 cm/s. Este valor no debe superar la velocidad mínima de arrastre
- f) La razón entre la velocidad horizontal del agua y la velocidad de sedimentación de las partículas deberá estar en el rango de 5 a 20.
- g) La profundidad de los tanques, al igual que para los desarenadores, debe variar de 1,5 a 3,0 m.
- h) La estructura de entrada debe comprender un vertedero a todo lo ancho de la unidad y una pantalla o cortina perforada (ver condiciones en el ítem 5.10.2.1, acápite i).
- i) La estructura de salida deberá reunir las condiciones indicadas en el ítem 5.10.2.1, acápite j
- j) La longitud del tanque deberá ser de 2 a 5 veces su ancho en el caso de sedimentadores de flujo horizontal.
- k) Se deberá considerar en el diseño, el volumen de lodos producido, pudiéndose remover éstos por medios manuales, mecánicos o hidráulicos.
La tasa de producción de lodos debe ser determinada en ensayos de laboratorio, o mediante estimaciones con el uso de criterios existentes que el proyectista deberá justificar ante la autoridad competente.
- l) El fondo del tanque debe tener una pendiente no menor de 3%.

5.5 PREFILTROS DE GRAVA

5.5.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los prefiltros de grava como unidades de pretratamiento a los filtros lentos. Su uso se aplica cuando la calidad del agua supera las 50 UNT. Esta unidad puede reducir la turbiedad del efluente de los sedimentadores o sustituir a éstos.

5.5.2 Requisitos generales

5.5.2.1 Prefiltros verticales múltiples de flujo descendente

- a) Deberán diseñarse como mínimo dos unidades en paralelo
- b) La turbiedad del agua cruda o sedimentada del afluente deberá ser inferior a 400 UNT.
- c) Deberá considerarse como mínimo tres compartimientos con una altura de grava de 0,50 m cada uno.
- d) El diámetro de la grava decreciente será de 4 cm y 1 cm, entre el primer y el último compartimiento. La grava debe ser preferentemente canto rodado.
- e) Las tasas de filtración deben variar entre 2 a 24 m³/(m².día), en razón directa al diámetro de la grava y a la turbiedad del afluente.
- f) La turbiedad del efluente de cada compartimiento se puede determinar por la ecuación:

$$TF = T_o \cdot e^{-(1,15/VF)}$$

Donde: TF = Turbiedad efluente (UNT)

To = Turbiedad afluente (UNT)

VF = Tasa de filtración (m/h)

- g) Debe diseñarse un sistema hidráulico de lavado de cada compartimiento con tasas de 1 a 1,5 m/min.

5.5.2.2 Prefiltro vertical de flujo ascendente

- a) La turbiedad del agua cruda o sedimentada del afluente deberá ser inferior a 100 UNT.
- b) La tasa de filtración máxima es 24 m³/(m² .día). Las tasas mayores deberán ser fundamentadas con estudios en unidades piloto. En estas condiciones se puede lograr hasta 80% de remoción total de partículas.
- c) El lecho filtrante debe estar compuesto de 3 capas, dos de grava y una de arena de 0,30 m de espesor cada una.
- d) El tamaño del material filtrante más grueso, en contacto con la capa soporte, debe variar entre 0,64 a 1,27 cm. El tamaño de material de la segunda capa será de 0,24 a 0,48 cm y finalmente la capa de arena gruesa en la superficie tendrá un diámetro variable entre 0,14 a 0,20 cm.
- e) Para obtener una distribución uniforme del flujo, el drenaje debe estar conformado por troncos de cono invertidos con difusores llenos de grava de tamaño variable entre 1,9 y 3,8 cm.
- f) El sistema de recolección debe estar conformado por tubos de 100 mm de diámetro (4"), con orificios de 12,5 mm (½"), ubicados a 0,40 m por encima del lecho filtrante.
- g) Cualquier otra combinación de diámetros de material, tasas de velocidad y límites de turbiedad afluente, deberá ser

fundamentada con ensayos en unidades piloto.

- h) Debe diseñarse un sistema hidráulico de lavado de cada compartimiento, con tasas de lavado de 1 a 1,5 m/min.

5.5.2.3 Prefiltro de flujo horizontal

- a) La turbiedad del agua cruda o sedimentada del afluente deberá ser inferior a 300 UNT o, como máximo, de 400 UNT.
- b) Deberá considerarse como mínimo 3 compartimientos.
- c) El diámetro del material debe ser de 1 a 4 cm, y variará de mayor a menor tamaño en el sentido del flujo.
- d) Las tasas de velocidad máximas deben variar entre 12 y 36 m³/(m².día). Las tasas mayores acortan las carreras y reducen proporcionalmente la remoción de microorganismos. Con las características indicadas y con una tasa de 14 m³/(m².día) se obtienen eficiencias de remoción de coliformes fecales de hasta 99%.
- e) La longitud del prefiltro puede variar entre 5 y 10 m. Cada tramo, con diferente granulometría de grava, debe estar confinado entre tabiques para facilitar el mantenimiento de la unidad. La longitud de cada compartimiento se puede determinar por la siguiente ecuación

$$L = \frac{\ln(T_f / T_0)}{\lambda}$$

Donde:

Donde:

- L = Longitud del compartimiento, m
- T_f = Turbiedad del efluente, UNT
- T₀ = Turbiedad del afluente, UNT
- λ = Módulo de impedimento, m⁻¹

- f) Las condiciones diferentes a las indicadas deben ser fundamentadas con ensayos en unidades piloto.
- g) Debe diseñarse un sistema hidráulico de lavado de cada compartimiento, con tasas de lavado de 1 a 1,5 m/min.

5.6 FILTROS LENTOS DE ARENA

5.6.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los filtros lentos convencionales de arena.

5.6.2 Requisitos generales

5.6.2.1 La turbiedad del agua cruda, sedimentada o prefiltrada del afluente deberá ser inferior a 50 UNT, se podrán aceptar picos de turbiedad no mayores de 100 UNT por pocas horas (no más de 4 horas).

5.6.2.2 Cuando la calidad de la fuente exceda los límites de turbiedad

indicados en el ítem 5.6.2.1 y siempre que ésta se encuentre en suspensión, se deberá efectuar un tratamiento preliminar mediante sedimentación simple y/o prefiltración en grava, de acuerdo a los resultados del estudio de tratabilidad.

5.6.2.3 El valor máximo del color deber ser de 30 unidades de la escala de platino-cobalto.

5.6.2.4 El filtro lento debe proyectarse para operar las 24 horas en forma continua, para que pueda mantener se eficiencia de remoción de microorganismos. La operación intermitente debilita al zooplancton responsable del mecanismo biológico debido a la falta de nutrientes para su alimentación.

5.6.2.5 La tasa de filtración deber estar comprendida entre 2 y 8 $m^3/(m^2.día)$.

- a) Cuando el único proceso considerado sea el filtro lento, se adoptarán velocidades de 2 a 3 $m^3/(m^2.día)$.
- b) Cuando las aguas procedan de lagunas, embalses o se esté considerando tratamiento preliminar (ítem 5.6.2.2), se podrán emplear tasas de hasta 5 a 8 $m^3/(m^2.día)$. El límite máximo sólo se deberá admitir cuando se puedan garantizar excelentes condiciones de operación y mantenimiento.

5.6.2.6 Se debe tener un mínimo de dos unidades, las que deberán estar interconectadas a través de la estructura de salida para que se pueda llenar en forma ascendente, después de cada operación de limpieza (raspado), por el filtro colindante en operación.

5.6.2.7 La estructura de entrada a la unidad debe considerar:

- a) Instalaciones para medir y regular el caudal en forma sencilla, mediante vertedero triangular o rectangular, antecedido de una válvula, o compuerta, para regular el flujo de ingreso y un aliviadero para eliminar excesos.
- b) Un canal que distribuya equitativamente el caudal a todas las unidades.
- c) Compuertas o válvulas para aislar las unidades.

5.6.2.8 Lecho filtrante

- a) La grava se colocará en tres capas, la primera de 15 cm, con tamaños de 19 a 50 mm, seguida de dos capas de 5 cm de espesor cada una, con tamaños de 9,5 mm a 19 mm y de 3 mm a 9,5 mm, respectivamente. No debe colocarse grava en zonas cercanas a las paredes o a las columnas.
- b) El espesor de la arena deberá ser de 80 a 100 cm. El valor mínimo considerado, después de raspados sucesivos durante la operación de limpieza, será de 50 cm.
- c) El tamaño efectivo de la arena debe estar entre 0,2 a 0,3 mm, y el coeficiente de uniformidad no mayor de 3.

5.6.2.9 Caja de filtro

- a) Los filtros podrán ser circulares o rectangulares y el área máxima deberá ser de 50 m² cuando la limpieza se efectúe en forma manual. Las paredes verticales o inclinadas y el acabado en el tramo en el que se localiza el lecho filtrante, debe ser rugoso para evitar cortocircuitos.
- b) El sistema de drenaje, podrá ser:
 - b.1) Drenes formados por un colector principal y un número adecuado de ramales laterales. La pérdida de carga máxima en este sistema no deberá ser mayor que el 10% de la pérdida de carga en la arena, cuando ésta se encuentra con su altura mínima (50 cm) y limpia. Este sistema es apropiado para unidades de sección circular.
 - b.2) Canales formados por ladrillos colocados de canto y asentados con mortero, cubiertos encima con otros ladrillos colocados de plano (apoyados en su mayor superficie) y separados con ranuras de 2 cm, que drenan hacia un colector central. Con este tipo de drenaje se consigue una recolección uniforme del flujo en toda la sección y la pérdida de carga es prácticamente nula. Es apropiado para unidades de sección rectangular y cuadrada.

5.6.2.10 La altura máxima de agua en la caja de filtro deberá ser de 0,80 a 1,0 m.

5.6.2.11 La estructura de salida deberá estar conformada por:

- a) Un vertedero de salida de agua filtrada, ubicado a 0,10 m por encima del nivel del lecho filtrante para evitar que la película biológica quede sin la protección de una capa de agua. Este vertedero descargará hacia una cámara de recepción de agua filtrada.
- b) Un aliviadero para controlar el nivel máximo en la caja del filtro. Este vertedero, además, indicará el término de la carrera de filtración y el momento de iniciar la operación de raspado. Los filtros lentos pueden operar con nivel variable sin menoscabo de su eficiencia. Este vertedero rebasará hacia una cámara de desagüe.
- c) Una regla graduada dentro de la caja del filtro, haciendo coincidir el cero de la regla con el nivel del vertedero de salida para controlar la pérdida de carga. A medida que el nivel se incrementa se podrá leer conjuntamente la pérdida de carga inicial y la pérdida de carga por colmatación.

5.7 COAGULANTES Y SUSTANCIAS QUÍMICAS

5.7.1 Alcance

Establece la determinación de la calidad y cantidad de coagulante requerida por el agua cruda, dosificación y almacenamiento.

5.7.2 Coagulantes empleados

5.7.2.1 Clase

El proyectista deberá sustentar ante la autoridad competente el coagulante a utilizar.

- a) Se determinará, para cada tipo de agua a tratar, mediante ensayos de laboratorio de pruebas de jarras.
- b) Se recomienda, en general, el uso de sales metálicas, especialmente compuestos de Al^{3+} o Fe^{3+} .

5.7.2.2 Cantidad

La cantidad de coagulante a dosificar será determinada mediante ensayos de laboratorio con el agua a tratar. Se recomienda, como el método más eficaz, el sistema de simulación del proceso de coagulación, denominado prueba de jarras.

Deberán determinarse las dosis máximas y mínimas a dosificar para dimensionar las instalaciones de dosificación, considerando los parámetros que optimicen el proceso (pH, alcalinidad, concentración, etc.).

Preferentemente, deberá elaborarse una correlación de dosis óptima versus turbiedad de agua cruda, la cual deberá incluirse en el manual de operación inicial.

5.7.2.3 Polielectrolitos

Se acepta el uso de polielectrolitos, siempre que el polímero elegido esté aceptado para su uso en agua potable, de acuerdo a las normas de la entidad competente y ante la ausencia de éstas, las normas internacionales.

5.7.3 Dosificación de coagulantes y otras sustancias químicas.

5.7.3.1 El coagulante siempre deberá ser agregado en solución.

5.7.3.2 El coagulante, antes de ser aplicado, deberá tener la concentración óptima necesaria para mejorar la eficiencia del proceso. Esta concentración se deberá seleccionar mediante ensayos de laboratorio. Cuando estos ensayos no hayan sido efectuados, la concentración empleada deberá ser de 1 a 2%.

5.7.3.3 En instalaciones grandes podrá aceptarse que las instalaciones de

dosificación produzcan una solución de mayor concentración, pero en este caso deberá preverse una inyección de agua en la tubería de conducción de la solución para diluirla a la concentración óptima, antes del punto de aplicación.

5.7.3.4 Deben considerarse dos tanques de preparación de solución para un período mínimo de operación de 8 horas, por cada sustancia que se requiera aplicar. Se debe considerar un agitador en cada tanque; en los tanques de preparación de la suspensión de cal, los agitadores deben poder operar en forma continua.

5.7.3.5 En cada tanque deberán considerarse instalaciones de ingreso de agua filtrada, salida de la solución, a una altura de por lo menos 10 cm del fondo, rebose y desagüe. El fondo del tanque deberá tener una pendiente pronunciada hacia la salida de la tubería de desagüe.

5.7.3.6 Las tuberías de conducción de las soluciones pueden ser de acero inoxidable, mangueras de goma, plástico o PVC.

5.7.4 Dosificadores

5.7.4.1 Los equipos deberán seleccionarse con la suficiente flexibilidad para que estén en posibilidad de operar en condiciones extremas de dosificación que requiera la fuente. Estas condiciones extremas se definirán mediante la correlación mencionada en el ítem 5.7.2.2. El rango de operación deberá definirse dentro de los siguientes límites:

a) Rango máximo

Se determinará con la dosis máxima y el caudal máximo a tratar.

- Dosis máxima: correspondiente a la mayor turbiedad o color representativo de la época de lluvia.
- Caudal máximo: correspondiente al final del período de diseño.

b) Rango mínimo

Se determinará en función de la dosis mínima y al caudal de inicio de la primera etapa de diseño.

- Dosis mínima: correspondiente a la turbiedad o color mínimo que se presente en la fuente.
- Caudal mínimo: caudal correspondiente al inicio del período de diseño.

5.7.4.2 Tipo

a) Se utilizarán, preferentemente, sistemas de dosificación en solución por gravedad. Se utilizarán equipos de dosificación en seco, en sistemas grandes ($> 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$) y sólo en poblaciones en donde se pueda garantizar suministro eléctrico confiable y

suficientes recursos disponibles para su adecuada operación y mantenimiento.

- b) En los dosificadores en seco (gravimétricos o volumétricos) el tanque de solución debe tener un periodo de retención mínimo de 5 a 10 min, cuando está operando con el rango máximo, para permitir una adecuada polimerización del coagulante, antes de su aplicación.
- c) Los dosificadores en solución, preferentemente deberán ser de los que operan bajo el principio de orificio de carga constante. Este tipo de dosificador puede ser diseñado y fabricado localmente. Se deberá efectuar un cuidadoso control de la exactitud del sistema de graduación de la dosificación y de la calidad de los materiales que garanticen la duración del sistema en adecuadas condiciones de operación y mantenimiento.
- d) Todos los tanques de solución y los dosificadores deben estar interconectados de manera que se pueda alternar el uso de tanques y dosificadores.

5.7.4.3 En todos los casos se considerará un mínimo de dos equipos. Si se emplean torres de disolución, no será necesario tener unidades de reserva.

5.7.5 Almacenamiento

5.7.5.1 El almacén de los productos químicos debe tener capacidad para una reserva comprendida entre un mes y seis meses. Dependiendo de la ubicación y características de la planta, deberá contar además con facilidades para la carga y descarga de los productos.

5.7.5.2 En relación al almacén, deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) El área neta deberá ser calculada considerando el consumo promedio de la sustancia a almacenar.
- b) El área del almacén deberá incluir un área de corredores perimetrales y centrales, para tener acceso a las diversas ramas de material y poder programar su empleo, de acuerdo al orden de llegada, esto es, primero el más antiguo.
- c) El nivel del piso del almacén debe estar por lo menos a 1 m por encima del nivel de la pista de acceso, para facilitar la descarga del material y protegerlo de las inundaciones. La puerta de entrada al almacén debe tener no menos de 1.6 m de ancho.
- d) Las pilas de material deben colocarse sobre tarimas de madera.
- e) Las ventanas sólo se ubicarán en la parte superior de los muros

(ventanas altas)

- f) Los almacenes de sustancias químicas deben proyectarse siempre en la primera planta, para no recargar las estructuras del edificio de operaciones de la casa de químicos. En el caso de utilización de dosificadores en seco, en que el ingreso a las tolvas puede estar ubicado en el segundo o tercer piso del edificio, considerar un montacargas y un área de almacenamiento para 24 horas, al lado de las bocas de cargas de las tolvas.
- g) Cada sustancia química deberá tener un almacén especial o bien se deberá delimitar cada área con tabiques en un almacén común.

5.8 MEZCLA RÁPIDA

5.8.1 Alcance

Establece el tiempo, gradiente de velocidad de mezcla y forma de obtener una distribución uniforme y rápida del coagulante en toda la masa de agua.

5.8.2 Requisitos generales

5.8.2.1 Si las características topográficas e hidráulicas de la planta lo permiten, sólo deberán usarse dispositivos de mezcla hidráulicos. Cualquiera que sea el dispositivo elegido, se debe garantizar una mezcla completa y casi instantánea.

5.8.2.2 En mezcladores de flujo a pistón, el cálculo hidráulico debe ser, en cada caso, el siguiente:

- a) Seleccionar las características geométricas del tipo de unidad elegida: canaleta Parshall, plano inclinado (rampa), vertedero rectangular sin contracciones o triangular, dependiendo del caudal de diseño. La canaleta Parshall sólo se recomienda para caudales mayores de 200 l/s. Los vertederos rectangulares son recomendables para caudales menores a 100 l/s, y los triangulares para caudales menores a 50 l/s.
- b) Comprobar si se cumplen las condiciones hidráulicas para que la mezcla sea adecuada:
 - Número de Froude de 4.5 a 9 (salto estable). En caso de canaleta Parshall, el número de Froude es de 2 a 3 (salto no estable).
 - Gradiente de velocidad de 700 a 1,300 s⁻¹.
 - Tiempo de retención instantáneo de menos de 0,1 a 7 s como máximo.
 - Modificar la geometría de la unidad hasta que se consigan condiciones de mezcla apropiadas. Los mezcladores del tipo

de resalto hidráulico son ideales para aguas que mayormente coagulan por el mecanismo de adsorción.

- 5.8.2.3** En el caso de unidades del tipo de resalto hidráulico la aplicación del coagulante deberá distribuirse uniformemente a todo lo ancho del canal.
- 5.8.2.4** Para el uso de difusores en canales de relativa profundidad, éstos deben diseñarse de tal manera que el coagulante se distribuya en toda la sección de flujo. La reducción del área de paso provocada por el difusor, aumentará la velocidad y garantizará las condiciones de mezcla.
- 5.8.2.5** En los mezcladores mecánicos o retromezcladores, el coagulante debe inyectarse en dirección al agitador. Este tipo de unidades sólo debe usarse en plantas donde el agua coagula mayormente mediante el mecanismo de barrido, ya que en este caso lo más importante son las condiciones químicas de la coagulación (dosis óptima) y no las condiciones de mezcla. Estas unidades no son adecuadas para aguas que coagulan mediante el mecanismo de absorción.
- 5.8.2.6** En el diseño de los retromezcladores debe tenerse en cuenta relaciones específicas entre las dimensiones del tanque y el agitador para reducir la formación de espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos. Asimismo, es necesario considerar "baffles" o pantallas para evitar la formación de vórtice.
- 5.8.2.7** Los retromezcladores deberán tener un período de retención entre 30 y 45 segundos.
- 5.8.2.8** Las unidades de mezcla deberán ubicarse lo más cerca posible de la entrada de la unidad de floculación; deben evitarse los canales de interconexión largos.
- 5.8.2.9** La estructura de interconexión entre la mezcla rápida y el floculador (canal, orificio, vertedero, etc.) no debe producir un gradiente de velocidad mayor de 100 s⁻¹ ni menor que el del primer tramo del floculador.
- 5.8.2.10** Deben empalmarse correctamente las líneas de flujo entre la unidad de mezcla y el floculador (aplicar la ecuación de Bernoulli) para evitar represar el resalto en el mezclador o producir una caída brusca del nivel de agua en el floculador.
- 5.8.2.11** En los casos en los que se requiera aplicar un polímero como ayudante de coagulación, la aplicación debe ser inmediatamente posterior a la aplicación del coagulante de sal metálica y en un punto en el que tenga una intensidad de agitación de 400 a 600 s⁻¹ para que se disperse sin que se rompan las cadenas poliméricas.
- 5.8.2.12** El uso de cualquier otro dispositivo de mezcla, deberá ser justificado, tomando en cuenta el mecanismo mediante el cual

coagule el agua (adsorción o barrido) y las condiciones de mezcla rápida.

- 5.8.2.13** En el caso de que la fuente tenga estacionalmente ambos comportamientos (adsorción y barrido) se diseñará la unidad para las condiciones más críticas, es decir, para las épocas de coagulación por adsorción.

5.9 FLOCULACIÓN

5.9.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los floculadores.

5.9.2 Requisitos generales

- 5.9.2.1** En sistemas de más de 50 l/s de capacidad, los parámetros óptimos de diseño de la unidad, gradiente de velocidad (G) y tiempo de retención (T) deberán seleccionarse mediante simulaciones del proceso en el equipo de prueba de jarras.
- 5.9.2.2** Para cada tipo de agua deberá obtenerse la ecuación que relaciona los parámetros del proceso, que es de la forma $Gn.T=K$, donde (n) y (K) son específicos para cada fuente y sus variaciones.
- 5.9.2.3** En sistemas de menos de 50 l/s de capacidad, se puede considerar un rango de gradientes de velocidad de 70 a 20 s^{-1} y un tiempo de retención promedio de 20 minutos.
- 5.9.2.4** Los gradientes de velocidad deberán disponerse en sentido decreciente, para acompañar el crecimiento y formación del floculo.
- 5.9.2.5** En todos los casos deberá diseñarse un sistema de desagüe que permita vaciar completamente la unidad.

5.9.3 Criterios para los floculadores hidráulicos de pantallas

- a) Pueden ser de flujo horizontal o vertical. Las unidades de flujo horizontal son apropiadas para sistemas de menos de 50 l/s de capacidad; en sistemas por encima de este límite se deberá usar exclusivamente unidades de flujo vertical.
- b) Las pantallas deberán ser removibles y se podrá considerar materiales como: tabiques de concreto prefabricados, madera machihembrada, fibra de vidrio, planchas de asbesto-cemento corrugadas o planas, etc.

En lugares de alto riesgo sísmico y en donde no exista garantía de adecuado nivel de operación y mantenimiento, deberá evitarse el uso de las planchas de asbesto cemento.

5.9.3.1 Unidades de flujo horizontal

- a) El ancho de las vueltas debe ser 1,5 veces el espacio entre pantallas.
- b) El coeficiente de pérdida de carga en las vueltas (K) debe ser igual a 2.
- c) El ancho de la unidad debe seleccionarse en función de que las pantallas en el último tramo se entrecrucen, por lo menos, en un 1/3 de su longitud.
- d) Se debe diseñar con tirantes de agua de 1 a 3 m, dependiendo del material de la pantalla.

5.9.3.2 Unidades de flujo vertical

- a) La velocidad en los orificios de paso debe ser 2/3 de la velocidad en los canales verticales.
- b) El gradiente de velocidad en los canales verticales debe ser de alrededor de 20 s⁻¹
- c) La profundidad debe seleccionarse de tal forma que los tabiques del último tramo se entrecrucen, por lo menos, en 1/3 de su altura.
- d) La profundidad de la unidad es de 3 a 5 m. Se recomienda adoptar la misma altura del decantador para obtener una sola cimentación corrida y reducir el costo de las estructuras.
- e) En la base de cada tabique que debe llegar hasta el fondo, se deberá dejar una abertura a todo lo ancho, equivalente al 5% del área horizontal de cada compartimiento. Esto evita la acumulación de lodos en el fondo y facilita el vaciado del tanque.

Se recomienda que los orificios de paso ocupen todo el ancho del compartimiento para evitar la formación de espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos.

- f) En todos los casos, el flujo debe ingresar y salir de la unidad mediante vertederos, para mantener constante el nivel de operación.

5.9.4 Criterios para los floculadores mecánicos

5.9.4.1 Esta alternativa solo se considerara en casos en que se garantice un buen nivel de operación y mantenimiento y suministro continuo de energía eléctrica, asimismo se debe tomar en cuenta lo indicado en 4.4.4 y 4.4.6 de la presente norma.

5.9.4.2 El tiempo de retención (T) deber ser aquel que resulte de la prueba de jarras incrementado en 25 a 50%, dependiendo del número de cámaras seleccionadas. Cuanto menos sea el número de compartimientos, mayor será este porcentaje.

5.9.4.3 Deberá haber un mínimo de cuatro cámaras en serie separadas por tabiques y con el ingreso de agua a todo lo ancho de la unidad.

- 5.9.4.4** Las aberturas de paso de una cámara a otra deben disponerse alternadamente, una arriba y otra abajo y a todo lo ancho de la cámara para evitar la formación de espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos. El gradiente de velocidad en la abertura de paso deberá ser similar al del compartimiento al que está ingresando el flujo.
- 5.9.4.5** Los agitadores, en los floculadores mecánicos deberán tener sistemas de variación de velocidades.
- 5.9.4.6** En cámaras con agitadores de paletas de eje horizontal, la distancia entre los extremos de las paletas al fondo y paredes de las cámaras debe estar entre 15 y 30 cm, y la separación de paletas entre dos agitadores consecutivos debe ser de 50 cm como máximo.
- 5.9.4.7** En cámaras con agitadores de paletas de eje vertical, la distancia entre los extremos de las paletas y el muro debe ser no menor de 0,15 m y preferiblemente mayor de 0,30 m.
- 5.9.4.8** El área de las paletas debe estar entre 10 y 20% del área del plano de rotación de las paletas y la velocidad lineal del extremo de paletas o velocidad tangencial debe ser de 1,20 m/s en la primera cámara y menor de 0,6 m/s en la última cámara.

5.10 SEDIMENTACIÓN CON COAGULACIÓN PREVIA

5.10.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los sedimentadores con coagulación previa o decantadores, usados para la separación de partículas floculentas. Estas unidades deben ubicarse contiguas a los floculadores.

5.10.2 Requisitos

5.10.2.1 Sedimentadores de flujo horizontal

- a) Tasa superficial: la determinación de la tasa superficial deberá realizarse experimentalmente, simulando el proceso en el laboratorio.
- b) Las tasas superficiales varían entre 15 y 60 m³/(m².día), dependiendo del tamaño de las instalaciones, tipo de operación y tecnología adoptada.
- c) Se debe tener presente que las condiciones de diseño de los sedimentadores dependerán también del tipo de filtros proyectados, por ello, la sedimentación y filtración deben proyectarse como procesos complementarios.

- d) La velocidad media del flujo para el caudal máximo de diseño deberá ser inferior de 0,55 cm/s.
- e) Periodo de retención y profundidad: deberá estar comprendido entre 1 ½ y 5 horas y las profundidades entre 3 y 5 m. En los sedimentadores con dispositivos para la remoción continua de lodo se considerará útil toda la profundidad. En los sedimentadores sujetos a limpieza periódica, se considerará una parte de la profundidad total como espacio destinado a la acumulación normal de lodos. Se recomienda que el volumen para el almacenamiento de lodos sea 10 a 20% del volumen del sedimentador.
- f) Los sedimentadores serán de forma rectangular:
- La relación largo-ancho deberá estar entre 2 a 1 y 5 a 1.
 - La relación largo-profundidad deberá estar entre 5 a 1 y 20 a 1.
- g) Se deberá adoptar un mínimo de dos unidades, de tal manera que cuando se suspenda de operación una, se pueda seguir operando con la otra. En el diseño se debe tener en cuenta que cuando una unidad sale de operación, los remanentes deben operar con la tasa de diseño seleccionada.
- h) Los conductos o canales de agua floculada deben asegurar una distribución uniforme del flujo a los diversos sedimentadores sin cortocircuitos hidráulicos. En una estructura de distribución se aceptará como máximo una desviación de 5% en el reparto de caudales.
- i) Estructura de entrada
- La estructura de entrada a los sedimentadores debe estar conformada por un vertedero sin contracciones a todo lo ancho de la unidad, seguido de un tabique difusor o cortina perforada para proporcionar una distribución uniforme del flujo en toda la sección.
 - La cortina difusora debe estar ubicada a una distancia no menor de 0,80 m del vertedero de entrada.
 - La cortina difusora deberá tener el mayor número posible de orificios uniformemente espaciados en todo el ancho y la altura útil del decantador; la distancia entre orificios debe ser igual o inferior de 0,50 m y de preferencia deben tener forma circular y aboquillados.
 - El gradiente de velocidad en los orificios no debe ser mayor de $20s^{-1}$.
 - Cuando la unidad no tiene remoción mecánica de lodos, los orificios más bajos deberán quedar a 1/4 ó 1/5 de la altura sobre el fondo; los orificios más altos deberán quedar a 1/5 ó 1/6 de la altura de la unidad con respecto a la

superficie del agua para evitar se produzca un cortocircuito hidráulico con el vertedero de salida.

j) Sistemas de recolección del agua sedimentada

Pueden estar conformados por vertederos, canaletas y tubos con orificios.

- La estructura de salida o sistema de recolección no debe sobrepasar el tercio final de la unidad.
- Los bordes de los vertederos podrán ser lisos o dentados y ajustables o removibles.
- Las canaletas tienen por objeto incrementar la longitud de recolección. Pueden colocarse transversal o perpendicularmente al flujo. Sus bordes pueden ser lisos, dentados o con orificios.
- En lugares donde el viento pueda provocar corrientes preferenciales de flujo, se recomienda la colocación de tabiques deflectores del viento que penetren a poca profundidad dentro del agua. Su ubicación y distribución debe permitir la recolección uniforme por la estructura de salida.
- El sistema de recolección deberá tener una longitud tal que la tasa de recolección esté comprendida entre 1,3 a 3 l/s por metro lineal de sistema de recolección.
- En casos de flóculos de turbiedad se recomienda una tasa máxima de 2 l/s por metro lineal
- Para casos de flóculos de color se recomienda una tasa máxima de 1.5 l/s por metro lineal.

k) Sistema de acumulación y extracción de lodos

En los sistemas de limpieza intermitentes, en los que la unidad se retira del servicio para efectuar la operación en forma manual, se deberá tener en cuenta los siguientes criterios:

- La capacidad de las tolvas debe determinarse en función al volumen de lodo producido y la frecuencia de limpieza. La tasa de lodo producido se debe determinar en el laboratorio, mediante las turbiedades máximas y mínimas que se dan en la fuente. Se realizará una prueba de sedimentación y se medirá el volumen de lodos producido en cada caso.
- El tiempo de retención de la tolva depende de la frecuencia de limpieza y de la temperatura local. En climas fríos se puede almacenar el lodo de dos a tres meses sin que adquiera condiciones sépticas; en climas cálidos puede ser de hasta tres días como máximo, dependiendo de la temperatura. Esta circunstancia establece limitación del uso de estas unidades en zonas de climas cálidos, para unidades de limpieza manual, debido a que los periodos de limpieza serían cortos.

- La pendiente de las tolvas en la zona de salida debe ser de 45° a 60°.
- El punto de salida de la tolva debe ubicarse al tercio inicial del decantador que es donde se debe producir la mayor acumulación de lodos.
- En la remoción continua por medios mecánicos, las dimensiones finales y la inclinación del fondo deberán respetar las especificaciones de los fabricantes de equipos.
- Debe incluirse un dispositivo de lavado con agua a presión; los chorros deben atravesar el decantador en su menor dimensión.
- Podrá hacerse la remoción de lodos por medios hidráulicos, mediante descargas hidráulicas periódicas.
- La pérdida de agua por fangos no deberá ser superior a 1% del agua tratada.
- El diámetro mínimo de las válvulas de accionamiento de las descargas de lodo deberá ser de 150 mm.

5.10.2.2 Sedimentadores de alta tasa

b) Clarificadores de contacto

- Este tipo de unidades solo se considerara para casos en que se garantice un buen nivel de operación y mantenimiento y para aguas con turbiedad alta (100 – 500 UNT) la mayor parte del tiempo, esto con el propósito de garantizar la formación del manto de lodos. Asimismo se deberá tener en cuenta lo indicado en 4.4.4 y 4.4.6 de la presente norma.
- Se adoptarán tasas superficiales entre 60 y 120 m³/ (m².día), las que corresponden a velocidades entre 4 y 8 cm/min.
- El período de retención deberá ser de 1 a 2 horas.
- La forma de estas unidades es cuadrada, rectangular o circular.
- En la entrada: deberán colocarse elementos que permitan producir un ascenso uniforme del flujo y evitar chorros que puedan atravesar el manto de lodos y crear turbulencias.
- La recolección del flujo de agua decantada deberá ser uniforme; esto se puede conseguir mediante canales perimetrales o centrales, redes de canaletas (con bordes lisos o dentados), tuberías perforadas, orificios, etc.
- La remoción de lodos se podrá hacer de forma manual o automática. La unidad debe tener concentradores de lodos donde se ubicará la tubería de descarga. La pérdida de

agua por fangos no debe ser superior de 2% del agua tratada.

c) Sedimentadores de placas o tubulares

- Tasa superficial. La tasa de aplicación a los decantadores se determinará en función de la velocidad de sedimentación de las partículas que deben ser removidas, según la relación:

$$V_s = Q / (fA)$$

Donde:

- V_s = Velocidad de sedimentación en m/s
- Q = Caudal que pasa para la unidad en m^3/s
- A = Área superficial útil de la zona de decantación en m^2 .
- f = Factor de área, adimensional.

El factor de área para unidades de flujo ascendente está determinado por la expresión:

$$f = [\text{sen}\theta (\text{sen}\theta + L \text{cos}\theta)] / S$$

Donde:

- θ = ángulo de inclinación de las placas o tubos en grados.
- L = Longitud relativa del módulo, mayor o igual a 12, adimensional ($L = l/e$ ó $L = l/d$).
- l = Largo del elemento tubular o de placa, en m.
- d = Diámetro interno de los elementos tubulares, en m.
- e = Espaciamiento normal entre placas paralelas sucesivas, en m.
- S = Factor de eficiencia (1,0 para placas planas paralelas, $4/3$ para tubos circulares y $11/8$ para tubos cuadrados), adimensional.

- La velocidad de sedimentación debe ser determinada mediante ensayos de laboratorio con el criterio que el efluente producido no tenga mas de 2 UNT.
- La velocidad longitudinal máxima del flujo se calculará por $Do = (NR / 8)^{1/2}$ vs., donde NR : número de Reynolds.
- El NR entre placas tendrá un valor máximo de 500.
- La unidad puede tener forma rectangular o cuadrada.

- Los módulos de sedimentación deberán ser de materiales que resistan largo tiempo bajo el agua y de bajo costo unitario.
 - Los módulos de placas podrán ser de asbesto-cemento, plástico o tela de polietileno.
 - En lugares de alto riesgo sísmico y donde no exista garantía de un adecuado nivel de operación y mantenimiento, deberá evitarse el uso de planchas de asbesto cemento.
 - Las placas de asbesto-cemento pueden usarse en su dimensión de 2,44 m de ancho por 1,22 de alto. Se podrá emplear espesores de 6 y 8 mm, siempre y cuando hayan sido fabricados con fibra de asbesto larga. En este caso, se debe considerar un apoyo central, además de los laterales.
 - Las placas de asbesto están expuestas a la corrosión en todos los casos en que el cemento Portland es atacado y, en términos generales, cuando en el agua :
 - i.- el pH es menor de 6.
 - ii.- El contenido de CO₂ libre es mayor de 3,5 mg/l.
 - iii.-El contenido de sulfato como SO₄, es mayor de 1500 mg/l.

La intensidad de la corrosión depende de cuánto se excedan estos límites, de la temperatura y de la presencia de otros iones. En estos casos deberá usarse otro material o se deberá proteger con una resina epóxica.
 - Deberá darse preferencia al empleo de placas planas paralelas, con las que se consigue mayor longitud relativa y, por lo tanto, mayor eficiencia.
 - También se podrá emplear lonas de vinilo reforzadas con hilos de poliéster (kp 500), de 0,57 mm de espesor; las lonas se cortarán en segmentos del ancho del tanque y 1,20 m de altura. Cada lona tendrá basta vulcanizada en sus cuatro lados y refuerzos en los laterales y parte inferior. Para el montaje de las lonas solicitar las recomendaciones del proveedor de tal manera que las lonas se instalen inclinadas a 60° y queden sumergidas bajo 1 m de agua.
- Los módulos de decantación deberán estar inclinados a 60° con respeto a la horizontal.
- El flujo de agua floculada debe distribuirse uniformemente entre los módulos mediante canales y tuberías diseñados con los criterios específicos de distribución uniforme.

- La entrada de agua a los elementos tubulares o de placas inclinadas debe hacerse mediante orificios en canales longitudinales para asegurar una distribución uniforme del agua en toda el área superficial del decantador.
- El ángulo de inclinación de las celdas debe ser de 60° para permitir el deslizamiento de lodos hacia el fondo.
- La distancia entre placas esta en función de la velocidad del agua entre ellas, de manera que no sea mayor que la velocidad longitudinal máxima aceptable ($V_o = (NR / 8)^{1/2} V_s$, donde NR : número de Reynolds).
- Para evitar alteraciones del flujo y arrastre de flóculos, se recomienda que la altura mínima del agua sobre las placas sea de 0.65 m. Esta altura mínima sólo será aceptada si se está transformando un decantador convencional a uno tubular o de placas. En unidades nuevas se debe considerar 1,0 m.
- La recolección del agua decantada puede efectuarse mediante tubos con perforaciones o canaletas instaladas para conseguir una extracción uniforme.
- Las canaletas de recolección de agua decantada deben proporcionar un escurrimiento superficial libre. Los bordes de las canaletas deberán ser perfectamente horizontales para que la tasa de recolección sea uniforme; esto se consigue mediante vertederos removibles con láminas sobrepuestas ajustables que pueden ser niveladas durante la operación de puesta en marcha de la unidad. La colocación de estas láminas debe impedir el paso de agua en las juntas con la canaleta.
- El nivel máximo del agua en el interior de la canaleta de colección debe situarse a una distancia mínima de 10 cm, debajo del borde del vertedero.
- Los tubos perforados sumergidos deben ser diseñados con criterios de colección equitativa. Los orificios deben ubicarse en la parte superior de los tubos con una carga mínima de 10 cm. Los tubos deberán ser removibles para que puedan ser nivelados y extraídos con facilidad.
- El rango de las tasas de recolección varía entre 1,3 y 3,0 l/s.m. El criterio para seleccionar la tasa adecuada se basa en la calidad del floculo; para flóculos livianos (de color) y pequeños se recomienda el límite inferior del rango.
- La distancia entre las canaletas o tubos de recolección no debe ser superior a dos veces la altura libre del agua sobre

los elementos tubulares o sobre la zona de lodos en los decantadores de flujo vertical.

- La remoción de los lodos decantados deberá efectuarse en forma hidráulica. Esto exige que el fondo del decantador sea inclinado con un ángulo superior a 50°, para formar un pozo en forma de tronco de pirámide o de cono invertido, en cuyo extremo inferior debe situarse una abertura de descarga.
- En unidades de más de 5 m de longitud deberán considerarse varias tolvas unidas por un colector diseñado con criterios de colección equitativa.
- Las válvulas de descarga deben situarse en lugares de fácil acceso para su mantenimiento.
- La descarga, cuando es automática, debe tener un dispositivo que permita ajustar su tiempo de funcionamiento a las exigencias operacionales.
- Las tuberías para descarga de lodo deben ser diseñadas como múltiples de colección uniforme, con tolvas separadas:
 - El diámetro (d) de los orificios de descarga se debe calcular con la siguiente expresión:

$$d = \frac{x}{1.162 \sqrt{\frac{H^{0.5}}{V_a}}}$$

Donde:

x : separación entre orificios de salida en (m) depende del número de tolvas y de las dimensiones de las mismas.

H : carga hidráulica en (m).

V_a : Velocidad de arrastre de lodo.

La velocidad mínima de arrastre en los puntos más alejados debe ser del orden de 1 a 3 cm/s.

- El diámetro del colector de lodos (D) se determina mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{d}{\sqrt{\frac{R}{N}}}$$

Donde:

R : relación de velocidades entre el colector y los orificios de descarga para obtener colección uniforme.

N : número de orificios o de tolvas.

- Debe preverse el destino final de los lodos, teniendo en cuenta disposiciones legales y aspectos económicos.
- Eficiencia
La turbiedad del agua clarificada deberá ser menor o igual a 2 UNT.

5.11 FILTRACIÓN RÁPIDA

5.11.1 Alcance

Establece las condiciones generales que deben cumplir los filtros rápidos.

5.11.2 Requisitos

5.11.2.1 Número de unidades

El número de unidades de filtración se determinará mediante un estudio económico o condiciones especiales del proyecto. El número mínimo será de dos unidades.

5.11.2.2 Dimensiones de las unidades filtrantes.

a) Profundidad

Será una función de las alturas del sistema de drenaje del medio de soporte y medio filtrante, de la altura de agua sobre el medio filtrante y de la altura de borde libre. La altura de agua sobre el lecho filtrante es variable y depende del tipo de operación del filtro.

b) Largo y ancho

La relación largo-ancho será determinada por un estudio económico o por las condiciones especiales del proyecto.

5.11.2.3 Filtros rápidos convencionales con lecho filtrante de un solo material.

- a) La tasa de filtración deberá fijarse idealmente en una planta de filtros piloto, de acuerdo al tamaño del material empleado

y a la profundidad del lecho.

b) Los valores de la tasa de filtración se encuentran entre los siguientes límites:

- Mínima : 75 m³/(m².día)
- Máxima : 200 m³/(m².día)
- Normal : 120 - 150 m³/(m².día)

c) Capa soporte del medio filtrante:

- La granulometría y el espesor de la grava dependen del tipo de drenaje. Para drenajes diferentes a las viguetas prefabricadas, ver las recomendaciones del proveedor.
- Para el caso de viguetas prefabricadas respetar la siguiente granulometría:

Sub camada	Espesor (mm)	Tamaño (mm)
1 (Fondo)	10 – 15	25.4 – 50 1" – 2"
2	7.5 – 10	12.7 – 25.4 ½" – 1"
3	7.5 – 10	6.4 – 12.7 ¼" – ½"
4	7.5 – 10	3.2 – 6.4 1/8" – ¼"
5 (Superficie)	7.5 - 10	1.7 - 3.2 1/16" – 1/8"

- En cuanto a las condiciones físicas a cumplir por la grava, se tienen las siguientes:

- Debe ser obtenida de una fuente que suministre piedras duras, redondeadas, con un peso específico no menor de 3,5 (no más de 1% puede tener menos de 2,25 de peso específico).
- La grava no deberá contener más de 2% en peso de piedras aplanadas, alargadas o finas, en las que la mayor dimensión excede en tres veces la menor dimensión.
- Deberá estar libre de arcilla, mica, arena, limo o impurezas orgánicas de cualquier clase.
- La solubilidad en HCl al 40% debe ser menor de 5%.
- La porosidad de cada subcapa debe estar entre 35 y 45%.

d) Medios filtrantes

- La arena debe cumplir con las siguientes

especificaciones:

- El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
 - Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0,7%.
 - La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
 - La solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas debe ser <5%.
 - El peso específico debe ser mayor de 2,6.
- El espesor y características granulométricas del medio filtrante deberán ser determinados mediante ensayos en filtros piloto. Los valores se encuentran entre los siguientes límites: espesor 0,60 a 0,75 m, tamaño efectivo entre 0,5 a 0,6 mm, tamaño mínimo 0,42 mm y máximo 1,17 a 1,41 mm. El coeficiente de uniformidad en todos los casos debe ser menor o igual a 1,5.
- Cuando el filtro funcione parcial o permanentemente con filtración directa, la granulometría del material deberá ser más gruesa. El tamaño efectivo del material podrá ser de 0,7 mm, el tamaño mínimo de 0,5 a 0,6 mm, y el tamaño máximo de 1,68 a 2,0 mm y el espesor de 0,8 a 1,0 m.
- La antracita deberá reunir las siguientes condiciones :
- Dureza mayor de 3 en la escala de Moh.
 - Peso específico mayor de 1,55
 - Contenido de carbón libre mayor del 85% en peso.
 - La solubilidad en HCl al 40% en 24 horas debe ser menor de 2%.
 - En una solución al 1% de NaOH no debe perderse más de 2% del material.
- Otros medios filtrantes
- Podrán usarse otros medios filtrantes, siempre que se justifique con estudios experimentales.

5.11.2.4 Filtros rápidos con lechos mixtos y múltiples

a) Tasa de filtración

Deberá fijarse de acuerdo al tamaño del material empleado y profundidad del lecho, preferentemente mediante ensayos en filtros piloto. Estos valores se encuentran entre los siguientes límites:

Mínima	:	180 m ³ /(m ² .día) (1)
Máxima	:	300 m ³ /(m ² .día) (2)
Normal	:	200 - 240 m ³ /(m ² .día) (3)

- (1) Material fino y bajo nivel de operación y mantenimiento
 - (2) Material grueso y condiciones excepcionales de operación y mantenimiento.
 - (3) Material grueso y condiciones normales de operación y mantenimiento.
- b) Capa soporte del medio filtrante
- Depende del tipo de drenaje empleado y deberá cumplir las especificaciones indicadas en 5.11.2.3.
- c) Medios filtrantes
- Arena
 - El tipo de arena a usar, su tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad deberán ser los indicados en el ítem 5.11.2.3, acápite d, el espesor de la capa de arena deberá ser de 1/3 del espesor total del lecho.
 - Antracita
 - Las características físicas del material deberán ser las indicadas en el ítem 5.11.2.3 acápite d.
 - La granulometría deberá seleccionarse de acuerdo al tamaño efectivo de la arena, de tal forma que no se produzca un grado de intermezcla mayor de 3. Para que esto se cumpla, el tamaño correspondiente al D_{90} de la antracita debe ser el triple del tamaño efectivo de la arena
 - El espesor deberá ser 2/3 de la altura total del lecho filtrante, puede variar entre 0,50 y 1,0 m.
 - Las características físicas deberán ser determinadas, preferentemente, en ensayos en filtros piloto; los rangos usuales se encuentran entre los siguientes valores: espesor mínimo de 0,45 m, tamaño efectivo de 0,75 a 0,9 mm, tamaño mínimo de 0,59 mm, tamaño máximo 2,38 mm y coeficiente de uniformidad menor o igual a 1,5.
 - Otros medios filtrantes

Podrán usarse otros medios filtrantes, siempre que se justifiquen mediante estudios en filtros piloto.
- d) Sistema de lavado
- El lavado se podrá realizar con agua filtrada, o con aquella que cumpla las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable.
 - Se aceptarán los siguientes sistemas:

- Con flujo ascendente solo o retrolavado con agua.
 - Retrolavado y lavado superficial.
 - Retrolavado y lavado con aire.
- La cantidad de agua usada en el lavado no deberá sobrepasar el 3,5% del agua filtrada producida.
 - La expansión del lecho filtrante cuando sólo se lava con agua, deberá encontrarse entre los siguientes límites :
 - Mínima : 10%(sólo para el material más grueso).
 - Máxima : 50%
 - Promedio : 25 a 30%
 - Tasa de lavado
 - Sólo con flujo ascendente:
Tasa de retrolavado: 0,6 a 1,2 m/min
 - Con retrolavado y lavado superficial :
Tasa de retrolavado: 0,6 a 1,2 m/min
Tasas de lavado superficial:
 - Con brazos giratorios: 0,5 a 1,4 l/(s.m²) a una presión de 30 - 40 m de columna de agua.
 - Con rociadores fijos: 1,4 a 2,7 l/(s.m²) presiones de 15 a 30 m de columna de agua.
 - Con retrolavado y lavado con aire :
Tasa de lavado: 0,3 a 0,6 m/min para producir una expansión de 10%.
Tasa de aire comprimido: 0,3 a 0,9 m/min.
 - Métodos para aplicar el agua de lavado
Las aguas de lavado podrán provenir de:

Tanque elevado

- Deberá tener una capacidad suficiente para lavar consecutivamente dos unidades, por un periodo de 8 minutos a las máximas tasas de lavado previstas.
- Ubicación del tanque. La altura del tanque sobre el nivel del lecho filtrante se calculará teniendo en cuenta que el caudal de diseño debe llegar hasta el borde superior de la canaleta de lavado, por lo cual, deberán considerarse todas las pérdidas de carga sobre ésta y el tanque.
- En el caso de lavados con flujo ascendente y lavado superficial, la mayor presión que se necesita para este último, podrá darse con equipos de bombeo

adicionales, sistemas hidroneumáticos u otros.

- El equipo de bombeo deberá tener la capacidad adecuada para asegurar el suministro oportuno del volumen de agua que se necesita para hacer los lavados que se requieran por día.
- El tanque deberá estar provisto de un sistema automático de control de niveles y sistema de rebose y desagüe.

Sistema de bombeo directo

- Este sistema es muy vulnerable cuando las condiciones de operación y mantenimiento no son adecuadas y como la eficiencia de los filtros depende de las bondades del sistema de lavado, no se deberá considerar este tipo de solución cuando existan condiciones desfavorables.
- El lavado se hará por inyección directa de agua bombeada desde un tanque enterrado o cisterna. Deberá considerarse en forma especial las condiciones de golpe de ariete, caudal y altura dinámica de las bombas.
- Deberán considerarse por lo menos dos bombas, cada una de ellas tendrá capacidad para bombear la totalidad del caudal de lavado, con una carga hidráulica mínima, considerando las pérdidas de carga hasta el borde superior de la canaleta de lavado.
- Las bombas seleccionadas deberán adecuarse a las tasas de lavado mediante el uso de dispositivos reguladores de presión y caudal.

Lavado con flujo proveniente de las otras unidades

- Para aplicar este sistema de lavado, los filtros deben agruparse en baterías con un número mínimo de 4 unidades.
- La presión de lavado será función de una carga hidráulica regulable mediante un vertedero, para mantener el medio granular con una expansión entre 25 y 30%.
- La carga hidráulica de lavado se determina mediante la pérdida de carga total durante esta operación, la cual depende del peso de los granos de arena y/o

antracita y éste, a su vez, de la granulometría del material considerado, tipo de drenajes, etc y puede variar de 0,60 a 1,20 m, según el tamaño del material considerado. Esta pérdida de carga será calculada para cada caso utilizando los métodos disponibles.

- La sección de cada filtro debe ser tal, que al pasar por ésta el caudal de diseño de la batería, se produzca la velocidad de lavado requerida para la expansión del medio filtrante.
- El número de filtros depende de la relación entre la tasa de filtración (V_f) y la velocidad de lavado (V_l).
- Es necesario que todos los filtros estén interconectados, ya sea mediante un canal lateral o a través del falso fondo.

Sistemas de recolección del agua de lavado

En el sistema de canal principal y canaletas laterales deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- La distancia entre los bordes de dos canaletas contiguas no debe exceder de 2,1m.
 - La distancia máxima del desplazamiento del agua no deberá exceder de 1,05 m.
 - En unidades pequeñas en la que no se superen las condiciones anteriores, pueden omitirse las canaletas laterales.
 - El fondo de las canaletas deberá estar, por lo menos, 5 a 10 cm sobre el lecho filtrante expandido en su elevación máxima.
 - Capacidad de descarga de las canaletas
 - Deberá calcularse para la velocidad máxima del lavado previsto, considerando 30% de sobrecarga.
 - Nivel de carga en las canaletas
 - El borde libre mínimo en la canaleta debe ser de 0,10 m.
- Dependiendo del tamaño de la planta, podrá justificarse un sistema de recuperación de agua de lavado.

e) Sistema de drenaje

- Diseño

Deberá recoger el agua filtrada y distribuir el agua de lavado en la forma más uniforme posible, para ello es necesario que el agua ingrese a todo lo ancho del filtro, no se permitirá el ingreso concentrado en un punto, ya que favorece diferencias extremas en la distribución, y por tanto, en la expansión del lecho filtrante.

- Tipo de sistema

Se deberá seleccionar sistemas confiables, resistentes, eficientes, que puedan ser construidos localmente, sean económicos y que logren una uniforme distribución del flujo en el lecho filtrante, aceptándose una desviación menor o igual a 5%. Esto se logra cuando:

$$\frac{nA_L}{A_C} \leq 0,46$$

Donde:

A_C : sección transversal del falso fondo

A_L : sección de los orificios de distribución del drenaje.

n : número de orificios del sistema.

f) Sistemas de control de los filtros

El sistema de control de los filtros dependerá de la forma de operación de los mismos. Los filtros deben diseñarse para operar con tasa declinante para lograr mayor eficiencia, facilidad de operación y menor costo de operación del sistema. Podrá usarse tasa constante previa justificación y tomando en cuenta lo indicado en 4.4.4 y 4.4.6 de la presente norma.

- Tasa declinante de filtración

Los filtros con tasa declinante se controlan mediante vertederos. La operación será automática, y con las siguientes condiciones:

- Los ingresos de agua sedimentada a los filtros deben:
 - Estar situados en un canal o conducto de interconexión.
 - Tener secciones iguales.
 - Estar ubicados por debajo del nivel mínimo de

operación.

- Carga hidráulica disponible en la instalación

La carga hidráulica se considerará por encima del nivel del vertedero de salida de la batería de filtros.

La carga hidráulica se calculará de tal manera que al iniciar la carrera un filtro recién lavado, la tasa de filtración no exceda de 1,5 veces la tasa promedio de diseño.

Esta carga decrece al incrementarse el número de filtros de la batería.

Puede variar de 0,50 m para 4 filtros a 0,20 m para 8. Deberá presentarse el cálculo de esta carga, pudiendo utilizar programas de cómputo disponibles.

Deberá considerarse un aliviadero regulable en el canal de distribución de agua sedimentada para limitar la carga hidráulica.

- El proyectista deberá incluir en el instructivo de arranque los procedimientos para la instalación de la tasa declinante durante la operación inicial.

- Medidor de pérdida de carga

En cada unidad deberá colocarse un medidor de pérdida de carga, el que podrá consistir de un piezómetro en decímetros. Se recomienda tener alarma visual o acústica cuando la pérdida exceda de un máximo preestablecido.

Los filtros de tasa declinante no requieren medidor de pérdida de carga, esto se puede determinar visualmente y su límite máximo debe estar limitado por un aliviadero regulable en el canal de distribución de agua sedimentada. Los filtros de tasa constante requieren un medidor de pérdida de carga en cada una de las unidades.

- Válvulas

- Las válvulas o compuertas requeridas para cada unidad filtrante serán las que correspondan al diseño adoptado. Las válvulas de accionamiento frecuente deberán ser tipo mariposa, sobre todo cuando la operación es manual.

- Operación

El accionamiento de las válvulas o compuertas podrá ser manual, neumático o hidráulico, o una combinación de estos medios, dependiendo del tamaño de las instalaciones y de los recursos disponibles para la operación y mantenimiento. Para todos los casos de accionamiento se deberá contar con la alternativa de operación manual.

- Dispositivo de seguridad

En caso de accionamiento no manual, se deberá contar con dispositivos de seguridad para evitar cualquier maniobra inadecuada en el manejo de los filtros.

- Velocidades

Las velocidades máximas en las válvulas o compuertas deberán ser:

Agua decantada (afluente)	:	1,0 m/s
Agua filtrada (efluente)	:	1,8 m/s
Agua de lavado	:	1,5 m/s

5.12 DESINFECCIÓN

5.12.1 Alcance

Establece las condiciones de aplicación del cloro como agente desinfectante para el agua, su dosificación y extracción de los cilindros.

5.12.2 Requisitos

5.12.2.1 Demanda de cloro

Deberá determinarse por los ensayos correspondientes.

5.12.2.2 Cloro residual

El efluente de la planta deberá tener por lo menos 1 ppm de cloro residual o el necesario para que en el punto más alejado de la red exista no menos de 0.2 ppm. En las localidades en las que exista endemicidad de enfermedades diarreicas como el cólera, el residual en los puntos más alejados deberá ser de 0.5 ppm.

5.12.2.3 Tiempo de contacto

Se aceptará como mínimo entre 5 a 10 minutos. Siendo deseable un tiempo total de contacto de 30 minutos.

5.12.2.4 Cloradores

En todos los casos se considerará un mínimo de dos unidades para que estén en posibilidad de operar bajo condiciones extremas de dosificación.

- De alimentación directa

La presión máxima en el punto de aplicación no debe exceder de 1.0 kg/cm² (15 lbs/pulg²). Su operación es poco confiable y solo deberá considerarse cuando no se disponga de energía eléctrica o línea de agua a presión.

- De aplicación en solución al vacío

El agua de dilución debe aplicarse a una presión suficiente para vencer las pérdidas de carga de la tubería, pérdida de carga en el inyector y la contrapresión en el punto de aplicación. La concentración de la solución de cloro no será mayor de 3500 mg/l de cloro.

5.12.2.5 Extracción de cloro en cilindros

La extracción máxima de cloro para cilindros de 68 kg y 1000 kg es de 16 kg/día y 180 kg/día, respectivamente.

5.12.2.6 Compuestos de cloro

- a) Hipocloritos

Se podrán utilizar como desinfectante los compuestos de cloro tales como el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio.

- b) Hipocloradores

Estos productos siempre se aplicarán en solución. Se utilizará preferentemente dosificadores de orificio de carga constante, para que estén en posibilidad de operar bajo condiciones extremas de dosificación.

5.12.2.7 Requerimientos de instalación

- a) Tuberías que conducen gas cloro

Pueden utilizarse tuberías de acero, cobre o materiales plásticos resistentes a la acción química del cloro gas seco.

- b) Tuberías de conducción de soluciones cloradas

Se utilizará tuberías resistentes a la acción corrosiva del cloro gas húmedo o soluciones de hipoclorito. Esta recomendación incluye a los accesorios, válvulas y difusores que se encuentran en esta línea. Pueden ser de PVC, teflón

u otro material recomendado por el Instituto del Cloro.

5.12.2.8 Manipulación y almacenamiento de cloro gas y compuestos de cloro

a) Manipulación

- Los cilindros de hasta 68 kg deben moverse con un carrito de mano bien balanceado y una cadena protectora de seguridad tanto para cilindros llenos como vacíos.
- Los cilindros de una tonelada deben manipularse con grúa de por lo menos dos toneladas de capacidad. Este sistema debe permitir la transferencia del cilindro desde la plataforma del vehículo de transporte hasta la zona de almacenamiento y de utilización.

b) Almacenamiento

- El tiempo de almacenamiento será el necesario para cubrir el lapso desde que se efectúa el pedido hasta que los cilindros llegan al almacén.
- Los cilindros de 68 Kg deben almacenarse y operarse en posición vertical, excepto los de una tonelada de capacidad.
- El nivel de ingreso al almacén debe coincidir con el nivel de la plataforma del vehículo de transporte de cilindros y el ambiente debe estar ventilado y protegido de los rayos solares.
- El sistema de ventilación debe estar ubicado en la parte baja de los muros. Puede considerarse para este efecto muros de ladrillo hueco o mallas de alambre.
- Si no hay una buena ventilación natural hay que considerar el uso de medios mecánicos de extracción del aire. También deberá utilizarse esta solución en casos existan instalaciones cercanas que puedan ser afectadas.

5.12.2.9 Toda estación de cloración debe contar con una balanza para el control del cloro existente en los cilindros.

5.12.2.10 Seguridad

- a) Toda estación de cloración deberá contar con equipos de seguridad personal para fugas de cloro gas. Estos podrán ser máscaras antigás o sistemas de aire comprimido.
- b) Los equipos de protección deberán estar ubicados fuera de la caseta de cloración, pero muy cercanos a ella.

5.13 CONTROLES DE PLANTA

Establece lo controles mínimos que deben considerarse para la operación de una planta de tratamiento.

5.13.1 Medición

Se recomienda preferentemente sistemas de conducto abierto del tipo vertedero o canaletas Parshall, teniendo en cuenta la confiabilidad operacional de estos dispositivos.

El uso de instrumental de medición más complejo deberá sustentarse teniendo en cuenta los recursos disponibles localmente.

En los filtros se deberán tener en cuenta piezómetros para la medición de pérdida de carga y controles hidráulicos para los niveles del filtro.