

# *Republic of Ecuador*

## 👉 EDICT OF GOVERNMENT 👈

In order to promote public education and public safety, equal justice for all, a better informed citizenry, the rule of law, world trade and world peace, this legal document is hereby made available on a noncommercial basis, as it is the right of all humans to know and speak the laws that govern them.



NTE INEN 2655 (2012) (Spanish):  
Implementación de Plantas Potabilizadoras  
Prefabricadas en Sistemas Públicos de Agua  
Potable.

BLANK PAGE





Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2655:2012**

---

**IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS  
PREFABRICADAS EN SISTEMAS PÚBLICOS DE AGUA  
POTABLE**

**Primera edición**

IMPLEMENTATION OF MANUFACTURED WATER TREATMENT PLANTS IN PUBLIC SYSTEMS

First edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería civil, construcción de canales, puertos, diques, plantas potabilizadoras, sistemas de agua potable.  
PE CO 10.06-401  
CDU: 621.22  
CIU: 4200  
ICS: 93.140

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS PREFABRICADAS EN SISTEMAS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE</b>	<b>NTE INEN 2655:2012 2012-08</b>
<p style="text-align: center;"><b>1. INTRODUCCIÓN</b></p> <p><b>1.1</b> La norma que se presenta a continuación proporciona un conjunto de criterios básicos que permitan la implementación de plantas potabilizadoras prefabricadas de agua, en sistemas públicos de abastecimiento de agua potable, en el territorio ecuatoriano. De manera que se realice dentro de un marco técnico, económico y ambiental, adecuado a la realidad ecuatoriana, y constituya una solución sostenible durante el período de diseño del sistema.</p> <p><b>1.2</b> Las plantas prefabricadas para la producción de agua potable constituirán una alternativa en los proyectos nuevos o sistemas existentes. Las entidades o instituciones contratantes desarrollarán los estudios integrales pertinentes que permitan la implementación de esta alternativa; así también, serán responsabilidad del cumplimiento de los requisitos técnicos, económicos y ambientales exigidos por todas las instituciones o entes reguladores.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. OBJETO Y ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Esta norma establece los criterios y requisitos necesarios para el diseño, construcción e implementación de sistemas de tratamiento prefabricados de agua potable en el Ecuador que deben cumplir los fabricantes, proveedores e instituciones contratantes.</p> <p><b>2.2</b> El alcance de esta norma es a nivel nacional. Todas las instituciones públicas, gobiernos autónomos descentralizados, empresas públicas o juntas administradoras de agua potable y otras Instituciones u organismos no gubernamentales que decidan implementar plantas prefabricadas para la potabilización de agua en los sistemas públicos o comunitarios, deben cumplir obligatoriamente esta norma. En caso contrario, este tipo de plantas no podrán ser adquiridas ni instaladas en los sistemas públicos de abastecimiento de agua potable, tampoco podrán ser aprobadas por las instituciones nacionales o internacionales que financien u otorguen préstamos para la construcción de obras sanitarias.</p> <p><b>2.3</b> Esta norma se aplica a los sistemas prefabricados de potabilización de agua cuyo caudal de diseño este comprendido entre ocho litros por segundo hasta setenta y cinco litros por segundo, con lo cual será posible atender a poblaciones entre cinco mil y veinte mil habitantes.</p> <p><b>2.4</b> El tipo de alternativas contempladas están dirigidas a solucionar problemas de calidad del agua de fuentes superficiales mediante procesos que involucran la coagulación</p> <p><b>2.5</b> No se encuentran incluidas en la presente norma las plantas prefabricadas diseñadas y fabricadas con fines de atender situaciones de emergencia.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p><b>3.1</b> Para efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p><b>3.1.1</b> <i>Plantas prefabricadas.</i> Sistema constituido por un conjunto de elementos, técnicamente diseñados y contruidos en fábricas utilizando materiales inocuos para producir agua potable.</p> <p><b>3.1.2</b> <i>Tratamiento de ciclo completo.</i> Tecnología que incluye los procesos unitarios de coagulación química, floculación, sedimentación y filtración rápida.</p> <p><b>3.1.3</b> <i>Caudal de diseño.</i> Caudal con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.</p> <p><b>3.1.4</b> <i>Agitación hidráulica.</i> Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Ingeniería civil, construcción de canales, puentes, diques, plantas potabilizadoras, sistemas de agua potable.</p>		

- 3.1.5** *Agitación mecánica.* Movimiento del agua obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.
- 3.1.6** *Agua cruda.* Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.
- 3.1.7** *Aeración.* Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.
- 3.1.8** *Aireador.* Elemento o equipo que permite transferir aire desde la atmósfera al agua.
- 3.1.9** *Capacidad hidráulica.* Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica dentro de sus condiciones extremas de operación.
- 3.1.10** *Caudal nominal.* Caudal que puede procesar la planta prefabricada cumpliendo con las condiciones hidráulicas de diseño.
- 3.1.11** *Cloración.* Aplicación de cloro al agua al final del proceso de tratamiento para la desinfección.
- 3.1.12** *Cloro residual.* Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.
- 3.1.13** *Coagulación.* Desestabilización de partículas coloidales presentes en el agua cruda a partir de la adición de sustancias químicas denominadas coagulantes.
- 3.1.14** *Coagulantes.* Sustancias químicas adicionadas en el proceso de tratamiento que reaccionan con el agua cruda, formando subproductos que interactúan con las partículas presentes ocasionando su desestabilización electrostática.
- 3.1.15** *Coefficiente de uniformidad.* Parámetro que caracteriza los materiales granulares, el cual representa la relación entre el diámetro por debajo del cual se encuentra el 60% de menor tamaño y el tamaño efectivo (10%).
- 3.1.16** *Difusor.* Dispositivo para dispersar un fluido en otro.
- 3.1.17** *Dosificación.* Acción mediante la cual se adiciona de manera controlada una sustancia química al agua.
- 3.1.18** *Dosis óptima.* Cantidad de una sustancia dosificada que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.
- 3.1.19** *Eficiencia de remoción.* Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.
- 3.1.20** *Filtración.* Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.
- 3.1.21** *Floculación.* Aglutinación de partículas desestabilizadas, inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.
- 3.1.22** *Gradiente de velocidad medio.* Parámetro que refleja la intensidad de agitación de una masa líquida inducida por métodos mecánicos o hidráulicos.
- 3.1.23** *Granulometría.* Distribución del tamaño de los granos o partículas de un material filtrante de acuerdo a una escala de clasificación.
- 3.1.24** *Lecho filtrante.* Medio constituido por material granular poroso por el cual percola un flujo.
- 3.1.25** *Mantenimiento.* Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

**3.1.26 *Mantenimiento preventivo.*** Conjunto de actividades programadas que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas.

**3.1.27 *Mantenimiento correctivo.*** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.

**3.1.28 *Mezcla rápida.*** Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

**3.1.29 *Tasa superficial.*** Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ( $m^3/m^2 \times día$ ).

**3.1.30 *Energía hidráulica.*** Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua.

**3.1.31 *Carga hidráulica.*** Energía hidráulica potencial disponible para un proceso de tratamiento.

**3.1.32 *Vida útil.*** Es la duración estimada que un equipo o sistema puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado.

**3.1.33 *Sedimentación.*** Proceso por el cual se realiza la separación de los sólidos más densos que el agua por la acción de la gravedad y que se depositan en el fondo de una estructura.

**3.1.34 *Período de retención hidráulica.*** Tiempo medio de permanencia de la masa líquida dentro de una estructura hidráulica.

**3.1.35 *Velocidad crítica de sedimentación.*** Es la velocidad de sedimentación de una partícula a la cual se asocia la eficiencia esperada de la unidad de sedimentación. Las partículas que tienen velocidades de sedimentación mayores que aquella son totalmente removidas; mientras que, las partículas con velocidad de sedimentación menor son removidas en una fracción que depende de su posición a la entrada del sedimentador.

#### **4. FASES DE IMPLEMENTACIÓN**

**4.1** La implementación de toda planta de tratamiento prefabricada para potabilización del agua comprende las siguientes fases:

- Diseño,
- Construcción,
- Operaciones iniciales y transferencia tecnológica.

**4.2 Diseño.** La fase de diseño debe contemplar:

- La caracterización y tratabilidad del agua cruda,
- Justificación técnica, económica, y ambiental de la alternativa propuesta del proceso de tratamiento,
- Diseños definitivos,
- Documentos de la propuesta técnica y económica del proveedor.

**4.2.1 *Caracterización y tratabilidad del agua cruda***

**4.2.1.1** Esta fase debe cumplir obligatoriamente la entidad contratante, de manera previa a la adquisición de una planta potabilizadora prefabricada, a través de profesionales especializados en el área.

**4.2.1.2** El diseño hidráulico debe basarse en las características del agua cruda y en pruebas de tratabilidad realizadas en laboratorio, empleando la técnica de ensayos de jarras, para la determinación de los parámetros óptimos de diseño.

**4.2.1.3** La caracterización del agua cruda debe proporcionar información suficiente de las principales características físicas, químicas y bacteriológicas, y su variación con respecto al tiempo, por lo menos correspondientes al período invernal. Esta información podrá ser complementada con datos estadísticos de sistemas existentes pertenecientes a las mismas cuencas hidrográficas.

**4.2.1.4** Las muestras para la caracterización y pruebas de tratabilidad del agua deben corresponder a la estación lluviosa y seca del año. La caracterización de las fuentes deberá contemplar al menos los siguientes análisis de calidad del agua cruda: turbiedad, color real, color aparente, alcalinidad, acidez, pH, dureza, hierro, manganeso y coliformes totales y fecales.

**4.2.1.5** Las pruebas de jarras deben proporcionar los parámetros óptimos de diseño para la alternativa de tratamiento más adecuada a la calidad del agua cruda, debiéndose enfocar, según la alternativa, lo siguiente:

a) Plantas de ciclo completo o convencionales:

1. Parámetros para la fase de coagulación:

- a. Selección del coagulante y ayudantes de coagulación a utilizar en el tratamiento del agua cruda.
- b. Dosis óptima de coagulante.
- c. pH óptimo.

2. Parámetros para la floculación:

- a. Determinación del período total de retención hidráulica de la unidad de floculación.
- b. Escalonamiento de gradientes de floculación; períodos parciales y tiempos de floculación.

3. Parámetros de sedimentación: Determinación de la velocidad crítica de sedimentación de los flocúlos y la eficiencia de remoción asociada.

b) Plantas de filtración directa:

1. Dosis de coagulante y el pH óptimo para efectuar filtración directa.

**4.2.1.6** Además de los análisis del agua cruda, el especialista de la entidad contratante, deberá investigar el área tributaria de aporte de la fuente de abastecimiento, con el objeto de anticipar situaciones que podrían afectar la calidad y cantidad del agua como resultado de la ocupación actual o prevista de esta área. En particular, se identificarán asentamientos humanos, industrias y otras actividades antropogénicas. En caso de identificarse descargas domésticas o industriales aguas arriba de la captación, que impliquen la posibilidad de la presencia de sustancias tóxicas o capaces de tornar al agua inapropiada para su tratamiento mediante las alternativas consideradas en esta norma, se realizarán muestreos específicos para confirmar o descartar esta posibilidad, en base al análisis de los valores de los parámetros involucrados para lo cual se consultará el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (LIBRO VI ANEXO I). La entidad contratante resolverá previamente sobre el aprovechamiento o descarte de la fuente considerada y procederá a tramitar el permiso de aprovechamiento ante la autoridad competente.

**4.2.2** *Justificación técnica, económica y ambiental de la alternativa propuesta del proceso de tratamiento*

**4.2.2.1** Los proveedores de plantas potabilizadoras prefabricadas, en base al estudio de caracterización y tratabilidad del agua cruda, proporcionados por la entidad contratante, procederán a elaborar la propuesta técnica, mediante la cual justificará la alternativa del proceso de tratamiento más adecuada a la calidad del agua analizada, los parámetros y criterios de diseño adoptados y las características y especificaciones técnicas de la planta.

**4.2.2.2** Los proveedores pueden contemplar en sus propuestas técnicas uno de los siguientes procesos de tratamiento, de acuerdo a las características del agua cruda, que se indican a continuación:

- a) *Tratamiento de ciclo completo*. Se contempla cuando la fuente presente turbiedades hasta de 1 500 NTU y una calidad bacteriológica de hasta 10 000 coliformes fecales/100 mL de muestra, o esporádicamente hasta de 20 000 coliformes fecales/100 mL. Turbiedades por encima de 1 500 NTU se consideran unidades de presedimentación, antecediendo a la planta potabilizadora.
- b) *Filtración directa ascendente-descendente (DFAD)*. Cuando la calidad del agua cruda presenta las condiciones indicadas en la tabla 1.

**TABLA 1. Valores máximos de los parámetros de calidad del agua cruda para el empleo de la filtración directa ascendente-descendente**

PARÁMETRO	VALOR
<b>Turbiedad (NTU) (*)</b>	
90% del tiempo	≤ 50
95% del tiempo	≤ 100
100% del tiempo	≤ 150
<b>Color verdadero (Pt-Co) (**)</b>	
90% del tiempo	≤ 50
95% del tiempo	≤ 75
100% del tiempo	≤ 100
<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L)</b>	
95% del tiempo	≤ 100
100% del tiempo	≤ 150
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	≤ 1 000 (+)
<b>Coliformes totales NMP/100mL</b>	≤ 5 000 (+)
(*) Picos de hasta 300 NTU con duración inferior a 12 horas podrán ocurrir en el agua cruda.	
(**) Picos de hasta 150 Pt-Co con duración inferior a 12 horas podrán ocurrir en el agua cruda.	
(+) Límites más elevados pueden ser adoptados con el empleo de pre - cloración.	

- c) *Filtración directa ascendente (FDA)*. Cuando la calidad del agua cruda presenta las condiciones indicadas en la tabla 2. El sistema de filtración directa ascendente debe contemplar las facilidades para realizar descargas de fondo intermedias a lo largo de la carrera de filtración y la introducción de agua en la interfaz, entre el medio filtrante y lecho de soporte, durante dichas descargas de fondo.

**TABLA 2. Características generales del agua cruda a ser tratada mediante la tecnología de filtración directa ascendente**

PARÁMETROS	VALOR
<b>Turbiedad (NTU)</b>	100% ≤ 100
	95% ≤ 25
	90% ≤ 10
<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L)</b>	100% ≤ 100
	95% ≤ 25
<b>Color verdadero (Pt-Co)</b>	100% ≤ 50
	95% ≤ 25
	90% ≤ 20
<b>Coliformes totales NMP/100mL</b>	100% ≤ 1 000 <sup>1</sup>
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	100% ≤ 500 <sup>1</sup>
<sup>1</sup> Límites más elevados pueden ser adoptados con el empleo de precloración.	
(-) Límite no establecido.	



d) *Filtración directa descendente (FDD)*. En la tabla 3, se presentan las condiciones del agua cruda para la aplicación de la FDD.

**TABLA 3. Características generales del agua cruda a ser tratada mediante la tecnología de filtración directa descendente**

PARÁMETROS	VALOR
<b>Turbiedad (NTU)</b>	100% ≤ 100
	95% ≤ 25
	90% ≤ 10
<b>Color verdadera (Pt-Co)</b>	100% ≤ 50
	95% ≤ 25
	90% ≤ 20
<b>Coliformes totales NMP/100mL</b>	100% ≤ 1000 <sup>†</sup>
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	100% ≤ 500 <sup>†</sup>
<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L)</b>	100% ≤ 100
	95% ≤ 25

<sup>†</sup> Límites más elevados pueden ser adoptados con el empleo de precloración.

e) *Filtración directa descendente antecedida por prefiltración gruesa ascendente (FDD-FGA)*. En la tabla 4, se presentan las condiciones del agua cruda para la aplicación de la FDD-FGA.

**TABLA 4. Valores máximos de los parámetros de calidad del agua cruda para el empleo de la FDD-FGA**

PARÁMETRO	VALOR	
<b>Turbiedad (NTU) (*)</b>		
	90% del tiempo	≤ 100
	95% del tiempo	≤ 150
	100% del tiempo	≤ 200
<b>Color verdadero (Pt-Co) (**)</b>		
	90% del tiempo	≤ 50
	95% del tiempo	≤ 75
	100% del tiempo	≤ 100
<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L)</b>		
	95% del tiempo	≤ 150
	100% del tiempo	≤ 200
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	≤ 1 000 (+)	
<b>Coliformes totales NMP/100mL</b>	≤ 5 000 (+)	

(\*) Picos de hasta 300 NTU con duración inferior a 12 horas podrán ocurrir en el agua cruda.  
 (\*\*) Picos de hasta 150 Pt-Co con duración inferior a 12 horas podrán ocurrir en el agua cruda.  
 (+) Límites más elevados pueden ser adoptados con el empleo de precloración.

**4.2.2.3** En cualquiera de las alternativas de tratamiento, se debe incluir las instalaciones y equipos necesarios para la cloración del agua, antes de su distribución.

#### 4.2.3 Diseños definitivos

**4.2.3.1** Las plantas prefabricadas deben ser diseñadas para un grado de tratamiento que permita el cumplimiento del RTE INEN 023. El percentil 95 de los valores medidos en el efluente de la planta durante su operación, no deben superar el límite para la turbiedad de 2 NTU; y, para el color verdadero de 5 Pt-Co.

**4.2.3.2** Con respecto a los criterios generales de diseño, el fabricante, salvo que en esta norma se especifique un criterio diferente, debe cumplir con lo estipulado en el CPE INEN 5 Parte 9.1.

**4.2.3.3** El período de diseño del sistema de tratamiento es, mínimo, de 15 años.

**4.2.3.4** La vida útil de los equipos complementarios debe ser superior a 10 años. Los accesorios y las unidades de tratamiento deben durar, bajo las condiciones de mantenimiento señaladas por el fabricante, como mínimo 20 años.

**4.2.3.5** El caudal de diseño o capacidad nominal de la planta de tratamiento debe ser el máximo diario al final del período o etapa de diseño más el 10%. Esta información debe ser proporcionada por la entidad contratante.

**4.2.3.6** La capacidad hidráulica de la planta debe ser entre el 10% al 25% mayor que la capacidad nominal, para este efecto, se debe proceder con este caudal a verificar el diseño hidráulico, a efectos de garantizar el cumplimiento de los criterios de diseño de los procesos unitarios seleccionados, señalados en el numeral 4.2.3.10 al 4.2.3.17 de esta norma.

**4.2.3.7** Las tuberías deben ser diseñadas para transportar la capacidad hidráulica de la planta.

**4.2.3.8** El diseño debe realizarse considerando un funcionamiento de la planta de 24 horas diarias, 365 días al año; u otros períodos de funcionamiento diario, cuando la entidad contratante así lo especifique.

**4.2.3.9** Se debe contemplar suficiente flexibilidad en la planta para la capacidad hidráulica, la posibilidad de modos de operación alternativos para diferentes calidades de agua cruda, y la existencia de desvíos para situaciones emergentes.

**4.2.3.10** Se debe priorizar la energía hidráulica en el diseño de todos los procesos unitarios de tratamiento, excepto en los casos que, por razones técnicamente justificadas, sea necesario utilizar energía eléctrica, especialmente en las etapas de floculación o en la limpieza de filtros rápidos.

**4.2.3.11** La energía eléctrica demandada por el proceso de potabilización debe estar orientada al requerimiento de equipos de control, agitadores en los tanques de preparación de soluciones de sustancias químicas, bombas dosificadoras, bombas de arrastre de solución de cloro y producción de cloro en sitio.

**4.2.3.12** Diseño estructural. Las obras civiles deben sujetarse a la Norma Ecuatoriana de la Construcción. En el caso de las unidades de tratamiento construidas en acero, se puede aplicar las especificaciones para estructuras metálicas de la AISC (American Institute of Steel Construction). El diseño estructural de las unidades de tratamiento debe cumplir las siguientes condiciones:

- Las estructuras deben ser calculadas y diseñadas por ingenieros especializados en estructuras.
- Se debe verificar las condiciones de resistencia y servicio especificados en las normas de referencia, mediante un análisis estructural que contemple varias combinaciones de carga muerta, viva y sísmica.
- Los esfuerzos y deformaciones de los elementos que constituyan las unidades de tratamiento, serán determinados mediante modelos computacionales de elementos finitos, analizando de manera integral sus componentes.

**4.2.3.13** *Diseños eléctricos.* Deben satisfacer los códigos nacionales y las regulaciones locales existentes, y todos los sistemas deben ser protegidos contra rayos y descargas eléctricas.

**4.2.3.14** *Diseños mecánicos.* Debe adoptarse el criterio de minimizar la utilización de equipos mecánicos en las unidades de tratamiento. Se debe prestar atención a la provisión de suficiente espacio para operación y mantenimiento de válvulas, compuertas, equipos, piezas e instrumentos incluidos en la planta prefabricada; así como, al control del ruido que puede producir la operación de los equipos y la provisión de una adecuada ventilación.

**4.2.3.15 Medidas de seguridad.** A fin de precautelar la integridad física del personal de operación se debe contemplar andenes de circulación y gradas de acceso con superficie antideslizante, provistas de pasamanos, contemplando las regulaciones locales de seguridad. No se acepta escaleras marineras.

**4.2.3.16 Instrumentación de la planta prefabricada.** Se debe adoptar en base al criterio del mayor grado de simplicidad, y acorde a la capacidad y nivel socio-económico de la comunidad a la que va a servir. Entre las variables de operación de la planta se debe controlar: caudal, nivel, presión, intensidad de agitación; y, entre las variables de calidad del agua, se podrá controlar en diferentes puntos de la línea de procesos de la planta de tratamiento. Las características físicas y químicas del agua. Los instrumentos que se pueden utilizar son: vertederos, piezómetros de tubos plásticos transparentes o regletas, medidores de caudal, sensores de nivel, transductores de presión, variadores de frecuencia, turbidímetros, sensores de pH de cloro libre y combinado. La operación de los procesos en la planta potabilizadora se debe realizar manualmente y se evitará la automatización de los procesos.

**4.2.3.17 Criterios hidráulicos para cálculo y diseño de las diferentes unidades de la planta potabilizadora**

#### **4.2.3.17.1 Aireación**

**4.2.3.17.1.1** La aireación se contempla entre los procesos unitarios de la planta, cuando se requiera oxidar hierro y manganeso, eliminar malos olores y sabores o remover compuestos orgánicos volátiles, presentes en el agua superficial.

**4.2.3.17.1.2** Los tipos de aireadores a contemplarse en el diseño de las plantas prefabricadas puede ser de bandejas, cascadas o tipo Venturi.

**4.2.3.17.1.3** Los aireadores de bandejas consisten en una serie de bandejas con perforaciones en su parte inferior, diseñadas para lograr una adecuada distribución y contacto con el aire ambiental. Para obtener una mayor eficiencia se puede utilizar un material de relleno de acuerdo con el fin a que se destina la aireación. Para su diseño se puede adoptar los criterios referidos en la tabla 5.

**TABLA 5. Parámetros de diseño de aireadores de bandejas**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Carga Hidráulica	500-1800	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día
Número de bandejas	4-6	
Altura total del aireador	1,2 a 3	m
Separación entre bandejas	0,30 – 0,75	m
Profundidad de agua en la bandeja	0,15	m
Lecho de contacto		
Espesor	0,15-0,30	cm
Diámetro	0,04-0,15	cm

**4.2.3.17.1.4** Para la determinación de la carga hidráulica del aireador se debe considerar su proyección en planta; es decir, independiente del número de bandejas.

**4.2.3.17.1.5** Los aireadores de cascada consisten de tres o cuatro plataformas superpuestas y con dimensiones crecientes desde arriba hacia abajo, separadas de 0,25 a 0,50 m, con altura total de caída entre 0,75 a 2 m. Se considera el área de la mayor plataforma para su dimensionamiento en base a una carga hidráulica comprendida entre 800 a 1 000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x día.

**4.2.3.17.1.6** Otras opciones de aireación como inyectoros Venturi o boquillas pueden ser consideradas siempre que la capacidad especificada por los fabricantes de estos elementos sea equivalente a los tipos de aireadores descritos.

#### **4.2.3.17.2 Mezcla rápida**

**4.2.3.17.2.1** Es la unidad en la cual se cumple el proceso de coagulación, empleada para realizar la dispersión rápida y homogénea de un coagulante en el agua a ser tratada. Entre el tipo de unidades hidráulicas de mezcla rápida a ser contempladas están los vertederos, mezcladores estáticos, canales con cambio de pendiente, inyectoros Venturi, etc.

**4.2.3.17.2.2** Todos los tipos de unidades de mezcla rápida que emplean el resalto hidráulico, tales como vertederos, canales con cambio de pendiente, se deben diseñar considerando los siguientes criterios:

- El resalto debe ser estable debiendo verificarse esta condición mediante el número de Froude (Fr) entre 4,5 y 9,0.
- Debe disponerse de un dispositivo aguas abajo con el fin de controlar la posición del resalto hidráulico.
- El gradiente hidráulico deber ser mayor a  $1\ 000\ s^{-1}$ .

**4.2.3.17.2.3** La dosificación del coagulante en el tipo de mezcla rápida por resalto hidráulico debe realizarse en todo el ancho del canal y en su sección contraída.

**4.2.3.17.3** *Mezcladores estáticos de inserción.* Van insertados dentro del tubo de alimentación al sistema. El material con el que se diseñe debe ser resistente a la corrosión; se recomienda emplear acero inoxidable. El gradiente de velocidad debe ser verificado a partir de la pérdida de carga y el volumen efectivo de mezcla mediante la ecuación de Camp y Stein, el mismo que debe ser superior a  $1\ 000\ s^{-1}$ .

#### **4.2.3.17.4** *Floculadores*

**4.2.3.17.4.1** Son unidades en las cuales se proporciona al agua una agitación lenta, con la finalidad de formar aglomerados de las partículas desestabilizadas en el proceso previo de coagulación. La agitación debe obtenerse mediante la disipación de energía hidráulica o excepcionalmente mecánica, en los casos que técnicamente se justifique debido a la necesidad de dotar de flexibilidad al sistema.

**4.2.3.17.4.2** El período de retención hidráulica en el tanque de floculación y los gradientes de velocidades a ser aplicados en el diseño deben ser determinados mediante pruebas de jarras con el agua cruda a ser tratada, que corresponda cuando menos al período invernal.

**4.2.3.17.4.3** Se debe contemplar en lo mínimo tres tramos con gradientes de velocidades decrecientes desde la entrada. Los períodos parciales de retención hidráulica de cada tramo deben adoptarse a partir de las pruebas de jarras.

**4.2.3.17.4.4** La agitación del agua en los floculadores hidráulicos debe ser obtenida por medio de pantallas o de dispositivos que direccionen el flujo, propiciando un movimiento horizontal, vertical o helicoidal. La intensidad de agitación resulta de la resistencia hidráulica ofrecida por el agua durante el movimiento, medida como pérdida de carga.

#### **4.2.3.17.4.5** *Floculadores hidráulicos de pantallas*

- a) Se recomienda utilizar pantallas removibles de acero inoxidable o acero al carbono con recubrimiento epóxico de grado alimenticio, plástico u otro material, que no constituya un riesgo de contaminación.
- b) La velocidad del agua en los canales de los floculadores hidráulicos, formados por pantallas consecutivas, debe ser la que resulta del gradiente de diseño del tramo y estar comprendida entre 0,10 m/s y 0,35 m/s.
- c) El paso de un canal a otro, equivalente a la separación entre el extremo de la pantalla y la pared, en floculadores horizontales; o con fondo del tanque, en el caso de floculadores verticales, debe ser igual a 1,5 veces el espaciamiento entre pantallas.
- d) La separación mínima entre pantallas debe permitir con facilidad y efectividad, la limpieza de los canales de la unidad. El fabricante debe prever los mecanismos y sistemas hidráulicos para permitir el arrastre eficiente del lodo depositado. En el caso de floculadores de flujo vertical, las pantallas verticales que llegan al fondo, deben disponer de una abertura con un área equivalente al 5% de la sección transversal del canal.
- e) La expresión matemática para el cálculo del gradiente de velocidades en un tramo de un floculador hidráulico es la de Camp y Stein, indicada a continuación:

$$G = \sqrt{\frac{gh}{\nu \times t}}$$

donde:

G = gradiente de velocidad, en  $s^{-1}$

g = aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$

h = sumatoria de las pérdidas de carga en los tramos rectos del canal y en las vueltas, en m

$\nu$  = viscosidad cinemática del agua, en  $m^2/s$

t = período de retención hidráulica del tramo de floculación, en s

#### 4.2.3.17.4.6 Floculadores tipo Cox o Alabama

- a) En estos floculadores, el agua hace un movimiento ascendente - descendente dentro del compartimiento.
- b) El gradiente de velocidad se produce casi exclusivamente en los puntos de paso localizados todos en el fondo de la unidad y distribuidos alternadamente en uno y otro extremo del fondo.
- c) En el floculador Alabama, el gradiente de velocidad es función de la suma de las pérdidas de carga en el cambio de dirección del flujo al ingresar al niple, en el niple propiamente dicho, en la curva y en la boquilla de salida.
- d) En el floculador tipo Cox, el gradiente de velocidad es función de la pérdida de carga en el cambio de dirección del flujo y en el codo o curva.
- e) La profundidad de la unidad debe ser de 3 m a 3,5 m para que la altura máxima de agua sobre los orificios sea del orden de 2,4 m.
- f) La relación ancho/largo de cada compartimiento debe ser de 1 a 1,33.
- g) La sección de cada compartimiento se diseñará con una tasa de  $0,45 m^2$  por cada  $1\ 000 m^3/d$ .
- h) Los criterios para diseñar los puntos de paso entre los compartimientos son los siguientes:
  - Relación de la longitud del niple a su diámetro:  $L/d = 5$
  - Velocidad en las boquillas variable entre  $0,25 m/s$  a  $0,75 m/s$ .
  - Tasa de diseño para determinar la sección de las boquillas:  $0,025 m^2$  por cada  $1\ 000 m^3/d$ .
  - Se debe considerar como mínimo 4 cámaras en serie con gradientes decrecientes, además se debe verificar el gradiente en el paso de una cámara a otra, de tal forma que no supere al de la cámara anterior.

#### 4.2.3.17.4.7 Floculadores de medios porosos

- a) Están constituidos por una cámara de forma tronco cónica en la base, rellena de material granular como grava, esferas de plástico, segmentos de tubos de plástico, u otro tipo de material similar, que cumplan la condición de no degradarse ni transferir contaminantes al agua, con tamaños comprendidos entre 12 mm y 25 mm en el caso de la grava. Es considerado como un floculador hidráulico con un número elevado de cámaras lo que permite reducir el tiempo de retención hidráulica de floculación obtenido experimentalmente.
- b) Este tipo de floculador podrá emplearse cuando el caudal de diseño se encuentre en el rango de 8 L/s a 15 L/s.
- c) La forma tronco cónica en la base permite escalonar el gradiente de velocidades, al tiempo que facilita la limpieza de la unidad mediante descargas de fondo.
- d) El tiempo de retención hidráulica total de la unidad se tomará equivalente al 30% del tiempo determinado experimentalmente y debe estar comprendido en el rango entre 5 min. a 10 min. Para el cómputo del tiempo de retención hidráulica se considerará únicamente el volumen de espacios dentro del material granular.

- e) El gradiente de velocidades será evaluado mediante la misma expresión de Camp y Stein, en la que el término de pérdida de carga (h) será determinado mediante una de las expresiones matemáticas de pérdida de carga para medios granulares y el término (t) está referido al tiempo de retención dentro del volumen de vacíos del material granular.

#### **4.2.3.17.4.8 Floculadores mecánicos de paletas de eje vertical paralelas al eje**

- a) Las unidades de floculación mecánicas deben disponer por lo menos de tres compartimientos de base cuadrada, separadas por pantallas, interconectadas en serie mediante aberturas de paso.
- b) La ubicación de las aberturas en las pantallas debe ser de manera diagonal y, alternando entre el nivel superior e inferior de la cámara, con el fin de reducir la posibilidad del paso directo del agua.
- c) Las dimensiones de aberturas entre compartimientos adyacentes deben permitir que el gradiente de velocidades en el paso de agua, tenga un valor igual o inferior al del compartimiento anterior.
- d) Se dispondrán de las válvulas necesarias para permitir el vaciado total de la unidad durante su limpieza. Cuando la abertura de interconexión entre dos compartimientos se ubiquen en el fondo, podrán estos tener una sola válvula de vaciado.
- e) Durante el diseño, se debe tener presente los siguientes criterios y relaciones geométricas:
- e.1) Las paletas correspondientes a un mismo plano tendrán su área inferior al 20% de la sección transversal de la unidad, con la finalidad de evitar la rotación de la masa de agua.
  - e.2) La velocidad longitudinal de cualquier paleta será inferior o igual a 0,7 m/s.
  - e.3) La velocidad longitudinal de las paletas ubicadas a 2/3 del radio del rotor, medido a partir del eje, estará comprendido entre 0,2 m/s a 0,6 m/s.
  - e.4) La distancia entre paletas debe ser superior o igual a 0,10 m.
  - e.5) La profundidad útil de la unidad será inferior o igual a 5 m.
  - e.6) La longitud de la paleta menor o igual a 4 m.
  - e.7) La relación entre el diámetro del rotor formado por dos brazos y el lado de la cámara, estará comprendido entre 0,8 y 0,9.
  - e.8) El ancho entre las paleta estará comprendido entre 0,05 m a 0,15 m.
  - e.9) La relación largo/ancho óptima de las paletas está comprendida entre 15 a 20.
- f) La potencia del motor debe ser igual o superior a 2 veces la potencia disipada en el agua. La velocidad de rotación se conseguirá mediante un conjunto motor – reductor mecánico de velocidad, el cual debe estar controlado mediante un variador electrónico de frecuencias para permitir los cambios en la velocidad de rotación y ajustes en el gradiente de velocidades.
- g) El cálculo de la potencia teórica del sistema mecánico de floculación debe ser determinado mediante metodologías presentadas en la literatura técnica especializada.

**4.2.3.17.5 Sedimentadores.** Son unidades destinadas a la remoción de los flóculos formados en un proceso de ciclo completo. El tipo de sedimentadores que debe contemplarse en el diseño de las plantas prefabricadas corresponde al de alta tasa. Esta capacidad de operar a una tasa superficial elevada (comparada con los sedimentadores convencionales) se debe a la colocación de una serie de elementos tubulares o de placas planas paralelas, inclinadas entre 55° a 60° respecto al plano horizontal, y espaciadas a distancias menores que 10 cm, por donde fluye el agua en forma ascendente, produciéndose la sedimentación de los flóculos sobre las superficies inclinadas, desde las cuales se deslizan por efecto de la gravedad e inclinación de las placas o elementos tubulares, hasta tolvas inferiores de acumulación de lodo.

**4.2.3.17.5.1** Los elementos tubulares pueden tener los siguientes tipos de secciones: circulares, cuadradas, rectangulares o hexagonales.

**4.2.3.17.5.2** Los materiales de los elementos tubulares o placas planas pueden ser de ABS (acrilo nitrilo butiadeno estireno), PVC o cualquier otro material plástico apto para uso en aplicaciones de agua potable. Pueden ser fabricados localmente o importados en este último caso, se exigirá el cumplimiento de la norma ANSI/NSF 61.

**4.2.3.17.5.3** En el diseño se debe colocar especial atención en tres aspectos básicos: (a) la distribución uniforme de agua floculada por debajo de las placas o elementos tubulares; (b) la recolección uniforme del agua decantada; y (c) la extracción eficiente de los lodos depositados de sus tolvas.

**4.2.3.17.5.4** El número de sedimentadores de la planta prefabricada depende de factores constructivos, operacionales y económicos. Para las capacidades consideradas en esta norma, la planta podrá disponer de una unidad de sedimentación.

**4.2.3.17.5.5** La tasa superficial de aplicación a los sedimentadores debe ser determinada en función de la velocidad de sedimentación de los flóculos considerados para su remoción, la cual es determinada experimentalmente en pruebas de jarras. Dicha velocidad de sedimentación debe ser multiplicada por el factor de 0,5, previo al cálculo de la tasa superficial.

**4.2.3.17.5.6** Ante la imposibilidad técnica de determinar experimentalmente la velocidad de sedimentación, se adopta una velocidad para el cálculo de la tasa superficial de aplicación de 1,39 cm/min ( $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ ).

**4.2.3.17.5.7** La tasa superficial de aplicación al sedimentador viene dada por la siguiente relación:

$$\frac{Q}{A} = f \times V_s$$

donde:

- Q es el caudal afluente a la unidad de sedimentación, en  $\text{m}^3/\text{s}$
- A es el área de la zona de sedimentación, en  $\text{m}^2$
- f es el factor de área adimensional
- $V_s$  velocidad de sedimentación, en m/s.

**4.2.3.17.5.8** El factor de área viene dado por la siguiente relación:

$$f = \frac{\text{sen} \theta (\text{sen} \theta + L \cos \theta)}{S}$$

donde:

- $\theta$  Ángulo de inclinación de los elementos tubulares, en grados
- L Relación entre  $l/d$ , superior o igual a 15, adimensional
- l Longitud del elemento tubular o de la placa, en m
- d Diámetro interno del elemento tubular o distancia entre unidades sucesivas de placas, en m
- S Factor de eficiencia para los elementos tubulares o placas planas, valor adoptado en función de la tabla 6, adimensional.

**TABLA 6. Factor de eficiencia**

Elemento tubular	S
Placas planas paralelas	1
Circular	1,33
Cuadrado	1,43

**4.2.3.17.5.9** Para elementos de sección rectangular el factor de eficiencia S, se determina en función de su relación  $b/d$ , donde b representa el ancho de la sección y d la separación sucesiva entre elementos tubulares, empleando criterios presentados en la literatura técnica especializada.

**4.2.3.17.5.10** La velocidad longitudinal máxima en el interior de elementos tubulares debe ser de 0,30 cm/s.

**4.2.3.17.5.11** El número de Reynolds en el interior de los elementos tubulares o placas planas debe ser menor a 500.

**4.2.3.17.5.12** La distribución de agua a los sedimentadores debe realizarse de modo que los caudales afluentes a cada unidad resulten aproximadamente iguales. El desvío máximo de caudal no debe superar el  $\pm 10\%$  del caudal nominal de una unidad.

**4.2.3.17.5.13** Cuando el afluente a un conjunto de sedimentadores proviene de un mismo tanque de floculación, el canal de distribución debe cumplir las siguientes condiciones:

- a) La entrada al sedimentador debe ser ahogada, con dimensiones tales que el gradiente de velocidades resulte inferior a  $20 \text{ s}^{-1}$ .
- b) La velocidad máxima del agua en el canal que conduce a los sedimentadores debe ser igual a la mitad de la velocidad en sus entradas.
- c) Se debe prever los elementos necesarios de limpieza del canal.

**4.2.3.17.5.14** En el interior de una unidad de sedimentación debe diseñarse un canal de distribución del afluente por debajo de las placas o sistemas tubulares, a fin de obtener una distribución aproximadamente uniforme a lo largo de la unidad. Esta condición se podrá conseguir manteniendo la velocidad en el canal distribuidor lo más uniforme posible después de cada derivación, reduciendo la sección del canal en su longitud. La evaluación hidráulica de este canal se debe realizar empleando la metodología desarrollada por Hudson, presentada en la literatura técnica especializada.

**4.2.3.17.5.15** El desvío máximo de caudal en la distribución interna de un sedimentador debe ser inferior al 15% y simultáneamente el gradiente de velocidades en las salidas laterales debe ser inferior al del último tramo de floculación y compuerta de ingreso a la unidad.

**4.2.3.17.5.16** La proyección del chorro en la pared frontal se determina considerando una relación de uno vertical a cinco horizontal.

**4.2.3.17.5.17** La recolección de agua de los sedimentadores debe realizarse por un sistema de tubos sumergidos perforados en la clave o de canales provistos de orificios o vertederos triangulares laterales con descarga libre, organizados de manera que garantice un caudal uniforme a lo largo de estos.

**4.2.3.17.5.18** Los tubos perforados de recolección deben descargar libremente en un canal o cámara, garantizando además que internamente trabajen a lámina libre. La carga hidráulica máxima sobre los orificios debe ser de cinco centímetros.

**4.2.3.17.5.19** Los canales de recolección deben tener un calado máximo de agua, limitado a los diez centímetros por debajo del borde de recolección.

**4.2.3.17.5.20** El caudal de recolección en los tubos perforados o en los canales debe ser inferior a 2,5 litros por segundo por metro lineal de estos elementos.

**4.2.3.17.5.21** La distancia entre los canales o tuberías perforadas de recolección debe ser inferior a dos veces la altura libre de agua sobre los elementos tubulares o placas planas inclinadas.

**4.2.3.17.5.22** La altura libre de agua sobre los elementos tubulares o placas planas inclinadas, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\frac{L_c}{h} = 0,005 \times \frac{A}{Q}$$

donde:

Q es el caudal afluente a la unidad de sedimentación, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

A es el área de la zona de sedimentación, en  $\text{m}^2$ .

$L_c$  separación entre ejes de tuberías perforadas o canales, en m.

h la altura libre de agua sobre los elementos tubulares o placas, en m.

**4.2.3.17.5.23** La recolección y almacenamiento de los lodos sedimentados se debe realizar mediante tolvas con pendientes en las paredes comprendidas entre 45 y 60 grados. Pueden ser continuas o constituidas por una serie de pirámides truncadas con la base invertida. Estas tolvas estarán conectadas en su parte inferior a un múltiple recolector que garantice esta capacidad de manera uniforme a lo largo de las tolvas de lodo.



**4.2.3.17.5.24** La capacidad de las tolvas de lodos debe permitir su almacenamiento por un período de una semana de operación, en condiciones críticas de calidad del agua cruda y dosis de coagulante. La altura de la tolva se desarrolla a partir de la altura de influencia de los chorros provenientes del canal de distribución de agua floculada.

**4.2.3.17.5.25** El múltiple de recolección de lodos, conectado a la(s) tolva (s), consiste de una tubería o canal con una serie de orificios o tubos extractores, igualmente espaciados. Su diseño debe garantizar la recolección uniforme de lodos a lo largo de la unidad y un eficiente arrastre de las tolvas. El desvío máximo de caudal de recolección entre orificios debe ser inferior al 15% y la velocidad media en el interior del múltiple debe ser superior a 1 m/s.

**4.2.3.17.5.26** La evaluación hidráulica del múltiple recolector se realiza empleando la metodología desarrollada por Hudson, presentada en la literatura técnica especializada.

**4.2.3.17.5.27** La descarga de lodos se debe diseñar considerando una operación manual. El diámetro de descarga se debe dimensionar considerando las características del sistema, las pérdidas de carga localizadas y la carga hidráulica disponible. En ningún caso se admitirá un diámetro inferior a 150 mm. Las válvulas de descarga deben ubicarse en un lugar de fácil acceso para operación y mantenimiento.

**4.2.3.17.5.28** El lodo proveniente de las descargas de los sedimentadores; así como de los filtros, debe ser destinado a un tratamiento, con la finalidad de atender las disposiciones señaladas en la Legislación de Gestión Ambiental, relativas a las descargas del proceso de potabilización. Con este fin, la entidad contratante tomará las acciones pertinentes al momento de formular el proyecto integral.

**4.2.3.18 Filtración.** La filtración es un proceso físico-químico utilizado para separar impurezas suspendidas y coloidales del agua, mediante su paso a través de un medio granular constituidos por arena o arena y antracita. Para efectos de la presente norma, los filtros rápidos pueden ser de capa filtrante simple o doble, de flujo ascendente o descendente, de tasa constante o declinante, de gravedad o a presión.

**4.2.3.18.1 Filtros de flujo descendente.** Son filtros cuyo flujo se produce de forma descendente, pueden ser abiertos o trabajar a presión, la carga hidráulica se genera por el desnivel entre las unidades de sedimentación y la batería de filtración sin admitir un sistema de bombeo intermedio. El método de operación puede ser a tasa constante o declinante variable.

Los filtros de tasa constante abiertos, que operen con carga hidráulica variable, deben contar con dispositivos simples que permitan la distribución equitativa del caudal en la entrada, como vertederos con descarga libre. En el caso de los filtros de tasa constante y que operan con carga hidráulica constante, el control de nivel dentro del filtro se realizará mediante mecanismos hidráulicos instalados en la salida de las unidades tales como: sifón parcializador; válvula de diafragma operada por contrapeso y control de nivel, etc.

En los filtros que operan bajo el método de tasa declinante variable, las entradas se localizan en un nivel inferior a la salida, de manera que permitan su funcionamiento conjunto como vasos comunicantes; de ésta manera, operando los filtros en forma desfasada con grados de colmatación diferentes, el filtro más colmatado procesa menos caudal, siendo absorbida la diferencia por las restantes unidades, en función de su grado de colmatación. Luego del lavado del filtro más sucio, ocurre una redistribución de caudales en las unidades, generando un estado cíclico durante la operación. Este método de operación puede ser contemplado tanto en filtros abiertos, como en los operados a presión.

El número mínimo de filtros de la batería viene definido por sus características de operación durante la filtración y lavado. En los sistemas operados a tasa constante, no debe ser inferior de 2 y se debe disponer de válvulas de aislamiento a la entrada y a la salida para permitir su mantenimiento.

**4.2.3.18.1.1 Lechos filtrantes y tasas de filtración.** Los lechos filtrantes pueden ser de los siguientes tipos:

a) *Capa única de arena.* El espesor debe estar comprendido entre 0,60 a 0,80 m; el tamaño efectivo de 0,45 mm a 0,55 mm y coeficiente de uniformidad de 1,4 a 1,6. La tasa media de filtración debe estar limitada a  $150 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

- b) Capa única de arena uniforme. La profundidad del lecho debe estar comprendida entre 1,2 m a 1,8 m. La arena debe cumplir un tamaño efectivo comprendido entre 1 mm a 1,3 mm y el coeficiente de uniformidad debe ser menor o igual a 1,3. La tasa media de filtración debe estar limitada a  $360 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .
- c) *Capa filtrante de arena y antracita*. La capa filtrante constituida por capas superpuestas de arena y antracita deben cumplir las siguientes especificaciones:
- c.1) Arena  
 Espesor de la capa comprendido entre 0,20 y 0,30 m.  
 Tamaño efectivo entre 0,45 a 0,6 mm .  
 Coeficiente de uniformidad menor o igual a 1,6.
- c.2) Antracita  
 Espesor de la capa comprendido entre 0,45 y 0,60 m.  
 Tamaño efectivo, 0,8 a 1,1 mm .  
 Coeficiente de uniformidad, menor o igual a 1,4.  
 Peso específico, no menor de  $15\,200 \text{ N/m}^3$  o equivalente  $1\,550 \text{ kg/m}^3$ .

Adicionalmente se debe observar las siguientes recomendaciones:

- El d90 de la antracita debe ser igual a tres veces del d10 de la arena;
- El d10 de la antracita debe ser la mitad del d90 del mismo material;
- La velocidad ascensional que expande un 10% del d90 de la antracita, no debe ser menor del 80% de la velocidad ascensional que expande en un 10% el d90 de la arena.

La tasa media de filtración esta limitada a  $350 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ . En el caso de sistemas de filtración operados con tasa declinante variable, la tasa máxima debe ser limitada a  $500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

**4.2.3.18.1.2 Lecho de soporte.** El lecho de soporte de grava constituye parte del sistema de drenaje del filtro cuya finalidad es la de permitir una recolección y distribución uniforme del agua y evitar la pérdida del material filtrante. Para su conformación el fabricante debe observar las siguientes recomendaciones:

- a) El espesor del lecho de soporte viene dado por las características del sistema hidráulico de drenaje.
- b) El material debe estar distribuido en estratos con granulometría decreciente en el sentido ascendente. El espesor de cada estrato debe ser igual o superior a dos veces y media el tamaño de las gravas mayores y no menor a 5 cm.
- c) El rango de tamaños en cada estrato debe estar limitado a la relación de 2 veces entre el máximo y mínimo.
- d) El estrato situado directamente sobre el sistema de drenaje debe tener un tamaño mayor o igual al doble de los orificios.
- e) El estrato ubicado en contacto con la arena debe tener un tamaño mínimo de 2 mm.

La capa de soporte del medio filtrante puede ser suprimida cuando se emplea sistemas prefabricados de drenaje, que tengan características adecuadas para evitar el paso del material filtrante a través de sus aberturas.

**4.2.3.18.1.3 Características de los materiales.** Los materiales granulares a emplearse en los sistemas de filtración deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) *Grava*. La grava debe ser constituida de fragmentos redondeados, encontrados en lechos de ríos, cuyo tamaño varía entre 4,8 mm y 76 mm. Con densidad relativa no inferior a 2,5. El porcentaje de piezas fracturadas o angulosas no debe superar el 25% del peso de la grava de cualquier tamaño. El porcentaje de piezas delgadas, laminadas o alargadas (en que la mayor dimensión excede tres veces el espesor) debe ser en lo máximo el 2%. La grava debe ser visiblemente libre de pizarra, mica, arena, arcilla, polvo e impurezas orgánicas. La solubilidad de la grava en ácido clorhídrico concentrado (40% en volumen) no debe exceder el 5%. El tamaño de la grava debe cumplir las especificaciones del diseño con una tolerancia del 5%.

- b) *Arena*. La arena debe ser visualmente libre de polvo, limo, arcilla, mica y materia orgánica. La arena debe tener una dureza de 7 en la escala de Mohr, una densidad relativa no inferior a 2,6 y una solubilidad en ácido clorhídrico menor o igual a 5%.
- c) *Antracita*. La antracita debe ser constituida por granos densos y durables de carbón antracitoso de diversos tamaños y debe estar libre de arcilla, pizarra y de otros materiales extraños. La dureza no debe ser menor que 3 en la escala de Mohs y la solubilidad en ácido clorhídrico concentrado no debe exceder al 1 %.
- d) Las pruebas de solubilidad referidas en los materiales filtrantes indicados se debe realizar utilizando una solución de ácido clorhídrico al 40% (volumen, peso específico entre 1,18 y 1,2). La muestra debe ser sumergida en la solución durante 24 horas a una temperatura entre 18 y 20 °C, procediéndose al final del período a determinar la pérdida de peso expresado en porcentaje.
- e) *Sistemas de drenaje*. Los sistemas de drenaje pueden ser por falsos fondos o tuberías perforadas. Los falsos fondos a su vez pueden ser del tipo vigas V invertidas (fondos californianos), placas con boquillas o sistemas prefabricados en acero o plástico. Los sistemas de drenaje fabricados con tuberías perforadas deben ser diseñados como múltiples de distribución y recolección, observándose un desvío máximo de caudal  $\pm 10\%$  con respecto al caudal medio del sistema para lo cual se recomienda utilizar el método de Hudson descrito en la literatura técnica.
- f) *Lavado*. La selección del método de lavado depende del tamaño de la instalación, características del medio filtrante y del sistema de drenaje. El agua empleada para el lavado de los lechos granulares debe ser filtrada, puede provenir por bombeo desde la cámara de aguas claras, de un tanque elevado o del mismo sistema de filtración (lavado mutuo) con el caudal producido por los restantes filtros en operación. El sentido del flujo durante el lavado es ascendente.

En los sistemas de filtración diseñados en que el lavado se realiza con el efluente producido por los restantes filtros en operación, y la carga hidráulica se encuentra alojada en el mismo sistema, se debe tener especial cuidado en el cálculo del sistema de drenaje de los filtros a fin de garantizar las condiciones de lavado efectivas para las características del medio filtrante (expansión). Este sistema de lavado se puede adoptar cuando se disponga de al menos 4 unidades filtrantes en la batería y el caudal de operación durante la filtración, sea igual o superior al requerido durante el lavado de un filtro. El fabricante debe prever un vertedero ajustable en la salida del agua filtrada de la batería, con la finalidad de permitir un ajuste del caudal o la carga hidráulica para el lavado.

Cuando el caudal para el lavado de un filtro provenga de un tanque elevado, el volumen del mismo deberá ser equivalente a 1,5 veces el volumen requerido para el lavado durante un tiempo de 10 min, cuando el número de filtros es inferior a seis y a dos veces cuando el número de filtros es superior. El sistema de bombeo debe proporcionar el volumen requerido en un período de llenado inferior o igual a 60 min.

Cuando el caudal de lavado de un filtro provenga de la cámara de aguas claras ubicada a continuación del sistema de filtración, el volumen reservado para el lavado deber ser equivalente al requerido durante un período de 10 min de lavado. El sistema de bombeo debe dimensionarse, con 1,5 veces el caudal de lavado del filtro y la carga hidráulica requerida durante esta operación considerando la flexibilidad de variar las condiciones de operación mediante variador de frecuencias.

Las velocidades ascensionales del agua durante el lavado deben estimarse de manera que promuevan una expansión del medio filtrante comprendido entre el 30% y 50 % cuando el método de lavado se realiza únicamente con agua en el sentido ascendente.

En los sistemas de mayor capacidad se puede admitir un método de lavado con aire seguido del lavado ascendente con agua, en este caso, el tiempo de aplicación del aire esta comprendido entre 2 a 5 min, a una tasa de 0,6 m/min a 1,2 m/min, y del agua de al menos 5 min, debiéndose garantizar la expansión del 5% del diámetro  $d_{90}$ . El tipo de sistema de drenaje debe ser diseñado para cumplir las condiciones del método descrito y el sistema de aire (sopladores y tuberías) debe ser adecuadamente diseñado para proporcionar el caudal de aire en las condiciones de altitud del proyecto y vencer las pérdidas de carga del sistema de distribución del filtro, aspectos que deben ser señalados por el fabricante.

**4.2.3.18.2 Filtración directa descendente (FDD).** Es la tecnología de tratamiento en la cual se puede tener las siguientes etapas:

- a) mezcla rápida;
- b) floculación; y
- c) filtración en sentido descendente.

En virtud de la calidad del agua cruda y principalmente de las características del medio filtrante, la floculación puede ser prescindida. Las plantas potabilizadoras de ciclo completo pueden diseñarse con flexibilidad de operación, de manera que en épocas secas sea posible la filtración directa descendente.

**4.2.3.18.2.1** Las condiciones de diseño de la unidad de mezcla rápida deben considerar un gradiente comprendido entre  $500$  a  $1200 \text{ s}^{-1}$ ; mediante los dispositivos hidráulicos señalados en la presente norma.

**4.2.3.18.2.2** El mecanismo de coagulación adecuado para la FDD es el de neutralización y adsorción de cargas. La dosis óptima de coagulante debe determinarse mediante prueba de jarras específica para esta tecnología, en la cual es posible simular la mezcla rápida, con dosis de coagulante (sulfato de aluminio) inferiores a  $15 \text{ mg/L}$  y la filtración de muestras empleando papel de filtro Whatman 40 u otro similar. La tecnología admite el uso de polímeros como ayudantes de filtración en dosis inferiores a  $0,5 \text{ mg/L}$ .

**4.2.3.18.2.3** La prefloculación puede considerarse en función del tamaño y concentración de partículas presentes en el agua cruda; así como, de las características del medio filtrante, tasa de filtración y carga hidráulica disponible. Las condiciones de floculación recomendadas en este caso son: gradientes de velocidades de  $50 \text{ s}^{-1}$  y tiempos de floculación entre  $4 \text{ min}$  a  $8 \text{ min}$ .

**4.2.3.18.2.4** El medio filtrante debe ser del tipo doble capa, constituido por antracita y arena, que cumplan las siguientes características granulométricas:

*Características de la antracita:*

Rango de tamaños: comprendido entre  $0,71 \text{ mm}$  y  $2,40 \text{ mm}$   
 Diámetro efectivo (D10): entre  $0,9 \text{ mm}$  a  $1,3 \text{ mm}$   
 Coeficiente de uniformidad  $\leq 1,5$   
 Espesor de la capa:  $0,5 \text{ m}$  a  $0,8 \text{ m}$   
 Peso específico  $\geq 1600 \text{ kg/m}^3$

*Características de la arena:*

Rango de tamaños: comprendido entre  $0,42 \text{ mm}$  y  $2,00 \text{ mm}$   
 Diámetro efectivo (D10): entre  $0,5 \text{ mm}$  a  $0,6 \text{ mm}$   
 Coeficiente de uniformidad  $\leq 1,5$   
 Espesor de la capa:  $0,25 \text{ m}$  a  $0,40 \text{ m}$

**4.2.3.18.25** La tasa media de filtración debe estar comprendida entre  $200$  a  $300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ , en cualquiera de los métodos de operación descritos en la presente norma. La tasa máxima, en el caso del método de operación con tasa declinante variable, estará limitada a  $450 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ , debiéndose observar un valor de la relación entre la tasa máxima a la tasa media, comprendido entre  $1,3$  a  $1,5$ .

**4.2.3.18.26** La carga hidráulica disponible para la filtración debe permitir una pérdida de carga total en el medio filtrante equivalente entre  $2,0 \text{ m}$  a  $2,5 \text{ m}$ .

**4.2.3.18.3 Filtración directa ascendente (FDA).** Es la tecnología de tratamiento en la cual se puede tener las siguientes etapas:

- a) mezcla rápida, y
- b) filtración en sentido ascendente.

El filtro consistirá de una cámara, con fondo falso, sobre el cual va colocado una capa de soporte de grava, y sobre esta última la capa filtrante únicamente de arena. El sentido de flujo del agua durante la operación es ascendente y la recolección se realiza mediante canaletas en la parte superior, las mismas que pueden servir para la recolección del agua del lavado, o disponer de doble canaleta para independizar estas funciones.

**4.2.3.18.3.1** Las condiciones de coagulación y mezcla rápida son las mismas descritas para el caso de la filtración directa descendente FDD.

**4.2.3.18.3.2** El medio filtrante debe ser del tipo capa única de arena que cumpla las siguientes características granulométricas:

*Características de la arena:*

Rango de tamaños: comprendido entre 0,59 mm a 2,00 mm

Diámetro efectivo (D10): entre 0,75 mm a 0,85 mm

Coefficiente de uniformidad  $\leq 1,7$

Espesor de la capa: 1,60m a 2,00 m

*Características del lecho de soporte de grava:*

Rango de tamaños: comprendido entre 2,4 mm a 38,00 mm

Espesor de la capa: 0,60m a 0,80 m

**4.2.3.18.3.3** La tasa media de filtración debe estar comprendida entre 160 a 240  $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ , considerando descargas de fondo intermedias con introducción de agua en la interfaz, en cualquiera de los métodos de operación descritos en la presente norma. En el caso de sistemas diseñados para operar mediante el método de tasa declinante variable, la tasa máxima debe limitarse a 350  $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ ; y, observarse un valor de la relación entre la tasa máxima a la tasa media, comprendido entre 1,3 a 1,5.

**4.2.3.18.3.4** La carga hidráulica disponible en el sistema de filtración puede variar entre 2 m a 3 m, la misma que debe permitir: a) una pérdida de carga total en el medio filtrante inferior al 90% del espesor del medio filtrante de arena con el fin de precautelar la calidad del agua filtrada; b) las pérdidas de carga en el sistema hidráulico; c) pérdidas de carga del sistema de drenaje.

**4.2.3.18.3.5** Todo filtro ascendente debe estar equipado de su respectiva válvula de fondo que permita la realización de descargas de fondo intermedias a lo largo de la carrera de filtración, con la función de realizar una limpieza parcial del filtro, principalmente de la capa de soporte de grava, responsable de un porcentaje importante de la pérdida de carga, y lograr el incremento de la duración de la carrera de filtración.

**4.2.3.18.3.6** El sistema de filtración debe disponer de un sistema hidráulico que permita la introducción de agua filtrada en la interfaz entre la capa de grava y medio filtrante, durante la descarga de fondo intermedia. El origen del agua filtrada puede ser la almacenada sobre la superficie del medio filtrante o mediante bombeo desde un tanque externo.

**4.2.3.18.3.7** La tasa superficial de aplicación de agua en la interfaz de la capa de soporte de grava y el medio filtrante, durante la descarga de fondo intermedia, debe estar comprendida entre 600 a 1 000  $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ .

**4.2.3.18.3.8** El método de lavado será mediante uso únicamente de agua en el sentido ascendente con una velocidad entre 1,0 a 1,2 m/min, garantizando una expansión de la arena superior al 40%, durante un período de 6 a 8 min. La calidad del agua debe ser filtrada, pudiendo provenir de un tanque elevado o tanque externo, siendo en ambos casos necesarios de un sistema de bombeo, convenientemente dimensionado.

**4.2.3.19 Cloración.** Con el propósito de eliminar organismos patógenos, todo sistema de abastecimiento de agua potable debe ser desinfectado adecuadamente.

Para efectos de la presente norma se ha considerado únicamente la desinfección con cloro, en cualquiera de sus presentaciones: gas o una de sus sales (hipoclorito de calcio o sodio).

**4.2.3.19.1 Equipos para Cl-gas.** Los fabricantes contemplarán en su oferta la provisión del sistema de cloración. En caso de especificarse la dosificación de cloro-gas, el dosificador será del tipo al vacío. Los equipos de dosificación al vacío se basan en el vacío parcial producido por el inyector o eyector. Deben dotarse de dispositivos de seguridad para impedir que aumente o disminuya demasiado el vacío o la presión, dañando los equipos. Estos dispositivos son: una válvula de alivio de vacío y una válvula de retención que impida que el agua ingrese al dosificador.

En función de las dimensiones del sistema de cloración mediante gas, este contemplará los siguientes componentes:

- Manifold de extracción.
- Balanza para 2 cilindros de 68 kg.
- Conmutador automático de cilindros.
- Rotámetros.
- Válvulas dosificadoras de Cl al vacío.
- Eyector.
- Difusor.
- Sistema de arrastre de Cl.
- Comprobador de Cl.
- Kit de emergencia.

La máxima extracción de Cl-gas de un cilindro de 68 kg será de 10 kg por día y la máxima concentración de la solución de Cl a ser considerada para el sistema de arrastre será de 1 500 mg/L. El número de cilindros de Cl será el suficiente para un período de almacenamiento de 90 días.

**4.2.3.19.2 Equipos de producción y dosificación de soluciones de hipoclorito.** Otra alternativa de cloración consiste en la producción en sitio de hipoclorito de sodio a partir de una solución de cloruro de sodio, mediante un proceso de electrólisis. La capacidad de producción del equipo será el necesario para cubrir el requerimiento de 1 día de solución en un período de 12 horas de funcionamiento continuo. La dosificación de la solución se puede realizar mediante bomba dosificadora de diafragma o mediante un dosificador de carga constante.

El sistema ofertado por el fabricante contemplará los siguientes elementos:

- Equipo productor de hipoclorito de sodio que incluya tablero de control.
- Tanque de almacenamiento de la solución con capacidad para un día de suministro provisto de indicador de nivel.
- Bomba dosificadora o dosificador de carga constante.
- Comprobador de Cl.

El diseñador puede proponer cualquier otro mecanismo para la dosificación de cloro en solución, siempre que sea debidamente justificado y aceptado por la entidad contratante.

**4.2.3.19.3 Dosis de cloro.** La dosis óptima de cloro a aplicar depende del tiempo de retención en el sistema, del tipo de compuesto de cloro que se utiliza, de la clase de desinfectante que se forma en el agua en función de su temperatura, pH, contenido de nitrógeno. Esta dosis debe ser determinada experimentalmente mediante la prueba del punto de quiebre, que permita establecer una concentración adecuada de cloro libre residual en el sistema de distribución. Para efectos de dimensionamiento del sistema, se considera una dosis mínima de 2 mg/L.

**4.2.3.19.4 Tanques de contacto.** Una vez introducido el cloro en el agua, se debe permitir su mezcla y retención por un tiempo apropiado, para lo cual se deben diseñar tanques con tabiques que permitan el flujo tipo pistón y garanticen un tiempo de retención de 30 minutos. El fabricante debe proporcionar los planos de la obra civil necesarios para la construcción de la obra.

**4.2.3.20 Dosificación de productos químicos.** Las sustancias químicas deben ser dosificadas mediante bombas de diafragma o dosificadores de carga constante de características compatibles con el tipo de solución.

**4.2.3.20.1 Bombas dosificadoras.** En el caso de sistemas de dosificación mediante bombas, estas deben ser de tipo diafragma; el fabricante debe considerar por cada solución, un sistema constituido por los siguientes elementos:

- Dos bombas dosificadoras de membrana.
- Amortiguador de pulsaciones
- Válvulas de contrapresión.
- Válvulas de seguridad.
- Columna de calibración.
- Bastidor en acero inoxidable.
- Tanque de preparación de la solución.

La capacidad de dichos equipos debe permitir al menos dos veces el requerimiento máximo del sistema de potabilización. El control de la dosificación será considerado manual. Las soluciones serán preparadas en tanques de acero inoxidable AISI 316 con capacidad de almacenamiento de 24 horas, a una concentración recomendada para el producto a dosificar, debiendo disponer incorporado un agitador electromecánico de acero inoxidable con una velocidad de giro comprendida en el rango de 50 y 80 rpm.

**4.2.3.20.2 Dosificadores de carga constante.** Consisten en tanques de acero inoxidable AISI 316 dotados de válvula flotadora para control de nivel y mecanismo que permita ajustar la sección del orificio de control de caudal de la solución. Las dimensiones del tanque serán adoptadas en función del caudal de dosificación evitando que ocurra la precipitación de sólidos. Por cada solución se debe contemplar dos dosificadores de carga constante.

**4.2.4 Documentos de la propuesta técnica y económica del proveedor.**

La propuesta realizada por los proveedores de plantas prefabricadas a las entidades contratantes, consiste de una oferta técnica y otra económica, en base a las condiciones de calidad del agua cruda y de instalación determinadas por la entidad contratante y de las disposiciones de la presente norma.

**4.2.4.1 La oferta técnica debe estar constituida por los siguientes documentos:**

- Memoria ejecutiva de los principales criterios y parámetros adoptados en el predimensionamiento hidráulico del sistema.
- Cálculos hidráulicos básicos, que justifiquen las dimensiones de las unidades de tratamiento.
- Esquema general de la planta, diagramas de flujo, perfil hidráulico.
- Esquemas con detalle suficiente de las principales dimensiones de las unidades de tratamiento.
- Descripción de las obras civiles que requiere la planta prefabricada para su correcta instalación y operación; incluyendo planos, cantidades de obras y presupuesto de referencia.
- Especificaciones técnicas constructivas de las unidades de tratamiento, y accesorios.
- Catálogos técnicos de los equipos auxiliares ofertados.
- Plan de capacitación.

**4.2.4.2 La propuesta económica debe contemplar los siguientes documentos:**

- Presupuesto desglosado por componentes de la planta: unidades de tratamiento, accesorios y equipos complementarios.
- Plazo de entrega.
- Cronograma de implementación de la planta prefabricada en el sistema:
  - a) Construcción,
  - b) instalación,
  - c) operación inicial y transferencia tecnológica.
- Estimación de los costos de producción, con detalle de los requerimientos de energía eléctrica, personal de operación, productos químicos, medidas de seguridad y disposición de residuos.
- Garantía técnica.
- Garantía de repuestos.

**4.2.4.3** La evaluación técnica y económica de las ofertas debe ser realizada por la entidad contratante, la cual puede solicitar aclaraciones o ampliaciones a la misma, dentro del plazo previsto en el proceso de contratación pública, y aceptar o rechazar las mismas, justificando sus decisiones.

**4.2.4.4** Los criterios de evaluación deben ser establecidos y publicados por la entidad contratante en los respectivos documentos de invitación al concurso, los cuales permitirán su verificación, entre otros, de los siguientes aspectos:

a) Tecnología apropiada a:

- La calidad del agua cruda.
- Las condiciones locales respecto a la disponibilidad de personal, materiales e insumos para la potabilización, para la fase de operación y mantenimiento de la planta.

b) Compatibilidad con:

- Costos y el nivel socio-económico de la población a la que se servirá.

c) Características técnicas de diseño:

- Criterios de diseño y parámetros adoptados.
- Especificaciones técnicas de construcción de las unidades de tratamiento.
- Calidad de los equipos complementarios y accesorios propuestos.
- Vida útil de los elementos.
- Plan de capacitación.
- Garantías de funcionamiento, repuestos y servicio expost.

d) La evaluación comparativa de los costos de cada oferta considerando:

- Costos del sistema de tratamiento.
- Costo de las obras civiles particulares que requiere el sistema para su funcionamiento.
- Costos de la energía eléctrica a valor presente neto.

### 4.3 Construcción

#### 4.3.1 Especificaciones constructivas generales para unidades hidráulicas de plantas prefabricadas en acero

**4.3.1.1** Todos los elementos metálicos a ser empleados en la construcción de los tanques que constituyan unidades hidráulicas, consistirán de planchas, perfilera, tubería y accesorios de acero resistentes a la corrosión, que cumplan la normativa nacional o internacional correspondientes. Los espesores de cada elemento; así como, sus dimensiones serán los especificados en los planos de diseño proporcionados por el fabricante.

**4.3.1.2 Corte de las planchas.** Se puede emplear un plasma manual, método que consiste en añadir energía a un gas que entra en un estado de ionización, confiriéndole una condición térmica y conducción eléctrica muy elevadas mediante la cual se genera un arco con propiedades térmicas especiales en el centro de aplicación. Se podrá también utilizar el método de corte mediante oxiacetileno.

**4.3.1.3 Soldadura de elementos.** Las planchas de acero, perfilera de refuerzo y accesorios de acero se podrán soldar empleando una o más de las siguientes técnicas:

**4.3.1.3.1 Soldadura MIG (Metal inert gas).** Se emplea un equipo MIG, mediante el cual se genera un arco, bajo un gas protector con electrodo consumible, proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por medio de un gas inerte.

**4.3.1.3.2 Sistema TIG.** Es un sistema de soldadura al arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa. Utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte. El gas de protección tiene el objetivo de desplazar al aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y el nitrógeno presentes en la atmósfera. Como gas protector se pueden emplear argón o helio, o una mezcla de ambos.

**4.3.1.4** Los cordones de soldadura en paneles o planchas soldadas entre sí, que constituyan los tanques de las unidades hidráulicas, deben ser continuos y a ambos lados de las mismas.

**4.3.1.5** La perfilera empleada para el refuerzo de los tanques debe soldarse a los paneles o planchas mediante cordones discontinuos con una longitud que atienda los requisitos de resistencia estructural, considerando las condiciones extremas a las cuales estarán sometidas durante el transporte, montaje y operación.

**4.3.1.6** El fabricante es responsable del diseño y ejecución de la soldadura; así como, de las pruebas no destructivas que garanticen la vida útil del sistema, debiendo certificar su cumplimiento a la entidad contratante.



**4.3.1.7 Prueba hidráulica de hermeticidad.** De manera previa a la instalación, el fabricante debe someter las unidades hidráulicas a pruebas de hermeticidad en taller. En el caso de unidades que funcionen a presión, se debe prever una toma para el llenado de la unidad, procediéndose a sellar provisionalmente los elementos de interconexión, y a mantenerlas presurizadas a la máxima presión dinámica de trabajo prevista en el proyecto, durante un período mínimo de 24 horas. En el caso de tanques abiertos, simplemente se procederá a su llenado e inspección. El fabricante debe certificar la realización de la prueba de hermeticidad, previo a su transporte e instalación.

**4.3.1.8 Transporte y montaje de las estructuras.** Las unidades hidráulicas de la planta se cargarán y transportarán al sitio de instalación una vez concluida la obra civil, bajo la responsabilidad del fabricante, debiendo el mismo observar las normas nacionales sobre seguridad del personal y todas las medidas que garanticen la integridad de las estructuras.

**4.3.2 Especificaciones particulares para la construcción de unidades de la planta de tratamiento en acero al carbono.** En este caso, el fabricante debe observar las siguientes especificaciones particulares:

**4.3.2.1 Materiales.** La perfilería de acero al carbono debe cumplir con los parámetros de composición química y resistencia correspondientes a la norma ASTM A36. En el caso de las planchas deben cumplir con la norma ASTM A36 o ASTM A131 Grado B.

**4.3.2.2 Limpieza de superficies de acero al carbono.** La limpieza de las superficies de acero debe realizarse mediante la proyección de arena empleando aire a presión, método conocido como "Sand Blasting", con el fin de dar un soporte a la pintura protectora que se adopte, observando los siguientes aspectos.

**4.3.2.2.1** La arena empleada en la limpieza de las superficies metálicas debe ser secada y tamizada, y cumplir un rango de calibre entre 1,18 mm (malla número 16 en la serie estándar) a 0,6 mm (malla número 30 de la serie estándar); la presión del aire debe ser superior a los 8 kg/cm<sup>2</sup>.

**4.3.2.2.2** El grado de limpieza obtenido debe ser el metal blanco, entendiéndose como exento de todo residuo de óxido, pintura y partículas en la superficie. El acero debe quedar totalmente limpio de color gris. Es importante indicar que de este tratamiento depende la vida útil de la protección y resistencia a la oxidación de las estructuras; así como, la simplicidad del mantenimiento de la pintura.

**4.3.2.2.3** El proceso de arenado se debe completar con la limpieza de la superficie de todo vestigio de polvo con aire seco a gran presión, y la superficie preparada debe protegerse de la contaminación que pudiera afectar la adherencia de la primera capa de pintura base.

**4.3.2.2.4** Debido a que el proceso de oxidación de la superficie arenada es relativamente rápido, el fabricante debe controlar la humedad ambiente y la pintura de protección se debe aplicar en un plazo no mayor a 4 horas posteriores al arenado. El fabricante de la planta potabilizadora debe observar que los límites de los parámetros temperatura y humedad, se encuentren dentro de los límites señalados por el fabricante de la pintura. En caso de aumento de la humedad ambiente, el fabricante debe suspender inmediatamente el pintado de la superficie y proceder a cubrir la misma.

**4.3.2.3 Pintura de protección de superficies de acero al carbono.** El fabricante debe cumplir con las siguientes especificaciones:

**4.3.2.3.1** Al interior de la estructura, en contacto con el agua del proceso de potabilización, se debe usar una pintura no tóxica, del tipo epóxica amina cicloalifática, de grado alimenticio, que cumpla los estándares de la norma NSF/ANSI 61; de la FDA (Food and Drug Administration Department of Health and Human Services de los EE UU) o similar. El espesor de la pintura debe ser mayor a 350 micrómetros, aplicada en capas de espesor no mayor a 150 micrómetros.

**4.3.2.3.2** La superficie externa de las estructuras de la planta prefabricada, que queda sometida a un ambiente húmedo típico del proceso de potabilización del agua, debe ser pintada a fin de protegerla de la oxidación, mediante pintura epóxica o un tratamiento anticorrosivo como fondo y esmalte para acabado final. El espesor de la pintura en este caso no debe ser menor a 300 micrómetros.

**4.3.3 Especificaciones particulares para unidades de tratamiento construidas en acero inoxidable.** En este caso, el fabricante debe cumplir las siguientes especificaciones particulares:

**4.3.3.1** Las planchas, perfilería, accesorios y cualquier elemento de acero deben cumplir la norma AISI 304, o su equivalente ASTM A-249, con la correspondiente composición que viene dada por los siguientes porcentajes: 0,08% C; 2,00% Mn; 0,04% P; 0,03% S; 0,75% Si; de 8 a 11% Ni y de 18 a 20% Cr.

**4.3.3.2** Las planchas, perfilería, y cualquier elemento de acero inoxidable, que constituyan la unidad hidráulica, se deben soldar mediante la técnica MIC. El electrodo a emplearse consistirá en un hilo macizo o tubular continuo de diámetro entre 0,8 y 1,6 mm que debe cumplir la norma AWS ER 308. La selección del calibre del alambre debe estar de acuerdo con las características de los elementos a soldar y debe permitir una penetración aceptable sin causar la perforación de estos.

**4.3.3.3** *Acabado de las superficies.* En la fabricación de las estructuras de la planta prefabricada, se debe observar un acabado de excelente calidad tanto en cortes como en la uniformidad de los cordones de soldadura y se procederá a un pulido mecánico o químico con el propósito de recuperar la coloración original del metal.

#### **4.3.4** *Sistemas hidráulicos de interconexión de las unidades de tratamiento*

**4.3.4.1** *Materiales.* Los accesorios y tramos de tuberías que comprenden los sistemas hidráulicos de interconexión de las unidades de tratamiento deben ser fabricados en materiales que garanticen la vida útil del sistema requerido en esta norma. Entre los materiales se considerarán: hierro fundido, hierro dúctil, acero inoxidable, acero al carbono debidamente protegido de la corrosión. Para esta función, no serán aceptados accesorios y tuberías de materiales termoplásticos en general.

#### **4.3.4.2** *Tuberías y accesorios de hierro fundido*

**4.3.4.2.1** Deben ser fabricados bajo una de las siguientes normas:

- ISO 2531,
- AWWA C-106-70,
- ANSI A21.6,
- ASTM A377.

**4.3.4.2.2** La presión mínima de los tramos y accesorios debe resistir al menos 3 veces la máxima presión de trabajo y no debe ser menor a 10 atmósferas.

#### **4.3.4.3** *Válvulas*

**4.3.4.3.1** Las válvulas de operación de los sistemas hidráulicos de toda planta prefabricada deben ser de tipo compuerta o mariposa, provistas de volante para su accionamiento manual.

**4.3.4.3.2** Las válvulas de compuerta deben cumplir la norma ANSI/AWWA C500 y el material del cuerpo será hierro dúctil (ASTM A536). El disco de la compuerta debe tener revestimiento de material elastomérico.

**4.3.4.3.3** Las válvulas de mariposa deben ser fabricadas cumpliendo normas internacionales, ANSI/AWWA C504 o similar, el material de la cubierta y volante será el hierro dúctil (ASTM A126 clase B). El eje del disco debe ser de acero inoxidable AISI 420. El asiento del disco será E.P.D.M.

#### **4.3.4.4** *Uniones mecánicas y juntas de desmontaje*

**4.3.4.4.1** El fabricante debe prever mecanismos para un fácil montaje del sistema hidráulico de la planta; así como, el desmontaje para mantenimiento o remplazo de accesorios, para ello contemplará uniones mecánicas o uniones de desmontaje.

**4.3.4.4.2** Las uniones mecánicas permiten la unión de dos tramos de tubería o accesorios que tengan extremos lisos. Estos accesorios serán fabricados bajo normas internacionales, ANSI/AWWA C219. El material dominante será el acero fundido (ASTM A536).

**4.3.4.4.3** Las juntas de desmontaje permiten la unión de tramos de tubería o accesorios de extremos bridados, y un desplazamiento axial que posibilita el desmontaje de los accesorios o tramos de tubería adyacentes. Serán fabricados bajo normas internacionales ANSI/AWWA C207 y C219. El cuerpo del accesorio será fabricado en hierro fundido ASTM A536.

**4.3.4.5** Los extremos entre tramos cortos, accesorios y conexiones de la planta prefabricada serán especificados por el fabricante y pueden ser tipo brida o roscable. En el caso de extremos bridados, el taladrado debe cumplir con las normas internacionales (ANSI B16.5, o ISO 7005-2).

**4.3.4.6** *Accesorios construidos en taller.* Los accesorios como manifolds, tees o codos especiales, etc., podrán fabricarse en taller empleando tubería y accesorios para soldar a tope, en materiales como acero inoxidable (AISI 304) o acero al carbono (ASTM A 36) con recubrimiento galvanizado. En cualquier caso, el fabricante debe cumplir las siguientes especificaciones.

**4.3.4.6.1** *Accesorios fabricados en acero inoxidable*

**4.3.4.6.1.1** La tubería de acero inoxidable empleada para la fabricación de accesorios debe ser de cédula 10 o superior, en un diámetro hasta de 150 mm. Para diámetros iguales y superiores a 200 mm, la tubería podrá ser confeccionada en taller a partir de una lámina de acero inoxidable (AISI 304), mediante rolado y soldadura en toda su longitud, cuyo espesor debe ser superior o igual a 2 mm y resistir a las presiones máximas de operación.

**4.3.4.6.1.2** Los accesorios como tees, codos, etc., empleados para la confección de los sistemas hidráulicos de interconexión de las unidades de la planta, deben cumplir con la norma ASTM A403 y corresponderán a una cédula 10 o superior, según su disponibilidad en el mercado local y nacional.

**4.3.4.6.1.3** Los extremos de los accesorios construidos pueden consistir en bridas de acero inoxidable fabricadas bajo norma ASTM A182, o pueden ser confeccionadas a partir de una plancha de acero inoxidable recortada de un espesor no menor de 8 mm. En este caso el taladrado debe realizarse de acuerdo con las normas ANSI B16.5 o ISO 7005-2.

**4.3.4.6.1.4** Los elementos como accesorios podrán soldarse mediante la técnica MIC o de arco. En este último caso, el electrodo a utilizarse debe cumplir con la Norma AWS E308 – 16.

**4.3.4.6.2** *Accesorios de acero al carbono fabricados en taller*

**4.3.4.6.2.1** La tubería debe cumplir la norma de fabricación ANSI/AWWA C200, la misma será de tipo sin costura. Los tramos de tubería a emplearse deben tener un espesor mayor a 3,5 mm. Los accesorios como tees, codos, reducciones, etc., deben cumplir con las normas ASTM A234 o ANSI B169.

**4.3.4.6.2.2** En todo lo que respecta a materiales y dimensiones de las bridas, se deben cumplir las especificaciones de la norma ANSI-AWWA C207. El material de las bridas será en acero al carbono tipo ASTM A36, el número y diámetro de los agujeros para colocación de los pernos será según norma ANSI B16.1 o ISO 7005-2. La unión de las bridas a los respectivos extremos de tubería se efectuará mediante soldadura de arco, cumpliendo las normas ASME o ANSI-AWWA C206. Las bridas a suministrarse serán de clase D; es decir, para presión nominal de trabajo de 150 psi.

**4.3.4.6.2.3** Los accesorios de acero al carbono confeccionados en taller obligadamente deben recibir un recubrimiento galvanizado.

**4.3.4.7** *Empaques.* Los empaques en las bridas de los accesorios de los sistemas hidráulicos deben ser fabricados de caucho tipo neopreno, de un espesor no menor a 4 mm. La materia prima cumplirá además las siguientes propiedades:

- Dureza shore: 75 ± 5
- Resistencia mínima a tracción: 9 Mpa
- Porcentaje de alargamiento mínimo: 150%

**4.3.4.8** *Pernos y tuercas.* Los pernos y tuercas deben ser de acero (ASTM A 36), e inoxidables mediante un proceso de galvanizado en caliente. En relación a los requisitos de resistencia, se cumplirá las especificaciones de la norma ASTM A307 para acero grado A. Las dimensiones de la pernería se corresponderán con las dimensiones de las bridas.

**4.3.4.9 Red suministro interno de agua potable.** La red general de suministro de agua potable a los distintos puntos de consumo de las instalaciones complementarias a la planta prefabricada, las redes de arrastre de cloro y de transporte de soluciones, deben construirse empleando tuberías y accesorios de PVC, los cuales deben cumplir los requisitos establecidos en la NTE INEN 1373.

**4.3.5 Otros materiales.** Si el material considerado para la fabricación del cuerpo de las unidades de tratamiento fuera diferente a los especificados en esta norma, el fabricante debe garantizar la inocuidad, la durabilidad, y la resistencia mecánica al transporte, instalación y condiciones máximas de operación, durante la vida útil mínima requerida en esta norma.

#### **4.4 Operaciones iniciales y transferencia tecnológica**

**4.4.1** El fabricante debe proveer el personal, dotación de insumos químicos, costos de energía y ejecución de todas las actividades necesarias para, una vez concluida la instalación de la planta prefabricada, efectuar las pruebas de funcionamiento de todos sus componentes y la puesta en marcha del sistema en general.

**4.4.2** Entre las actividades iniciales se incluirá obligatoriamente la desinfección del sistema de tratamiento y en especial de los lechos filtrantes. El período para la puesta en marcha de la planta prefabricada será especificado por la entidad contratante en los documentos precontractuales, debiendo este no ser inferior a un mes.

**4.4.3** El personal mínimo que el fabricante debe proveer a tiempo completo durante el período de prueba será el siguiente:

- Ingeniero químico o sanitario, encargado de procesos.
- Laboratorista.

**4.4.4** Durante el período de prueba, el fabricante debe suministrar todos los químicos requeridos para la operación de la planta de tratamiento y cubrir los costos de energía eléctrica.

**4.4.5** Las pruebas consisten en la comprobación minuciosa del adecuado funcionamiento de todos los equipos, procesos y en la ejecución de los ajustes, calibraciones y reparaciones necesarios para alcanzar tal objetivo.

**4.4.6** El fabricante debe proporcionar a la entidad contratante el cronograma de las actividades de la fase inicial, señalando los medios de verificación del correcto funcionamiento para cada unidad y equipos del sistema de tratamiento.

**4.4.7** Si durante la fase inicial se detectaren defectos en el funcionamiento de alguno o todos los equipos complementarios, el fabricante procederá a su reemplazo sin que esto signifique costo adicional para la entidad contratante.

**4.4.8** El fabricante debe realizar la capacitación del personal de la entidad contratante una vez concluida y aprobada la fase inicial de pruebas, para ello se considerará:

- La disponibilidad del personal de la entidad contratante, de acuerdo a lo especificado por el fabricante en su oferta técnica, previo al inicio de esta fase.
- El período de capacitación será definido por la entidad contratante, dentro de los documentos precontractuales, debe ser no menor a un mes en jornadas a tiempo completo.
- El contenido de la capacitación debe ser práctico y teórico, que incluya una descripción detallada de todos los elementos del sistema de tratamiento, de las condiciones de operación de los procesos unitarios de tratamiento; el funcionamiento-mantenimiento de los equipos complementarios de la planta; así como, del instrumental para el control de los procesos.
- La capacitación será realizada por personal debidamente formado pudiendo estar conformado por el mismo que realice la fase de pruebas iniciales.

**4.4.9** Al concluir la fase de capacitación y dentro de un período no mayor a quince días el fabricante presentará el manual final de operación y mantenimiento del sistema integral de potabilización que incluye a la planta prefabricada y todos sus componentes.

**4.4.10** Los costos que impliquen la fase de operación inicial, capacitación y manual de operaciones se consideran contemplados en la oferta del fabricante.

**4.4.11** El cumplimiento de la fase inicial de operación, capacitación y entrega del manual de operación-mantenimiento constituirá una condición para que proceda la recepción de la planta prefabricada por parte de la entidad contratante.

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1373	<i>Tubería plástica, tubería de PVC rígido para para presiones, requisitos.</i>
Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 023 CPE INEN 5 Parte 9-1	<i>Agua potable. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.</i>
ANSI/NSF 61 ASTM A36	<i>Drinking water system components Standard specification for carbon and structural Steel.</i>
ASTM A 131	<i>Standard specification for structural steel for ships.</i>
ASTM A249	<i>Standard specification for welded steel.</i>
ISO 2531	<i>Tubería de hierro dúctil.</i>
AWWAC 106-70	<i>Materials Specifications.</i>
ANSI A 21.6	<i>Fundición de hierro de tuberías.</i>
ASTM A377	<i>Especificaciones para la tubería de presión.</i>
ANSI/AWWA C500	<i>Estándar para válvulas de compuerta.</i>
ASTM A536	<i>Especificaciones estándar para hierro dúctil.</i>
ANSI/AWWAC 504	<i>Standard for rubber-seated butterfly valves</i>
ASTM A 126	<i>Standard specification for gray Iron castings for valves, flanges, and pipe fittings.</i>
ASTM 420	<i>Standard specification for piping fittings of wrought carbon steel and alloy steel for low-temperature service.</i>
ANSI/AWWA C219	<i>Standard for bolted, sleeve-type couplings for plain-end pipe.</i>
ANSI/AWWAC 207	<i>Standard for steel pipe flanges for waterworks.</i>
ANSI/ AWWAC 219	<i>Standard for bolted, sleeve-type couplings for plain-end pipe.</i>
ANSI B16.5	<i>Standards of pipes and fittings.</i>
ISO 7005-2	<i>Metallic flanges.</i>
ASTM A403	<i>Standard specification for wrought austenitic stainless steel piping fittings</i>
ASTM A182	<i>Standard specification for forged or rolled alloy and stainless steel pipe flanges, forged fittings, and valves and parts for high-temperature service.</i>
ANSI/AWWAC 200	<i>Standard for steel water pipe.</i>
ASTM A 234	<i>Standard specification for piping fittings of wrought Carbon steel and alloy steel for moderate and high temperature service</i>
ANSI-AWWA C 206	<i>Field welding of steel water pipe.</i>
ASTM A307	<i>Especificaciones para tornillos y pernos</i>

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

*Tratamento de água para abastecimento por Filtração Direta.* PROSAB Programa de pesquisa em Saneamento Básico. São Carlos – São Paulo – Brasil. Año 2003. 480 páginas. ISBN 85-86552-69-0.

*Seleção de Tecnologías de Tratamento de Água.* Di Bernardo Luiz & Sabogal Paz Lyda. Año 2008. 878 p Vol.1. ISBN 978-85-62324-00-0.

NBR 12216 *Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.* Abril 1992. 18 páginas.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

**Documento:** NTE INEN 2655    **TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS PREFABRICADAS EN SISTEMAS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE    **Código:** CO 10.06-401

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo Ministerial No. publicado en el Registro Oficial No.  Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: **Plantas de Tratamiento de Agua**

Fecha de iniciación: 2012-03-29

Fecha de aprobación: 2012-06-08

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Felipe Ordóñez Molina  
Ing. Patricio Cueva  
Ing. Marco Yépez (Presidente)  
Ing. Iván Sevilla  
Ing. Gonzalo Alulima  
Ing. Galo Espinoza  
Ing. Guido Tamayo  
Ing. Edisón Reina  
Ing. Jefferson Sánchez  
Ing. Hermel Vargas (Secretario Técnico)

ETAPA  
EPMAPS  
MIDUVI-SSAPYS  
MIDUVI-SSAPYS  
ICO  
MICSE  
MINISTERIO DE AMBIENTE  
SENAGUA - DNCA  
MIPRO  
INEN

Otros trámites:

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria  
Registro Oficial No. 760 de 2012-08-03

Por Resolución No. 12164 de 2012-07-17

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gob.ec](mailto:direccion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gob.ec](mailto:normalizacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gob.ec](mailto:certificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gob.ec](mailto:verificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [inenlaboratorios@inen.gob.ec](mailto:inenlaboratorios@inen.gob.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gob.ec](mailto:inenguayas@inen.gob.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gob.ec](mailto:inencuenca@inen.gob.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gob.ec](mailto:inenriobamba@inen.gob.ec)  
URL: [www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)**