

ABASTECIMIENTO Y DISEÑO DE PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA POTABLE

LUIS ALBERTO SILVA GUTIÉRREZ

Av. Lázaro Cárdenas s/n, C.U. Zona Sur, Chilpancingo de los Bravo Guerrero.
3121683737 C.P. 39087 la.silva.g.fi.uagro@gmail.com

M. EN C. GAUDENCIO VICENTE LÓPEZ MENDOZA

Av. Lázaro Cárdenas s/n, C.U. Zona Sur, Chilpancingo de los Bravo Guerrero.
7471044629 C.P. 39087 gaudencio113@hotmail.com

M. I. S. DANIEL DELGADO DE LA TORRE

Av. Lázaro Cárdenas s/n, C.U. Zona Sur, Chilpancingo de los Bravo Guerrero.
7475290564 C.P. 39087 13702@uagro.mx

CORONA CERECERO EDUARDO

Av. Lázaro Cárdenas s/n, C.U. Zona Sur, Chilpancingo de los Bravo Guerrero.
7471442084 C.P. 39087 15370@uagro.mx

ABSTRACT

The purpose of this work is to share the guidelines and basic concepts for an excellent supply and design of drinking water treatment plants, as well as serve as a reference for students in the area of hydraulics.

The development of the theme was created based on documentary information using books, theses, citations of the norms and guidelines stipulated by public institutions.

And the main reason for study is represented by the care of water and its quality for its use, since for living beings and the planet it is a source of vital importance.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es compartir los lineamientos y conceptos básicos para un excelente abastecimiento y diseño de plantas potabilizadoras de agua potable, así también servir como consulta para estudiantes en el área de hidráulica.

El desarrollo del tema fue creado en base a información documental utilizando libros, tesis, citas de las normas y lineamientos estipulados por instituciones públicas.

Y el principal motivo de estudio lo representan el cuidado del agua y la calidad de la misma para su uso, ya que para los seres vivos y el planeta es una fuente de vital importancia.

KEYWORDS

Water, Purification, Supply.

PALABRAS CLAVES

Agua, Potabilización, Abastecimiento.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es analizar el diseño y suministro de plantas de tratamiento de agua potable para proporcionar a los ciudadanos agua de la más alta calidad, apta para el consumo humano, basando dicho trabajo en la literatura pertinente reportada en bases de datos confiables como libros, artículos y plataformas de instituciones públicas tales como la CONAGUA, SEMARNAT, OMS, etc.

Actualmente, alrededor de 5 millones de personas en el mundo mueren por beber agua contaminada, lo cual es particularmente agudo en contextos de exclusión social, pobreza y marginación (OMS, 2022).

Sin agua, higiene y saneamiento, la salud está en riesgo. El 40% de las muertes menores son causadas por beber agua en malas condiciones o condiciones insalubres en emergencias. Desafortunadamente, el agua sucia tiene mayores riesgos asociados. Según la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades diarreicas matan a 1,5 millones de personas cada año. (OMS, 2022).

La prevención a través de una mejor infraestructura de suministro, saneamiento e higiene ayudará a llevar agua limpia a los alimentos y la higiene del hogar a expensas del agua estancada. (OMS, 2022).

Muchos trabajos han centrado sus investigaciones en el tema de la mitigación de la contaminación del agua, proponiendo proyectos que involucran procesos tratadores de aguas contaminadas mediante métodos físicos, químicos y biológicos. Puesto que el agua es un líquido vital en nuestro planeta y su demanda es cada vez mayor, la potabilización del agua es uno de los enfoques sometidos a estudios en el presente.

El trabajo de investigación consta de tres subtemas. En el primer subtema se describen las fuentes de abastecimiento y sus características generales, así también se describen cada una de las normas que deben regir las plantas potabilizadoras.

El segundo subtema relata los puntos a considerar antes de llevar a cabo la ejecución del proyecto y con ello facilitar la planeación de la misma.

En el tercer tema se muestra la descripción de cada proceso de tratamiento que lleva a cabo la planta potabilizadora

SÍNTESIS HISTÓRICA

La vida está ligada al agua, y los humanos han estado involucrados en su almacenamiento y distribución durante siglos. Los principales asentamientos humanos siempre se han construido a orillas de ríos y lagos, ya que estos son fuentes de agua potable utilizadas por pueblos nómadas y sedentarios, sin embargo, en zonas remotas donde es imposible encontrar estos cuerpos de agua, el ser humano utiliza pozos para obtener agua subterránea. A medida que la población crecía y el agua disponible escaseaba, hace unos 7000 años, Jericó necesitó desarrollar un sistema de transporte y distribución que entregara agua a través de canales simples excavados en la arena y la roca, y luego se usaron tuberías huecas. Por ejemplo, los egipcios utilizaban palmeras huecas, dejaban reposar el agua durante meses en el recipiente para que sedimentara partículas e impurezas, y luego extraían el agua de la parte superior mediante sifón, decantando tras añadir determinados minerales o en otros casos coagular sustancias y vegetales para acelerar la sedimentación de partículas y clarificar el agua usando sulfato de aluminio en ese momento. Los chinos y japoneses, por otro lado, comenzaron con cajas de bambú y luego con cerámica, madera y metal. Asimismo, otros grupos de personas, como los antiguos griegos, que estaban creando sistemas de almacenamiento y distribución de agua, estaban ante todo interesados en la calidad del agua, para lo cual utilizaban balsas de aireación para purificar el agua. Otros registros de escritos griegos encontrados que datan del año 4000 a.c describen algunos métodos de tratamientos tales como filtración a través de carbón, exposición a los rayos solares y ebullición para mejorar el olor y el sabor del agua.

Por su parte, los romanos construyeron presas para almacenar y retener artificialmente para su uso el agua extraída de las montañas y de las aguas subterráneas, y se convirtieron en los grandes artífices de las redes de abastecimiento de agua. Los acueductos estaban hechos de cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo para proteger el agua de los contaminantes externos, sin embargo, con la caída del imperio, estos acueductos dejaron de funcionar y los sistemas de tratamiento de agua se desarrollaron poco. Pero el crecimiento acelerado de la población durante la Edad Media provocó severas insalubridades en los sistemas de distribución de agua y plomo, ya que los residuos y excrementos se vertían directamente en el agua, provocando enfermedades y muerte en quienes bebían estas aguas contaminadas.

En ese momento, los sistemas de tratamiento de agua se volvieron tan importantes que John Gibbs construyó el primer suministro de agua potable para toda una ciudad en Paisley, Escocia, alrededor de 1804, y en 1806 se operaron las mayores obras de tratamiento de agua en París hasta 1827, cuando James Simplot construyó un filtro de arena en Inglaterra para tratar el agua y potabilizarla.

En la actualidad, la práctica científica y su desarrollo han logrado grandes avances en el proceso de tratamiento del agua, de manera que se ha mejorado su calidad, debido a que se tiene un conocimiento profundo de las fuentes y efectos de los contaminantes en el agua potable, lo que requiere cada vez más extenso y procesamiento técnico complejo.

I.- MARCO TEÓRICO Y ESTUDIO PREVIOS

La provisión de agua potable a los habitantes de nuestro país es un servicio cuya responsabilidad corresponde a los municipios, tal como lo establece el artículo 115 de la Constitución. Para ello, se han establecido en el ayuntamiento operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Dos de ellos son los responsables directos de proveer agua en cantidad y calidad suficiente de acuerdo con la normatividad aplicable establecida en la Norma Oficial

Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Reformatoria a la Salud Ambiental. De hecho, el artículo 115 de la Constitución va más allá de la simple obligación de llevar agua del grifo a casa, ya que menciona que el agua debe ser potable. La provisión de agua potable humana de buena calidad es fundamental para la salud y el bienestar de las personas, por lo que la Secretaría de Salud ha emitido normas para determinar las características del agua para uso y consumo humano (modificación de la NOM-127-SSA1 -1994), demostrando las condiciones de cumplimiento normativo (NOM230-SSA1-2002 y NOM-179-SSA1-1998) y los requisitos que deben cumplir los sistemas de abastecimiento público y privado para el consumo humano (NOM-230-SSA1-2002), que será determinada por los Gobiernos a todos los niveles realizar la vigilancia en coordinación con la Comisión Nacional del Agua dentro de sus respectivas competencias.

Plantas potabilizadoras de agua

El instrumento que cumple con los requisitos de calidad del agua es una planta potabilizadora, es decir, una serie de procesos y operaciones unitarias ordenadas convencionales que seleccionan una determinada cantidad de agua bruta para potabilizar el agua, que van desde la simple cloración hasta la utilización de procesos muy complejos.

El proceso de purificación se formula de acuerdo con la calidad del agua de la fuente de agua en la cuenca. Puede ser tan simple como la desinfección, o también puede involucrar varias operaciones unitarias como oxidación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración además de la desinfección. . En algunos casos se requieren procesos como el intercambio iónico, la nanofiltración, la ósmosis inversa o la adsorción con carbón activado.

Las plantas de tratamiento de agua producen agua de la mejor calidad a partir del agua cruda disponible, sin embargo, la gestión y eliminación de los residuos generados durante los procesos de purificación del agua no se implementan adecuadamente. Por lo tanto, es necesario que el responsable de la planta de tratamiento de agua reevalúe el método de tratamiento.

La serie básica de purificación incluye coagulación química, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; incluyendo la dosificación y alimentación de reactivos (sulfato de aluminio y polielectrolito como coagulante) y cloro en desinfección. Con este sistema, además de reducir los niveles de otros parámetros, se puede eliminar virtualmente la turbidez y la contaminación bacteriana.

Tipos de plantas potabilizadoras de agua potable

Según lo definido por las plantas de tratamiento de agua, estos procesos únicos se pueden clasificar según el tipo de proceso involucrado o el tipo de tecnología utilizada en el concepto. Por lo tanto, se pueden dividir en equipos de filtrado rápido y equipos de filtrado lento.

- Plantas de filtración rápida: Se denominan así porque los filtros trabajan a alta velocidad (velocidad con la que el agua a tratar pasa por el lecho filtrante), pero como consecuencia el lecho filtrante se obstruye con partículas retenidas, por lo que deben ser mantenidos limpios. Los procesos que actualmente se incluyen en las plantas de tratamiento de agua de filtración rápida son: coagulación (floculación), sedimentación o decantación y filtración rápida.
- Plantas de filtración lenta: Su principal característica es que, debido a su actividad biológica, puede eliminar organismos patógenos en el agua cruda, especialmente bacterias y virus que propagan enfermedades relacionadas con el agua. Además, no necesita productos químicos adicionales ni supervisión continua altamente calificada.

Importancia de la calidad del agua en el suministro

A lo largo de la historia, el ser humano ha recurrido a los cuerpos de agua para abastecerse de este recurso y eliminar sus propios desechos. Con el tiempo, la cantidad y tipos de desechos vertidos en estos 3 ríos han aumentado y diversificado dramáticamente, mientras que la calidad original del agua se ha degradado de tal manera que se convierte en el origen y portador de diversas enfermedades.

Básicamente, existen dos tipos de enfermedades relacionadas con el agua, según el tipo de elementos contaminantes presentes: las enfermedades causadas por agentes infecciosos biológicos (microorganismos) se manifiestan rápidamente, mientras que las enfermedades causadas por agentes químicos suelen tardar en manifestarse.

Las enfermedades producidas por el agua son:

- De origen biológico- infeccioso:

- Producidas por agentes químicos

Las fuentes biológicas de infección son aquellas en las que los microorganismos causantes de las denominadas enfermedades transmitidas por el agua proceden principalmente de heces humanas o animales. La infección ocurre a través del contacto humano con un agente infeccioso en alguna etapa del ciclo del agua, es decir, puede ocurrir durante las actividades diarias (bañarse, lavar, cocinar, etc.), actividades agrícolas, procesos de purificación o cuando se consume. Estos microorganismos pueden estar presentes en el agua por una variedad de razones, incluida la falta de protección de las fuentes de suministro, la contaminación biológica de las aguas residuales que se filtran en los sistemas de distribución de agua, la entrada de agua contaminada en las capas freáticas y la regulación insuficiente de las fuentes de agua, agua, o falta de saneamiento entre los usuarios, etc.

En cuanto a las enfermedades causadas por agentes químicos, estas son causadas por la ingestión de elementos y compuestos que ingresan al agua por vías naturales o antropogénicas y que provocan reacciones negativas en el agua en mayor o menor grado dependiendo de la composición química, dosis y duración de la exposición. Si esta reacción ocurre inmediatamente (24 a 48 horas después de la exposición), se denomina efecto agudo, pero si ocurre después de un tiempo prolongado (10 a 20 años), se denomina efecto de exposición crónica. En ambos casos, los efectos pueden ser reversibles o irreversibles, según su naturaleza y gravedad, y los órganos afectados. Debido a la variedad de compuestos (naturales o artificiales) que pueden estar presentes en el agua, no todos han sido identificados. Entre los tipos de efectos que pueden presentarse, los más destacados son los cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos.

ESTUDIOS PREVIOS

Antes de iniciar el diseño y abastecimiento de una planta potabilizadora deberán realizarse las siguientes actividades:

- Estudios preliminares: Dichos estudios nos darán un panorama de los requerimientos para la construcción de obras de abastecimiento de agua potable a todos los niveles de autoridades, así como la demografía de la zona, para poder llevar a cabo el proyecto y hacerlo sostenible y evitar la escala de las obras Sobredimensionadas o defectuosas, o en el peor de los casos, obsoletas en el corto plazo, significa que la falta de inversión puede dañar el sistema mismo.
- Estudios topográficos: esto involucra aspectos de la localización geográfica de la localidad, lo que permite prever las zonas de fácil acceso y con las características adecuadas para poder desarrollar una obra de la naturaleza que se planea.
- Hidrografía: identificar los tipos de fuentes de abastecimientos de agua potable en la región (ríos, lagos, lagunas, mar, embalses, etc.) y analizar el gasto máximo diario en toda época del año antes de tomar alguna como la fuente apropiada.
- Condiciones climáticas: se hace un análisis del clima predominante en la región ya que las temperaturas influyen sustancialmente en los procesos de tratamiento, y la intensidad y la duración de las lluvias en la cantidad y la calidad de la fuente.
- Estudios de calidad de las fuentes de abastecimiento: esto se realiza con el fin de identificar el tipo de contaminantes presentes en el agua que será tratada sometiéndola a bacteriológicos, fisicoquímicos y organolépticos, ya que los factores de orden humano y natural, como descargas de aguas residuales o escorrentías procedentes de terrenos agrícolas tratados químicamente, pueden afectar seriamente la calidad del agua.
- Financiamiento: se toma en cuenta sobre todo el recurso que será destinado a la realización del proyecto para evitar el desabasto de material de construcción y humano.

II.- DESARROLLO DE PROYECTO

1. ABASTECIMIENTO Y NORMATIVIDAD

El abastecimiento de agua potable es un proceso que consiste en recolectar agua y transportarla a un lugar donde pueda ser consumida en condiciones adecuadas, para lo cual se deben cumplir requisitos de higiene.

Un suministro de agua es ese punto o etapa en un ciclo natural donde se desvía o se aparta temporalmente para su uso y finalmente se devuelve a la naturaleza. Dependiendo de cómo se traten las aguas residuales, esta agua puede devolverse o no a su fuente original. (CONAGUA, 2007).

La principal fuente de abastecimiento de agua en el país puede ser agua superficial, subterránea o pluvial, la elección del tipo de abastecimiento de agua depende de su ubicación, calidad y capacidad, razón por la cual su abastecimiento está altamente regulado debido a la preocupación por este preciado recurso natural (Figura 1).



Figura 1. Principales fuentes de abastecimiento de agua potable, ríos, lagos y océanos (Silva, 2022)

1.1. Aguas subterráneas

El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de agua en mi país. Están formados por el agua que se deposita por gravedad y se filtra en el suelo hasta que alcanza una capa impermeable y forma un acuífero (Figura 2). Se caracterizan por patrones de flujo relativamente estables en términos de dirección y velocidad. Estos últimos rondan los 10-10 a 10-3 m/s, dependiendo de la porosidad y permeabilidad del material geológico, aunque en formaciones kársticas o fracturadas pueden alcanzar valores de varios metros por segundo y, por tanto, mala mezcla. (CONAGUA 2007).

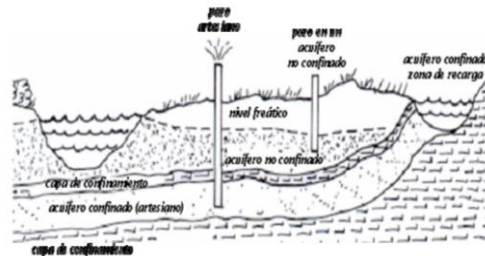


Figura 2. Acuíferos confinados y no confinados (CONAGUA 2007).

La importancia de esta fuente de agua radica en que el 64% del volumen de agua se utiliza para el abastecimiento público, el 33% para la agricultura y el 24% para la industria de subsistencia:

- Pozos poco profundos: Son aquellos cuya profundidad es menor de 30 metros. Estos pueden ser excavados o entubados (Figura 3-a).
- Pozos profundos: Son aquellos cuya profundidad es mayor a 30 metros (Figura 3-b).
- Manantiales: Son cuerpos de agua que se consideran de buena calidad apto para el consumo humano ya que ofrecen ausencia de contaminantes antropogénicos o geológicos. También son la fuente de aguas subterráneas con más fácil acceso, en cuanto a su captación y aprovechamiento (Meuli y Wehrle, 2001; Smet y Wijk, 2002) (Figura 3- c).



Figura 3. Fuentes principales de abastecimiento subterráneo: a) pozos poco profundos; b) pozos profundos y c) manantiales (Silva, 2022).

1.2. Aguas superficiales

El agua superficial se define como cualquier cuerpo de agua que está abierto a la atmósfera y es capaz de fluir o permanecer estático, como arroyos, ríos, lagunas, lagos y embalses. Estas fuentes de agua se alimentan de la precipitación directa o descargas de agua de ciertos mantos freáticos, por lo que se consideran insalubres para el consumo humano y requieren disposición final.

En este tipo de fuentes de abastecimiento se encuentran: ríos, lagos naturales, embalses, escurrimientos y mares (Figura 4).



Figura 4. Aguas superficiales: a) ríos; b) lagos; c) embalses; d) mares (Silva, 2022).

En México el 65% del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá (CONAGUA, 2006).

La captación de agua superficial se realiza mediante una estructura superficial a través de la cual se puede aprovechar el agua de la fuente correspondiente y desarrollarla por gravedad cuando la fuente seleccionada se encuentra por encima del sitio o a una altura superior al punto de aprovechamiento el usuario está garantizado para la población. Cuando el nivel de agua del recurso de abastecimiento está por debajo, o por bombeo de agua, la Figura 5 muestra un ejemplo. El carácter y el tamaño de la estructura de captación dependerán de la cantidad o flujo de agua requerido por la comunidad.

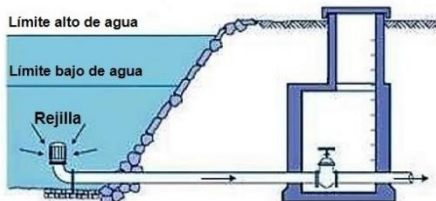


Figura 5. Captación de aguas superficiales (Smet y Wijk, 2002).

1.3. Comparación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas

Se presentan las diferencias clave entre el agua superficial y el agua subterránea. Se puede observar que en las aguas superficiales existe una mayor variabilidad en las sustancias y parámetros presentes y sus concentraciones, debido principalmente a la exposición del agua, lo que hace que su composición dependa del medio ambiente. En general, se cree que el tratamiento de aguas subterráneas es más económico que el tratamiento de aguas superficiales debido a los menores costos de tratamiento.

1.4 Normatividad

Las leyes y reglamentos relacionados con el suministro de agua potable deben entenderse en su totalidad, ya que definen las funciones y responsabilidades de quienes brindan el servicio y forman la base para que la autoridad competente determine si se está brindando un servicio adecuado. En este sentido, el marco regulatorio consta de los siguientes componentes:

- Artículo 115 constitucional.

Este artículo se encuentra contenido en el Capítulo V de nuestra Constitución Política y se refiere a las competencias y responsabilidades de las entidades federativas y del Distrito Federal. El inciso III a) establece que los municipios serán responsables de los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. El Párrafo IV establece que los municipios tendrán libertad para administrar sus finanzas, por lo que podrán generar (fracción, c) ingresos por la prestación de servicios mediante el establecimiento de tarifas.

A continuación, se muestran las normas que rigen la calidad sanitaria de aguas destinadas a la población:

- NOM 012-SSA1-1993, "Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados".
- NOM-014-SSA1-1993, "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".
- MODIFICACIÓN a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. "Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización," (publicada en el DOF en noviembre de 2000).
- NOM-179-SSA1-1998, "Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público." Adicionalmente, se presentan sucintamente otras normas relacionadas de menor importancia. Se recomienda la lectura completa de todas las normas por el personal responsable de la calidad del agua de los organismos operadores, las que han sido publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

Normas oficiales mexicanas (NOM'S)

Las cuatro NOM mencionadas son responsabilidad del Departamento de Salud, quien las supervisa en coordinación con la Dirección Nacional de Aguas. La filosofía detrás de estos estándares es que el agua es un factor esencial para reducir el riesgo de transmisión de diversas enfermedades, especialmente enfermedades gastrointestinales, y que para asegurar su calidad es necesario controlar el sistema de suministro de agua y sus operadores. Se entiende por sistemas de abastecimiento las fuentes, edificaciones, instalaciones y equipos interconectados de obras de captación de agua, plantas de cloración, plantas de tratamiento de agua, tanques de almacenamiento y acondicionamiento, estaciones de bombeo, líneas de transmisión, redes de distribución y tomas de agua doméstica.

NOM-012-SSA1-1993

La presente NOM tiene por objeto determinar los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas públicos y privados de abastecimiento de agua para uso y consumo humano a fin de proteger el agua de la contaminación. Para las plantas de tratamiento de agua, esta norma especifica:

- Deben estar protegidos por cercas o muros de tela metálica de suficiente altura y distancia para impedir el manejo de sólidos, líquidos o excretas y el paso de animales.
- Solo se debe permitir el acceso a personal autorizado.
- Deben mantenerse siempre limpios y pintados según sus respectivos códigos de color para los diferentes edificios de dosificación de reactivos, laboratorios, máquinas, almacenes, etc. Además, los pisos, los corderos y las paredes deben estar revestidos con materiales fáciles de limpiar.
- Los edificios o compartimentos utilizados para almacenar y usar desinfectantes (ya sea cloro, compuestos de cloro u otros productos químicos) deben tener pisos secos y ventilación adecuada para permitir la circulación cruzada de aire.
-

- Además, la norma establece que la calidad bacteriológica del agua debe mantenerse mediante una desinfección continua y permanente, incluso en los lugares más remotos de la red de distribución de agua, garantizando cloro residual libre entre 0,5 y 1,0 mg/h. Este requisito debe cumplirse incluso en caso de falla mecánica o eléctrica o tiempo de inactividad por mantenimiento o por cualquier otra razón. El cumplimiento de esta norma es realizado por la Secretaría de Salud y los gobiernos de las entidades federativas en el ámbito de sus respectivas competencias en coordinación con la Junta Nacional de Servicios Hidráulicos.

NOM-014-SSA1-1993

El presente Reglamento tiene por objeto establecer procedimientos higiénicos para la toma de muestras bacteriológicas y fisicoquímicas de las aguas destinadas al uso y consumo humano en los abastecimientos de agua públicos y privados. También establece estándares para el manejo, almacenamiento y envío de muestras. Esta norma es de obligado cumplimiento para los responsables del sistema de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, corresponde a la supervisión de la Secretaría de Salud y del Gobierno de la entidad federativa en el ámbito de sus respectivas competencias y en coordinación con la Junta Nacional de Aguas. Y los criterios de selección y estudio de muestras que acoge son los siguientes:

Selección de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo deben ser definidos para cada caso, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Ser representativos de las diferentes fuentes de agua que abastecen el sistema y estar ubicados uniformemente a lo largo del mismo, evitando lugares susceptibles de contaminación, como:

- Puntos muertos.
- Zonas de baja presión.
- Zonas con antecedentes de problemas de contaminación.
- Zonas con fugas frecuentes.
- Zonas densamente pobladas y con alcantarillado insuficiente.
- Tanques de almacenamiento abiertos y carentes de protección.
- Zonas periféricas del sistema más alejadas de las instalaciones de tratamiento.

b) Estar localizados en diversos puntos del sistema de distribución y en proporción al número de ramales.

Debe haber al menos un punto de muestreo a la salida de la planta de tratamiento de agua. Las muestras deben etiquetarse con el lugar de muestreo, fecha y hora, temperatura ambiente y del agua, pH, cloro residual, análisis a realizar, técnica de conservación, observaciones relacionadas con el muestreo y el nombre de la persona que realiza el muestreo.

Indicaciones para el análisis bacteriológico

Al preparar viales, los recipientes para muestras deben ser de vidrio de boca ancha con tapones de vidrio esmerilado o tapas de rosca, polipropileno o bolsas estériles con tapas herméticas, con capacidad de 125 o 250 mL.

Todos los envases deben esterilizarse en horno a 170 °C durante al menos 60 minutos o en autoclave a 120 °C durante 15 minutos, después de lo cual los tapones deben cubrirse con papel resistente a la corrosión. Cuando tome muestras de agua que contenga cloro residual, agregue 0,1 ml de tiosulfato de sodio al 3 % por cada 125 ml.

Toma de muestra:

a) En bomba de mano o grifo del sistema de distribución:

- La boquilla debe limpiarse con un bastoncillo de algodón empapado en una solución de hipoclorito de sodio de 100 mg/l.
- Se debe permitir que el agua fluya durante aproximadamente 3 minutos o hasta que el contenido de la tubería se haya vaciado por completo.
- Retire el tapón y el papel protector cerca del orificio de salida al mismo tiempo y deséchelos como una sola unidad, evitando la contaminación, con el tapón hacia abajo.
- Sin pérdida de tiempo en el muestreo y sin enjuague de botellas. Deje algo de espacio para agitar (aproximadamente el 10 % del volumen del matraz) antes del análisis.
- Después de la toma de muestras, vuelva a colocar el tapón y el papel protector en la botella. Las muestras no deben tomarse de un grifo que gotea entre el balde y el cuello, ya que el agua puede correr por el exterior

y contaminar la muestra. Los accesorios o aditamentos externos, como mangueras, boquillas y filtros de plástico o goma, deben retirarse antes del muestreo.

b) En un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento:

- Las manos y los antebrazos deben lavarse con agua y jabón.
- Retire el papel protector para evitar la contaminación y sumerja el cuello de la botella en agua de 15 a 30 cm. Se abre y se endereza.
- Efectuada la toma de muestra, se tapa y saca el frasco del agua y coloca el papel de protección.
- Se debe evitar el muestreo de las capas superficiales o del fondo donde puede haber escoria o sedimento, y si se recolecta en cuerpos de agua superficiales, no se debe tomar muy cerca de la costa o lejos del punto de extracción. Si hay corriente en el cuerpo de agua, el muestreo debe hacerse con la boca de la botella contra el flujo de agua.
- Para tanques de almacenamiento, si el muestreo no se puede realizar como se indica, proceda como si fuera un pozo profundo.

c) En pozo profundo con grifo.

- Para tomar una muestra, abra la válvula de la línea de ventilación, deje que el agua fluya durante al menos 3 minutos y retire la muestra de la bomba manual o grifo de manera similar a la descrita en la subsección (a) sistema de distribución.

d) En pozo somero o fuente similar.

- Si no es posible tomar muestras con el brazo extendido, se debe usar un extremo limpio de la cuerda para atar los artículos con sobrepeso a la botella.
- Retire el tapón y el papel protector al mismo tiempo para evitar que se contaminen.
- Manteniendo el cuello del vial hacia abajo, recolecte la muestra bajando el vial dentro del pozo y desenrollando lentamente la cuerda, evitando que el vial toque la pared del pozo.
- Después del muestreo, coloque el tapón y el papel protector en la botella.

Indicaciones para el análisis fisicoquímico

Los envases de plástico o vidrio de 2 L deben estar perfectamente lavados y enjuagados con agua destilada o desionizada y contar con tapones de cierre hermético. El volumen de muestra es el establecido en la Tabla 1.

- a) La toma de muestra en bomba de mano o grifo del sistema de distribución o pozo profundo, debe dejarse correr el agua por 3 min o hasta que la tubería ha sido totalmente vaciada. El muestreo se realiza evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase. Se cierra el envase y agita fuertemente para enjuagar, desechando esa agua. Se efectúa esta operación dos o tres veces más, procediendo enseguida a tomar la muestra.
- b) En un cuerpo de agua superficial, tanque de almacenamiento, pozo somero o fuente similar, el procedimiento es igual al señalado para el análisis bacteriológico.

Tanto las muestras tomadas para bacteriología como para las pruebas fisicoquímicas deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o de hielo para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre los 4 y 10 °C y sin congelar las muestras. El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis bacteriológico es de 6 horas. Para el estudio fisicoquímico el periodo depende de la preservación empleada para cada parámetro como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Apéndice normativo de la NOM-014-SSA1-1993, (CONAGUA 2007).

DETERMINACIÓN	ENVASE	VOLUMEN MINIMO (mL)	PRESERVACION	DURACION
Alcalinidad total	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	14 d
Arsénico	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	14 d
Bario	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	28 d
Boro	P	100	No requiere	180 d
Cianuros	P, V	1000	NaOH a pH>12; 4 a 10° C en oscuridad	14 d
Cloruros	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Color	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Conductividad	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	28 d
Dureza total	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	14 d
Fenoles	P, V	300	H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fluoruros	P, V	300	4 a 10° C	28 d
Fosfatos	V	100	Enjuagar con ácido nítrico 1:1 y de 4 a 10° C	48 h
Magnesio	P, V	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Metales en general	P, V	1000	Enjuagar con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Nitratos	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Nitritos	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Nitrógeno amoniacal	P, V	500	H ₂ SO ₄ a pH<2 y de 4 a 10° C y en oscuridad	28 d
Nitrógeno orgánico	P, V	500	H ₂ SO ₄ a pH<2 y de 4 a 10° C y en oscuridad	28 d
Oxígeno consumido en medio ácido	P, V	300	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Plaguicidas	S	1000	De 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l de ácido ascórbico si se detecta cloro residual.	7 d; Si se extraen los plaguicidas con solventes duran hasta 40 días.
Sodio	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	28 d
Sólidos	P, V	1000	4 a 10° C en oscuridad	7 d
Sulfatos	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	P, V	200	4 a 10° C en oscuridad	48 h
Turbiedad	P, V	100	4 a 10° C en oscuridad	48 h

2. CONSIDERACIONES PARA UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN

En este capítulo se presentan las principales consideraciones para que los organismos operadores cuenten con una planta potabilizadora adecuada a sus necesidades. Es muy importante que un organismo operador tenga claro qué requiere y por qué, así como el procedimiento para obtenerlo. Para ello precisa realizar estudios previos, análisis y discusiones con especialistas antes de iniciar el proceso de licitación para construir la planta, para posteriormente elaborar una planeación de los procesos como se indican en la tabla 2.

**Tabla 2. Procesos de potabilización de agua.
(Modificado de Rojas, 2000).**

Proceso	Propósito
Tratamiento preliminar	
Cribado	Remoción de sólidos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta
Pretratamiento químico	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan sabor, olor y color
Presedimentación	Remoción de arena, limo y otros materiales sedimentables
Aforo	Medición del agua de abastecimiento por tratar
Tratamiento principal	
Aireación	Remoción de olores y gases disueltos, adición de oxígeno para mejorar sabor y oxidación de diversos elementos
Coagulación/Floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables
Ablandamiento	Remoción de dureza
Filtración	Remoción de sólidos finos, flóculos en suspensión y la mayoría de los microorganismos
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color
Desinfección	Eliminación de organismos patógenos

2.1 Definición del objetivo

El objetivo de un sistema de potabilización es producir, a partir de una fuente de suministro dada, agua con calidad acorde con la Modificación a la norma NOM-127- SSA1-1994 en forma confiable y a un costo razonable. Para lograrlo, es preciso combinar una serie de procesos y operaciones unitarias que remuevan los compuestos considerados como contaminantes y que estén presentes en la fuente de suministro.

Un sistema adecuado depende de la calidad original del agua, la suficiencia financiera del organismo operador, el nivel de capacitación de los operadores y la tratabilidad del agua. Por ello, existen diversas combinaciones de procesos y operaciones que conducen a resultados diferentes, no sólo en cuanto a calidad del agua sino en lo que se refiere a la confiabilidad del proceso y al costo.

En cuanto a la calidad, el objetivo de la potabilización es producir agua:

- Segura, sin compuestos químicos y/o organismos patógenos que pongan en riesgo la salud de los consumidores.
- Aceptable, que no tenga un sabor o color desagradable.
- Clara, libre de materia suspendida y turbiedad.
- Razonablemente blanda, es decir, que los usuarios no requieran grandes cantidades de detergentes y jabones para la ducha, lavar ropa y trastes.
- No corrosiva al sistema de distribución.
- Con bajo contenido orgánico, para evitar crecimiento biológico en el sistema de distribución y afectar la calidad del agua. En general, el cumplimiento de lo anterior se logra al cumplir los estándares establecidos por el gobierno a través de sus leyes y normas, información que fue presentada en el capítulo.

2.2 Datos básicos

Una planta potabilizadora es parte de un sistema de abastecimiento, el cual puede contar con una o varias potabilizadoras y hacer uso de diversos tipos de fuentes de suministro. Tomando en cuenta el análisis de los siguientes puntos:

- Periodo de planeación
- Área de abastecimiento
- Capacidad máxima diaria
- Crecimiento a futuro
- Fuente de suministro
- Sitio de ubicación
- Financiamiento

2.2.1 Periodo de planeación

Se emplea el mismo periodo que el usado para el sistema de abastecimiento, el cual usualmente varía entre 10 y 20 años. Es importante mencionar que el crecimiento de algunas regiones puede acortar dicho periodo, pero también los cambios en las actividades económicas de la región (migración y cierre de industrias) pueden provocar el efecto contrario y dejar sobredimensionada la planta.

2.2.2 Área de abastecimiento

Consiste en definir geográficamente qué zonas recibirán el agua producida por la potabilizadora y definir a grosso modo las características de la población. Durante este análisis se pueden incluso definir áreas que sean ocasionalmente servidas.

2.2.3 Tamaño de la planta potabilizadora

La capacidad de la planta de potabilización se determina por la demanda diaria máxima, así como por la demanda futura del área servida. Si bien la construcción puede llevarse a cabo por etapas es necesario tener presente cuál es el tamaño máximo deseado para prever el terreno suficiente y contar con la flexibilidad necesaria en los procesos. Para un sistema nuevo, la demanda máxima diaria es obtenida a partir de datos de las comunidades que muestran su historia, características y tendencias de desarrollo. En caso de una expansión de una planta existente, la mejor estimación se obtiene de las propias tendencias del sistema.

Para determinar la capacidad diaria máxima per cápita se multiplica la demanda diaria máxima per cápita por la población estimada por ser servida durante el periodo de diseño. Otros factores que afectan la selección del tamaño de la planta son la seguridad de la fuente de abastecimiento y el costo efectivo para abastecer el agua de una planta de gran tamaño comparada con dos o tres de menor tamaño en diferentes ubicaciones y a diferentes alturas.

2.2.4 Crecimiento futuro

Existen diversos métodos para predecir el crecimiento o abatimiento de la población futura que determinan cómo se debe planear la evolución de la potabilizadora. Se sugiere consultar literatura específica para este tema.

2.2.5 Fuente de abastecimiento

La fuente de agua que puede ser superficial (ríos, lagos o embalses artificiales), subterránea, o bien, provenir de fuentes no convencionales (agua residual o agua de mar). El tipo de fuente determina la calidad a la cual se va a enfrentar el sistema de potabilización.

La evaluación y selección de la fuente debe además considerar:

- Cantidad de agua que se puede obtener actualmente y a futuro.
- Calidad del agua.
- Condiciones climáticas.
- Problemas potenciales para construir una obra de toma.
- Seguridad de operación y suministro.
- Posibilidad de contaminación futura de la fuente.
- Facilidad de expansión futura.

2.2.6 Sitio de ubicación de la planta

Es indispensable ubicar terrenos que posean las dimensiones apropiadas, así como el que cumpla con las características básicas de mecánica de suelos y de topografía para realizar una obra de la naturaleza que se planea. Cuando existen diversas opciones, su comparación se realiza atendiendo a criterios como distancia a la obra de toma, posibilidad de arreglo de los procesos unitarios, impacto ambiental del proyecto y el método de distribución del agua (gravedad o bombeo). Algunos de los siguientes puntos deben ser revisados para evaluar el sitio de la planta:

- Disponibilidad de área.
- Localización geográfica.
- Información obtenida de estudios geológicos.
- Disponibilidad de energía eléctrica y servicios.
- Accesibilidad a vías de comunicación.
- Costos de construcción a partir de índices.
- Seguridad de operación y con los vecinos.
- Posibilidad de expansiones futuras. La mayor parte de esta información se obtiene de bancos de datos, mapas y planos existentes.

2.2.7 Financiamiento

Existen diversos métodos para financiar la construcción de una planta potabilizadora, que continuamente cambian en cuanto a sus requisitos por lo que se sugiere consultar literatura especializada y actualizada para este tema.

2.3 Estudios preliminares

Una vez que se ha decidido construir una planta, seleccionado el sitio y definido la fuente de abastecimiento se debe realizar estudios de mayor detalle como:

- Calidad del agua
- Pruebas de tratabilidad

Con lo que se podrá seleccionar los esquemas de tratamiento y determinar el sistema de potabilización a utilizar en la planta potabilizadora.

2.3.1 Calidad del agua

Es preciso conocer la calidad del agua y su variabilidad, si ocurre, con suficiente detalle para seleccionar los procesos útiles. Conviene que ello sea en forma previa a las pruebas de tratabilidad para que sea esta información la que determina cuáles se deban realizar. Para definir la calidad, lo ideal sería que para cualquier tipo de agua como mínimo se determinen todos los parámetros que conforman la NOM-127- SSA1-1994, los cuales se encuentran en la tabla 3 para ver cuáles se encuentran fuera de ella y en qué magnitud. Como ello no siempre es posible, y en ocasiones incluso resulta innecesario.

Tabla 3. Criterios para determinar calidad del agua. Modificada de NOM-127-SSA-1994.

Contaminante (s)	Tratamientos
Contaminación microbiológica (bacterias, helmintos, protozoarios y virus)	Cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta, plata iónica o coloidal, coagulación-sedimentación-filtración, filtración en múltiples etapas
Características físicas y organolépticas (color, olor, sabor y turbulencia)	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración, adsorción en carbón activado
Arsénico	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Cloruros	Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación
Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico
Fenoles o compuestos fenólicos	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración, adsorción en carbón activado u oxidación con ozono
Fierro o magnesio	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Fluoruros	Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa
Hidrocarburos aromáticos	Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado
Mercurio	Coagulación- floculación-sedimentación-filtración, adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L, adsorción en carbón activado granular en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga mas de 10 microgramos/L
Nitratos y nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción
pH	Neutralización
Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular
Sodio	Intercambio iónico

2.3.1.1 Cuerpos subterráneos

Debido a que este tipo de fuente se caracteriza por ser de calidad constante el monitoreo, se puede realizar a partir de muestras simples y puntuales. Conviene llevar a cabo al menos dos muestreos, en diferentes días y añadir el número de confirmaciones necesarias sobre parámetros específicos hasta no tener una desviación entre los datos del 5 al 10%, sin considerar la precisión del análisis.

Para aguas subterráneas, los análisis por determinar serían los indicados en la primera columna de la Tabla 4 donde se clasifican los parámetros en las siguientes tres categorías:

- **Indispensables:** Aquellos que se deben hacer desde un inicio y que determinan no sólo el tipo de tratamiento, sino que incluso pueden conducir a un cambio en la selección de la fuente.
- **No indispensables:** Aquellos que por estar relacionados con otros parámetros o que no son determinantes para la selección de un tipo de tratamiento pueden ser evaluados durante las pruebas de tratabilidad.
- **Eventuales:** Aquellos cuya presencia se relaciona con cierto tipo de suelos y condiciones geohidrológicas y que pueden no ser considerados, a juicio de un especialista que posea información sobre la calidad del agua en pozos vecinos, el tipo de suelo o la historia de la región. Se señala que en esta lista puede haber parámetros que resulten indispensables.

2.3.1.2 Cuerpos superficiales

En cuanto al número de muestras conviene, por la variabilidad de estas fuentes, hacer un mayor número de determinaciones. Para cuerpos estancos (lagos y presas) se debe caracterizar el agua en las dos estaciones (lluvias y secas) y a diferentes profundidades (dos a tres), incrementando el número de muestreos en el sitio donde se colocará la obra de captación. En cuerpos en movimiento, aparte de las dos estaciones, el muestreo se realiza en forma puntual a una distancia máxima en profundidad de 1 m.

Tabla 4. Análisis para determinar la calidad del agua de una fuente subterránea (Díaz, 2021).

Muestreo inicial	Muestreo complementario
	Indispensables
Coliformes fecales	Fenoles o compuestos fenólicos
Color	2,4 – D
Turbiedad	Tolueno
COT	Xileno (tres isómeros)
Dureza total (como CaCO ₃)	Trihalometanos totales
Hierro	Nitrógeno amoniacal
Nitrógeno total	Nitrógeno orgánico
Manganeso	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
Nitratos	
Nitritos	
PH	
Sólidos disueltos totales	
Sulfatos (como SO ₄ =)	
Benceno	
Etilbenceno	
Potencial para la formación de trihalometanos	
No indispensables	
Coliformes totales	Sodio
Eventuales	
Aluminio	Olor
Arsénico	Sabor
Bario	Aldrin y dieldrin (separados o combinados)
Cadmio	Clordano (total de isómeros)
Cianuros (como CN ⁻)	DDT (total de isómeros)
Cloruros (como Cl ⁻)	Gamma-HCH (lindano)
Cobre	Hexaclorobenceno
Cromo total	Heptacloro y epóxido de heptacloro
Fluoruros (como F ⁻)	Metoxicloro
Mercurio	
Plomo	
Yodo residual libre	
Zinc	
Radiactividad alfa global	
Radiactividad beta global	

2.3.2 Pruebas de tratabilidad

Concluida la caracterización del agua e incluso durante la parte final de este proceso se pueden realizar las pruebas de tratabilidad. Éstas consisten en someter el agua a los procesos y operaciones que se supone puedan eliminar o reducir los contaminantes que exceden la norma. Las pruebas de tratabilidad son independientes de la aplicación de una determinada tecnología o marca ya que éstas sirven para definir si un determinado mecanismo de remoción aplica para los fines deseados y no tiene nada que ver con la forma ingenieril en la cual el mecanismo es puesto en práctica.

3. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO

La potabilización del agua requiere de un proceso de tratamiento un tanto complejo que involucra diferentes etapas relacionadas estrechamente, en la que una planta potabilizadora o complejo se encarga de someter el agua superficial o subterránea de un río o de cualquier otro embalse a esos varios procesos con la finalidad de garantizar que será apta para el consumo humano y uso en las actividades diarias de la población. En este apartado se describe una a una las diferentes etapas del proceso de potabilización.

3.1 Tipos de plantas potabilizadoras

Para fines de manejo de los lodos químicos producidos en las plantas potabilizadoras, estas se pueden dividir en cuatro categorías.

La primera agrupa a las plantas de clarificación que coagulan y filtran un agua superficial para remover turbiedad, color, bacterias, algas, y algunos compuestos orgánicos. Estas plantas generalmente usan sales de aluminio o de hierro para la coagulación, y como ayuda del proceso utilizan algún tipo de polímero.

La segunda categoría de plantas son las de ablandamiento, las cuales reducen el contenido de calcio y magnesio del agua mediante la adición de cal, hidróxido de sodio o bicarbonato de sodio.

La tercera categoría agrupa a las plantas que oxidan y filtran un agua, generalmente subterránea, para la remoción de hierro y manganeso. Estas plantas utilizan aeración y algún agente oxidante fuerte como el permanganato de sodio o el cloro. La mayoría de los lodos producidos en las plantas mencionadas anteriormente son los lodos provenientes de los tanques de sedimentación y el agua de lavado de filtros.

La cuarta categoría incluye a las plantas que utilizan procesos como intercambio iónico, ósmosis inversa o adsorción, para remover compuestos específicos como arsénico, nitrato, fluoruro, etc. Estas plantas producen residuos líquidos y/o sólidos.

En este capítulo se presentan los principales procesos que se aplican para potabilizar el agua con las siguientes características:

- Subterránea con hierro y manganeso.
- Subterránea con elevado contenido de sales y agua de mar.
- Superficial con sólidos suspendidos.

3.2 Tanque de homogenización

Es una estructura apta para contener cierto volumen de agua, que sirve para regular caudales, carga o ambas variables y con fines de seguridad de servicio a la planta. El tanque de regulación de caudal sirve para compensar en un tiempo determinado los flujos de aportaciones y consumos. Mientras que el tanque de carga, sirve para garantizar la presión mínima necesaria en cada punto de las operaciones unitarias que conformen la planta.

El tanque debe garantizar la inalterabilidad de la calidad del agua, evitando variación de temperatura, desarrollo de algas y contaminación exterior. Teniendo en cuenta que el flujo de entrada a la planta es constante durante las veinticuatro horas del día, se debe disponer de un dispositivo que regule el flujo de agua que llega a la planta (flujos por arriba o abajo del promedio). Asimismo, se debe considerar la capacidad mínima importante para garantizar el abastecimiento continuo a la planta aún en caso de reparaciones o averías, y la capacidad máxima requerida en situaciones extraordinarias de flujo, para lo cual se adopta un margen de seguridad.

3.3 Coagulación -floculación

La coagulación-floculación es el proceso mediante el cual se añaden compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los sólidos suspendidos menores a $10\ \mu\text{m}$ (orgánicos e inorgánicos) para que formen aglomerados que sean removidos del agua por sedimentación tal y como se observa en la figura 6. El proceso se lleva a cabo en dos etapas. En la primera o coagulación, las fuerzas interpartículas, responsables de la estabilidad de los coloides, son reducidas o anuladas por la adición de reactivos apropiados.

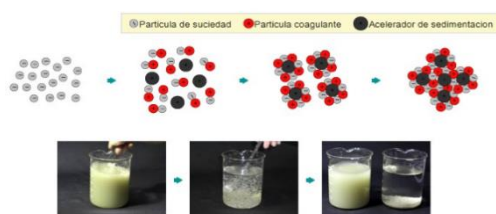


Figura 6. Proceso de coagulación-floculación
(Nihon kasetu, 2022).

En la segunda o floculación, las colisiones entre las partículas favorecen el crecimiento de flóculos que puedan ser eliminados por sedimentación. Por ello, en la práctica la primera etapa se realiza mediante un mezclado rápido para dispersar el coagulante y favorecer su contacto con las partículas en suspensión en tanto que, en la segunda, se efectúa

una mezcla lenta con el fin de promover la formación y el aumento de tamaño y/o densidad de los flóculos formados. Estos últimos son eliminados finalmente del agua por medios físicos como la sedimentación, flotación o filtración. Los contaminantes que se eliminan por coagulación son aquellos que poseen un alto peso molecular y son hidrófobos. De esta forma, se elimina sólidos suspendidos, color aparente, material coloidal, algunos precursores de trihalometanos, y moléculas grandes que se adsorben poco en carbón activado. La coagulación-floculación no sirve para eliminar compuestos orgánicos solubles. Recientemente, la coagulación ha adquirido mucha importancia para eliminar compuestos organoclorados como pretratamiento para la adsorción sobre carbón activado. Para ello se pueden utilizar reactivos derivados de aluminio como el sulfato de aluminio o también el aluminato de sodio, entrando en el mercado los policloruros de aluminio (PACs), que compiten en rentabilidad con los otros compuestos por su mayor eficiencia y menor formación de lodos; y derivados de hierro como el sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico; cal viva o cal hidratada o apagada; y diversos polímeros. En la figura 7 podemos observar la administración de floculantes-coagulantes directamente a la tubería de agua bruta.



Figura 7. Puntos de inyección de coagulante en tubería de agua bruta (Díaz, 2021).

Sin embargo, con frecuencia, la coagulación no resulta un proceso eficiente de separación debido a que los coágulos formados tienen velocidades muy lentas de sedimentación o son muy frágiles y se rompen en los procesos. Para controlar estos problemas se emplean ayudas de coagulación denominados floculantes, que tienen la finalidad de acelerar el proceso y disminuyen la dosis del coagulante. Son materiales usados en concentraciones relativamente pequeñas y generalmente, de mayor costo que el coagulante principal. Se clasifican en: a) oxidantes (cloro y el ozono); b) polielectrolitos; c) sílice activada; d) agentes ponderados (arcilla). Siendo los tres últimos más utilizados en potabilización por su bajo costo.

3.4 Sedimentación

La sedimentación o clarificación es la remoción de partículas, flóculos químicos y precipitados de una suspensión en un sedimentador (Figura 8), que actúa por gravedad. La sedimentación se emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los sólidos en suspensión, (60% de los sólidos que son perceptibles a simple vista en el agua).



Figura 8. Unidad de sedimentación (Díaz, 2021).

Se consideran sólidos sedimentables a las partículas que por su tamaño y peso sedimentan en una hora. Estos sólidos pueden ser los originalmente presentes en el agua, o bien, los flóculos o precipitados formados durante algún tipo de proceso químico. La cantidad de sólidos sedimentables se expresa en mililitros de sólido por litro de agua, pero también se da en partes por millón, en peso. Es importante señalar que toda partícula en suspensión presenta peso específico y tamaño conocido y uniforme y que generalmente, las mayores decantan con velocidades rápidas, adelantándose a las partículas más finas durante su descenso.

Cuanto mayor es la profundidad del tanque mayor es la oportunidad de contacto. Por tanto, la eliminación depende de la profundidad del tanque, así como de las propiedades del fluido y de las partículas.

El criterio que se emplea para determinar el tamaño de los sedimentadores es el tiempo de retención, la carga hidráulica, la carga en los vertedores y para los sedimentadores horizontales, la velocidad. El tiempo de retención, se calcula a partir del gasto promedio diario empleando la siguiente fórmula:

$$t=V/Q$$

Donde:

t: es el tiempo de retención en horas (h); V: es el volumen del tanque en m³; Q: es el gasto promedio diario en m³/h.

Los tipos de clarificadores utilizados en la sedimentación suelen ser de flujo ascendente, pues el agua sube desde su entrada hasta los drenes del efluente (Figura 9).

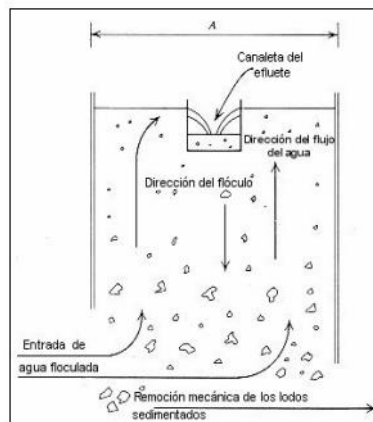


Figura 9. Tanque de sedimentación (Hammer, 1986).

En este tipo de clarificadores el agua que entra al tanque de sedimentación es forzada a ir al fondo mediante una mampara hasta un punto a partir del cual asciende, rebosando por los vertederos hasta la canaleta de recolección. Las partículas sedimentan la dirección contraria al flujo y son continuamente removidas del fondo del tanque por medio de un mecanismo de rastras. Las partículas con velocidad de sedimentación superior a la carga hidráulica Q/A son retenidas, en tanto que las más ligeras con velocidades inferiores son sacadas del tanque junto con el efluente. Por lo explicado con anterioridad, se resalta que la función principal de los sedimentadores consiste en eliminar material decantable, pero a la vez recoger y descargar los lodos que se crean, así como concentrarlos, de manera que se eliminen con el menor contenido de humedad posible para facilitar su manejo, tratamiento y disposición.

En las plantas de potabilización los tanques de sedimentación empleados suelen ser rectangulares o circulares con dispositivos mecánicos para la recolección de lodos.

3.5 Filtración

El proceso de filtración es uno de los más frecuentemente empleados para potabilizar aguas superficiales. Se emplea con o sin pretratamiento de coagulación y sedimentación (filtración directa), para eliminar los sólidos presentes originalmente en el agua, o los precipitados, el caso en estudio incluye el pretratamiento.

Son dos los tipos de filtros utilizados en el proceso de potabilización:

1. Los filtros granulares profundos que son los de uso más generalizado en la potabilización. Este tipo de filtros operan por acción de la gravedad que es la responsable del flujo del agua en el filtro.
2. Los filtros por gravedad no funcionan adecuadamente a menos que se haya añadido un reactivo coagulante, y eventualmente, removido los flóculos muy gruesos por sedimentación.

Por lo que respecta al medio filtrante este debe poseer las siguientes características:

- Ser lo suficientemente grueso para tener intersticios entre los granos con gran capacidad de almacenamiento.
- Pero a la vez, suficientemente fino para retener el paso de los sólidos suspendidos.
- Una altura suficiente para proporcionar la duración de corrida deseada.
- Una graduación adecuada para permitir un lavado eficiente (poco dispersa).

Y los medios filtrantes que se utilizan son arena, antracita, tierra de diatomeas, perlita y carbón activado en polvo o granulado que pueden usarse combinados o solos. El medio filtrante más común empleado es la arena de sílice.

3.6 Cloración

La cloración se emplea en la potabilización para destruir patógenos, controlar problemas de olor, remover hierro y manganeso y para eliminar nitrógeno amoniacal. La aplicación más común del cloro es para desinfectar acción que ocurre como producto de la reacción entre el: HOCl y las estructuras de las bacterias y virus, que inactiva procesos básicos para la vida. La tasa de desinfección depende de la concentración y forma en que se encuentre el cloro disponible, el tiempo de contacto, el pH, temperatura y otros factores. Este desinfectante se usa en forma gaseosa, sólida o líquida y en forma pura o combinada. Las dosis típicas de cloro usadas en plantas potabilizadoras en sus diferentes formas se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras (CONAGUA,2007).

Compuesto de cloro	Dosis (mg/l)
Cloro gas	1 a 16
Hipoclorito de sodio	0.2 a 2
Hipoclorito de calcio	0.5 a 5

Los principales factores que afectan la eficiencia de desinfección son: tiempo de contacto, temperatura y pH.

Existen dos formas de aplicar el cloro, como elemento gaseoso o líquido y el equipo en el que se hace se conoce como clorador.

En un clorador típico se emplean inyectoros que suministran una solución rica en cloro a una tasa específica, y el agua que fluye lo hace a través de un eyector que crea un vacío y jala el gas desde el dosificador y lo mezcla con el flujo (Figura 10).

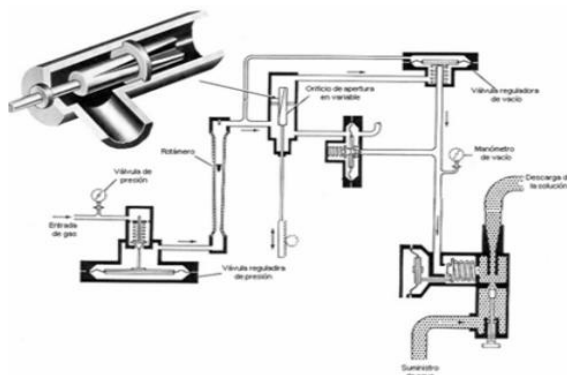


Figura 10. Diagrama de flujo de un clorador típico (Hammer, 1986).

Además de la cloración del agua es de importancia llevar a cabo la cloración de los sistemas de distribución, lo cual permite remover impurezas y desinfectar las tuberías antes del inicio de la operación cuando las tuberías son nuevas se emplean tres métodos: continuo, por retardamiento y por tabletas. Se usan también dos técnicas de cloración generalmente: cloración residual libre y cloración residual combinada.

Además de la cloración la CONAGUA estipula otros métodos de desinfección del agua utilizados en el proceso de potabilización del agua (Tabla 6).

Tabla 6. Métodos de desinfección (CONAGUA,2007).

Métodos de desinfección utilizados en procesos de potabilización	
Ozonización	Ablandamiento y remoción de nitratos por intercambio iónico
Luz ultravioleta	Ablandamiento por intercambio catiónico
Aireación, sedimentación y filtración	Intercambio aniónico para remover nitratos
Aireación, oxidación química, sedimentación y filtración	Desmineralización por intercambio iónico
Filtración en zeolitas	Adsorción en carbón activado
Intercambio iónico	Oxidación
Ósmosis inversa	Fluoración
Nanofiltración	Defluoración
Ultrafiltración	Estabilización química del agua
Microfiltración	Protección catódica
Electrodíálisis	Ajuste de pH
Ablandamiento con carbonato de sodio-cal	Remoción de Fe y Mn con ablandamiento
Ablandamiento con exceso de cal	Ablandamiento mediante un tratamiento por partes
Remoción selectiva de carbonato de calcio	

4.- CONCLUSIONES

La ejecución de una obra de plantas potabilizadoras de agua potable conlleva protocolos de diseño estrictos por lo que es de suma importancia acatarlos.

Gracias a un buen abastecimiento y diseño de una planta potabilizadora de agua potable también se puede evitar el uso excesivo del agua en las plantas potabilizadoras, creando así un mejor rendimiento del agua y abasteciendo a las poblaciones con el agua suficiente y necesaria para su utilización.

Cumpliendo con las normas especificadas anteriormente se puede garantizar a la población de un suministro de agua suficiente y de calidad, evitando escasez, enfermedades e incluso la muerte humana.

REFERENCIAS

[1] REFERENCIAS

[2] Libros

[3] Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de Tecnología Simplificada, CONAGUA, diciembre de 2007.

[4] Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada, CONAGUA.

[5] Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Evaluación Rápida de Plantas Potabilizadoras, CONAGUA.

- [6] Planta Potabilizadora, Educación Técnico-Profesional, serie: Recursos didácticos, Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- [7] CNA, SEMARNAT, Estadísticas del Agua en México. Edición 2004. México 2004.
- [8] CONAGUA, SEMARNAT, Estadísticas del Agua en México. Edición 2007. Conagua. México. 2007.
- [9] CONAGUA, SEMARNAT. Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011. México. 2011.
- [10] CONAGUA, SEMARNAT, Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. México. 2012.

Páginas de internet

- [11] <https://www.gob.mx/semarnat>
- [12] <https://www.gob.mx/conagua>
- [13] <https://www.who.int/es>
- [14] www.cna.gob.mx

Otros medios

- [15] Díaz C., Perdomo. P, Gómez. F., Proyecto Fin de Carrera, Planta Potabilizadora, Universidad de la República Facultad de Ingeniería, 15 de mayo de 2021.