

CAPÍTULO 6. TRATAMIENTOS ESPECIALES

ÍNDICE

1. REMOCIÓN DE OLOR Y SABOR	1
2. REMOCIÓN DE COLOR	4
3. ABLANDAMIENTO DE AGUAS DURAS.....	6
4. REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO	9
5. ABATIMIENTO DE FLUOR.....	15
6. ABATIMIENTO DEL ARSENICO	19
7. UTILIZACIÓN DE MEMBRANAS Y ALTERNATIVAS PARA LA DESALINIZACIÓN.....	22
8. TRATAMIENTO DE AGUA EUTROFICADA. REMOCIÓN DE ALGAS	25
9. AERACIÓN Y DESORCIÓN.....	28
10. DENITRIFICACIÓN BIOLÓGICA	31
11. ADSORCIÓN	33
12. OXIDACIÓN QUÍMICA.....	37

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Cuadro orientativo para la selección de los métodos de tratamiento para la remoción de Fe y Mn	14
Tabla 2. Comparación de distintas tecnologías de reducción de flúor.....	17
Tabla 3. Comparación de distintas tecnologías de remoción de arsénico	20

1. REMOCIÓN DE OLOR Y SABOR

- Cuando se realicen los estudios de calidad de las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas deben incluirse determinaciones que permitan prever la aparición eventual de problemas de olor y sabor.

Si la fuente de provisión es un lago, laguna, represa o canal con aguas de baja turbiedad, debe realizarse un estudio cuali-cuantitativo del fitoplancton y zooplancton. Si se detecta la presencia de cianobacterias, se debe realizar determinaciones analíticas con la finalidad de identificar la presencia de toxinas.

En todos los estudios deberán incluirse determinaciones del número umbral de olor según la técnica establecida en los Standard Methods para el Análisis de Agua y Líquidos Residuales de la American Water Works, American Health Public Association y la Water Environment Federation en su última edición. Pueden aceptarse otras técnicas cualitativas de determinación de sabor y olor si son debidamente justificadas por los proyectistas.

- Si al realizar el Estudio de Calidad de las fuentes de agua, se detecta la presencia de sustancias que dan origen a la aparición de problemas de sabor y olor, debe buscarse fuentes alternativas. En caso de que ello no fuera posible, debe estudiarse la posibilidad de aplicar medidas de protección de la fuente o métodos que permitan controlar el problema antes del ingreso del agua en la planta de tratamiento.
- En todas las plantas que tratan aguas superficiales, particularmente aquellas que se alimenten de lagos o embalses, deben preverse instalaciones para la adición de productos químicos que permitan controlar la eventual aparición de olores y sabores desagradables. La adición de los productos debe hacerse antes de otros procesos de tratamiento, de manera de asegurar un tiempo de contacto adecuado para un uso efectivo y económico de los mismos.
- En caso de tener que eliminar sabores y olores en una planta de tratamiento se pueden utilizar procesos de oxidación, aplicación de carbón activado en polvo o carbón activado granular o combinaciones de dichos procesos. En caso de que los olores y sabores sean provocados por la presencia de algas, podrá aplicarse un proceso de coagulación-floculación-flotación u otra combinación apropiada de procesos, tal como se especifica en el Capítulo 5 de las presentes Normas.
- La decisión de utilizar uno u otro método para el control de sabores y olores debe basarse en cuidadosos estudios de laboratorio y en ensayos en planta piloto. Los ensayos en planta piloto deben abarcar un ciclo hídrico completo para registrar variaciones estacionales típicas en la calidad del agua. En ciertas circunstancias puede no ser necesario que los ensayos se realicen en forma continua, pero por lo menos deben hacerse durante quince días en cuatro períodos que abarquen distintas condiciones climáticas.

El método a utilizar debe contar con aprobación del ENOHSA.

- Los procesos de tratamiento para la remoción de sabor y olor deben diseñarse con la suficiente flexibilidad para que puedan introducirse modificaciones posteriores en función de la naturaleza de los problemas que pudieran aparecer.

- Si se ha demostrado a través de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas del agua a tratar, que el cloro puede utilizarse como oxidante para el control de sabores y olores, deben proveerse adecuados tiempos de contacto para que puedan completarse las reacciones químicas involucradas. Deben realizarse cuidadosos ensayos de laboratorio para determinar si con las dosis aplicadas no se favorece la producción de trihalometanos por encima de los valores determinados en las Normas de Calidad de Agua Potable, establecidos en el Capítulo 3 de las presentes Normas
- El dióxido de cloro puede utilizarse como oxidante para controlar algunos olores y sabores, como los generados por los fenoles. El dióxido de cloro se genera “in situ” haciendo reaccionar cloro gaseoso con clorito de sodio. Si se requiriera su uso, deben tomarse las provisiones para almacenar y manipular el clorito de sodio de manera de prevenir explosiones.
- De ser necesario incorporar un proceso de Aeración para producir la oxidación requerida para eliminar sabores y olores, deben respetarse las especificaciones del Numeral 9 de este Capítulo.
- El permanganato de potasio puede utilizarse como oxidante, pero el proceso debe diseñarse de manera que los productos de la reacción no aparezcan en el agua tratada.
- El ozono puede ser utilizado también como oxidante para el control de sabores y olores. Debe preverse el tiempo de contacto adecuado para permitir que se completen las reacciones involucradas. El ozono es generalmente recomendable cuando los niveles de umbral de olor son muy altos.
- El carbón activado en polvo puede ser aplicado con éxito en el control de olores y sabores, especialmente cuando los problemas son esporádicos. Debe aplicarse preferentemente antes del proceso de coagulación para proveer el máximo tiempo de contacto, pero deben preverse distintos puntos de aplicación, para otorgar mayor flexibilidad a la operación de la planta de tratamiento. Nunca debe aplicarse carbón activado en polvo cerca del punto de aplicación del cloro.

El carbón activado en polvo (CAP) puede ser aplicado en suspensión acuosa o a través de dosificadores en seco, si el carbón es previamente humedecido. En el caso de preparar una solución debe preverse un sistema de agitación para evitar la sedimentación del CAP.

Todos los materiales en contacto con el CAP deben ser de acero inoxidable, PVC, o cualquier otro material protegido contra la corrosión.

Deben preverse instalaciones para controlar la emisión de polvos en el ambiente.

- Las dosis necesarias de CAP deben determinarse mediante ensayos de laboratorio. Los dosificadores deben tener un amplio rango de tasas de aplicación para adaptarse a la variabilidad de problemas que puedan presentarse.
- El CAP debe manejarse como un material potencialmente combustible. Debe ser almacenado en depósitos que no tengan peligro de incendio. No deben almacenarse otros productos químicos en el mismo recinto. Los recintos donde estén ubicados los

equipos dosificadores deben estar provistos de llaves de luz, tomas y luces con sistemas de seguridad antiexplosivos.

- La posibilidad del uso de carbón activado granular (CAG) para la remoción de olores y sabores debe ser estudiada para cada caso en particular. Generalmente, es necesario realizar ensayos a nivel de planta piloto para justificar su aplicación. En el caso de adoptar un filtro CAG el proyectista debe especificar y justificar los criterios de diseño adoptados para atender los siguientes temas:
 - Especificaciones del medio granular.
 - Métodos previstos para el control de crecimiento de bacterias en el medio filtrante.
 - Regeneración o reemplazo del medio.
 - Tiempo de contacto para el filtro vacío.
 - Profundidad del medio.
 - Tiempo de vida estimado para el lecho granular.
 - Efecto de otros contaminantes sobre el lecho de carbón.
 - Detalles del sistema de lavado.
 - Medidas de seguridad a adoptar en el almacenamiento del carbón activado.
- En los casos en que se decida utilizar CAP o CAG para la eliminación de sabores y olores, debe tenerse en cuenta lo establecido en el Numeral 11 – Adsorción de este Capítulo.

2. REMOCIÓN DE COLOR

- La presente Norma se refiere al color de las aguas utilizadas como fuente de provisión, debido a la presencia de materia orgánica natural (MON) proveniente de la descomposición de plantas y animales. La presencia de MON, además de colorear el agua es considerada un precursor en la formación de subproductos durante la desinfección como los trihalometanos, por lo que se deben prever los adecuados procesos de tratamiento para su remoción.
- Cuando las aguas a tratar presenten color elevado asociado a bajas turbiedades, el proyectista debe determinar el origen del color y sus variaciones a lo largo del año. En este tipo de aguas debe determinarse, la concentración de MON.
- La MON puede determinarse a través del análisis de Carbono Orgánico Total (COT) para lo que existen diversos métodos que requieren de equipamiento especializado. Una medida sustitutiva es la medición de la absorbancia de ultravioleta, la que puede correlacionarse con la concentración de COT para cada agua en particular. El color se debe determinar mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. El método patrón de medida es el de platino-cobalto, siendo la unidad de color el producido por 1 mg/l en forma de cloroplatinato.
- Para las especificaciones de instrumental, preparación de patrones y procedimiento del método para las determinaciones de color, absorbancia de ultravioleta y carbono orgánico total, se debe consultar Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, en su última edición.
- Cuando las aguas a tratar presenten elevado color, en el programa de evaluación de la calidad de las mismas debe prestarse especial atención a la determinación del color verdadero y el color aparente. El color verdadero, es el color del agua luego de que ha sido eliminada la turbiedad. El color aparente, por tanto, es el color que engloba el color debido al material en suspensión y al material disuelto.
- El color puede removerse mediante procesos de coagulación-floculación-sedimentación filtración teniendo en cuenta que los procesos de remoción de color son distintos que los de remoción de turbiedad.
- El pH óptimo para coagulación de aguas con color utilizando sales de aluminio es entre 5 y 6 y para sales de hierro entre 4,5 y 5,5, por lo que debe preverse un proceso de acidificación previo en caso de que se requiera. Este proceso es el denominado "coagulación mejorada" y es el proceso recomendado como el más conveniente para remoción de materia orgánica natural permitiendo un proceso de desinfección con cloro con formación de subproductos por debajo de los valores establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable (ver Capítulo 3 Criterios de Calidad de Agua Cruda y Tratada).

En todos los casos se debe realizar ensayos de laboratorio (Jar Test) para determinar:

- Coagulante más adecuado.
- Dosis de coagulante y pH óptimos.
- Velocidad de sedimentación de los flóculos generados.

- En algunos casos, luego del proceso de coagulación mejorada, puede resultar conveniente aplicar un proceso de flotación con aire disuelto -FAD- en lugar de un proceso de sedimentación. En estos casos se debe realizar estudios en plantas piloto para determinar:
 - Cargas superficiales.
 - Tiempo de retención.
 - Velocidades ascensionales.
 - Eficiencias en remoción de color.
- Los ensayos se deben realizar de manera de cubrir las variaciones que se producen en el agua a tratar en distintas épocas del año.
- En los casos en que se adopte un proceso FAD, deben respetarse las recomendaciones del punto Flotación por Aire Disuelto, Numeral 6 del Capítulo 5 de las presentes Normas.
- La MON y por tanto el color pueden ser removidos mediante procesos de oxidación química seguidas de procesos de adsorción en filtros de carbón activo granular, utilizados como tratamientos terciarios. (ver Números 11 Adsorción y 12 Oxidación Química de este Capítulo).
- Asimismo, pueden utilizarse procesos de filtración por membranas (ver Numeral 7 Utilización de Membranas de este Capítulo).
- En los casos en que se adopte un sistema patentado, el proyectista debe elaborar un prediseño de las instalaciones y fijar claramente los requerimientos en los pliegos de licitación. Por otra parte, debe exigirse:
 - La presentación de antecedentes referidos a experiencias exitosas realizadas en el país con sistemas similares y con aguas de características similares.
 - La realización por parte de la empresa de ensayos en planta piloto in situ y en épocas del año que cubran las variaciones en la calidad del agua cruda. Los ensayos deberán demostrar fehacientemente la eficiencia del tratamiento propuesto y calcular los costos operativos.
 - Fijar un período de prueba, al final del cual, la empresa deje en manos del responsable del abastecimiento de agua, la planta instalada y en funcionamiento normal, de modo tal que se cumplan los objetivos de calidad previamente establecidos. La empresa debe hacerse cargo de capacitar al personal que tendrá a su cargo la operación de la planta y debe entregar un Manual de Operación y Mantenimiento en el que se describan detalladamente las acciones para la operación normal de la Planta así como las operaciones de emergencia.

3. ABLANDAMIENTO DE AGUAS DURAS

- El ablandamiento puede considerarse como un sistema de tratamiento adecuado para mejorar las características químicas del agua mediante la reducción de su dureza cuando ésta exceda los 500 mg/L (máximo admisible por la OMS), o bien cuando esta exceda los 100 mg/L (máximo deseable por la OMS) se presente una justificación adecuada.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para la reducción de la dureza de un agua se debe determinar a través del estudio de la calidad de la fuente de provisión, para lo que se deberán realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar.

El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. Debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se deben realizar solamente determinaciones de calcio, magnesio y de otros iones que sean posibles causantes de dureza, como por ejemplo, hierro ferroso, estroncio y manganeso.

Complementariamente se debe determinar la concentración de los aniones presentes en las muestras, realizando los balances iónicos respectivos. Asimismo se deben determinar en el agua a tratar los valores correspondientes a la dureza no carbonatada (cloruros, nitratos o sulfatos) y a la dureza de bicarbonatos, alcalinidad, dióxido de carbono libre (CO_2), sólidos disueltos totales y el pH. En las muestras analizadas se debe determinar también el pH de saturación correspondiente.

- El tipo de tratamiento a adoptar depende de las características del agua a tratar, de las condiciones locales y de los niveles de dureza residual a alcanzar. En principio, los procesos de ablandamiento más recomendables para agua de abastecimiento son ablandamiento por el método de cal soda e intercambio iónico. Sin embargo, el ENOHSA podrá aprobar otros procesos y sistemas de ablandamiento que a criterio del proyectista permitan alcanzar las concentraciones de dureza requeridas en las normas citadas anteriormente.
- En todos los casos, los proyectistas deben fundamentar adecuadamente el proceso elegido para su aprobación por el ENOHSA, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o mediante ensayos en planta piloto, particularmente cuando se propongan sistemas de tratamiento no suficientemente probados.
- El proceso de ablandamiento cal-soda convencional puede ser considerado aconsejable cuando el contenido de magnesio del agua a tratar sea bajo o bien cuando no se estime necesario remover totalmente la dureza de magnesio. Cuando el contenido de magnesio en el agua a tratar sea elevado (superior a 40 mg/L como CaCO_3) se recomienda el tratamiento con cal en exceso seguido de la mezcla con agua cruda derivada o bien mediante carbonatación, floculación y sedimentación. En cualquier caso, el proyectista debe justificar adecuadamente cualquiera de estas u otro tipo de alternativas seleccionadas.

- Cuando se adopte el método de ablandamiento cal-soda, el proyectista debe especificar los productos químicos que se deben emplear en el proceso y sus características principales, debiendo ser estos productos expresamente aprobados por los Organismos competentes de Salud Pública para su aplicación en el tratamiento de agua para consumo.
- Se debe presentar la estequiometría de las reacciones químicas que tendrán lugar en el proceso cal-soda, tomándose estas ecuaciones como punto de referencia del consumo de productos químicos previsto, adoptándose además un factor de rendimiento de las reacciones debidamente justificado. Alternativamente, se recomienda utilizar como forma de cálculo de los productos químicos necesarios para el proceso al diagrama modificado de Caldwell – Lawrence.
- El proyectista debe prestar especial atención al espacio destinado al almacenamiento de los productos químicos a emplear en el proceso evitando áreas insuficientes, descubiertas y húmedas.
- Se debe presentar una estimación de la masa y volumen de precipitados a deshidratar y disponer, tomando como referencia la estequiometría prevista y factores de rendimiento e hidratación adecuadamente justificados.
- En todos los casos, y particularmente cuando se emplee el método de cal / soda convencional, el proyectista debe evaluar la factibilidad técnica y económica del reuso de la cal utilizada en el proceso.
- El proyectista debe fundamentar el método de deshidratación de barros a utilizar, su capacidad de procesamiento y la forma de disposición de los residuos producidos (Ver Normas Capítulo 7 Tratamiento y Disposición de Residuos de Plantas de Potabilización).
- El equipo a utilizar en los procesos de ablandamiento con el método de cal-soda debe incluir como mínimo los siguientes componentes: cámaras de mezcla, floculación y sedimentación; equipos para la manipulación y alimentación de productos químicos; filtros de arena rápidos convencionales y, cuando corresponda, algún tipo de equipo generador de dióxido de carbono. Por otra parte, se debe contar con el material de laboratorio que permita la realización de los ensayos de control requeridos en las diversas etapas del proceso de ablandamiento (Ver Normas Capítulo 5 Planta de Tratamiento, Numeral 8 - Laboratorio).
- Las cámaras de mezcla rápida y los tanques de floculación se deben proyectar con tiempos de permanencia ubicados en los rangos de entre cinco a diez minutos y cuarenta a sesenta minutos respectivamente, mientras que las cámaras de sedimentación tendrán tiempos de retención en el rango de dos a cuatro horas, salvo justificación fundada.
- En los equipos donde se anticipe la precipitación de barros se debe prever el correspondiente equipamiento electromecánico para su remoción y traslado.
- Cuando el proceso de ablandamiento se opere con óxido de calcio y se requiera de equipos apagadores de cal, estos equipos deben contar con los dispositivos de alarma y control correspondientes para evitar condiciones operativas de riesgo como por ejemplo temperaturas de apagado excesivas.
- El diseño de los filtros empleados en las plantas de ablandamiento con cal-soda se debe regir principalmente por las Normas de Filtración para filtros rápidos de arena.

Sin embargo, el proyectista debe prever medidas operativas para manejar las turbiedades elevadas derivadas de la presencia de cristales de carbonato de calcio finamente divididos en el agua de ingreso al filtro.

- Cuando se proponga la utilización del sistema de ablandamiento por intercambio iónico con resinas para el tratamiento de agua de abastecimiento se debe justificar la elección con un estudio técnico económico de alternativas de tratamiento.
- Los equipos de ablandamiento por intercambio iónico con resinas podrán operar por gravedad o a presión.
- Los equipos de ablandamiento por intercambio iónico con resinas deben comprender como mínimo los siguientes elementos: cámara, carcasa o tanque (a presión), sistema de desagüe inferior, material soporte (generalmente manto de grava), lecho de intercambio iónico, entrada de agua, colector de agua de lavado, sistema de alimentación de la solución regenerante.
- La velocidad lineal del agua en la unidad durante la operación normal se debe mantener en el rango de 10 a 20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, salvo justificación fundada del proyectista.
- El caudal de operación de los sistemas de ablandamiento por intercambio iónico puede adoptarse en el rango de 16 a 32 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ salvo justificación fundada.
- Cuando se trabaje con régimen de flujo ascendente, el proyectista debe tomar los recaudos necesarios (sistemas de control) para evitar un aumento excesivo del caudal de alimentación que provoque la pérdida de resina por arrastre. De igual forma se deben adoptar precauciones cuando se utilice el contralavado en forma ascendente a fin de evitar pérdidas de resinas. Se debe tener en cuenta la variación de la densidad aparente de la resina con la temperatura del agua.
- El proyectista debe definir el regenerante a utilizar y los rangos de concentraciones aplicables. El tiempo de lavado de la resina, posterior a su regeneración, se debe seleccionar entre 2 y 5 minutos de duración mientras que el caudal del agua de lavado puede seleccionarse en el rango de 5 a 6 m^3 de agua por litro de resina, salvo justificación fundada.
- El proyectista debe indicar la alternativa de tratamiento y disposición a aplicar a las soluciones de regenerante agotadas (Ver Normas Capítulo 7 Tratamiento y Disposición de Residuos de Plantas de Potabilización).

4. REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO

- Se entiende por Tratamiento de Eliminación de Hierro y Manganeso a aquel diseñado expresamente con el propósito de reducir el contenido de estos elementos a valores menores que los establecidos por las Normas de Calidad del Agua del Código Alimentario Argentino (0.30 mg/l para el hierro y 0.1 mg/l para el manganeso) o las que se hayan adoptado en su reemplazo (ver el Capítulo 3 Criterios de Calidad de Agua Cruda y Tratada de las presentes Normas).
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para la eliminación de hierro y manganeso se deberá determinar a través del estudio de calidad del agua de la fuente de provisión, para lo que se deberán realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras deberá ser mayor que tres (3), las que deberán ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se realizan solamente determinaciones de hierro y manganeso, pH, potencial redox y concentración de oxígeno por ser los parámetros de mayor interés para el diseño de los procesos de tratamiento. Estas últimas determinaciones, en lo posible, deberán llevarse a cabo “in situ”, debido a que los metales en cuestión se oxidan rápidamente con el oxígeno del aire. Si ello no fuera factible, deberá procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En todos los casos se recomienda al tomar las muestras, hacer rebalsar el recipiente y luego tapar rápidamente de modo que no quede aire dentro de él.
- El tratamiento a adoptar dependerá de las características del agua a tratar y de las condiciones locales.
- Los procesos de tratamiento por oxidación, precipitación y filtración son los más recomendables por ser los probados en nuestro país.
- El ENOHSA podrá aprobar otros procesos que a criterio del proyectista permitan alcanzar las concentraciones de hierro y manganeso requeridas en las normas citadas anteriormente.
- En todos los casos, los proyectistas deberán fundamentar adecuadamente el proceso elegido para su aprobación por el ENOHSA, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o con ensayos en planta piloto, especialmente cuando se propongan sistemas de tratamiento no suficientemente probados.
- El ENOHSA podrá solicitar construir y operar una planta piloto para determinar los parámetros de diseño más importantes. Los ensayos en planta piloto deberán tener una duración tal que permitan obtener reproducibilidad en los resultados para cada variación que se introduzca en los parámetros de diseño. Este requisito tendrá especial importancia en aquellos casos en que se sospeche que existan elementos en el agua cruda como los mencionados en el punto anterior, que pueden interferir en el tratamiento de remoción de hierro y manganeso.
- Cuando se lleven a cabo ensayos en planta piloto para determinar parámetros de diseño, los proyectistas deberán presentar previamente a la materialización de las instalaciones la siguiente información:

- Esquema de la instalación experimental a utilizar, diagrama de bloques y diagrama de flujo.
- Programa de ensayos a realizar, parámetros analizados y técnicas analíticas a aplicar.
- La información a presentar una vez concluidos los ensayos debe ser la que sigue:
 - Esquema de la instalación experimental utilizada, diagrama de bloques y diagrama de flujo.
 - Descripción de los ensayos realizados, parámetros analizados y técnicas analíticas aplicadas.
 - Resultados obtenidos.
 - Evaluación de los resultados.
 - Conclusiones y propuestas para la planta definitiva.

Tratamientos por oxidación-precipitación y filtración

- La oxidación del hierro y del manganeso se puede conseguir con el agregado al agua de oxígeno, mediante aeración natural, o con la adición de cualquier otro oxidante fuerte como el cloro, dióxido de cloro, permanganato de potasio u ozono. La oxidación tiene como objeto la obtención de precipitados de hidróxido férrico o mangánico que luego deberán separarse por procesos de clarificación.
- En todos los casos deberán realizarse ensayos de laboratorio que tendrán como objetivo:
 - Determinar si es necesario utilizar un oxidante químico y en tal caso la dosis.
 - Necesidad o no de incluir una etapa de sedimentación.
 - Necesidad de agregar coagulantes.
 - Si existen interferencias con materia orgánica natural, con sílice, etc.
- Deberá prestarse especial atención al ajuste del pH en el agua cruda con la finalidad de optimizar las reacciones químicas, acortando los tiempos de oxidación. El pH óptimo para la eliminación de hierro está en el rango 7.00-8.00 y para el manganeso el pH debe ser superior a 9.00.
- La complejación del hierro constituye la causa principal de los fracasos encontrados en la eliminación del hierro por oxidación-precipitación y filtración. El agente formador de complejos puede ser la sílice o los ácidos húmicos.

Por esta razón, al elaborar un proyecto deberán tenerse en cuenta algunos parámetros adicionales en el análisis de la calidad del agua a tratar, como los siguientes (la lista no es exhaustiva):

- Concentraciones de sílice.
- Carbono orgánico total (COT).
- Absorción UV a 254 nm (es una medida sustitutiva de determinados constituyentes orgánicos presentes en el agua y puede constituir un parámetro

subrogante de la concentración de carbono orgánico total, una vez que se ha realizado la correlación entre ambos parámetros).

- Color Verdadero.
- Concentraciones de fosfatos.
- Siempre será beneficioso aerear un agua subterránea, desprovista de oxígeno, aún cuando se utilicen oxidantes químicos. La ventaja radica en que se aprovecha el oxígeno del aire como oxidante del hierro y el manganeso, necesitando agregar luego menos dosis de otros oxidantes fuertes. Podrán emplearse para ello distintos tipos de aeradores: de cascadas, aeradores de contacto (bandejas de coque, roca o tablas de madera, con bandejas de rellenos plásticos, de bandejas perforadas; bocas aspersoras o agitadores mecánicos. Para el diseño de los aeradores se debe respetar lo establecido en la sección sobre Aeración de las presentes Normas.
- Si fuera necesario el agregado de oxidantes, debe preverse un tiempo de retención mínimo de 20 minutos para asegurar que las reacciones de oxidación se produzcan en forma completa. Este tiempo de retención podrá reducirse sólo si se demuestra que ello es posible a través de ensayos en plantas piloto. La cámara para lograr el período de retención indicado deberá diseñarse con suficientes pantallas para evitar cortocircuitos. No será obligatorio prever instalaciones para eliminar sólidos en forma continua.
- Cuando los contenidos de hierro en el agua a tratar sean mayores de 5mg/l, será necesario prever una etapa de sedimentación porque se origina un volumen importante de precipitado. En este caso el tiempo de retención en el sedimentador puede considerarse como tiempo de reacción, por lo que no será necesaria la inclusión de la etapa a que se refiere el punto anterior. Podrán utilizarse sedimentadores convencionales o de flujo laminar en placas o tubos, los que deberán ser proyectados según lo indicado en Capítulo 5 Plantas de Tratamiento, Numeral 5 Sedimentación de las presentes Normas. En este caso deberá preverse un sistema continuo de evacuación de lodos.

También deberá incluirse una etapa de sedimentación cuando haya presencia de turbiedad y/o color debido a sustancias húmicas para las que se requiera el agregado de coagulantes (sales de aluminio) en dosis mayores a 10 mg/l.

En el caso que los contenidos de hierro sean menores de 5 mg/l podrá utilizarse un proceso de filtración directa.

- En la etapa de filtración rápida podrá usarse cualquiera de los sistemas recomendados en el Capítulo 5 Plantas de Tratamiento, Numeral 7 Filtración Rápida. Si se utiliza arena como medio filtrante se recomienda lo siguiente:

- Arena, diámetro efectivo: 0,5 mm a 1,00 mm.
- Velocidad de filtración: 5 a 7 m/h.

Si se utilizan filtros duales de arena y antracita se recomienda lo siguiente:

- Arena, diámetro efectivo: 0,50 mm, altura del manto: 0,40 m.
- Antracita, diámetro efectivo: 0,80 mm, altura del manto: 0,50 m.
- Velocidad de filtración: 7 a 10 m/h.

Si se adopta un sistema de filtración directa ascendente, los filtros serán diseñados de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 5 Plantas de Tratamiento, Numeral 8 Filtración directa ascendente de las presentes Normas.

• **Tratamiento con polifosfatos**

- Una alternativa de tratamiento es la aplicación de polifosfatos, con la salvedad que no deben utilizarse cuando las concentraciones de hierro o manganeso o la combinación de ambos exceda 1 mg/l. Los polifosfatos pueden estabilizar y mantener dispersos a estos metales, los cuales no quedan disponibles para reaccionar con los oxidantes como el oxígeno o el cloro, manteniéndose en solución. El total de los fosfatos aplicados no debe exceder 10 mg/l como PO_4 . Los polifosfatos no son estables a altas temperaturas, liberando el hierro y el manganeso capturados los que quedan libres de reaccionar con oxidantes y precipitar. Por lo anterior no se recomienda la elección de este tratamiento si el agua tratada es luego sometida a un proceso de calentamiento.

Tratamiento por intercambio iónico

- Otra alternativa es la remoción de hierro y manganeso por procesos de intercambio iónico, la que no debe usarse para aguas que contengan más de 0,30 mg/l de hierro o manganeso o la combinación de ambos. El principio es el mismo que el usado para remover dureza. El hierro del agua cruda que ingresa es cambiado por sodio en un medio intercambiador de iones (resina). Luego el hierro es extraído de dicho medio cuando éste se regenera mediante una solución rica en sodio. Este proceso no es aceptable cuando el agua cruda o el agua de lavado contienen oxígeno disuelto.

Tratamiento biológico

- Podrá adoptarse un tratamiento biológico específico para la remoción de hierro y manganeso. En este caso deberán realizarse ensayos en planta piloto que demuestren fehacientemente la posibilidad de su aplicación y las eficiencias obtenidas.

Selección de los procesos

- Para la selección de los procesos de tratamiento se deben tener en cuenta las recomendaciones detalladas en el cuadro adjunto. Estas recomendaciones constituyen una guía y no eximen al proyectista de la realización de los ensayos recomendados en los ítems precedentes.
- Para elegir un proceso se debe tener en cuenta no sólo el costo de las instalaciones sino también la sencillez del proceso y la posibilidad de minimizar el uso de productos químicos, y que los que se usen estén disponibles en el mercado. Si son plantas muy complejas debe contemplarse la disponibilidad de repuestos y asegurar que el mantenimiento resulte poco oneroso.

Sistemas patentados

- En los casos en que se adopte un sistema patentado, el proyectista deberá elaborar un prediseño de las instalaciones y fijar claramente los requerimientos en los pliegos de licitación. Por otra parte deberá exigirse a cada oferente:

- La realización de ensayos en planta piloto (“in situ”) por parte de la empresa que provee la planta para demostrar la eficiencia del proceso propuesto.
- Contar con antecedentes comprobables y exitosos del sistema patentado que propone, en lo posible en nuestro país.

• ***Puesta en marcha y período de prueba***

- En todos los casos, ya se trate de sistemas patentados o no, deberá exigirse a la empresa responsable del diseño del sistema de tratamiento lo siguiente:
 - Realizar la puesta en marcha de la planta a escala real.
 - Fijar un período de prueba, al final del cual la empresa, entregue la planta en manos del responsable del abastecimiento de agua, en un régimen de funcionamiento tal que se cumplan los requerimientos previstos en el pliego.
 - Capacitar durante el período de prueba al personal designado por el licitante para hacerse cargo de la operación y mantenimiento de la planta.
 - Entregar un Manual de Operación donde se describa detalladamente las acciones a realizar tanto para la operación normal como para hacer frente a eventuales emergencias y un Manual de Mantenimiento Preventivo y Correctivo de las posibles fallas que sufra la instalación. Todos estos factores contribuirán a la facilidad de operación, teniendo en cuenta que dichas plantas por lo general serán instaladas en poblaciones pequeñas, alejadas y con escasos recursos tanto económicos como técnicos especializados.

Monitoreo

- Deberán preverse puntos de extracción de muestras de agua cruda y en la entrada y salida de cada una de las unidades de tratamiento que componen la planta. Todas las plantas deberán ser provistas con equipamiento para medir los contenidos de hierro con una concentración mínima de 0.1 mg/l y los contenidos de manganeso hasta un mínimo de 0.05 mg/l. Según el tratamiento seleccionado y la calidad del agua cruda, se requerirá el control adicional de los siguientes parámetros:
 - Turbiedad del agua tratada.
 - Conductividad (si existe un proceso de ablandamiento).
 - Dureza.

El control de alguno de los parámetros indicados como el pH y la turbiedad podrá hacerse en forma automática. La mayor o menor automatización de la planta deberá decidirse en función del tamaño de la planta, la capacitación del personal que tendrá a su cargo la operación, la posibilidad de contar con servicios técnicos especializados para el control y reparación de los equipos, etc.

Métodos para la remoción del Fe y el Mn						
Tratamiento de potabilización	Características del agua	Corrección de pH	Reacciones químicas	Instalación requerida	Insumos Químicos-Biológicos	Observaciones
aeración-filtración	Fe sin concentraciones apreciables de materia orgánica	eleva el pH entre 7 y 8, antes del aerador	oxidación por el oxígeno del aire	aerador, cámara de detención-filtro arena o arena y antracita	cal o soda cáustica para el aumento del pH	el aerador puede ser de bandejas con cualquier relleno que maximice el contacto gas líquido
aeración-oxidación-filtración	Fe y Mn sin concentraciones apreciables de materia orgánica	eleva el pH entre 7 y 8 para el Fe; y por encima de 9 para el Mn	oxidación por el oxígeno del aire, lo remanente se oxida con un oxidante fuerte	aerador, cámara de detención, agregado de oxidante-filtración directa	cal o soda cáustica para el aumento del pH, oxidantes fuertes (cloro, permanganato de potasio, ozono, dióxido de cloro)	puede suceder que se necesiten dos pasos: oxidación del Fe y en segunda etapa el Mn, ya que tienen distinto pH óptimo de oxidación
aeración-oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración	Fe y/o Mn con concentraciones de materia orgánica, color o turbiedad	eleva el pH entre 7 y 8 antes de aerear y por encima de 9 para el Mn		aerador, cámara de detención, sedimentador, filtro de arena, o arena y antracita	cal o soda cáustica para aumento de pH, coagulantes	el Fe puede estar en forma de complejo con la materia orgánica
Proceso cal-soda, sedimentación-filtración	Agua dura sin oxígeno con Fe y manganeso disuelto	la cal eleva el pH y el Fe precipita en forma de bicarbonato ferroso	no hay reacción de oxidación	Alimentador de cal, depósitos cerrados de mezcla, sedimentador, filtro	cal carbonato de sodio	se elimina el Fe disuelto en forma conjunta con la dureza.
biooxidación por bacterias específicas del hierro y el manganeso	agua de pozo con concentraciones de Fe y Mn pH < 7,2 Eh = 100 a 400 mV. rH > 14	las bacterias catalizan la precipitación química del hierro y el manganeso por el oxígeno del aire	hay reacción de oxidación (es más rápida y el floc biológico precipitado es más fuerte (posibilidad de aumento de velocidad de filtración))	biofiltro - filtro directo de arena ascendente (necesidad de rotar a un sistema físico-químico en caso de inhibición)	Necesidad de inóculo (bacterias) especialmente del Mn (tiempo de puesta en régimen largo)	Cuando el Fe y el Mn vienen juntos puede suceder que se deban eliminar en etapas, primero el Fe y luego el Mn
tratamiento con polifosfatos	aguas con concentraciones de hierro o manganeso o la combinación de ambos menores a 1 mg/l.	no requiere	los polifosfatos estabilizan y mantienen dispersos a estos metales manteniéndolos en solución	equipo dosificador de polifosfatos	polifosfatos (El total de los fosfatos aplicados no debe exceder 10 mg/l como PO ₄ .)	no se recomienda si el agua tratada es luego sometida a un proceso de calentamiento.
procesos de intercambio iónico	aguas que contengan menos de 0,30 mg/l de hierro o manganeso o combinación de ambos	no requiere	El hierro del agua cruda es intercambiado por sodio en un medio intercambiador de iones	reactor de intercambio iónico con resina específica.	se necesita regenerar la resina mediante una solución rica en sodio	no es aceptable cuando el agua cruda o el agua de lavado contienen oxígeno disuelto.

Tabla 1. Cuadro orientativo para la selección de los métodos de tratamiento para la remoción de Fe y Mn

5. ABATIMIENTO DE FLUOR

- Se entiende por tratamiento el abatimiento de flúor a aquél diseñado expresamente con ese propósito, a los fines de alcanzar los límites establecidos en agua de bebida.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para el abatimiento de flúor se determina a través del estudio de calidad de la fuente de provisión para lo cual deben realizarse análisis físico-químicos completos de un número suficiente de muestras representativas del agua a tratar.
- Se deben agotar las instancias de estudios de fuentes (superficiales y subterráneas) antes de considerar finalmente la realización de un tratamiento para remoción de flúor. A tal fin el proyectista debe acompañar con el proyecto de tratamiento los datos relacionados con los estudios de fuentes de los cuales se desprenda la necesidad de realizar un tratamiento.
- El tratamiento a adoptar depende de las características del agua a tratar y de las condiciones locales (geográficas y socio-económicas).
- Los proyectistas deben fundamentar adecuadamente el proceso elegido, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o con ensayos en planta piloto, debidamente realizados.
- El procedimiento o tratamiento a emplear no debe intentar remover todo el flúor del agua a tratar, sino sólo una parte de manera de adecuarlo a las normativas, teniendo en cuenta los efectos de prevención de caries que tiene la ingesta de agua con una dosis adecuada de flúor.
- En todos los casos en que se lleven a cabo ensayos en planta piloto para determinar parámetros de diseño, los proyectistas deben presentar la documentación correspondiente que debe contener como mínimo la siguiente información:
 - Previo a la realización de los ensayos:
 - ❖ Esquema de la instalación experimental a emplear a nivel de diagrama de bloques y diagrama de flujo.
 - ❖ Planos de detalle de las unidades que conforman la planta piloto con dimensiones de cada uno de los componentes.
 - ❖ Programa de ensayos a realizar. Parámetros a analizar. Técnicas a utilizar.
 - Una vez concluidos los ensayos:
 - ❖ Resultados obtenidos.
 - ❖ Evaluación de los resultados.
 - ❖ Criterios de cambio de escala.
 - ❖ Conclusiones y propuestas para la planta definitiva.
- La tecnología de abatimiento de flúor adoptada por el proyectista debe basarse fundamentalmente sobre los siguientes requerimientos principales:

- Operación segura con respecto al máximo nivel contaminante de flúor permitido
 - Eficiencia.
 - Proceso simple en el caso que deba ser aplicado en pequeñas comunidades.
 - Costo asociado a la técnica de abatimiento.
 - Factibilidad de monitorear la meta a alcanzar.
 - Mínimo volumen de lodos.
- Sólo se recomienda la utilización de ablandamiento con cal para los casos de aguas con altos contenidos de magnesio que permitan remover el flúor por coprecipitación, aún así debe evaluarse detenidamente la cantidad de barros generados en este proceso.
 - Cuando se utilice la tecnología de coagulación-floculación, deben efectuarse ensayos en laboratorio a fin de encontrar las dosis óptimas de coagulantes incluyendo el pH más adecuado. Si se utilizan sales de aluminio debe controlarse los valores de aluminio residual del agua tratada a fin de que no superen los valores máximos permitidos en agua de bebida humana.
 - Si se utiliza la tecnología de mantos de hueso molido deben tomarse las siguientes precauciones:
 - Adecuado tratamiento previo del hueso a los efectos de evitar problemas posteriores de turbidez, olor y sabor; se recomienda el tratamiento térmico con temperaturas entre 350 y 700 °C.
 - La granulometría del manto debe ser pequeña a fin de que el agua a tratar llegue a toda la masa del hueso (3 a 0,5 mm) y evitar apelmazamiento.
 - La velocidad de filtración a través del manto es aproximadamente entre 4 a 5 m³/m².h, dependiendo de la concentración de flúor, el pH y la altura del manto.
 - Durante el proceso de regeneración del hueso debe alcanzarse una expansión del manto entre un 30 y 50%.
 - Debe proyectarse adecuadamente el ingreso al reactor a fin de evitar canalizaciones.
 - Para la regeneración del manto puede utilizarse un volumen de soda al 1% equivalente a tres o cuatro volúmenes del lecho, y con velocidades entre 0,80 y 1 m³/m². h.
 - El agua utilizada en el contralavado debe pasarse por un tamiz a fin de retener el material que pudiera escapar del filtro
 - El proyectista debe definir claramente las limitaciones de la tecnología adoptada, así como el rango de calidad del agua a tratar que dicha tecnología admite. Asimismo se debe definir el nivel de entrenamiento mínimo requerido para el operador a los efectos de garantizar un uso eficiente del sistema de tratamiento..

- Se debe presentar un plan para el manejo de los residuos generados, incluyendo identificación, caracterización y minimización del volumen de dichos residuos; además se deben cuantificar los distintos residuos generados. El manejo y disposición de dichos residuos deben ajustarse a las normativas locales vigentes.
- En la **Tabla 2** se indican las principales ventajas y desventajas de las tecnologías más conocidas y utilizadas para reducción de flúor en agua de bebida. Respecto de los valores de eficiencia de cada tecnología, los mismos en algunos casos poseen un rango de variación amplio de acuerdo a las condiciones de operación y ensayo de la tecnología empleada.

Tecnología	Remoción (%)	Ventajas	Desventajas
Ablandamiento con cal	M	Método sencillo. Bajo costo. Productos químicos fáciles de obtener.	Necesidad de subir el pH a valores altos. Disposición del barro.
Coagulación con sulfato de aluminio	B	Método sencillo. Bajo costo. Productos químicos fáciles de obtener.	Poco eficiente para altos valores de flúor en el agua a tratar. Necesidad de bajar el pH a valores bajos. Disposición del barro.
Adsorción Hueso Molido	A	Método sencillo. Bajo costo.	Necesidad de un adecuado desengrasado del hueso para evitar problemas de olor y sabor en el agua tratada.
Adsorción Alúmina Activada	A	Operación de acuerdo a la demanda. Altamente selectiva para flúor y arsénico	Necesidad de bajar el pH Se requiere una base y un ácido para su regeneración. El medio tiende a disolverse produciendo partículas finas. Disposición del residuo.
Osmosis Inversa	A	Muy buena eficiencia.	Preacondicionamiento del agua a tratar. Alto costo de producción de agua. Cambio de membrana cada 4 años. Disposición final del rechazo.
Intercambio Iónico	A	Técnica selectiva de iones. Operación de acuerdo a la demanda.	Alto costo de tratamiento. Regeneración. Disposición final del residuo
A = Alta = mayor a 80%, M = Media = de 20 a 80%, B = Baja = menor a 20%			

Tabla 2. Comparación de distintas tecnologías de reducción de flúor

- En el caso en que se presente a una licitación un sistema patentado, el proyectista debe elaborar un prediseño de las instalaciones y fijar claramente los requerimientos y especificaciones técnicas y los datos garantizados de los equipos, en los pliegos de licitación, de manera que sea posible la competencia, pudiéndose presentar más de un oferente. Por otra parte debe exigirse:
- La realización por parte de la empresa que provee la planta de ensayos en planta piloto “in situ” que demuestren la eficiencia del proceso previamente a la presentación de ofertas o, como mínimo, previamente a la orden de construcción de las instalaciones.

- Fijar un período de prueba, al final del cual la empresa deje en manos del responsable del abastecimiento de agua, la planta instalada en un régimen de funcionamiento tal, que el agua tratada cumpla con la norma de calidad vigente y que durante dicho período de prueba capacite adecuadamente al personal designado por el licitante para hacerse cargo de la operación y mantenimiento de la planta. Antes de iniciar el período de prueba la empresa debe entregar un manual de operación donde se describa detalladamente las acciones a realizar tanto para la operación normal como para hacer frente a eventuales emergencias y un manual de mantenimiento preventivo y correctivo de las posibles fallas que sufra la instalación.

6. ABATIMIENTO DEL ARSENICO

- Se entiende por tratamiento de abatimiento de arsénico a aquél diseñado expresamente con ese propósito, a los fines de alcanzar los límites establecidos en agua de bebida.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para la eliminación de arsénico se debe determinar a través del estudio de calidad de la fuente de provisión para lo que deben realizarse análisis físico-químicos completos de un número suficiente de muestras representativas del agua a tratar.
- Se deben agotar las instancias de estudios de fuentes (superficiales y subterráneas) antes de considerar finalmente la realización de un tratamiento para remoción de arsénico. A tal fin el proyectista debe acompañar con el proyecto de tratamiento los datos relacionados con los estudios de fuentes de los cuales se desprenda la necesidad de realizar un tratamiento.
- El tratamiento a adoptar depende de las características del agua a tratar y de las condiciones locales (geográficas y socio-económicas).
- Los proyectistas deben fundamentar adecuadamente el proceso elegido, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o con ensayos en planta piloto, debidamente realizados.
- En todos los casos en que se lleven a cabo ensayos en planta piloto para determinar parámetros de diseño, los proyectistas deben presentar la documentación correspondiente que debe contener como mínimo la siguiente información:

Previo a la realización de los ensayos:

- Esquema de la instalación experimental a emplear a nivel de diagrama de bloques y diagrama de flujo.
- Planos de detalle de las unidades que conforman la planta piloto con dimensiones de cada uno de los componentes.
- Programa de ensayos a realizar. Parámetros a analizar. Técnicas a utilizar.

Una vez concluidos los ensayos:

- Resultados obtenidos.
- Evaluación de los resultados.
- Criterios de cambio de escala.
- Conclusiones y propuestas para la planta definitiva.
- La tecnología de remoción de arsénico a adoptar por el proyectista debe basarse fundamentalmente sobre los siguientes requerimientos principales:
 - Operación segura con respecto al máximo nivel contaminante de arsénico permitido.

- Eficiencia.
- Proceso simple en el caso de deba ser aplicado en pequeñas comunidades.
- En los casos en que sea posible se debe realizar en el agua a tratar una especiación del arsénico presente (As(III) y As(IV)).
- Es recomendable la preoxidación del agua a tratar a fin de que el arsénico presente se oxide a su forma pentavalente.
- En la tabla se indican a modo orientativo las principales ventajas y desventajas de las tecnologías más conocidas y utilizadas para reducción de arsénico en agua de bebida. Respecto de los valores de eficiencia de cada tecnología, los mismos en algunos casos poseen un rango de variación amplio de acuerdo a las condiciones de operación y ensayo de la tecnología empleada.

Tecnología	Eficiencia (%)	Ventajas	Desventajas
Coagulación Ablandamiento con cal	70 a 100	Método sencillo. Bajo costo. Productos químicos fáciles de obtener.	Práctica sólo para plantas de gran escala. Utiliza mucha agua para lavado de los filtros. Necesita operadores entrenados. Disposición del barro.
Intercambio Iónico	55 a 82	Técnica selectiva de iones. Operación de acuerdo a la demanda.	Competencia ante la presencia de sulfatos y SDT. Alto costo de tratamiento. Regeneración. Disposición final del residuo
Adsorción Alúmina Activada Carbón Activado Hidróx. Férr. Gran.	80 a 100	Bajo costo y técnica sencilla. Operación de acuerdo a la demanda.	Pérdida importante de adsorción en la regeneración. Competencia con sulfatos, flúor y nitratos que afectan la duración de la carrera. Disposición del residuo.
Osmosis Inversa Nanofiltración	84 a 100	Muy buena eficiencia.	Preacondicionamiento del agua a tratar. Alto costo de producción de agua. Cambio de membrana cada 4 años. Disposición final rechazo.
Electrodialisis	80	Muy buena eficiencia.	No muy usada en producción de agua potable. No competitiva con respecto a costos y eficiencia comparada con Osmosis Inversa y Nanofiltración.

Tabla 3. Comparación de distintas tecnologías de remoción de arsénico

- Cuando se utilice la tecnología de coagulación-floculación, deben efectuarse ensayos en laboratorio a fin de encontrar las dosis óptimas de coagulantes incluyendo el pH más adecuado. Si se utilizan sales de hierro o aluminio deben controlarse los valores de hierro o aluminio residual del agua tratada a fin de que no superen los valores máximos permitidos en agua de bebida humana, asimismo

deben optimizarse las etapas de sedimentación y filtración a fin de garantizar una alta remoción de flocs en los cuales se encuentra adsorbido el arsénico.

- Si se utiliza la tecnología de membranas (ósmosis inversa o nanofiltración) deben considerarse los pretratamientos adecuados a fin de proteger las membranas y alargar su vida útil. Asimismo debe evaluarse los porcentajes de mezcla de permeado y agua a tratar para llegar a un producto que cumpla con las normativas vigentes.
- El proyectista debe definir claramente las limitaciones de la tecnología adoptada, así como el rango de calidad del agua a tratar que dicha tecnología admite. Asimismo se debe definir el nivel de entrenamiento mínimo requerido para el operador a los efectos de garantizar un uso eficiente del sistema de tratamiento.
- Se debe incluir un plan para el manejo de los residuos generados, incluyendo identificación, caracterización y minimización del volumen de dichos residuos; además se deben cuantificar los distintos residuos generados. El manejo y disposición de dichos residuos debe ajustarse a las normativas locales vigentes.
- En los casos en que se adopte una licitación en la que pueda presentarse un sistema patentado, el proyectista debe elaborar un prediseño de las instalaciones y fijar claramente los requerimientos y especificaciones técnicas y los datos garantizados de los equipos en los pliegos de licitación de manera que el proceso permita la competencia pudiéndose presentar más de un oferente. Por otra parte deberá exigirse:
 - La realización por parte de la empresa que provee la planta previamente a la presentación de ofertas o, como mínimo, previamente a la orden de construcción de las instalaciones, de ensayos en planta piloto “in situ” que demuestren la eficiencia del proceso.
 - Fijar un período de prueba, al final del cual la empresa deje en manos del responsable del abastecimiento de agua, la planta instalada en un régimen de funcionamiento tal, que el agua tratada cumpla con la norma de calidad vigente y que durante dicho período de prueba capacite adecuadamente al personal designado por el licitante para hacerse cargo de la operación y mantenimiento de la planta. Antes de iniciar el período de prueba la empresa debe entregar un manual de operación donde se describa detalladamente las acciones a realizar tanto para la operación normal como para hacer frente a eventuales emergencias y un manual de mantenimiento preventivo y correctivo de las posibles fallas que sufra la instalación.

7. UTILIZACIÓN DE MEMBRANAS Y ALTERNATIVAS PARA LA DESALINIZACIÓN

- La utilización de membranas puede considerarse como un sistema de tratamiento adecuado para mejorar las características del agua cuando es necesario reducir el contenido de: salinidad, dureza, turbiedad, organismos patógenos, sustancias húmicas y otras sustancias precursoras de trihalometanos (THM), subproductos de la desinfección, compuestos orgánicos sintéticos, plaguicidas y todo contaminante que el proyectista considere retenible por membranas, con la debida fundamentación.
- La necesidad de incorporar un tratamiento de membranas para la reducción de los contaminantes de interés de un agua, debe ser determinado a través del estudio de la calidad de la fuente de provisión, para lo cual se deben realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. Debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se realizan al menos determinaciones de los parámetros a controlar. Complementariamente se determina la concentración de los siguientes parámetros: calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, bario, estroncio, hidróxidos, pH, conductividad específica, temperatura, cloro residual, color, sólidos totales disueltos, análisis bacteriológico (conteo heterotrófico en placa), dureza total, alcalinidad total, dióxido de carbono, bicarbonato, sulfato, cloruro, fluoruro, nitrato, amoníaco, fosfato, silicio soluble e insoluble, sulfuro de hidrógeno, índice de densidad de sedimentos, sólidos suspendidos, turbiedad.
- Cuando se propone la utilización de un sistema de membranas para el tratamiento de agua de abastecimiento el proyectista debe justificar su elección con un estudio técnico económico que evalúa tecnologías de tratamiento alternativas para su aprobación por el ENOHSA.
- El tipo de proceso de membrana a adoptar debe ser justificado tomando en consideración como mínimo las características del agua a tratar, las condiciones técnicas y económicas locales y los niveles residuales de contaminante a alcanzar. En principio, los procesos de membrana a considerar son: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, diálisis y electrodiálisis. Sin embargo, el ENOHSA podrá aprobar otros procesos que a criterio del proyectista permitan alcanzar las concentraciones residuales de contaminante requeridas por sus normas de Calidad de Agua.
- El proceso de microfiltración se considera aconsejable cuando el objetivo principal del tratamiento es la remoción de partículas hasta un tamaño de aproximadamente 0,1 μm , salvo justificación fundada del proyectista.
- El proceso de ultrafiltración se considera adecuado cuando el objetivo principal del tratamiento es la clarificación y la desinfección del agua a tratar, y las partículas a retener tengan tamaños del orden de 0,01 μm , salvo justificación fundada del proyectista.
- El proceso de nanofiltración debe ser considerado adecuado cuando el objetivo principal del tratamiento es el ablandamiento o la remoción de moléculas orgánicas

del agua a tratar, y las partículas a retener tienen tamaños del orden de 0,001 μm , salvo justificación fundada del proyectista.

- El proceso de ósmosis inversa debe ser considerado adecuado cuando el objetivo principal del tratamiento es la desalinización del agua a tratar, y las partículas a retener tienen tamaños del orden de 0,0001 μm , salvo justificación fundada del proyectista.
- El proceso de diálisis se considera adecuado cuando el objetivo principal del tratamiento es la retención de contaminantes coloidales y de gran peso molecular del agua a tratar, y las partículas a retener tienen tamaños semejantes a las retenidas por microfiltración, salvo justificación fundada del proyectista.
- El proceso de electrodiálisis se considera adecuado cuando el objetivo principal del tratamiento es la desalinización del agua a tratar, y las partículas a retener tienen tamaños del orden de 0,0004 μm , salvo justificación fundada del proyectista.
- En todos los casos, los proyectistas deben fundamentar adecuadamente el proceso elegido para su aprobación por el ENOHSA, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o mediante ensayos en planta piloto, particularmente cuando se propone sistemas de tratamiento no suficientemente probados.
- La relación de recuperación de agua utilizada en el sistema de membranas adoptado debe ser la máxima compatible con el funcionamiento adecuado de la unidad y las condiciones ambientales del lugar. A modo de referencia, puede emplearse la tabla siguiente para fijar criterios de relación de recuperación de agua en función del contenido de sólidos totales disueltos, salvo justificación fundada del proyectista.

Rango de Salinidad STD [mg/L]	Rango de presión operativa sobre la membrana [psi]	Rango de presión operativa sobre la membrana [kPa]	Relación de recuperación [%]	Observaciones
10000-50000	800-1500	5000-10000	15-55	Agua de mar
3500-10000	400-650	3000-4500	50-85	Presión estándar
500-3500	200-300	1000-2000	50-85	Presión baja
< 500	45-150	310-1000	75-90	Nanofiltración

- Los sistemas de tratamiento de agua por membranas deben comprender como mínimo los siguientes elementos: pretratamiento, bomba de alimentación, módulos de membrana, sistema de dosificación de sustancias químicas para el mantenimiento de las membranas, tanque de almacenamiento de agua tratada.
- Todo sistema de tratamiento de agua con membranas debe tener prevista la instalación de un pretratamiento adecuado a fin de proteger y prolongar la vida útil de la unidad. El proyectista debe presentar una justificación adecuada del pretratamiento elegido para su aprobación por el ENOHSA.
- Cuando se utilizan productos químicos para el mantenimiento y limpieza de las membranas, el proyectista debe especificar para su aprobación por el ENOHSA los productos químicos que emplea, sus características, y los rangos de concentraciones a aplicar, debiendo ser estos productos expresamente aprobados para su aplicación en el tratamiento de agua para consumo.

- El proyectista debe evaluar la necesidad de instalar un postratamiento a continuación del sistema de membranas, justificando la alternativa elegida o bien su ausencia para su aprobación por el ENOHSA.
- Las cañerías y equipos que conforman el sistema de tratamiento por membranas deben estar contruidos con materiales adecuados para resistir el efecto de la corrosión.
- Cuando se propone la instalación de un sistema de tecnologías innovadoras en el tratamiento por membranas el ENOHSA podrá solicitar construir y operar una planta piloto para verificar la efectividad del sistema y determinar sus parámetros de diseño más importantes. Los ensayos en planta piloto deben llevarse a cabo para condiciones de alimentación representativas de los diferentes escenarios ambientales registrados a lo largo del ciclo hídrico. La duración de los ensayos en cada condición operativa debe ser suficientemente prolongada como para caracterizar adecuadamente el funcionamiento de la unidad en esa condición. En principio se debe trabajar con un período operativo mínimo de un mes, salvo justificación fundada del proyectista.
- Cuando se llevan a cabo ensayos a escala piloto para determinar los parámetros de diseño, los proyectistas deben presentar la siguiente información mínima:
 - Esquema de la estación experimental empleada representado por diagrama de bloques.
 - Planos de detalle de las unidades que conforman la planta piloto con dimensiones de cada uno de los componentes.
 - Programa de ensayos realizados, parámetros analizados y técnicas de medición utilizadas.
 - Resultados obtenidos.
 - Evaluación de los resultados.
 - Conclusiones y propuestas para la planta definitiva.
- El proyectista debe prestar especial atención al espacio destinado al almacenamiento de los productos químicos a emplear en el proceso evitando áreas descubiertas y húmedas.
- El proyectista debe proponer y fundamentar el método de disposición de residuos producidos por el sistema de membranas para su aprobación por el ENOHSA. (Ver Normas de Disposición de Residuos de Plantas de Tratamiento de Agua).

8. TRATAMIENTO DE AGUA EUTROFICADA. REMOCIÓN DE ALGAS

- Las aguas eutroficadas de un cuerpo superficial como un lago, laguna o embalse constituyen muchas veces la única fuente disponible para el abastecimiento de agua a una población. Las aguas eutroficadas se caracterizan por el crecimiento explosivo de algas y cianobacterias en forma estacional, especialmente en primavera y verano.

En los casos en que la fuente de provisión sea un cuerpo con signos de eutroficación, debe realizarse un exhaustivo estudio cuanti-cualitativo a lo largo de, por lo menos, un ciclo hidrológico e investigar la presencia de toxinas. En todas las muestras se debe determinar la concentración de clorofila "a".

Las muestras deben extraerse especialmente en la zona donde se proyecta implantar la obra de toma y ser tomadas a distintas alturas para determinar la variación en la calidad de las aguas en el perfil vertical. Dicho estudio debe permitir decidir acerca de puntos óptimos de extracción del agua a tratar.

- La identificación del tipo y número de algas es determinante para la adopción de los procesos de tratamiento.
- Las técnicas empleadas para la cuantificación del zoo y fitoplancton deben ser las establecidas en los Standard Methods en su última edición o toda otra técnica avalada por normas o prácticas reconocidas internacionalmente y que a juicio de los proyectistas y del ENOHSA resulte adecuada.
- Antes de proceder al diseño de la planta de tratamiento, los proyectistas deben analizar las alternativas posibles, ya sea de carácter preventivo o correctivo que se pueden aplicar en la fuente, y elegir la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

La alternativa elegida debe contar con la aprobación expresa del ENOHSA.

- En caso de adoptar como medida correctiva en la fuente, la aplicación de sulfato de cobre, deben realizarse ensayos en el laboratorio para determinar:
 - Dosis óptimas.
 - Eficiencia en la remoción de algas.
 - Concentración de cobre residual, la que debe estar por debajo de los límites establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable (ver sección Capítulo 3).
 - Toxicidad para otros organismos acuáticos como por ejemplo, peces.

Si la alcalinidad es alta (>50 mg/l) las dosis deben ser mayores porque el cobre precipita y por lo tanto disminuye su poder algicida.

- Los procesos de tratamiento que pueden utilizarse para la remoción de algas y sobre los que se dan recomendaciones en las presentes Normas son los siguientes:
 - Microtamizado.

- Filtración directa.
 - Tratamiento convencional de coagulación-floculación – sedimentación-filtración.
 - Filtración lenta.
 - Preoxidación.
 - Flotación por aire disuelto.
 - Tratamientos avanzados.
- Los tamices permiten retener las algas de gran tamaño, especialmente organismos filamentosos y la necesidad de su colocación debe ser determinada en cada caso. Se colocan luego de las rejillas gruesas y las aberturas deben ser menores a 100 μm .
 - La utilización de un proceso de filtración directa puede resultar adecuada en el caso de que la concentración de algas en el agua cruda no supere un valor de 1000 –2000 UNA (unidades normalizadas de área) o una concentración de Clorofila “a” de 10 $\mu\text{g/l}$. Sin embargo, puede aplicarse en otros casos, siempre que se demuestre su eficiencia mediante ensayos en planta piloto durante un período que cubra las variaciones posibles en la biomasa del agua a tratar.

En los casos en que se proyecte un proceso de Filtración Directa se deben respetar las recomendaciones de diseño establecidas en el Capítulo 5 Numeral 7 Filtración de estas Normas en el punto correspondiente a filtración directa, aunque se debe realizar ensayos en planta piloto, para determinar parámetros de diseño y eficiencias en cada caso particular.

- La eficiencia de la filtración directa puede aumentarse incluyendo un proceso previo de oxidación. Puede usarse algunos de los siguientes oxidantes: cloro, permanganato de potasio u ozono. En el caso de utilizar cloro, debe determinarse, mediante ensayos de laboratorio, si no se forman trihalometanos en concentraciones superiores a las establecidas en las Normas de Calidad de Agua Potable (ver Capítulo 3).

La utilización de dióxido de cloro puede constituir una buena alternativa, pero deben realizarse ensayos de laboratorio para determinar dosis óptimas y deben compararse costos frente al uso de cloro.

El proyectista debe justificar en cada caso, mediante resultados de ensayos de laboratorio, el oxidante adoptado y los costos involucrados.

- En un tratamiento convencional de coagulación-floculación-filtración se pueden lograr altas remociones de algas, siempre que se tenga en cuenta que las condiciones requeridas son distintas a las necesarias para la eliminación de la turbiedad.

Deben determinarse los coagulantes óptimos, dosis y pH óptimos mediante Ensayos de Jarras en distintas épocas del año, porque dichas condiciones pueden variar de acuerdo al tipo y número de algas presentes.

- Los Ensayos de Jarras deben realizarse teniendo en cuenta que:
 - La eficiencia en la remoción de algas no puede determinarse a través de la turbiedad por lo que deben cuantificarse las algas en el sobrenadante de cada uno de los vasos.
 - La dosis óptima para eliminar turbiedad puede no ser suficiente para eliminar las algas.
- Si se utiliza un proceso de sedimentación convencional, debe preverse la extracción continua de los lodos para evitar su descomposición y la generación de olores.
- En el caso de aguas ricas en algas, se puede considerar la opción de utilizar un proceso Flotación por Aire Disuelto (FAD) en lugar de la sedimentación. El proceso FAD puede ser combinado con un proceso de preoxidación.

La decisión de adoptar un proceso FAD en lugar de la sedimentación se debe basar en cuidadosos ensayos de laboratorio y en planta piloto.

- En el caso de utilizar un proceso de filtración rápida debe tenerse en cuenta que es necesario determinar las granulometrías y velocidades de filtración óptimas para obtener una alta eficiencia en la remoción de algas. En plantas de gran capacidad (para poblaciones entre 100.000 y 500.000 habitantes) se recomienda colocar un contador de partículas en la salida de cada uno de los filtros.
- En el caso de que se utilicen filtros lentos, debe prestarse especial atención al diseño de los tratamientos previos que permitan reducir el número de algas. La prefiltración en mantos granulares puede ser una buena alternativa (ver Capítulo 5 Numeral 2 de las presentes Normas).
- Existen experiencias que indican que el uso de tratamientos avanzados como filtración por membranas u oxidación por ozono seguida de filtración por carbón activado granular, contribuye a la eliminación de algas y las toxinas liberadas por las mismas. Estos sistemas son generalmente motivo de patentes y en tal caso debe justificarse su adopción mediante ensayos en plantas piloto y mediante adecuados estudios de costos.
- En caso de que el proyectista decida adoptar un sistema patentado, debe realizar un prediseño de las instalaciones para incluir un esquema de las mismas en el pliego de licitación. En el pliego debe proporcionar todas las especificaciones que resulten necesarias, así como las condiciones para la aceptación de los equipos, los que pueden incluir la realización de ensayos en plantas piloto. Deben especificarse claramente los períodos de prueba y garantía en la que la operación de la planta está a cargo de los proveedores. Se debe especificar asimismo los requerimientos de capacitación del personal que queda a cargo de la operación de la planta y la elaboración de un manual de operación y mantenimiento.

9. AERACIÓN Y DESORCIÓN

- La aeración puede considerarse como un sistema destinado a mejorar las características físicas y químicas del agua mediante la transferencia de compuestos volátiles de la fase líquida (agua) a la gaseosa (aire) por medio del contacto del agua tratada con el aire.
- En todos los casos el proyectista debe presentar una evaluación de alternativas de tratamiento justificando la adopción del proceso seleccionado para su aprobación por el ENOHSA.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para la eliminación de compuestos volátiles se debe determinar a través del estudio de calidad de la fuente de provisión, para lo cual se deben realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se realizan solamente determinaciones de los compuestos volátiles a remover, pH, dureza, alcalinidad, hierro y manganeso por ser los parámetros de mayor interés para el diseño de los procesos de tratamiento. Estas últimas determinaciones, en lo posible, deben llevarse a cabo “in situ”, debido a que los metales en cuestión se oxidan rápidamente con el oxígeno del aire. Si ello no fuera factible, debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En todos los casos se recomienda al tomar las muestras, hacer rebalsar el recipiente y luego tapar rápidamente de modo que no quede aire dentro de él. Cuando el compuesto volátil a remover sea de naturaleza orgánica, se debe evitar el empleo de frascos plásticos para la extracción de las muestras. Asimismo, el manipuleo de la muestra debe evitar la agitación de la misma y el riesgo de volatilización del compuesto orgánico se debe reducir mediante cierre hermético y refrigeración a 4°C del frasco empleado.
- Esta operación puede considerarse aplicable a aguas de abastecimiento en las que sea necesario
 - Disminuir la intensidad de olores y sabores producidos por sustancias volátiles tales como sulfuro de hidrógeno (SH_2) y compuestos orgánicos volátiles.
 - Reducir la concentración de sustancias que acentúan la acción corrosiva del agua tales como dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (SH_2).
 - Remover sustancias que puedan interferir con las reacciones químicas requeridas para efectuar otros tratamientos del agua como por ejemplo el dióxido de carbono (CO_2) en el tratamiento por ablandamiento, la remoción de hierro y de sulfuro de hidrógeno previa a la fluoración.
 - Remover gases disueltos en el agua, como por ejemplo metano.
 - Incorporar oxígeno a fin de oxidar hierro, manganeso y/o sulfuro de hidrógeno.
- La aeración no debe ser considerada aplicable para la remoción de olores y sabores cuando estos problemas se deban a la presencia de sustancias de volatilidad insuficiente, por ejemplo con constante de Henry inferior a 0.01 atmósferas . m^3/mol .

- Toda propuesta que incluya a esta alternativa como tratamiento único o postratamiento debe prever el riesgo de contaminación bacteriana del agua por el contacto con el aire, y proponer medidas para su control.
- Cuando el agua a tratar presente contenidos de dióxido de carbono bajos y se desee aplicar la aeración para la remoción de olores, la propuesta debe contemplar una comparación económica con la posibilidad de utilizar productos químicos que produzca resultados similares.
- Los sistemas de aeración pueden clasificarse en:
 - Aeradores de caída de agua.
 - Aeradores de pulverización.
 - Aeradores de bandejas múltiples.
 - Aeradores en cascadas y vertederos.
 - Aeradores por aire difuso.
 - Sistemas de difusores porosos.
 - Sistemas de difusores no porosos.
 - Aeradores mecánicos.
 - Aeradores de superficie.
 - Aeradores de turbina.
 - Torres rellenas.

Los sistemas de aeración que no queden incluidos en esta clasificación deben ser fundamentados y sus resultados serán debidamente acreditados a solicitud del ENOHSA.

- Los aeradores de pulverización deben consistir en sistemas de fuentes o surtidores conformados por toberas fijas. El diámetro mínimo de las toberas debe ser de 2,5 cm para evitar obturaciones y deben estar construidas en materiales anticorrosivos. Los caudales de diseño de las toberas pueden ubicarse en el rango de 17 a 40 m³/h, mientras que el área requerida para el líquido tratado puede adoptarse en el rango de 3 a 9 m² por cada 100 m³/h de capacidad. Este tipo de aeradores no se debe considerar aplicable para temperaturas inferiores a cero grado centígrado.
- Los aeradores de bandejas múltiples pueden estar constituidos por un mínimo de tres recipientes ranurados con fondo perforado o bien de malla de alambre, o similar, ubicados en serie y conteniendo un relleno grueso cuyo diámetro puede oscilar entre 5 y 15 cm. La distancia entre bandejas puede ser de 30 a 75 cm, salvo justificación fundada. El material del relleno puede ser piedra, ladrillo molido, esferas de material cerámico u otro tipo de materiales similares que permitan la correcta distribución del agua. Como criterio de diseño puede adoptarse un rango de superficies requeridas entre 1,4 y 4,3 m² por cada 100 m³/h de capacidad de tratamiento, salvo justificación fundada. Los materiales de construcción deberán ser resistentes a la corrosión.
- Los aeradores en cascada y vertederos deben estar compuestos por uno o más escalones de hormigón donde el agua debe escurrir en láminas delgadas. La altura de los escalones individuales se proyecta en el rango de 15 a 40 cm y su longitud debe ser de 30 a 60 cm. La altura máxima admisible del conjunto es de 5 m. La superficie de los escalones se diseña con un rango de cargas hidráulicas

superficiales de entre 10 y 30 l/s . m², mientras que la carga hidráulica lineal a utilizar se ubica en el rango de 1200 a 6200 m³/m . d. Estos rangos de dimensiones y criterios de diseño deben respetarse en el proyecto, salvo justificación fundada.

- El proceso de aeración por difusión debe consistir en la inyección de aire por burbujeo en el agua a tratar. Un sistema de aeración por difusión debe constar como mínimo de los siguientes elementos: un dispositivo de impulsión o compresión del aire (soplador o compresor), una cámara de aeración y tuberías conductoras del aire provistas de elementos difusores tales como tubos terminales perforados, tubos o placas difusoras o algún otro elemento similar que permita la distribución del aire burbujeado. Los elementos difusores pueden ser porosos o no porosos. El tiempo de permanencia en la cámara de aeración se ubicará en el rango de 10 a 30 minutos y la profundidad mínima admisible de la cámara de aeración debe ser de 2,5 m, salvo justificación fundada.
- Los sistemas de aeración mecánica deben incluir como mínimo una cámara de aeración y equipos aeradores mecánicos. Los aeradores mecánicos deben consistir en equipos provistos de un elemento generador de turbulencia tal como paletas, turbinas, hélices o tornillos accionados por un motor eléctrico para incorporar así aire atmosférico al agua. Pueden instalarse en forma fija, sobre una estructura soporte, o bien pueden estar provistos de un elemento flotador y quedar vinculados a la cámara de aeración por cables o tensores adecuadamente distribuidos. La cantidad, potencia y distribución de estos equipos debe estar debidamente justificada.
- Los equipos de aeración de torres rellenas deben estar compuestos como mínimo por los siguientes elementos: elemento de distribución del agua de entrada, por ejemplo boquillas de inyección, columna de aeración, material de relleno, soporte del lecho de relleno y ventilador para la inyección de aire forzado en la columna.
- En casos especiales y debidamente justificados se podrá agregar al sistema equipamiento complementario como por ejemplo intercambiadores de calor, condensadores, unidades de adsorción con carbón activado, equipos de oxidación catalítica o térmica, u otros.
- Los materiales que compongan el lecho de relleno en la columna pueden adoptar diferentes formas y características, pero en todos los casos deben ser compatibles con su aplicación en el tratamiento de agua de bebida.
- Para el diseño de la torre rellena se debe tener como mínimo la siguiente información: caudal a tratar, concentración del compuesto volátil en el agua sin tratar, constante de Henry del o los compuestos a remover, concentración requerida a la salida de la unidad, rango de temperaturas en las que va a operar la unidad, características del relleno a emplear tales como superficie específica, resistencia mecánica y otras que puedan requerirse para la estimación del coeficiente global de transferencia del sistema de aeración.
- El diseño del sistema debe tomar en cuenta que el lecho no se inunde en ninguna de las condiciones operativas previstas.
- La altura total de las torres resultante del diseño puede fraccionarse en unidades ubicadas en serie, particularmente cuando ésta supere los 6 m.
- En el caso de que la concentración del agua a tratar exceda 0.30 mg/l para el hierro y 0.1 mg/l para el manganeso, debe preverse la precipitación de estos metales sobre el relleno y la forma de su remoción para evitar las posibles consecuencias: obturación parcial o total del relleno y crecimiento microbiológico. Asimismo, al tratar aguas duras debe preverse la precipitación de calcio.

10. DENITRIFICACIÓN BIOLÓGICA

- La denitrificación biológica puede considerarse como un sistema de tratamiento adecuado para mejorar las características químicas del agua mediante la reducción de su concentración de nitratos cuando ésta exceda los 45 mg/L (máximo admisible por el Código Alimentario Argentino), o bien cuando se presente la justificación adecuada correspondiente.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial para la reducción del contenido de nitratos de un agua se debe determinar a través del estudio de la calidad de la fuente de provisión, para lo que se deben realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. Debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se debe realizar al menos determinaciones de nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total kjheldal y nitrógeno total. Complementariamente se debe determinar la concentración de fosfatos, dureza, alcalinidad, sólidos disueltos totales y el pH.
- El proyectista debe justificar la selección del proceso de denitrificación biológica mediante una evaluación técnico económica en la cual se debe incluir procesos de denitrificación alternativos.
- En todos los casos, el proyectista debe fundamentar adecuadamente el proceso elegido para su aprobación por el ENOHSA, a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares y además, mediante ensayos en planta piloto, particularmente cuando se propongan sistemas de tratamiento no suficientemente probados.
- Los parámetros constructivos y operativos presentados por el proyectista deben justificarse tomando en cuenta los datos experimentales obtenidos en planta piloto alimentada con el agua a tratar y operada en forma continua durante un período mínimo de 3 meses.
- Los procesos de denitrificación biológica pueden llevarse a cabo tanto en reactores de cultivo suspendido como de cultivo fijo. El tipo de configuración a adoptar debe depender de las características del agua a tratar, de las condiciones locales, de la fuente de carbono empleada (donante de electrones) y de los niveles de remoción a alcanzar.
- Cuando la fuente de agua a tratar es del tipo superficial y presente materia en suspensión, se debe considerar recomendable la utilización de la alternativa de cultivo suspendido.
- Los sistemas de cultivo suspendido deben constar como mínimo de un dispositivo de entrada del agua a tratar, una cámara de denitrificación con agitación para mantener en contacto al cultivo biológico con el agua a tratar, una etapa de aeración para eliminar el nitrógeno gaseoso de la fase líquida e incorporar oxígeno disuelto al agua tratada y un decantador para la separación del agua tratada y el cultivo biológico, el cual debe ser recirculado a la cámara de denitrificación o bien se debe purgar periódicamente.

- Todo proceso de denitrificación biológica de agua para consumo debe estar seguido de un tren de potabilización propuesto por el proyectista que debe contar como mínimo con una etapa de filtración seguida de desinfección u otra alternativa debidamente justificada.
- Los parámetros de diseño para un proceso de cultivo suspendido, salvo justificación fundada del proyectista se deben ubicar dentro de los siguientes rangos:
 - Tiempo de permanencia en la cámara de denitrificación: 2 a 4 horas.
 - Concentración de sólidos suspendidos en la cámara de denitrificación: 2000 a 3000 mg/l
 - Tiempo de retención celular del proceso: 3 a 6 días.
 - Tiempo de permanencia en la cámara de aeración posterior a la denitrificación: 20 a 60 minutos.
- El diseño del decantador puede seguir los criterios habitualmente empleados en el proyecto de sedimentadores secundarios para procesos biológicos aeróbicos.
- El sistema de potabilización ubicado a continuación de la denitrificación puede incluir un tratamiento de agua convencional que comprenda coagulación/floculación, decantación, filtración y desinfección, o bien el tren de tratamiento considerado adecuado por el proyectista con la correspondiente justificación.
- El ENOHSA podrá autorizar la utilización de etanol, ácido acético u otra sustancia adecuada propuesta por el proyectista como fuente de carbono para el proceso biológico así como la incorporación de fosfato (PO_4^{3-}) como fuente de fósforo. Los productos químicos utilizados deben estar debidamente acreditados y autorizados para su aplicación en el tratamiento de agua de bebida.
- El proyectista debe presentar una estimación del aumento de la dureza del agua tratada y arbitrará los medios necesarios para que el proceso biológico se desarrolle a un pH cercano a 7 y con valores de oxígeno disuelto por debajo de 3 mg/l.
- Los sistemas de cultivo fijo deben constar como mínimo de un dispositivo de entrada para el agua a tratar, un depósito y sistema de dosificación de nutrientes (carbono y fósforo), una cámara de denitrificación provista de material de relleno para ofrecer una superficie de desarrollo al cultivo biológico, una plataforma soporte del material de relleno, un sistema colector del agua tratada a la salida del proceso, un sistema de contralavado del relleno.
- Los procesos de cultivo fijo deben prever un lavado periódico en contracorriente que permita la remoción de la película biológica en exceso. El sistema de contralavado podrá ser asistido por aire comprimido para facilitar el efecto de limpieza. El agua de contralavado se debe enviar a un decantador para la separación de la biomasa arrastrada o bien a otro dispositivo de separación debidamente fundamentado por el proyectista.
- El proyectista debe presentar una estimación de la masa y volumen de barro biológico que se debe generar diariamente, indicando los procedimientos previstos para su estabilización, deshidratación y disposición final.

11. ADSORCIÓN

- La adsorción puede considerarse como un sistema de tratamiento adecuado para mejorar las características fisicoquímicas del agua cuando existan problemas de color, olor, sabor o bien cuando se registre la presencia de sustancias indeseables susceptibles de adsorción, como por ejemplo.
 - Solventes aromáticos (benceno, tolueno, nitrobencenos).
 - Compuestos aromáticos clorados (PCB, clorobencenos, cloronaftaleno).
 - Fenol y clorofenoles.
 - Compuestos aromáticos polinucleares (acenafteno, benzopireno).
 - Pesticidas y herbicidas (DDT, aldrín, clordano, heptacloro).
 - Compuestos clorados no aromáticos (tetracloruro de carbono, éteres de alquilcloro).
 - Hidrocarburos de alto peso molecular (colorantes, naftas, aminas, sustancias húmicas).
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial de adsorción se debe determinar a través del estudio de la calidad de la fuente de provisión, para lo que se debe realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales, representativas del ciclo hídrico. Debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se deben realizar solamente determinaciones del/los parámetros fisicoquímicos a corregir. Complementariamente se debe determinar las características fisicoquímicas generales del agua: dureza, alcalinidad, sólidos disueltos totales y el pH. En las muestras a analizar se debe determinar también el pH de saturación correspondiente.
- El material adsorbente a utilizar debe estar debidamente acreditado y autorizado para su aplicación en el tratamiento de agua de bebida. En principio, el material adsorbente recomendado es el carbón activado, sin embargo, el ENOHSA podrá aprobar otros materiales que a criterio del proyectista permitan obtener las correcciones requeridas para la calidad del agua. En todos los casos los productos utilizados deben estar expresamente aprobados para su aplicación en el tratamiento de agua para consumo.
- El tipo de tratamiento a adoptar depende de las características del agua a tratar, de su variabilidad, de las condiciones locales y de los niveles de corrección requeridos. En principio los sistemas de adsorción recomendados para el tratamiento de agua de abastecimiento deben emplear: carbón activado en polvo (CAP) o granular (CAG). Sin embargo, el ENOHSA podrá aprobar otros procesos que a criterio del proyectista permitan lograr las correcciones necesarias para la calidad del agua.

- En todos los casos, los proyectistas deben fundamentar adecuadamente el proceso elegido para su aprobación por el ENOHSA, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o mediante ensayos en planta piloto, particularmente cuando se propongan sistemas de tratamiento no suficientemente probados.
- El proceso de adsorción con carbón activado en polvo (CAP) es considerado aconsejable cuando la/s característica/s fisicoquímica/s a corregir se registre/n en forma estacional u ocasional y no se estime necesaria la aplicación continua del proceso de tratamiento. Los objetivos de aplicación del CAP pueden incluir:
 - Mejorar la eficiencia de la remoción de materia orgánica en los procesos convencionales.
 - Enfrentar emergencias de corta duración en la planta o problemas estacionales eventuales.
 - Actuar como coadyuvante de la coagulación.
 - Eliminar sabores y olores.
- En principio, las etapas del tratamiento en las cuales puede incorporarse el CAP son coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Sin embargo, el ENOHSA podrá aprobar otros puntos de aplicación que a criterio del proyectista permitan obtener los resultados requeridos.
- El proyectista debe presentar las especificaciones técnicas del CAP propuesto indicando como mínimo: rango de tamaño de partículas, densidad aparente, índice de yodo, índice de melazas e índice de fenol.
- La adopción del CAP seleccionado, su capacidad de adsorción y el rango de dosis a emplear debe justificarse como mínimo mediante ensayos de laboratorio y, de ser requerido por el ENOHSA, mediante pruebas en planta piloto. Las muestras de agua a tratar en los ensayos referidos (escala laboratorio y/o piloto) deben ser representativas de las variaciones estacionales típicas en la calidad del agua registradas a lo largo de un ciclo hídrico completo. Cuando se realicen ensayos a escala piloto, deben hacerse durante un período continuo mínimo de quince días en cuatro períodos que abarquen distintas condiciones climáticas.
- El proyectista debe presentar la metodología de laboratorio empleada para fijar la dosis adecuada de CAP, indicando como mínimo el equipamiento empleado, las dosis de productos químicos utilizadas y los tiempos de mezcla completa y sedimentación empleados.
- La utilización del CAP puede complementarse con procesos y operaciones de tratamiento adicionales como coagulación/floculación, sedimentación, filtración u oxidación. Sin embargo, deben realizarse pruebas de laboratorio para determinar si con la calidad de agua de alimentación ensayada, los procesos y dosis aplicadas se logra la producción de agua de bebida dentro de los valores establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable exigida por las presentes Normas.
- Los sistemas de dosificación de CAP para la adsorción eventual de color, sabor, olor y compuestos indeseables, deben diseñarse con la suficiente flexibilidad para que puedan introducirse modificaciones en función de la naturaleza de los problemas que pueden aparecer en la calidad de la fuente de agua.

- La dosificación del CAP puede realizarse en forma sólida o bien como suspensión. Los puntos recomendados para la dosificación del CAP son: la toma de agua de la planta, la etapa de mezcla rápida previa a la coagulación/floculación, y la entrada a la filtración. El proyectista puede proponer puntos de dosificación alternativos con la debida justificación y tomando en consideración los siguientes criterios generales:
 - Debe existir buen nivel de mezcla o contacto entre el CAP y toda el agua a tratar.
 - Se debe permitir que exista el tiempo de contacto necesario para que se produzca la adsorción del contaminante que se desea remover.
 - Se debe procurar que exista una interferencia mínima entre los coagulantes empleados en el proceso y el CAP.
 - Se debe evitar que se produzcan escapes o fugas de CAP a fin de que la calidad del agua tratada no resulte perjudicada.
- Cuando se proponga la utilización de un adsorbente, como por ejemplo el CAP, en el proceso de tratamiento de agua para abastecimiento, el proyectista debe indicar cómo espera que se vea afectada la generación de barros residuales de la planta, tanto en forma cuantitativa como cualitativa. Asimismo debe indicar que corrientes de barros se ver afectadas y que alternativas de disposición final deben ser adecuadas cuando el compuesto o la sustancia adsorbida así lo requieran. El proyectista debe fundamentar el método de deshidratación de barros a utilizar, su capacidad de procesamiento y la forma de disposición de los residuos producidos (Ver Normas de Disposición de Residuos de Plantas de Tratamiento de Agua).
- El empleo de carbón activado granular (CAG) es considerado adecuado cuando la/s característica/s fisicoquímica/s a corregir en el agua de abastecimiento es/son de tipo permanente y por lo tanto se requiera de la utilización de un proceso de tratamiento continuo a lo largo del año.
- De acuerdo con el sistema de CAG seleccionado, el proyectista debe indicar el tipo de pretratamiento a adoptar, por ejemplo coagulación/floculación, sedimentación y/o filtración u otra alternativa debidamente justificada por el proyectista que permita controlar la turbidez de la alimentación al sistema.
- El CAG puede emplearse en sistemas operados a presión atmosférica (abiertos) o a presión superior a la atmosférica (cerrados) y el sentido del flujo de agua tratada puede ser ascendente o descendente; asimismo el lecho podrá ser fijo o expandido. En todos los casos, el proyectista debe presentar criterios técnico económicos para justificar debidamente la alternativa seleccionada.
- Los equipos de adsorción deben permitir el contacto entre el agua a tratar y el adsorbente comprendiendo como mínimo los siguientes elementos: cámara o tanque (a presión) de contacto, sistema de desagüe, plataforma de soporte (horizontal) o contención (vertical) del lecho adsorbente, lecho adsorbente, entrada de agua, sistema de entrada del agua de contralavado la cual a veces incluye aire comprimido, colector de agua de contralavado.
- El proyectista debe especificar las características del CAG a utilizar indicando como mínimo: diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad de la partícula, densidad aparente, y los valores correspondientes de índice de yodo, índice de melazas e índice de fenol, indicadores del tamaño de poro predominante en el adsorbente. Al

adoptar el tamaño de la partícula de carbón activado, se debe tomar en cuenta la pérdida de carga aceptable en el lecho y el requerimiento de fluidización del lecho durante la operación de contralavado. El tamaño de poro predominante depende del tipo de sustancia a adsorber.

- Cuando se proponga la utilización de más de una unidad de tratamiento de CAG, el proyectista debe justificar técnica y económicamente esta elección.
- Los parámetros de diseño utilizados en el proyecto del sistema de adsorción con CAG deben ser adoptados tomando como referencia datos de funcionamiento de plantas similares y ensayos realizados como mínimo a escala laboratorio con muestras representativas de las variaciones estacionales típicas en la calidad del agua registradas a lo largo de un ciclo hídrico completo. Se debe prestar especial atención a que las condiciones operativas como el pH y la temperatura del agua sean representativas de las condiciones reales de funcionamiento. El ENOHSA podrá requerir la realización de ensayos a escala piloto; también en este caso, el agua a tratar debe contemplar las variaciones estacionales de la fuente de agua.
- El proyectista debe definir y justificar adecuadamente como mínimo los siguientes parámetros de diseño:
 - Capacidad de adsorción por unidad de masa del adsorbente (mg adsorbato / g adsorbente).
 - Requerimiento de adsorbente por unidad de volumen de agua tratada (g CAG / m³ agua tratada).
 - Punto de fuga de la unidad a partir del cual se la retira de servicio por considerarse que el efluente de la misma deja de cumplir con los requerimientos de calidad de salida (mg/L).
 - Altura del lecho de adsorbente (m).
 - Carga hidráulica aplicada, expresada como el caudal que pasa a través de la columna por unidad de superficie transversal de la misma, este parámetro se debe ubicar en el rango de entre 5 y 25 m³/m².h, salvo justificación adecuada del proyectista.
 - Tiempo de contacto sin lecho (TCSL), expresado como la relación entre el volumen total del lecho y el caudal de agua tratada (horas o minutos).
 - Tiempo de servicio de la unidad (TS) (horas).
- El proyectista debe contemplar acciones operativas destinadas al control de la actividad biológica en el lecho adsorbente evitando el desarrollo de olores y sabores mediante el mantenimiento de condiciones aeróbicas en el lecho.
- El proyectista debe indicar los criterios necesarios para definir cuándo y cómo se debe realizar la operación de contralavado de la unidad, adoptando las precauciones necesarias para evitar pérdidas de adsorbente cuando se utilice el contralavado en forma ascendente.
- Se debe prestar especial atención al espacio destinado al almacenamiento de los productos químicos y adsorbentes a emplear en el proceso evitando áreas insuficientes, descubiertas y húmedas.
- El proyectista debe indicar la alternativa de tratamiento y disposición a aplicar al adsorbente agotado (Ver Normas de Residuos de Plantas de Tratamiento de Agua).

12. OXIDACIÓN QUÍMICA

- La oxidación química puede considerarse como un sistema de tratamiento adecuado para controlar el desarrollo biológico en las instalaciones de tratamiento de agua, reducir problemas de olor, color, y sabor, reducir la concentración de contaminantes específicos, precipitar metales, favorecer la coagulación de materia en suspensión, fomentar la nitrificación de NH_3 , proveer un nivel adicional de desinfección en los sistemas de distribución de agua, y toda otra aplicación que el proyectista considere adecuada y sea debidamente fundamentada.
- La necesidad de incorporar un tratamiento especial de oxidación química para el mejoramiento de las características fisicoquímicas del agua o el control de alguno de los factores mencionados en el punto anterior se debe determinar a través del estudio de la calidad de la fuente de provisión, para lo que se deben realizar análisis físico-químicos completos en un número de muestras representativas del agua a tratar. El número de muestras debe ser mayor que tres (3), las que deben ser extraídas en un período que incluya diferentes condiciones climáticas y/o ambientales. Debe procurarse que el tiempo transcurrido entre la extracción de las muestras y la realización de los análisis en laboratorio sea el más corto posible. En un número mayor de muestras (no menos de 10) se deben realizar solamente determinaciones del/los parámetro/s a corregir. Asimismo se deben determinar en el agua a tratar los valores correspondientes a la alcalinidad, dióxido de carbono libre (CO_2), oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, potencial redox y el pH.
- La decisión de utilizar un proceso de oxidación u otro debe basarse en cuidadosos estudios de laboratorio y en ensayos en planta piloto. Los ensayos en planta piloto deben abarcar un ciclo hídrico completo para registrar variaciones estacionales típicas en la calidad del agua. En ciertas circunstancias puede no ser necesario que los ensayos se realicen en forma continua, pero por lo menos deben hacerse durante quince días en cuatro períodos que abarquen distintas condiciones climáticas.
- Ensayos en planta piloto: El consultor debe informar al ENOHSA en forma previa a la realización de los ensayos, la diagramación de los mismos, dimensionamiento de equipamiento a utilizar, monitoreos, técnicas analíticas a aplicar, variantes de proceso y/o reactivos que se planifiquen ensayar.
- Cuando se deba realizar ensayos en escala planta piloto, el proyectista debe comunicar al ENOHSA las fechas de iniciación y finalización previstas para los mismos con suficiente anticipación a fin de facilitar la inspección por parte de los profesionales del Ente del desarrollo de las mismas.
- Los ensayos en escala planta piloto deben utilizar el agua de la fuente, objeto del proyecto que se elabore, no tendrá la misma validez la utilización de aguas preparadas para simular la composición natural de la misma.
- En todos los casos el proyectista debe evaluar la factibilidad técnica y económica de la oxidación química y la comparará frente a otros procesos alternativos que permitan lograr el objetivo propuesto.
- El tipo de oxidante a emplear depende de las características del agua a tratar, de las condiciones locales y de los niveles de materia oxidante residual a alcanzar. Puede emplearse como oxidante cloro en forma gaseosa o líquida, solución acuosa de

hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio en forma sólida, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, cloraminas, permanganato de potasio, oxígeno y ozono. El ENOHSA podrá aprobar otros oxidantes que a criterio del proyectista y con la debida justificación permitan alcanzar los objetivos citados anteriormente.

- En todos los casos, el proyectista debe fundamentar adecuadamente el oxidante y el proceso elegido indicando los subproductos generados, ya sea a través de datos sobre el funcionamiento de plantas similares o mediante ensayos en planta piloto.
- Cuando se adopte un tratamiento de oxidación, el proyectista debe especificar los productos químicos que debe emplear en el proceso y sus características principales, debe además indicar precauciones de manejo y almacenamiento; debiendo ser estos productos expresamente aprobados para su aplicación en el tratamiento de agua para consumo.
- El proyectista debe presentar la metodología de laboratorio empleada para fijar las condiciones y las dosis adecuadas de oxidante, indicando como mínimo el equipamiento empleado, las dosis de productos químicos utilizadas y los tiempos de mezcla completa y sedimentación empleados.
- Se debe presentar la estequiometría prevista para las reacciones químicas que debe de tener lugar en el proceso de oxidación, indicando además el rendimiento de las reacciones previsto justificándolos mediante datos experimentales. El proyectista debe indicar, con fundamento experimental, cómo inciden la temperatura, la dosis de oxidante, la presencia de catalizadores, el pH y las impurezas del sistema sobre la eficiencia del proceso.
- En el proyecto se debe prestar especial atención al espacio destinado al almacenamiento de productos químicos a emplear en el proceso evitando áreas insuficientes, descubiertas y húmedas.
- La dosificación de productos químicos para la oxidación puede realizarse antes de la mezcla rápida (preoxidación), después de la sedimentación (oxidación intermedia), y después de la filtración (desinfección). y en los puntos que el proyectista adecuados con la debida justificación. El proyectista puede proponer puntos de dosificación alternativos con la debida justificación y tomando en consideración los siguientes criterios generales:
 - Debe existir buen nivel de mezcla o contacto entre el oxidante y toda el agua a tratar.
 - Se debe permitir que exista el tiempo de contacto necesario para que se produzca la reacción de oxidación.
 - Se debe procurar que exista una interferencia mínima entre los coagulantes empleados en el proceso y el oxidante.
- Se debe prever que el laboratorio de la planta cuente con el material necesario para controlar el proceso (Ver Normas de Laboratorio de la Planta de Potabilización).
- El sistema de oxidación química debe contar como mínimo de los siguientes elementos: dosificación de reactivos químicos, mezcla rápida, cámara o tanque de reacción, instrumental indicador de pH y potencial de óxido-reducción con sistema de alarma para evitar sobredosificaciones. Las cámaras de mezcla rápida y los tanques donde se lleve a cabo la reacción de oxidación se debe proyectar con tiempos de

permanencia adecuados, de acuerdo con los ensayos realizados a escalas laboratorio y/o piloto. La cámara de oxidación debe contar con pantallas a fin de evitar cortocircuitos.

- Los sistemas de dosificación de productos químicos para la oxidación deben diseñarse con la suficiente flexibilidad para que puedan introducirse modificaciones en función de la naturaleza de los problemas que pudieran aparecer en la calidad de la fuente de agua.
- Se debe presentar una estimación de la masa y volumen de precipitados a generar y disponer, tomando como referencia la estequiometría prevista y fundamentalmente los datos experimentales obtenidos mediante ensayos a escala laboratorio y/o piloto. El proyectista debe fundamentar el método de deshidratación de barros a utilizar, su capacidad de procesamiento y la forma de disposición de los residuos producidos (Ver Normas de Disposición de Residuos de Plantas de Tratamiento de Agua).
- En los equipos donde se anticipe la precipitación de barros se debe prever los dispositivos necesarios para su remoción y traslado, incluyendo equipamiento electromecánico cuando la escala del sistema lo justifique.