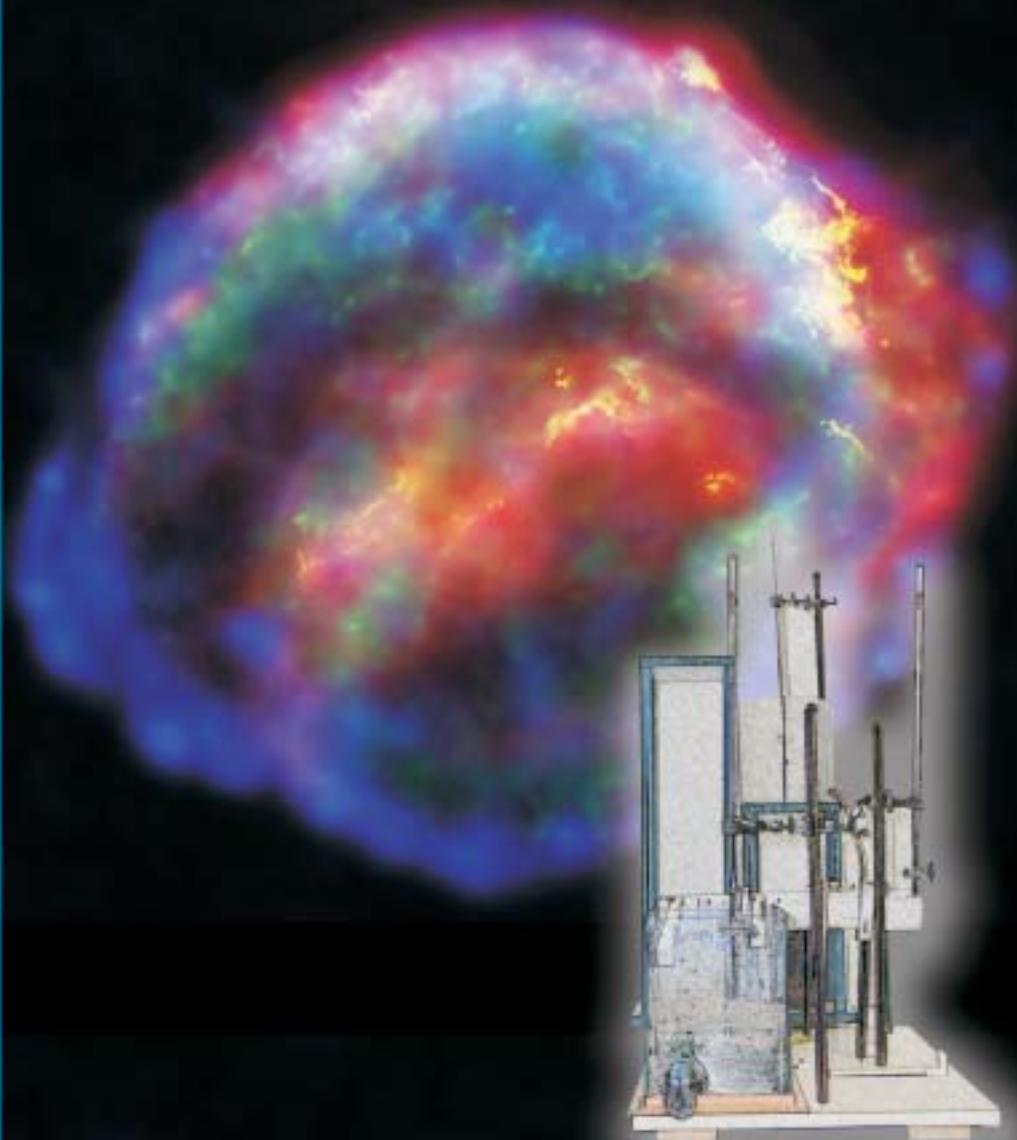




# Planta potabilizadora



# Serie: Recursos didácticos

Tapa:  
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada  
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

---

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

**Dr. Néstor Kirchner**

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Lic. Daniel Filmus**

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Prof. Alberto E. Sileoni**

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

**Lic. María Rosa Almandoz**

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**

# Planta potabilizadora

Mónica Alegría

Colección Serie "Recursos didácticos".  
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0501-8

Alegría, Mónica

Planta potabilizadora / Mónica Alegría; coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.

116 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 6)

ISBN 950-00-0501-8

1. Agua-Potabilización. I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 628.162

Fecha de catalogación: 12/05/2005

Instituto Nacional de Educación Tecnológica  
Centro Nacional de Educación Tecnológica  
CeNET-Materiales

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibre óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA -Características físicas de los materiales de construcción-
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.  
Instituto Nacional de Educación Tecnológica.  
Saavedra 789. C1229ACE.  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
República Argentina.

---

# LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

---

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
  - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
  - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
  - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
  - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
  - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317-.
  - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el periodo 2003-2007:

**Programa 1.** Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

**Programa 2.** Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

**Programa 3.** Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

**Programa 4.** Educación para el trabajo y la integración social.

**Programa 5.** Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

**Programa 6.** Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

**Programa 7.** Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

**Programa 8.** Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

***María Rosa Almandoz***

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.  
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

# LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativas ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica -CeRET- y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

**Juan Manuel Kirschenbaum**

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica.  
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

# LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

**1 Problemas tecnológicos en el aula.** En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

**2 Encuadre teórico para los problemas.** En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

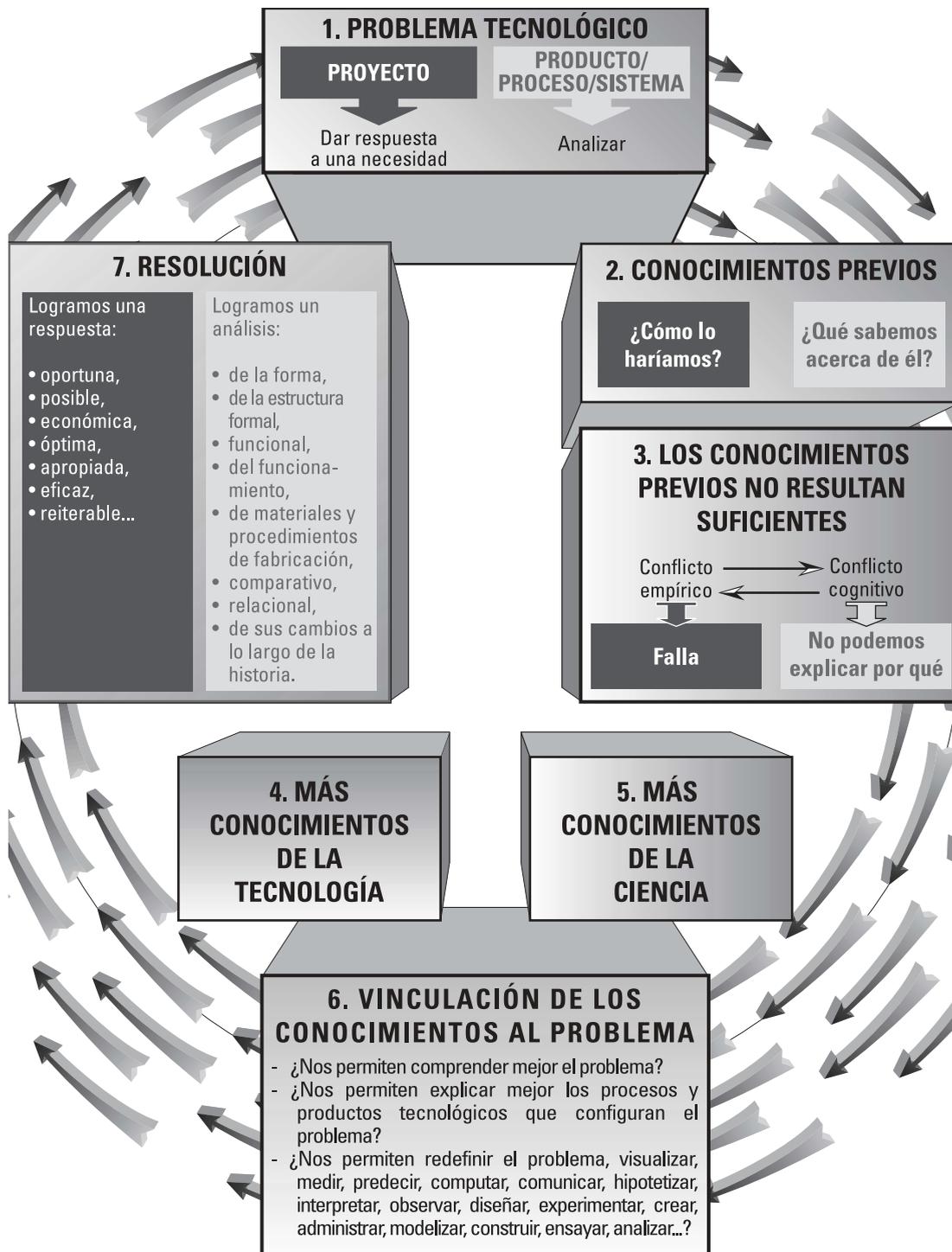
**3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.**

Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

**4 El equipo en el aula.** En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

**5 La puesta en práctica.** Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

**Haydeé Noceti**

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".  
Centro Nacional de Educación Tecnológica



# 6. Planta potabilizadora

**Este material de capacitación fue desarrollado por:**

**Mónica Alegría.**

Es profesora en Disciplinas Industriales con especialidad en Química (Instituto Nacional Superior del Profesorado Técnico) y licenciada en Tecnología Educativa (Universidad Tecnológica Nacional –UTN–). Es profesora del Instituto Nacional Superior del Profesorado Técnico (UTN), de la Escuela Superior de Comercio Carlos Pellegrini (Universidad de Buenos Aires) y del Profesorado en Docencia Superior con modalidad a Distancia (UTN). Fue profesora de Química en escuelas de enseñanza técnica de la Nación y en escuelas de educación media privadas. Fue profesora de Química de la Facultad de Agronomía (Universidad de Buenos Aires). Es coautora del *Módulo de metodología de la enseñanza de la Química* (Curso de Formación Docente para Profesionales Universitarios. UTN) y de los libros *Química I. Polimodal* (Santillana. 1999. Buenos Aires) y *Química II. Polimodal* (Santillana. 1999. Buenos Aires).

**Coordinación general:**

Haydeé Noceti

**Diseño didáctico:**

Ana Rúa

**Administración:**

Adriana Perrone

**Monitoreo y evaluación:**

Laura Irurzun

**Diseño gráfico:**

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

**Diseño de tapa:**

Laura Lopresti

Juan Manuel Kirschenbaum

Con la colaboración  
del equipo de profesionales  
del Centro Nacional  
de Educación Tecnológica



# Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.....	VIII
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica.....	X
La serie “Recursos didácticos”.....	XII

<b>1 Problemas tecnológicos en el aula</b> .....	4
• El recurso didáctico que proponemos	
<b>2 Encuadre teórico para los problemas</b> .....	10
• Estructura química y propiedades del agua	
• Impurezas del agua	
• Tratamiento del agua	
▪ Coagulación. Floculación	
▪ Decantación	
▪ Alcalinización	
▪ Filtración	
▪ Desinfección	
<b>3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo</b> .....	53
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción	
• El armado	
• El ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
<b>4 El equipo en el aula</b> .....	64
Actividad 1. Carbón activado en los filtros	
Actividad 2. Diferentes tipos de lechos filtrantes	
Actividad 3. Metales pesados en el agua	
Actividad 4. Dosis adecuadas de reactivos	
Actividad 5. Sedimentadores	
<b>5 La puesta en práctica</b> .....	76

# 1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

*Lo invitamos a analizar estos testimonios:*

## ¿Qué hacemos con el agua?

En la Escuela N° 7 Rosario Vera Peñaloza, de Arroyo Dulce se plantea el proyecto de llevar a cabo una huerta para el autoabastecimiento y para la progresiva comercialización de productos.

Como la escuela carece de luz y de agua potable, los profesores y alumnos involucrados en la tarea van a necesitar purificar el agua que el riego de las hortalizas requiera.

Del torbellino de ideas para la solución a este problema, surgen como posibilidades:

- Implementar unos tanques de agua sucesivos que permitan lograr un buen filtrado.
- Poner una malla fina en la salida de agua de un tanque a otro, para retener las impurezas grandes.
- Utilizar filtros cuya malla sea de poro cada vez más pequeño.
- Usar arena, grava y canto rodado.

Evaluando las posibilidades de resolución que el intercambio ha posibilitado, uno de los profesores de *Tecnología* plantea:

- ¿Qué les parece si, además, construimos la famosa planta potabilizadora que hace tiempo queremos hacer?

El grupo acepta el desafío de la construcción de la planta. Y se escucha una pregunta:

- Profe... ¿Para qué una potabilizadora? Mi tío tiene un filtro con carbón que le purifica el agua...
- Entonces... busquemos información referida a cómo trabajan los filtros con carbón.

## Aguas contaminadas

En una de las clases del módulo "Aguas" del Trayecto Técnico-Profesional *Salud y ambiente*, los alumnos analizan dos artículos que

alertan respecto de aguas contaminadas con metales pesados:

## **CONTAMINACIÓN: VECINOS RECHAZAN LA INSTALACIÓN DE UNA MINA DE ORO EN ESQUEL<sup>1</sup>**

En un plebiscito que no tiene precedentes, el 81 % del electorado de Esquel en Chubut expresó su voluntad popular y votó en contra de la instalación de una mina de explotación de oro y plata que la empresa canadiense *Meridian Gold* pretende emplazar a nueve kilómetros de la ciudad. Esta abrumadora mayoría es más relevante, si se tiene en cuenta que el 70 % del padrón concurre a votar.

El plebiscito no vinculante, que se realizó el 23 de marzo, le permitió a la población de Esquel expresar si estaba de acuerdo o en contra del proyecto. Los vecinos, las organizaciones ambientalistas de Esquel, FUNAM (Fundación para la Defensa del Ambiente) y Greenpeace continúan advirtiendo sobre los graves riesgos

para la salud de la población y el impacto ambiental que la mina produciría si se instalase en Esquel. La compañía canadiense Meridian Gold pretende explotar oro y plata en una mina a cielo abierto ubicada a nueve kilómetros en línea recta del centro de Esquel. La empresa planeaba dinamitar varios miles de toneladas de roca por día y utilizar seis toneladas diarias de cianuro de sodio. Los residuos químicos generados iban a ser abandonados en "escombreras" donde el deshielo, la lluvia, el escurrimiento hídrico y los procesos de lixiviación podrían haber contaminado el ambiente y las vitales cuencas de agua de la zona con cianuro y metales pesados. "Ésta era precisamente la mayor preocupación de la comunidad", indicó Raúl Montenegro, presidente de FUNAM (...)

Clarín. Domingo 20 de agosto de 1999. Buenos Aires

## **RIACHUELO: RADIOGRAFÍA DE UN RÍO QUE ESTÁ CADA VEZ PEOR<sup>2</sup>**

Habían prometido limpiarlo en mil días. La realidad es que la contaminación no se detuvo.

Como un titán fortalecido con las promesas incumplidas, la contaminación se apropió de la cuenca Matanza-Riachuelo. Se ve como una tierra colonizada tras un desastre global. La avanzada humana resiste entre maderas, chapas y cartones sobre las orillas de un cauce que corre como un líquido denso, maloliente. Otros, en altos cubos de cemento agrupados según órdenes geométricos. La basura siembra sin pausa las riberas. Persisten chimeneas que lanzan humos blancos y algunas llamas, grandes tanques industriales, un laberinto metálico del que se lanzan cables de electricidad. Otras construcciones sucumbieron y de ellas no quedan

más que ruinas ennegrecidas.

(...) El olor es intenso. Quizá la mujer ya se acostumbró a convivir con él y con las aguas burbujeantes que semejan un caldo hirviendo. Es que los desechos orgánicos lanzados al río por los desagües cloacales se descomponen y emiten gases. De ahí las burbujas y el olor putrefacto.

Cada día -según el Comité Ejecutor del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Matanza-Riachuelo- se lanzan 368 mil metros cúbicos de aguas servidas. La contaminación también se alimenta con el vertido de las industrias: su aporte diario suma 88.500 metros cúbicos. Greenpeace detectó el año pasado una de las muchas descargas distribuidas a lo largo del

<sup>1</sup> Fundación para la Defensa del Ambiente: <http://www.funam.org.ar/oroesquel.htm>

<sup>2</sup> Diario Clarín: <http://old.clarin.com.ar/diario/2000/08/20/e-04601d.htm>

Matanza-Riachuelo; ubicada en las cercanías del puente Victorino de la Plaza, lanzaba al río desechos industriales. Análisis de laboratorio revelaron la presencia de hidrocarburos -se sospecha que algunos componentes del petróleo son cancerígenos- y altos niveles de cromo, zinc, cobre y plomo, metales pesados altamente tóxicos.

Por esas... ¿aguas?... navegan los habitantes de Isla Maciel para llegar a Capital. A la altura del puente Nicolás Avellaneda, sobre la ribera derecha (jurisdicción que corresponde a la provincia de Buenos Aires) hay un pequeño embarcadero. A unas maderas oscurecidas por la contaminación se amarran varios botes. Una de estas embarcaciones desgastadas cruza la estela que abre el guardacostas con tres pasajeros rumbo a la ribera porteña.

El líquido surgido tras la combinación centenaria de agua de río, residuos industriales y cloacales también se puede considerar como un yacimiento histórico del desarrollo socioeconómico. Barcos abandonados, algunos grandes cargueros, abundan en el Riachuelo. También, huellas de industrias perdidas. Sobre una de las riberas del canal Dock Sud, por ejemplo, un silo fuera de uso se levanta sobre una playa de carga y descarga de contenedores. La sección superior de la cinta que se usaba para transportar la mercadería resiste como un

brazo amputado. Lo demás se eliminó para dar lugar a unas enormes grúas.

Las embarcaciones abandonadas permanecen oxidadas, semihundidas o bajo las aguas. Contaminan y obstruyen la circulación natural de las aguas. Antes de fin de año, estas embarcaciones serán trasladadas a una dársena en La Plata, aseguran en el Comité. Según sus relevamientos, en estas condiciones hay 96 a 89 sobre la superficie y 7 hundidas.

(...) En la cuenca baja, el oxígeno cayó a niveles que sólo permiten el desarrollo de bacterias anaeróbicas que mueren cuando entran en contacto con el oxígeno y enferman a los humanos. Mediciones del Comité muestran que aguas abajo, a partir del puente La Noria, hay 0,5 miligramos de oxígeno por litro. Pero se necesitan 5 miligramos por litro para que los peces puedan vivir.

Si en el líquido tóxico los peces perdieron oportunidad, la basura florece en forma de botellas, latas de gaseosa, trozos de madera, una mamadera, barriles metálicos recostados sobre las riberas, gomas. También navega un sifón que se cruza con otro bote que parte de Isla Maciel. Los pasajeros no parecen registrar el objeto, pero sí cuidan que el líquido que levantan los remos no llegue a sus ropas.

Los alumnos cotejan la información de los artículos con tablas que presentan los límites de concentración de metales pesados que se establecen para decidir si el agua se puede consumir sin problemas.

Su profesora se pregunta cómo ayudar a los alumnos a conocer bien los procedimientos y las condiciones para considerar el agua potable y apta para el consumo, y decide proponerles el diseño de una planta potabilizadora.

La tarea comienza con la búsqueda de información respecto de tres cuestiones clave:

- ¿Cuáles son las propiedades que debe reunir un agua para ser potable?
- ¿Qué sustancias están presentes en el proceso de potabilización del agua?
- ¿Cuáles son los procesos por los que pasa el agua antes de ser consumida por el hombre?

## El agua a tratar y las dosis adecuadas de reactivos

Los alumnos de la escuela polimodal de Pueblo Verde, localidad alejada de los centros urbanos, realizan una visita a la ciudad capital de la provincia y, entre las actividades programadas, visitan una planta potabilizadora de agua.

En la clase siguiente a la visita, los alumnos analizan el proceso de potabilización, e incorporan a su proyecto el diseño y la aplicación de una planta potabilizadora sencilla.

En la clase de química, Silvia los guía en la preparación de las soluciones de los reactivos químicos necesarios.

Una vez construida la planta, los alumnos disponen los reactivos en cada dosificador y comienzan el proceso de potabilización.

Cuando la planta ya está funcionando, observan que en el canal colector hay agua con casi la misma turbidez que la que ha ingresado al decantador.

Alumnos y profesores analizan la situación y se preguntan:

- La dosis de coagulante, ¿es la adecuada?
- ¿Se ha dejado el agua en el decantador el tiempo suficiente?

Estas preguntas plantean nuevos problemas a resolver.

## Integración escuela-empresa

Pablo es ingeniero industrial e instructor en el Centro de Formación Profesional. En el Centro existe un proyecto de pasantías laborales que permite a los alumnos integrarse en distintos organismos y empresas, para realizar tareas de mantenimiento de máquinas; una de estas empresas es la que tiene a su cargo la provisión de aguas a la ciudad.

Entonces, con el propósito de que sus alumnos estén preparados para cumplir con los requisitos de la pasantía en la planta, Pablo integra al instructor de *Representación gráfica e interpretación de planos* y encara con su grupo el diseño de una planta potabilizadora en escala.

En el proceso de diseño surge la pregunta:

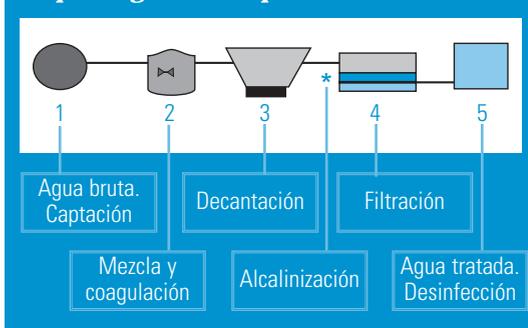
- ¿Qué decantador es el adecuado para este tipo de planta?

## El recurso didáctico que proponemos

Nuestra propuesta consiste en diseñar y construir el modelo en escala de una planta potabilizadora, con el objeto de permitir a los alumnos analizar las operaciones y procesos que tienen lugar en ella.

El recurso didáctico sugerido es éste:

### Esquema general del proceso de tratamiento



Cuando hablamos de la potabilización de agua, nos estamos refiriendo a una serie de procesos que determinan que el agua sea apta para el consumo.

En nuestro recurso didáctico, los procesos modelizados son:

- La **captación** del agua de ríos, lagos o arroyos; esta etapa está representada por el bidón superior (cámara de carga) que contiene agua de río o de otra fuente.
- Seguido al bidón que contiene la muestra de agua para potabilizar, se halla el dosificador de coagulante (en nuestro caso, sulfato de aluminio) cuya función es la **coagulación y floculación** de las partículas en suspensión que trae el agua -principalmente, arcilla-. Como la carga de la arcilla es negativa y la del coagulante positiva, se atraen por medio de fuerzas electrostáticas intensas. El proceso de coagulación ocurre en el frasco de precipitación y hace que las partículas en suspensión sedimenten, formando los floc (partículas de arcilla y coagulante).
- Una vez que se han formado los floc, el agua -junto con el coagulante- se somete

a la **decantación**; es en el decantador de nuestro *kit* en donde se produce la sedimentación.

La arcilla coloidal es la responsable de la turbiedad del agua de la mayor parte de nuestras fuentes acuíferas.

Mediante un proceso físico-químico, el coagulante induce la formación de pequeñas partículas de arcilla coloidal o floc del tamaño aproximado de la cabeza de un alfiler que, por su propio peso y por la baja velocidad del agua en el decantador, precipitan. De este modo, se elimina casi el 95 % de la turbiedad y de las bacterias del agua cruda.

En el tratamiento del agua, la decantación es uno de los procesos principales dado que, como resultado, permite retener tanto impurezas como bacterias.

- **Alcalinización.** En el decantador, el agua permanece por un período de dos horas, luego del cual pasa por los vertederos al canal colector, por diferencia de nivel. Es en el canal colector donde se realiza el agregado de cal -en forma de cal apagada, o sea cal viva tratada con agua-. Cuando se agrega el coagulante, éste reacciona con los bicarbonatos produciendo dióxido de carbono y haciendo que el agua adquiera acidez; la cal se incorpora, entonces, para contrarrestar esa acidez. Dado que un agua con pH inadecuado perjudica nuestro organismo, el agregado de cal es una de las condiciones fundamentales para el consumo.
- El proceso siguiente al agregado de cal es

la **filtración**. El agua tratada con el coagulante -que ha dejado en el decantador la mayor parte de las materias en suspensión- se clarifica en el filtro mediante el agregado de cal. El filtro tiene como función principal la de retener el pequeño porcentaje de material en suspensión que queda en el agua y parte de la materia orgánica, de modo de obtener un agua límpida.

El manto filtrante está compuesto por arena, grava, canto rodado y carbón activado en polvo (para la adsorción de sustancias orgánicas remanentes).

Una vez por día, se desmonta el manto filtrante, y se procede a su lavado con agua e hipoclorito de sodio.

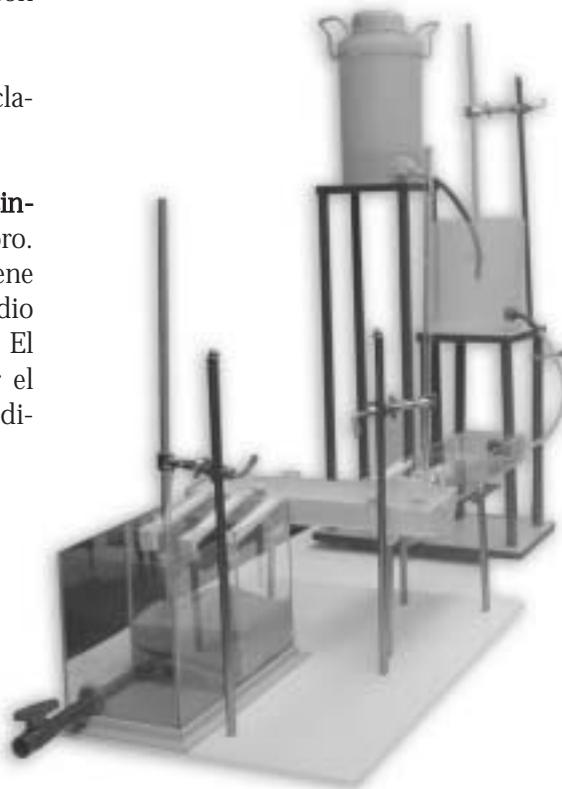
En esta etapa del proceso se logra la clarificación total del agua.

- La última etapa del proceso es la **desinfección** del agua por la acción del cloro. En nuestro caso, el cloro activo proviene de la utilización de hipoclorito de sodio (agua lavandina) en dosis adecuadas. El propósito de la cloración es eliminar el resto de las bacterias que hubiesen podido llegar hasta la reserva.

Una vez llegada a la reserva, el agua se considera apta para el consumo.

Recordemos que el 95 % de las bacterias quedó retenido en el proceso de decantación.

Cada una de estas etapas del proceso de potabilización se encuentran representadas en el *kit* didáctico que le sugerimos integrar a sus clases.



## 2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

Antes de estudiar las tareas de una planta de potabilización, parece oportuno recordar algunos conceptos básicos respecto del agua, sin cuyo conocimiento sería casi imposible entender los procesos involucrados.

### EL AGUA

#### Estructura química y propiedades

#### Impurezas

### Estructura química y propiedades del agua

Agua es el nombre químico que se aplica al estado líquido del compuesto más común formado por el hidrógeno y el oxígeno. Los antiguos filósofos la consideraban un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas, idea que no se descartó hasta la última mitad del siglo XVIII.

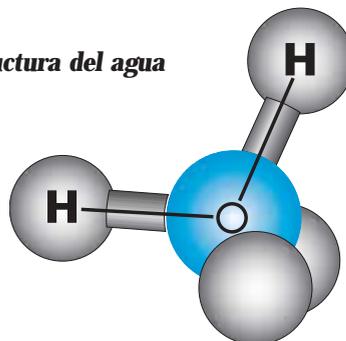
En 1781, Henry Cavendish, químico británico, sintetizó el agua detonando una mezcla de hidrógeno y de aire. Los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente sino hasta dos años más tarde, cuando Antoine Laurent de Lavoisier, químico francés, planteó que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno.

En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander Von Humboldt demostraron que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de

oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual  $H_2O$ .

¿Qué es el agua? Casi todo el hidrógeno del agua tiene una masa atómica de 1. El químico estadounidense Harold Clayton Urey descubrió, en 1932, la presencia en el agua de una pequeña cantidad (1 parte por 6.000) de lo que se denomina agua pesada u óxido de deuterio ( $D_2O$ ). El deuterio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 2. Por su parte, en 1951, el químico estadounidense Aristid Grosse determinó que el agua existente en la naturaleza contiene, también, cantidades mínimas de óxido de tritio ( $T_2O$ ); el tritio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 3.

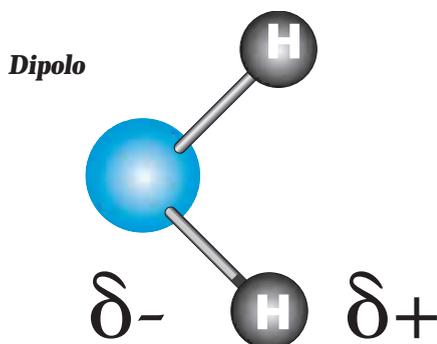
*Estructura del agua*



El agua es la molécula más abundante en los seres vivos, y representa entre el 70 y 90% del peso de la mayor parte de los organismos. El papel primordial del agua en el metabolismo de los seres vivos se debe a sus propiedades físicas y químicas, derivadas de su estructura molecular.

Este contenido varía de una especie a otra, y, también, es función de la edad del individuo (su porcentaje disminuye al aumentar la edad) y del tipo de tejido considerado.

A temperatura ambiente, el agua es líquida, al contrario de lo que cabría esperar, ya que otras moléculas de parecida masa molecular ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , etc.) son gases. Este comportamiento se debe a que los electrones de cada átomo de hidrógeno están desplazados hacia el átomo de oxígeno, por lo que en la molécula aparece una zona de alta densidad electrónica -donde está el oxígeno- y una zona de baja densidad electrónica -sobre los átomos de hidrógeno-. La molécula de agua es, así, un dipolo.



El agua es un disolvente excelente para muchos compuestos iónicos, así como para otras sustancias capaces de formar enlaces de hidrógeno el agua.

El agua tiene un calor específico alto, debido a que, para elevar la temperatura del agua (esto es, aumentar la energía cinética promedio de las moléculas de agua), se deben romper muchos enlaces de hidrógeno intermoleculares; por ello, el agua puede absorber una gran cantidad de calor mientras que su temperatura sólo aumenta ligeramente. Lo inverso también es cierto: El agua puede proporcionar mucho calor con una disminución muy ligera en su temperatura.

Por esta razón, las cantidades inmensas de agua que están presentes en los lagos y océanos pueden moderar eficazmente el clima de las áreas adyacentes, absorbiendo calor en verano y proporcionando calor en invierno, con sólo ligeros cambios en la temperatura del cuerpo del agua.

La propiedad más sobresaliente del agua es que su forma sólida es menos densa que su forma líquida: Un cubo de hielo flota en la superficie del agua en un vaso. Ésta es una propiedad única; la mayoría de las otras sustancias tiene una mayor densidad en el estado sólido que en el estado líquido.

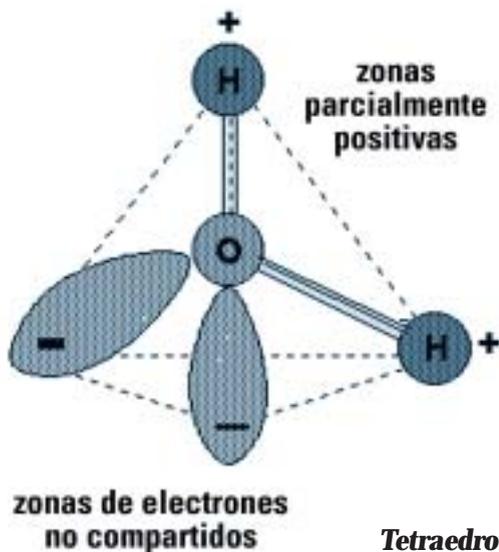
Para comprender por qué el agua es diferente, tenemos que examinar la estructura electrónica de la molécula de agua.

Entre las moléculas de agua existen los tres pares de fuerzas intermoleculares: fuerzas de

London, dipolo-dipolo y enlaces por puentes de hidrógeno.

Los enlaces por puentes de hidrógeno son 1/20 veces más débiles que los enlaces covalentes. El hecho de que alrededor de cada molécula de agua se disponen otras moléculas unidas por puentes de hidrógeno permite que, en el seno del agua, se forme una estructura ordenada de tipo reticular tridimensional, en la cual cada átomo de oxígeno está unido, aproximadamente, a cuatro átomos de hidrógeno, dos por enlaces covalentes y dos por enlaces de hidrógeno. Esta igualdad en el número de átomos de hidrógeno y de pares libres no es característica ni del  $\text{NH}_3$  ni del  $\text{HF}$  ni de ninguna otra molécula capaz de formar enlaces de hidrógeno.

Centrémonos, ahora, en la estructura de la molécula de agua. La disposición tetraédrica de los orbitales del oxígeno determina un ángulo entre los enlaces H-O-H de, aproximadamente  $104.5^\circ$ :



El resultado es que la molécula de agua, a pesar de su electroneutralidad, presenta una distribución asimétrica de sus electrones, generando:

- enlace interatómico (covalente),
- polaridad en el enlace -lo que explica la existencia de dipolos-,
- polaridad de la molécula, representada por las fuerzas de Van der Waals (London, dipolo-dipolo y puente de hidrógeno).

Las **propiedades físicas** del agua son:

- Estado físico:  
Líquida a temperatura ambiente.
- Color:  
Incolora.
- Sabor:  
Insípida.
- Olor:  
Inodora.

## El agua

Fórmula química	H <sub>2</sub> O
Ángulo de enlace de su molécula	104.5 °
Longitud de enlace	0.95 ångström
Tipo de molécula	Polar y forma puentes de hidrógeno
Masa molecular relativa	18.0148
Punto normal (presión de 1013,25 hPa) de ebullición	100 °C
Punto normal de fusión a presión 1013,35 hPa	0 °C
Densidad a 3.98 °C y presión de 1013,35 hPa	1.0000 g/ml
Densidad a 20 °C y presión de 1013,35 hPa	0.99998 g/ml
Calor de fusión	79.7 cal/g = 333.146 J/g
Calor de vaporización	539.6 cal/g = 2255,528 J/g
Calor específico a 20 °C y presión de 1013,35 hPa	4.18 J/g°K (joules/gramo grados Kelvin)
Calor de fusión a 0 °C y presión de 1013,25 hPa	0.333 kJ/g
Calor de vaporización a 20 °C y presión de 1013,25 hPa	2.257 kJ/g
Tensión superficial a 20 °C	0.0729 J/m <sup>2</sup>
Constante dieléctrica a 25 °C	78.5

El agua químicamente pura es un líquido inodoro e insípido, incoloro y transparente en capas de poco espesor; toma color azul cuando se mira a través de espesores de seis a ocho metros, porque absorbe las radiaciones rojas.

Su punto de congelación y su punto de ebullición sirven para marcar los puntos de referencia de la escala termométrica centígrada.

Alcanza su densidad máxima de 1000 kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) a una temperatura de  $4\text{ }^\circ\text{C}$  y se expande al congelarse.

Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado de sobreenfriamiento; es decir, puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos  $-25\text{ }^\circ\text{C}$ , sin que se congele naturalmente.

Mientras que el hielo funde en cuanto se calienta por encima de su punto de fusión, el agua líquida se mantiene sin solidificarse algunos grados por debajo de la temperatura de cristalización (agua subenfriada) y puede conservarse líquida a  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  en tubos capilares o en condiciones extraordinarias de reposo. La solidificación del agua va acompañada de desprendimiento de  $333.146\text{ J/g}$  por cada gramo de agua que se solidifica. Cristaliza en el sistema hexagonal y adopta formas diferentes, según las condiciones de cristalización.

A consecuencia de su elevado calor específico y de la gran cantidad de calor que pone en

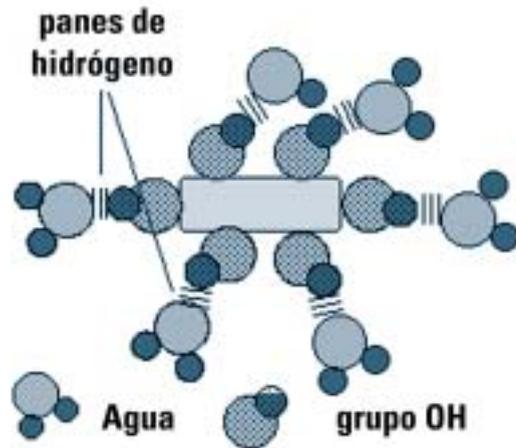
juego cuando cambia su estado, el agua obra de excelente regulador de temperatura en la superficie de la Tierra y, aún más, en las regiones marinas.

Cuando el agua sólida (hielo) se funde, la estructura tetraédrica se destruye. Entonces, la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida, debido a que sus moléculas quedan más cerca entre sí. Pero, sigue habiendo enlaces por puente de hidrógeno entre las moléculas del agua líquida.

Cuando se calienta agua sólida, a medida que se incrementa la temperatura, se debilita el enlace por puente de hidrógeno y la densidad aumenta, hasta llegar a un valor máximo a la temperatura de  $3.98\text{ }^\circ\text{C}$  y a la presión de una atmósfera. A temperaturas mayores de  $3.98\text{ }^\circ\text{C}$ , la densidad del agua líquida disminuye con el aumento de la temperatura, de la misma manera que ocurre con los otros líquidos.

Además, podemos destacar en el agua:

- **Acción disolvente.** El carácter bipolar del agua impide que las sustancias que se disuelven en ella mantengan sus moléculas o iones intactos. El agua es el líquido que más sustancias disuelve; por eso, decimos que es el disolvente universal. Esta propiedad -tal vez, la más importante para la vida- se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, lo que da lugar a disoluciones moleculares.



**Molécula con ion HO-**

Las moléculas de agua también pueden disolver sustancias salinas, las que se disocian formando disoluciones iónicas.

En el caso de las disoluciones iónicas, los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados o solvatados.

La capacidad disolvente es la responsable del medio donde ocurren las reacciones del metabolismo y de los sistemas de transporte.

En nuestro modelo didáctico de potabilización, en la etapa de la alcalinización se eliminan algunas de las sales disueltas en el agua cruda -especialmente, los carbonatos ácidos que modifican el pH del agua de consumo-.

- **Elevada fuerza de cohesión.** Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse, puede funcionar como un esqueleto hidrostático para algunos animales (Esto ocurre en algunos gusanos perforadores, capaces de agujerear las rocas mediante la presión generada por sus líquidos internos).
- **Elevada fuerza de adhesión.** Esta fuerza está relacionada con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares; es responsable, junto con la cohesión, del llamado fenómeno de la capilaridad. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar -como si trepase, aferrándose por las paredes-, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe -en parte- la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

La interacción entre las fuerzas de cohesión y las fuerzas de adhesión generan la tensión superficial responsable del fenómeno de capilaridad, de la forma esférica de las gotas de agua o de las pompas de jabón, las aparentes atracciones o repulsiones que se observan en los cuerpos pequeños que flotan en la superficie de un líquido, la forma redondeada de los meniscos, etc.



En el agua encontramos diversidad de materia en suspensión por las elevadas fuerzas de cohesión y de adhesión. En nuestro equipo de potabilización, tanto en la etapa de floculación y coagulación como en la de decantación, ocurre la eliminación de casi el 95 % de la materia suspendida -que produce la turbiedad- y de las bacterias presentes en el agua cruda.



- **Gran calor específico.**

El calor específico se define como la cantidad de calor necesaria

para elevar 1°C la temperatura de un gramo de agua. En la mayoría de los líquidos, el calor específico aumenta con la temperatura; pero, en el agua tiene su mínimo a 35 °C, por lo que se necesita una gran cantidad de calor para poder elevar la temperatura del agua, lo que hace muy costosos los procesos de destilación. También esta propiedad está en relación con los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de "calor" -las que utiliza para romper los puentes de hidrógeno-, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente.

- **Elevado calor de vaporización.**

También los puentes de hidrógeno son los responsables de esta propiedad. Para evaporar el agua, se requiere romper los puentes de

Esto permite que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura.

hidrógeno y, posteriormente, dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética como para pasar de la fase líquida a la gaseosa.

Para evaporar un gramo de agua se precisan 2.257 kJ/g, a una temperatura de 20 °C.

Las **propiedades químicas** del agua son:

- *Reacciona con los óxidos ácidos.* La mayoría de los óxidos ácidos reacciona con el agua para formar ácidos.



(ácido carbónico; carbonato de hidrógeno)

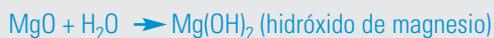


(ácido sulfuroso; sulfato - IV - de hidrógeno)



(ácido nítrico; nitrato - V - de hidrógeno)

- *Reacciona con los óxidos básicos.* Los óxidos de los metales -que, según las propiedades del metal, pueden ser óxidos ácidos  $\text{CrO}_3$ , óxidos básicos  $\text{Na}_2\text{O}$ , óxidos anfóteros  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , óxidos salinos  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua; pero, los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.



- *Reacciona con los metales.* Algunos metales descomponen el agua en frío, otros lo hacen a temperatura elevada y otros no lo hacen bajo ninguna condición.

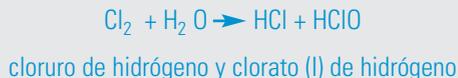
#### En agua fría:



#### En agua a temperatura elevada:



- *Reacciona con los no metales.* El agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos. Por ejemplo:



- Cuando las sales<sup>3</sup> se disuelven en agua, los iones se rodean de un número variable de moléculas de agua a las que se unen, dando lugar a la formación de compuestos de coordinación.

<sup>3</sup> En las sales y algunos ácidos, está contemplada la nomenclatura tradicional, dado que es la que habitualmente se encuentra en la bibliografía de consulta.

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
(sulfato cúprico hidratado  
con 5 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
(sulfato ferroso hidratado  
con 7 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
(sulfato de zinc hidratado  
con 7 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )

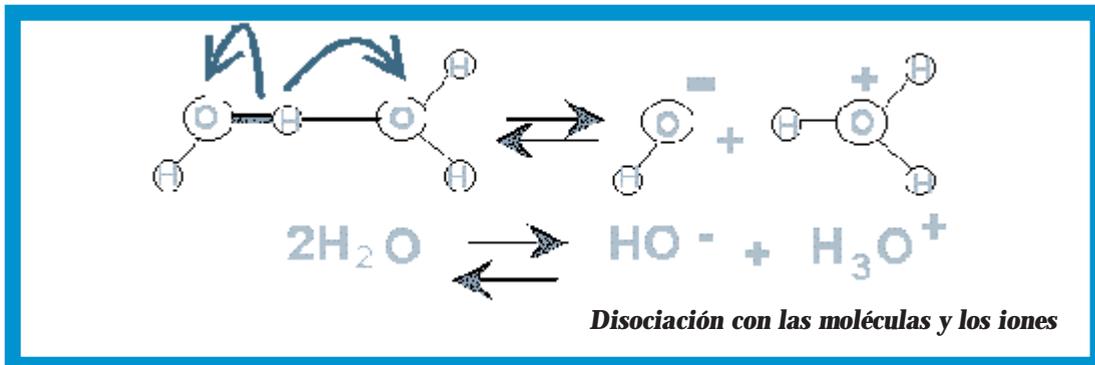
$\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
(carbonato sódico hidratado  
con 10 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ )

En algunos casos, los hidratos pierden agua de cristalización, cambiando de aspecto; se dice, entonces, que son eflorescentes -como sucede con el sulfato cúprico; cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco-.

Por otra parte, hay sustancias que tienden a tomar el vapor de agua de la atmósfera; se llaman hidrófilas y también higroscópicas. Tales sustancias son deliquescentes, como el cloruro de calcio.

El agua pura tiene la capacidad parcial de **disociarse en iones**, por lo que se puede considerar una mezcla de:

- agua molecular ( $\text{H}_2\text{O}$ ),
- iones hidrógeno hidratados ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) e
- iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ),



Esta disociación es muy débil en el agua pura y, así, a 25 °C, el producto iónico del agua es:

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

Si la temperatura permanece constante, el valor del producto iónico del agua es constante. Como en el agua pura, la concentración de iones hidrógeno y de iones hidróxido es la misma, la concentración de iones hidrógeno es de  $1 \times 10^{-7}$  M.

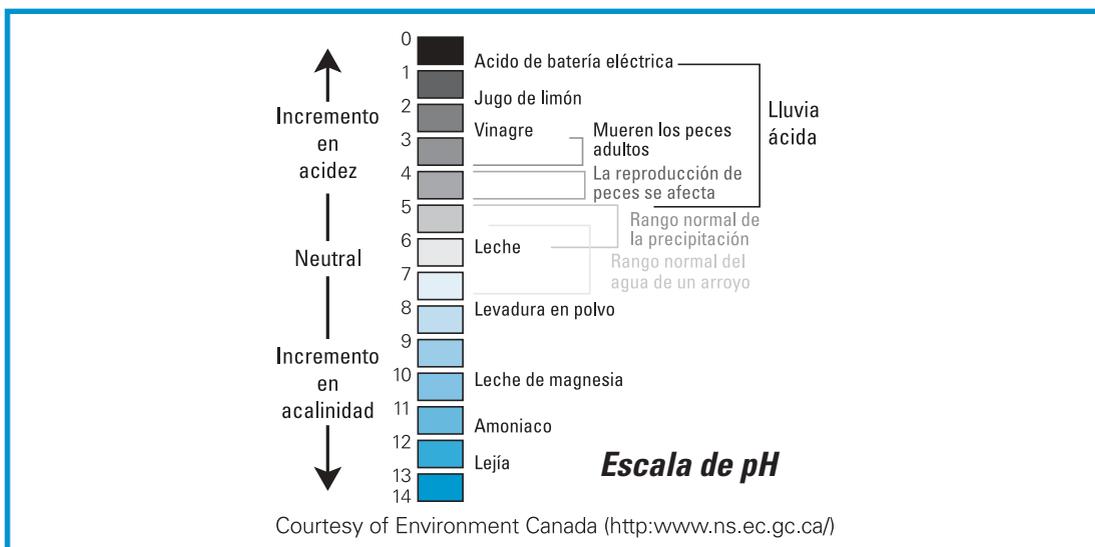
Para simplificar los cálculos -teniendo en cuenta la amplia gama de valores de dichas concentraciones-, Sorensen idea una manera

de expresarlas utilizando logaritmos. Así, define el **pH** como el logaritmo cambiado de signo de la concentración de iones hidrógeno.

A 25 °C

- disolución neutra    **pH = 7**
- disolución ácida    **pH < 7**
- disolución básica    **pH > 7**

El pH de algunas soluciones significativas.





En el proceso de potabilización usado en nuestro recurso didáctico y en las plantas potabilizadoras, se hace necesario el ajuste de pH para que podamos ingerir el agua sin que ésta nos afecte.



## Impurezas del agua

Una de las mayores preocupaciones de la humanidad a lo largo de su historia ha sido la de procurarse agua lo más pura y limpia posible. Aún hoy, el objetivo inmediato es proveer a la sociedad de agua potable porque, de esta manera, cada comunidad satisface un requerimiento fundamental para su bienestar y comodidad.

En Latinoamérica existen miles de municipios que no cuentan con un sistema de purificación de agua.

En general, la vida se desarrolla a valores de pH próximos a la neutralidad. Los organismos vivos no soportan variaciones del pH mayores de unas décimas de unidad y, por eso, han desarrollado a lo largo de su evolución, sistemas reguladores o *buffer*, que mantienen el pH constante mediante mecanismos homeostáticos.

Los **sistemas tampón** consisten en un *par ácido-base conjugada* que actúan como dador y aceptor de protones, respectivamente.

El tampón bicarbonato es común en los líquidos intercelulares; mantiene el pH en valores próximos a 7,4 gracias al equilibrio entre el ión bicarbonato y el ácido carbónico que, a su vez, se descompone en dióxido de carbono y agua:



Si, por cualquier proceso químico:

- aumenta la concentración de iones hidrógeno en el medio, el equilibrio se desplaza a la derecha y el exceso de  $\text{CO}_2$  producido se elimina al exterior;
- disminuye la concentración de iones hidrógeno del medio, el equilibrio se desplaza a la izquierda, para lo cual se toma  $\text{CO}_2$  del medio exterior.



**Cisterna de la Basílica en Estambul**  
<http://www.visitasturkia.com>

En el antiguo Egipto, se dejaba reposar el agua en vasijas de barro durante varios meses para precipitar las partículas e impurezas; y, mediante un sifón, se extraía el agua de la parte superior (decantación). En otras ocasiones, se incorporaban ciertas sustancias minerales y extractos vegetales, para facilitar la precipitación de partículas y clarificar el agua (coagulación).

La tecnología de la potabilización se basa en el hecho de que ninguna sustancia química está pura, ni en su estado natural ni preparada por el hombre; y que la calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra, por lo que el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía.

El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económico requiere un estudio de ingeniería cuidadoso, basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados para producir agua de calidad requerida. Como no existe una norma o fórmula que permita determinar el tipo de planta para tratar un agua, es necesario realizar estudios de **tratabilidad**<sup>4</sup>.

El agua se purifica para que esté siempre libre de todo organismo patógeno; es decir, para que sea biológicamente segura. La desinfección es efectiva para este propósito si el agua carece de material suspendido; pero, la posibilidad de que los microorganismos patógenos, especialmente los virus, se encuentren embe-

tidos dentro del recubrimiento protector del material que produce turbiedad en el agua, hace necesario, para una buena desinfección, la remoción previa de la turbiedad.

El objetivo básico del diseño de una **planta de purificación** de agua es el de integrar, de la manera más económica posible, los procesos y operaciones de tratamiento para que pueda proveer, sin interrupción, el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable. Por lo tanto, la planta de purificación debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentos indispensables.

En general se recomienda tener en cuenta, entre otros, los siguientes preceptos de diseño:

- No existe un problema típico de diseño de una planta de purificación. En la práctica, los proyectos varían desde una pequeña adición a un sistema existente, hasta el diseño de un sistema completo.
- Aunque la planta de tratamiento juega, en muchos casos, un papel primordial en el mejoramiento de la calidad del agua, en el diseño se consideran, además, la

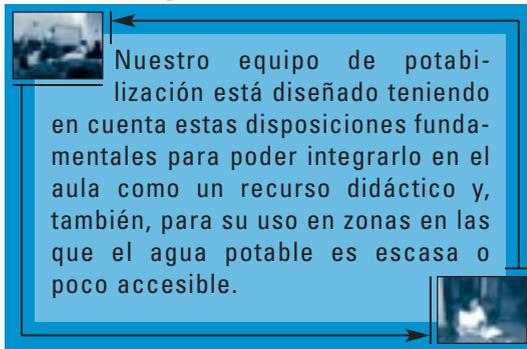
Le recomendamos visitar este sitio web:  
**[www.aguasargentinas.com.ar/body\\_educacion2.html](http://www.aguasargentinas.com.ar/body_educacion2.html)**  
En esta página se reseña el proceso de potabilización.

<sup>4</sup> Le sugerimos consultar los cuadros de Romero Rojas, Jairo A. (1999) *Potabilización de agua*. Alfaomega. México (páginas 16 a 19).

fuente y el sistema de distribución, si se quiere lograr la "producción económica" de un agua de buena calidad.

- El ingeniero o diseñador actúa ajustándose a todas las normas, leyes y requerimientos oficiales aplicables al proyecto: especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras de agua, códigos de construcción, etc.
- El tipo de tratamiento depende de la calidad de la fuente de suministro y de la calidad deseada en el agua producida. Por lo tanto, una información adecuada sobre la fuente es un prerequisite básico para el diseño. Esto supone un análisis del agua cruda y, cuando la fuente no es de características uniformes, el conocimiento de las variaciones de tales características, así como una evaluación de los cambios posibles de calidad de la fuente durante la vida útil de la planta.
- Cuando no existe información suficiente sobre la calidad de la fuente, además de un programa de muestras y análisis, se recoge información proveniente de plantas en operación de fuentes semejantes en el área.
- En fuentes superficiales, la toma o captación de la planta se localiza en tal forma que provea de una adecuada protección contra cualquier fuente de contaminación. En embalses profundos, las captaciones con tomas múltiples, a varias profundidades, ofrecen flexibilidad en la selección del agua y en la calidad de ésta en diferentes condiciones. En fuentes subterráneas, la profundidad y la localización de los pozos son condicionadas por la adecuada protección contra fuentes de contaminación y por la obtención de agua de calidad favorable.
- La capacidad nominal de diseño de una planta es, generalmente, mayor que la demanda máxima diaria proyectada para el período del diseño.
- En la selección del período de diseño de los componentes de la planta se tiene en cuenta la vida útil de la estructura y el equipo, la facilidad de la expansión, la tasa de crecimiento del área de servicio, los cambios del poder adquisitivo de la moneda durante el período de la deuda, y la operación de las estructuras y los equipos durante los años iniciales. En general, se desarrollan desde el principio aquellas estructuras que no pueden construirse por etapas -por ejemplo: edificios y estaciones de bombeo-.
- Es necesario que la planta de purificación pueda operar continuamente con uno o más equipos fuera de servicio por mantenimiento. Esto supone un mínimo de dos unidades de tratamiento -por ejemplo: tanques de sedimentación, floculadores o filtros, dosificadores de coagulantes, cloradores-; si existe bombeo, habrá una unidad de reserva. Solamente se usa la instrumentación esencial; la integración de equipo automático se restringe, para prevenir que una falla pueda dejar sin suministro de agua potable a la población.

- Para la localización de la planta se tienen en cuenta los siguientes aspectos: área futura de servicio, costo bajo del terreno, ubicación con respecto a la fuente de distribución, topografía, disponibilidad de energía eléctrica, facilidades de acceso, facilidad de disposición de residuos, actitud de la comunidad, defensa civil y protección contra atentados, belleza natural y paisajística.
- Las especificaciones respectivas garantizan una construcción económica pero durable, teniendo en cuenta que las plantas son usadas por muchos más años que los de su período de diseño.



Nuestro equipo de potabilización está diseñado teniendo en cuenta estas disposiciones fundamentales para poder integrarlo en el aula como un recurso didáctico y, también, para su uso en zonas en las que el agua potable es escasa o poco accesible.

Las sustancias químicas industriales suelen contener un nivel de impurezas que se mide en porcentajes o en partes por ciento. El químico de aguas rara vez trabaja con fuentes acuíferas que tienen valores elevados de impurezas (que puedan expresarse en % m/m o % m/V), excepto en el caso de:

- agua de mar (aproximadamente, 3 % de impurezas minerales disueltas),
- aguas connatas (las que brotan junto con algunos petróleos crudos y que contienen, algunas veces, hasta un 20 a 30 % de sales disueltas),
- aguas salobres y

- aguas industriales de desecho.

En el agua dulce, el nivel de impurezas se mide en partes por millón (ppm); 10.000 ppm equivalen a un 1 % m/m de impurezas.

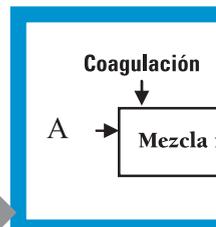
Dado que un litro de agua destilada pesa 1.000 g o 1.000.000 mg, es evidente que 1 mg de impurezas en un litro representa 1 ppm. Sin embargo, un litro de agua de mar pesa, aproximadamente, 1.032 g; así, 1 mg de impureza en el agua de mar es menos de 1 ppm. Debido a que la densidad del agua puede ser bastante elevada, el uso de mg de sal / l de solución de agua de mar, es más preciso que ppm -aunque son idénticos cuando se trabaja con agua dulce-.

## Tratamiento del agua

El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica mediante el cual se elimina una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo, o le comunican un aspecto o cualidad organoléptica no deseables, transformándola en un agua apta para consumir.

Si un sistema no está provisto de medios de potabilización, no merece el calificativo sanitario de "abastecimiento de aguas". Porque, en la potabilización del agua es necesario recurrir siempre a métodos adecuados a la calidad del agua-origen a tratar.

Considerando un agua superficial, de río, embalse o subterránea, con problemas de calidad que estimamos como convencionales, el proceso o línea de tratamiento considerado consta de una serie de etapas más o menos complejas en función de la calidad del agua bruta objeto del tratamiento:



### 1 Captación.

**2 Coagulación-floculación.** Se realiza a fin de eliminar las partículas en suspensión coloidal. Para facilitar este proceso, se añade una pequeña cantidad de sulfato de aluminio o de cloruro férrico en medio ligeramente básico; estas sustancias provocan la precipitación de los hidróxidos correspondientes -que por sí mismos no sedimentarían-, y la corrección del pH de coagulación con cal, soda o carbonato sódico.

**3 Decantación.** En diversos tipos de decantadores.

**4 Alcalinización.** Corrección del pH por simple neutralización, o por remineralización con cal y gas carbónico.

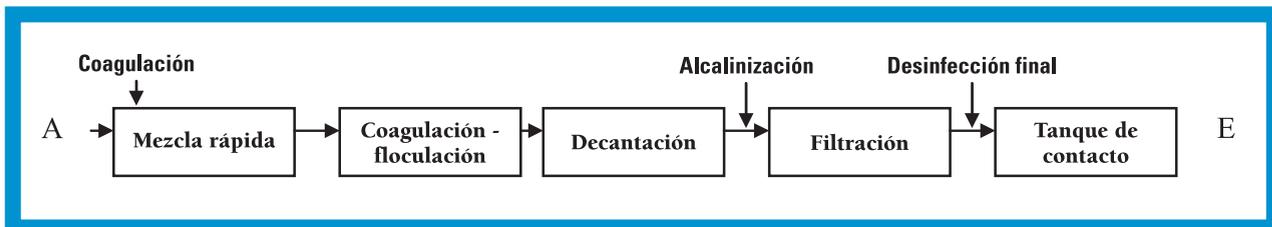
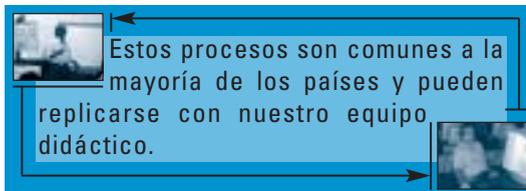
**5 Filtración.** Es necesaria para objetos tales como ramas de árbol hasta partículas. La filtración propiamente dicha se lleva a cabo sobre arena o sobre lecho mixto (arena y antracita) y, en determinados casos, sobre lecho de carbón en grano

**6 Desinfección final** con cloro, cloraminas, dióxido de cloro, hipocloritos u ozono.

El agua suministrada al público debe estar libre de impurezas -insolubles (arcilla, sedimentos...) o solubles (contaminantes agrícolas o industriales)- o encontrarse éstas reducidas a cantidades seguras, antes de que el agua sea enviada a casas y organizaciones.

Las etapas del tratamiento para reducir las impurezas se clasifican según su naturaleza física, química o bacteriológica.

- El **tratamiento físico** consiste en someter al agua a decantación natural o acelerada con agentes de floculación y, posteriormente, a filtración mediante lechos de arena o de carbón. Las aguas poco turbias pueden ser sometidas directamente a filtración, sin necesidad de pasar por la decantación.
- El **tratamiento químico** se lleva a cabo con la intención de mejorar los caracteres químicos del agua; consiste en efectuar la decantación con una cantidad conveniente de calcio, para reducir la dureza temporaria y permanente, seguida de un control final de pH.
- El **tratamiento bacteriológico** se realiza, generalmente, por oxidación, ya sea directa o con gas cloro debidamente regulado. La posibilidad de dejar en el agua una pequeña dosis de cloro libre garantiza su total potabilidad bacteriológica al llegar a los consumidores, aunque en la

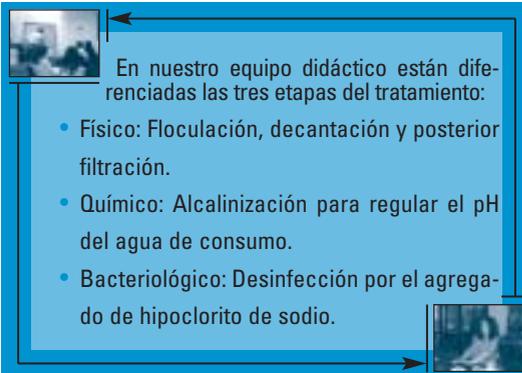


red de distribución pueda haber puntos de contaminación. Para evitar el gusto desagradable del cloro, hoy en día se estudia la posibilidad de la ozonización.

El ozono es descubierto en 1785 por Van Mauten. En 1857, Werner von Siemens diseña un generador de ozono. En 1893 se usa por primera vez para desinfección del agua en Holanda y, en 1906, se aplica en una planta de tratamiento en Niza.

El ozono, forma alotrópica del oxígeno, es un oxidante muy enérgico, utilizado como tal en la desinfección del agua, en oxidación de materias orgánicas e inorgánicas (entre estas últimas destacan el hierro y el manganeso). Su poder oxidante y desinfectante, mayor que el del cloro, lo hacen más eficaz que éste en la eliminación del olor, sabor y color del agua, así como en la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos. Su potencial de oxidación es 2,07 voltios; mientras el del cloro es 1,36 voltios.

La ozonización es una buena alternativa a la cloración (principalmente, en la preoxidación), cuando en el agua hay fenoles y otras sustancias orgánicas precursoras de trihalometanos. Los fenoles, por la adición de cloro, forman clorofenoles de sabor y olor muy desagradables, aún en concentraciones tan pequeñas como 0,01 mg/l. Los precursores de trihalometanos suelen ser sustancias orgánicas naturales - como los ácidos húmicos, fúlvicos y tánicos-, generalmente de procedencia vegetal que, a la vez, comunican a las aguas superficiales una determinada coloración. En los enlaces dobles entre átomos de carbono de estas sustancias, el ozono actúa rompiéndolos; y, a medida que esto sucede, no sólo el color va desapareciendo, sino que los propios precursores de los trihalometanos se van eliminando.



En nuestro equipo didáctico están diferenciadas las tres etapas del tratamiento:

- Físico: Floculación, decantación y posterior filtración.
- Químico: Alcalinización para regular el pH del agua de consumo.
- Bacteriológico: Desinfección por el agregado de hipoclorito de sodio.

A veces, las instalaciones de tratamiento se completan con la adición de filtros de carbón activo en grano tras los filtros de arena; esto se requiere en casos conflictivos y constantes de presencia de sustancias orgánicas que pueden originar olores y sabores.

Hoy en día, el tratamiento de aguas no sólo

tiene que seguir y mejorar el tratamiento convencional, sino que debe abordar las nuevas causas de contaminación que no pueden eliminarse con los métodos habituales, recurriendo a otros métodos, empleando incluso, otros reactivos complementarios.

El tratamiento del agua y, en especial, su desinfección (hasta ahora, generalmente, con

Usted puede acceder a información acerca de tratamientos alternativos para aguas residuales válidos para el proceso de potabilización en zonas donde las aguas a tratar tienen contaminantes que no se pueden eliminar con los métodos habituales, consultando:  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/180Depur.htm#Otros>

cloro) ha sido responsable, en gran medida, del 50 % de aumento de las expectativas de vida en los países desarrollados a lo largo del siglo XX.

La eficacia del tratamiento del agua en la reducción de las enfermedades que ésta transmite, depende de su calidad de origen y del proceso seguido en el sistema de tratamiento.

Los agentes patógenos transmitidos por el agua suelen provenir de sistemas hídricos con inadecuado tratamiento, especialmente en lo que hace a desinfección y a filtración.

Para resolver muchos problemas de abastecimiento de agua, de uso y de disposición final, es preciso conocer el caudal y la concentración de las sustancias que el agua lleva. Para tener esta información, se requiere:

- La medida de los gastos de agua.
- La recolección de muestras representativas de agua.
- El análisis de las muestras.

No vamos a ocuparnos puntualmente de la medida de los gastos de agua -dato que usted puede requerir en su zona de trabajo; sí de la toma de muestras, y de su examen y análisis.

Con relación a la toma de muestras, se procede de la siguiente manera:

- Elija un frasco o botella de 200 ml con tapón de plástico; lávelo perfectamente con agua y jabón.

- Ya limpio, esterilícelo; para ello, colóquelo en una olla limpia con agua que lo cubra por arriba, por lo menos 3 cm. Ponga a hervir el agua y, cuando rompa el hervor, deje el frasco con su tapa, en el agua hirviendo, por 20 minutos.

- Saque el frasco esterilizado, déjelo enfriar y tápelo, sin tocar para nada el borde de la boca.

- Sobre la tapa, coloque un capuchón de papel o de hoja de aluminio, y átelo con un hilo para que se mantenga en su lugar.

Realice tomas en diferentes puntos de la fuente de agua (río, arroyo, lago, etc.), variando la distancia a la orilla y la profundidad.<sup>5</sup>

Para los análisis microbiológicos, recoja las muestras en envases adecuados y estériles.

En algunos casos, la muestra requiere un pretratamiento, que se logra añadiendo ácido nítrico, sulfúrico o hidróxido de sodio, así como trasladarlas rápidamente (8 horas en la situación más desfavorable) al laboratorio en el que se van a analizar.

A partir de aquí, analizaremos el tratamiento recomendado y utilizado en la mayoría de los países para, luego, incursionar en la planta potabilizadora propuesta como recurso didáctico.

---

<sup>5</sup> En estas páginas, va a encontrar información específica respecto de la toma de muestra:  
[http://water.usgs.gov/pubs/ofr/ofr00-13/manual\\_sp/plan.html#plan](http://water.usgs.gov/pubs/ofr/ofr00-13/manual_sp/plan.html#plan)  
[www.standardmethods.org](http://www.standardmethods.org)

## Coagulación. Floculación

El agua presenta turbiedad y color debido a que posee partículas en suspensión y/o solución, como por ejemplo: arcillas, minerales, materias orgánicas, microorganismos, etc. Estas partículas son muy pequeñas y no pueden separarse del agua por simple sedimentación.

Los términos coagulación y floculación son frecuentemente usados como sinónimos para describir el proceso de aglomeración de partículas; pero, tienen distinto significado:

- **Coagulación** es el proceso de adicionar productos químicos al agua (coagulantes) para reducir o anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión.
- **Floculación** es la aglomeración de las partículas por efecto de un movimiento lento del agua, de modo de formar partículas de mayor tamaño (flocs) que pueden sedimentar por gravedad.

La **coagulación** consiste en la "desestabilización" de las partículas mediante un producto químico (coagulante) y su agitación brusca.

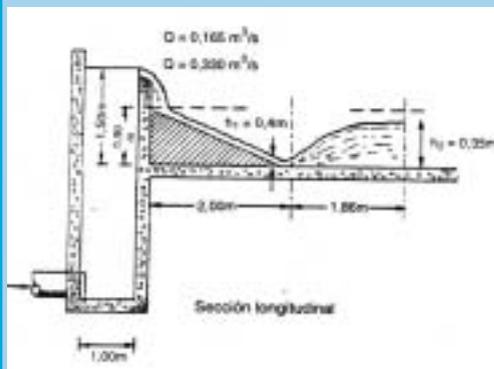
En las plantas potabilizadoras, el coagulante utilizado es el sulfato de aluminio; la agitación brusca se realiza en las canaletas Parshall.

La coagulación se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar con rapidez.
- Remoción de color.
- Eliminación de ciertas bacterias, virus y organismos patógenos.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

Las unidades de mezcla rápida más utilizadas son las del tipo de resalto hidráulico -la canaleta Parshall, el canal con cambio de pendiente o rampa, y vertederos rectangulares o triangulares-.

El mezclador hidráulico tipo canaleta Parshall es especialmente recomendable para aguas que coagulan por el mecanismo de adsorción, dado que produce gradientes de velocidad altos y tiempos de retención muy cortos -del orden de 1 segundo o menos-.



**Romero Rojas, Jairo A. (1999) Potabilización de agua. Alfaomega. México**

El agua parcialmente clarificada es el agua sobrenadante que sale de los decantadores por la parte superior y que es conducida a la etapa de filtración.

Los "barros" son recolectados en el fondo de los decantadores y devueltos a la fuente de captación a través de un sistema de cañerías construido a tal fin.

Las especies coloidales halladas en agua cruda y en aguas de desecho incluyen sílice, hierro y otros metales pesados, y sólidos orgánicos, como los residuos de organismos muertos.

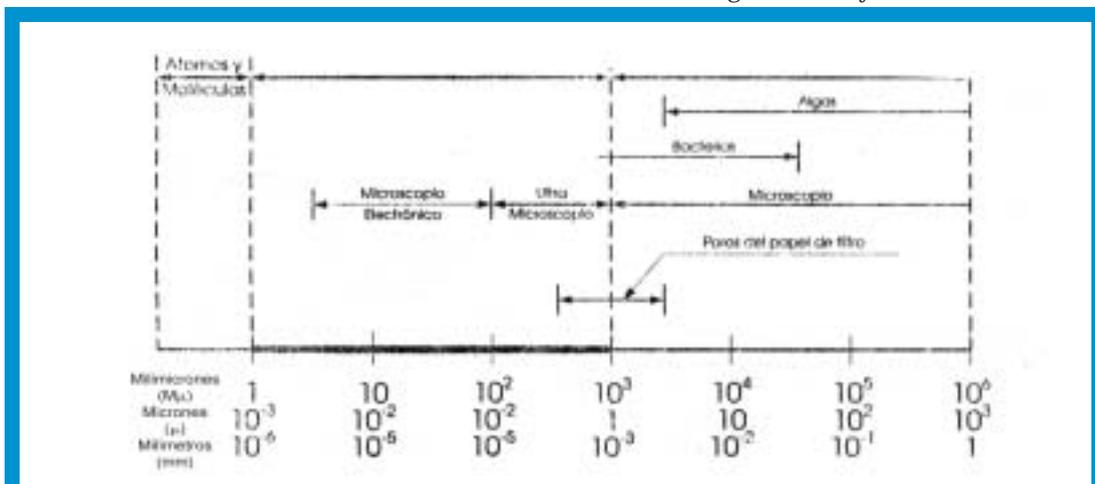
En un sistema disperso compuesto por sustancias A y B, se pueden presentar los siguientes casos:

- La sustancia A puede estar dissociada, ionizada o disgregada en la sustancia B. En este caso, se dice que la sustancia A **está disuelta** dentro de la sustancia B.

- Partículas o gotitas muy pequeñas de la sustancia A pueden estar dispersas dentro de la sustancia B. En este caso, se dice que la sustancia A **está en estado coloidal** dentro de la sustancia B.
- Partículas relativamente grandes de la sustancia A están flotando dentro de la sustancia B. En este caso, se dice que la sustancia A **está en suspensión** en la sustancia B.

Según el tamaño de las partículas del sólido o líquido disgregado dentro de otro, hay un cambio en la clasificación del fenómeno y en las características que éste reviste:

- Cuando hay verdadera solución, el soluto tiene dimensiones aproximadamente iguales o inferiores a 1 nm<sup>6</sup>.
- Cuando es un estado coloidal, el coloide tiene dimensiones que varían entre 1 nm y 1.000 nm.
- Cuando hay suspensión gruesa, las partículas o gotas suspendidas tienen tamaños iguales o mayores de 1.000 nm<sup>6</sup>.



**Tamaño de las partículas suspendidas (Arboleda Valencia, Jorge. 1992. Teoría y práctica de la purificación de agua. Asociación Americana de Acueductos y Alcantarillado. Colombia)**

<sup>6</sup> Nanómetro, nm. Equivalente a 10<sup>-9</sup> m

Los límites fijados en el esquema son aproximados y, por lo tanto, suelen confundirse o intercarse, en especial en los puntos de contacto.

Las partículas:

- mayores de 100  $\mu\text{m}$  pueden observarse a simple vista y son consideradas sólidos asentables;
- en el intervalo de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , se las considera turbidez;
- por debajo de las 10  $\mu\text{m}$ , se las considera coloidales.

Las partículas mayores de 0,1  $\mu\text{m}$  son visibles con el microscopio óptico; para detectar partículas menores de 0,1  $\mu\text{m}$  se usa el microscopio electrónico.

Los coloides pueden producirse en los proce-

sos de precipitación como el ablandamiento con cal. El aceite en agua de desecho es, con frecuencia, coloidal.

Cuando el agua a tratar contiene partículas muy finas o en estado coloidal, el empleo de la sedimentación simple resulta antieconómico o imposible. (Una permanencia mayor a las 6 horas no resulta económicamente eficaz; como ejemplo, podemos mencionar que una partícula de arcilla de diámetro 0.0001 m sedimenta con una velocidad de 0.000154 mm/s y tardaría dos años en sedimentar 1 m).

Los **coloides** propiamente dichos tienen propiedades muy características que los distinguen en forma precisa. Las desarrollaremos para entender qué es la coagulación.

Existen ocho clases de dispersiones coloidales:

Fase dispersa	Fase dispersante	Nombre	Ejemplo
1. Líquido	1. Líquido	1. Emulsión	1. Aceite en agua
2. Sólido	2. Líquido	2. Sol	2. Turbiedad en agua
3. Gas	3. Líquido	3. Espuma	3. Crema batida
4. Líquido	4. Gas	4. Aerosol	4. Niebla, neblina
5. Sólido	5. Gas	5. Aerosol	5. Humo, polvo
6. Líquido	6. Sólido	6. Gel	6. Jalea
7. Sólido	7. Sólido		7. Vidrio coloreado
8. Gas	8. Sólido		8. Piedra pómez

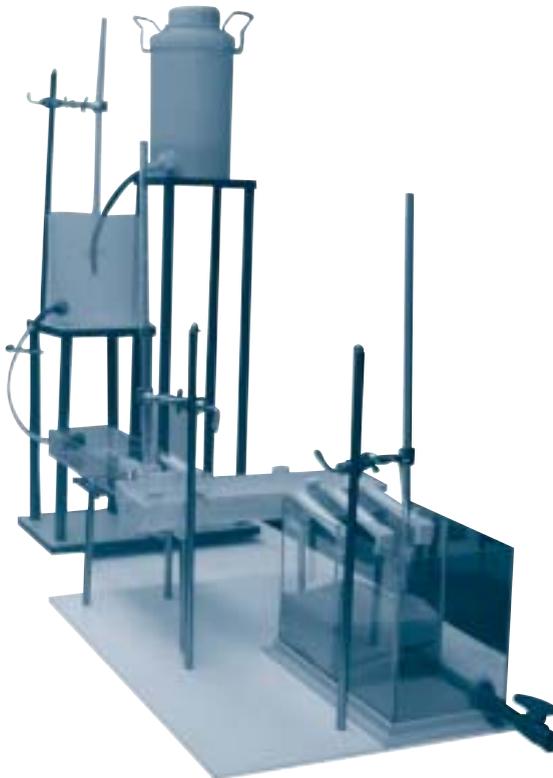
Para el problema de coagulación -que es el que nos ocupa en la purificación del agua-, la dispersión coloidal que nos interesa es la dispersión del sólido en líquido, que es la que forma buena parte de la turbiedad y el color ordinario del agua.

Las partículas coloidales tiene un gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio circundante (Es una propiedad característica de los coloides que da como consecuencia partículas cargadas eléctricamente).

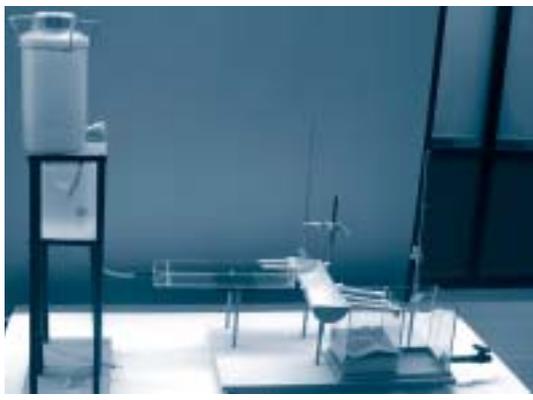
Los coloides se clasifican en:

- **Hidrófobos** (adversos al agua). No reaccionan con el agua (ejemplos de ellos son las arcillas y los metales) y, por esto, son mucho más inestables que los hidrófilos. Son el tipo de dispersiones que más interesa en el tratamiento de aguas potables.

- **Hidrófilos** (afines al agua). Reaccionan con el agua; están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas al tamaño coloidal; tienen una fuerte atracción por el disolvente y reaccionan químicamente con el agua en la que están dispersos (por ejemplo: jabones, materia orgánica encontrada en el agua negra). Las sustancias que producen el color del agua son hidrófilas. Para el tratamiento del agua es imprescindible que los coloides hidrófilos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso. Así, los coloides hidrófilos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrófobos que no reaccionan químicamente con el coagulante.



Las partículas coloidales que producen la turbidez y color de las aguas superficiales están cargadas negativamente. Las podemos representar como una esfera con cargas negativas rodeada por una capa constituida por iones positivos que se mueven solidariamente con la partícula - capa fija-, y una capa difusa de iones positivos y negativos.



<sup>7</sup> La presencia de materia orgánica en el agua se mide por parámetros globales que no diferencian la naturaleza de las especies químicas presentes.

Los más conocidos son:

- DBO -Demanda biológica de oxígeno- o BOD -*Biological Oxigen Demand*- Este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido por la degradación biológica de la materia orgánica.
- DQO -Demanda química de oxígeno- o COD -*Chemical Oxigen Demand*-. Este parámetro determina la cantidad de oxígeno consumido por una muestra, cuando se la valora con un oxidante fuerte como el dicromato o permanganato de potasio.
- COT -Carbono orgánico total- o TOC -*Total Organic Carbon*-. Se lo obtiene eliminando los compuestos inorgánicos carbonados de una muestra de agua, evaporando el agua y valorando el CO<sub>2</sub> obtenido por combustión del residuo.

<sup>8</sup>Determinación de nitrógeno por el método de Kjeldhal.

## Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua

Parámetros	Reducción máxima obtenida mediante la coagulación:
	0: nada de reducción + : 0 a 20 % de reducción ++ : 20 a 60 % de reducción +++ : > 60 % de reducción
<b>Minerales</b>	
Turbidez	+++
Materias en suspensión	+++
Fosfatos	+++
Nitratos	0
Amonio	0
Cloruros	0, +
Sulfatos	0, +
Fluoruros	++
Hierro	+++
Aluminio	+++
Manganeso	+
Cobre	+++
Zinc	++
Cobalto	0
Níquel	0
Arsénico	~+++As <sup>+5</sup> , ++As <sup>+3</sup>
Cadmio	++, +++
Cromo	~+Cr <sup>+6</sup> , +++Cr <sup>+3</sup>
Plomo	+++
Mercurio	++
Cianuros	0
<b>Orgánicos<sup>7</sup></b>	
Color	+++
Olor	0, +
Demanda química de oxígeno -DQO-	+++
Demanda biológica de oxígeno -DBO-	+++
N Kjeldhal <sup>8</sup>	+++
Fenoles	0
Hydrocarburos aromáticos policíclicos	++
Pesticidas	+++
Agentes de superficie (reaccionando al azul de metileno)	0,+
<b>Microorganismos</b>	
Virus	+++
Bacterias	+++
Algas	++

Para destruir la estabilidad del sistema coloidal, debe complementarse la adición del coagulante con un mezclado de gran intensidad que promueva la colisión entre partículas y que dé lugar a la aglomeración. En aguas de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos, como la arcilla o el reciclado de sólidos previamente asentados, para aumentar el número de colisiones entre las partículas.

Los coagulantes son sales de sulfato de aluminio o sulfato férrico que deben aplicarse en solución.

Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua, forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH típico para la clarificación - esto es, de 6 a 7-. Esta reacción de hidrólisis produce hidróxido de aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico (En nuestro país, la sal férrica no se utiliza porque dificulta la dosificación y tiende a colorear el agua).

La solución de sulfato de aluminio puede prepararse en dos formas:

- Dosificando el polvo en forma continua en un tanque de hidratación desde donde la solución se lleva al punto de aplicación. Se denomina **dosificación en seco**.
- Preparando la solución previamente, y dosificándola por gravedad o por bombeo en su punto de aplicación. Se suele llamar **dosificación húmeda**.

Tanto en el primero como en el segundo caso, los coagulantes están ya mezclados con el agua cuando se aplican.

El principal producto de la reacción es el hidróxido de aluminio.

El hidróxido de aluminio se disuelve dando, para valores de pH mayores de 7, aluminatos solubles  $\text{Al}(\text{OH})_2^-$ ,  $\text{AlO}_2^-$ ; y, para valores menores de 7,  $\text{Al}^{3+}$ .

El hidróxido de aluminio insoluble se produce cuando las concentraciones de iones negativos y positivos son iguales, neutralizándose. En ese momento, el valor del pH se llama **punto isoeléctrico**. En el agua destilada es  $\text{pH} = 5,5$ .

El agua del Río de la Plata coagula mejor a pH próximo a 7,5.

Los hidróxidos de aluminio insolubles precipitan, formando una masa esponjosa, el **floc de barrido**, que atrapa en su caída a los coloides o partículas suspendidas, las que se ven forzadas a decantar, incorporadas en el precipitado que desciende.

Esta forma de remoción de la turbiedad, llamada **coagulación por barrido**, es la que más frecuentemente se presenta en la planta, ya que en la práctica las dosis que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio.

Hemos visto que el coagulante reacciona con la alcalinidad del agua. Existen aguas que no poseen la alcali-

nidad necesaria, lo que trae aparejada la formación de un coágulo o floc pequeño que sedimenta con mucha dificultad. En general, se requiere 1 mg/l de alcalinidad expresada como  $\text{CO}_3^{2-}$ , por cada 2 mg/l de sulfato de aluminio con 17% de óxidos útiles ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). En estos casos, se hace necesario el agregado de sustancias que eleven la alcalinidad del agua natural. Este proceso recibe el nombre de **prealcalinización**, cuando se realiza antes del coagulante. Las sustancias utilizadas para la alcalinización son el carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  o el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Para la determinación de la **dosis óptima de coagulante** a utilizar en la planta de potabilización, se puede realizar dos tipos de ensayos diferentes -electroforesis y prueba de jarra-. El objetivo de estos ensayos es determinar la dosis que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, y la que hace que se forme un floc pesado y compacto que sedimente fácilmente.

La **electroforesis** consiste en determinar la carga de las partículas coloidales (potencial z). El aparato utilizado se llama zetámetro:

- En primer lugar, se determina el potencial zeta sobre el agua bruta, sin la adición de coagulantes.
- Luego, se va midiendo con dosis crecientes hasta anular la diferencia de potencial, lo que da la dosis de coagulante necesaria.

El **ensayo de coagulación-floculación**

(**prueba de jarra**) se realiza a una temperatura próxima a la que realmente tendrá el agua durante el tratamiento en la planta. Se utiliza un aparato que permite agitar, simultáneamente, el agua contenida en una serie de vasos, a una determinada velocidad:

- En cada vaso de un litro se pone el agua bruta a ensayar y una dosis de coagulante diferente.
- Inicialmente, se agita el agua a una velocidad de 100 rpm durante 20 a 30 segundos; y, luego, a 40 rpm durante 20 minutos.
- Se deja decantar y se observa cuál es el vaso que mejor resultado tiene, es decir, el que contiene el agua más clara. La dosis de coagulante utilizada en ese vaso es la que debe usarse en la planta.

Se emplea la prueba de jarra de agua cuando el contenido de sólidos suspendidos en la corriente que debe clarificarse es menor a 5.000 mg/L, aproximadamente. La clarificación del agua cruda, el asentamiento de sólidos biológicos y la mayor parte de las corrientes primarias de desecho se encuentran en esta categoría.

Los sólidos provenientes del tratamiento del carbón y de los minerales, y el lodo resultante de una clarificación primaria, exceden este valor; entonces, para la determinación de la dosis de coagulante, se realiza la prueba del cilindro.

Existen, básicamente, dos tipos de coagulación:

- la de **absorción-neutralización**, en la que los iones de  $Al^{3+}$  neutralizan las cargas de partículas (reducción de potencial z) y
- la de **barrido**, que se produce cuando hay precipitación de los hidróxidos de aluminio por sobresaturación de coagulante que atrapa e incorpora a los coloides en esta precipitación.

La primera dura, como máximo, un segundo; la segunda se completa en un lapso de uno a diez segundos. Para estos tiempos, resulta necesario dispersar el coagulante en la masa de agua en el menor tiempo posible, para lo cual es necesario efectuar una agitación violenta.

La **mezcla rápida** es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua, el mezclador rápido tiene, generalmente, el propósito de dispersar veloz y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como:

- resaltos hidráulicos en canales,
- canaletas Parshall,
- vertederos rectangulares,
- tuberías de succión de bombas,
- mezcladores mecánicos en línea,
- rejillas difusoras,
- chorros químicos,
- tanques con equipos de mezcla rápida.

Centrémonos, ahora, en la **floculación**.

El término floculación, decíamos, se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones, y permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es producido por el contacto entre partículas, debido al gradiente de velocidad.

Tres características esenciales definen la floculación.

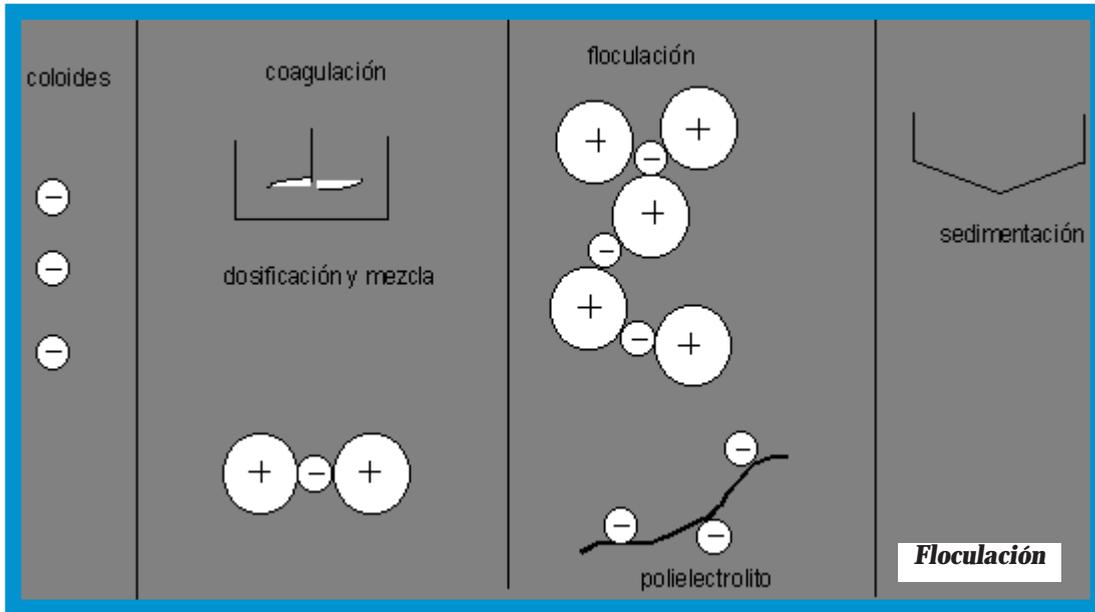
- la forma de producir la agitación,
- el gradiente de velocidad,
- el tiempo de retención o permanencia "P".

Los objetivos que se persiguen son:

- Reunir los microfloculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua
- Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación.

Tanto el gradiente de velocidad como la permanencia óptima varían según el tipo de agua; su definición se concreta por experimentación.

La velocidad con que se unen las partículas para formar el floc está determinada por el número de contacto entre ellas en la unidad de tiempo. Este número de contactos en un punto determinado del fluido en movimiento es directamente proporcional al gradiente de velocidad, a la concentración de partículas y al tamaño de éstas.



Por otra parte, según experiencias realizadas por Camp<sup>9</sup>, la concentración del floc es inversamente proporcional al gradiente de velocidad y a la permanencia P. Esto quiere decir que es posible variar el volumen del floc cambiando la energía que se le comunica a la masa líquida o variando su permanencia en el floculador:

- Al aumentar el gradiente de velocidad, el floc se hace más pequeño pero, a la vez, más compacto, y tiene una mayor velocidad de sedimentación.
- Al contrario, el floc producido con baja velocidad de agitación o gradiente, es grande y esponjoso, y sedimenta con dificultad.

El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un

tiempo de retención relativamente prolongado.



En nuestro equipo, la floculación - unida a la sedimentación- se produce en un decantador estático, luego del cual pasa al canal colector, por los vertederos.

El agregado del polielectrolito mejora la floculación. En el equipo no lo utilizamos; no obstante, es una opción que usted puede considerar para aplicar al suyo.



Según el tipo de energía usada para producir la agitación, los floculadores pueden clasificarse en:

- **Hidráulicos.** Para la agitación de la masa líquida, derivan su energía de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Consisten en

<sup>9</sup> Camp, William G. (2000) *Manejo de nuestros recursos naturales*. International Thomson Publishing, Madrid.

tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo: Inicialmente, el flujo va y viene alrededor de los tabiques haciendo un giro de 180° al final de cada uno; luego, el flujo sube y baja en condiciones similares. Según el sentido del flujo, se clasifican en floculadores hidráulicos de flujo horizontal y de flujo vertical.

- **Mecánicos.** Son aquellos que requieren de una fuente de energía externa que mueva un agitador en el tanque o serie de tanques. Los agitadores están constituidos por paletas que giran a baja velocidad; pueden ser de eje vertical o de eje horizontal. A mayor velocidad de giro, mayor energía entregada. Los agitadores pueden tener 2 o 3 paletas o travesaños unidos por una pieza central al eje. Cuando se usan agitadores de eje horizontal se hace necesario, por lo general, un pozo seco al lado del tanque de floculación para acomodar los motores que impulsan el sistema. Estos floculadores suelen diseñarse teniendo en cuenta que el área de las paletas no debe ser mayor del 15 al 20 % de la sección transversal del tanque -que no suele ser menor de 0,60 mm-; el espacio entre ellos y el fondo del tanque, no es menor de 0,30 m. Se diseñan siempre dos o más cámaras, con gradientes de velocidad decrecientes. El defecto de los floculadores mecánicos es la facilidad con que se producen cortocircuitos. Por esta causa, el ciclo de tareas oscila entre 15 y 45 minutos.

## Decantación

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas.

Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos a la vez. La sedimentación y la filtración, por lo tanto, resultan procesos complementarios:

- La **sedimentación** realiza la separación de los sólidos más densos que el agua, los que tienen una velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.
- La **filtración**, en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidos por cualquier causa y que, por lo tanto, no quedan removidos en el proceso anterior.

Se distinguen dos tipos de materias separables por sedimentación:

- Las **partículas granulares o discretas** que sedimentan independientemente unas de las otras con una velocidad de caída constante, y que no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido.
- Las **partículas más o menos floculadas** que resultan de una aglomeración natural o provocada de las partículas coloidales en suspensión.

Al descender en el líquido se adhieren o aglutinan entre sí, cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída.

Según sea el tipo de partículas a separar y la concentración de éstas en suspensión, se pueden diferenciar los siguientes modelos del proceso de sedimentación:

Clarificación por sedimentación			
Tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas, y entre las partículas y el resto del fluido.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores y presedimentadores.
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran, agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí en descenso, manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que van modificándose con el tiempo.	Compactación de depósitos de lodos.

Trataremos en detalle dos casos de fluido en movimiento y su relación con el tipo de decantador:

- El fluido se mueve con velocidad horizontal constante.
- El fluido se mueve con velocidad vertical constante.

Consideremos el caso de los **decantadores horizontales** convencionales.

Antes de desarrollar su metodología de diseño, es conveniente estudiar un modelo teórico de sedimentación, con clarificación tipo 1 (partículas aisladas), que nos va a ayudar a definir conceptos y a establecer parámetros, aplicables también a partículas aglomeradas.

El modelo es desarrollado por Hazen en 1904 y luego, continuado por Camp en 1946, quien lo define como el decantador hipotético en el cual la sedimentación se realiza de la misma

manera que en un recipiente de igual profundidad con un líquido en reposo. El modelo responde a las siguientes características.

- En el tanque de sedimentación se identifican cuatro zonas independientes -de sedimentación, de entrada, de salida, de lodos-.
- En la entrada, hay una distribución uniforme de partículas.
- En la zona de sedimentación, la dirección de flujo es horizontal; la velocidad es la misma en todos sus puntos.
- Toda partícula que entra en la zona de lodos queda atrapada y se considera removida.

La trayectoria de las partículas de diferente velocidad de sedimentación es recta, producto de la composición de los dos movimientos, el de desplazamiento del fluido -vf- y el de sedimentación crítica -vg-.

La velocidad de sedimentación crítica o carga superficial -vsc- es la velocidad de la partícula que ingresa a la zona de sedimentación en la parte superior del sedimentador y es retenida en la zona de lodos en la posición extrema de la base.

Las partículas con velocidades vsc o mayores son removidas en su totalidad; el conjunto de partículas con velocidades menores que vsc son retenidas en forma parcial.

Las partículas removidas con vsc o mayores, en un sedimentador ideal, son función del caudal y del área superficial; no de la altura del tanque ni del tiempo de retención o permanencia.

Este concepto sólo es aplicable al tanque ideal. En los tanques reales, el proceso de sedimentación se ve afectado por una serie de variables entre las que podemos enumerar:

- Corrientes de densidad:
  - Térmicas (diferentes temperaturas).
  - De concentración (diferente concentración de partículas).
- Corrientes debidas al viento.
- Corrientes cinéticas:
  - Alteraciones de la entrada.
  - Obstrucciones de la sedimentación.
  - Alteraciones de salida.

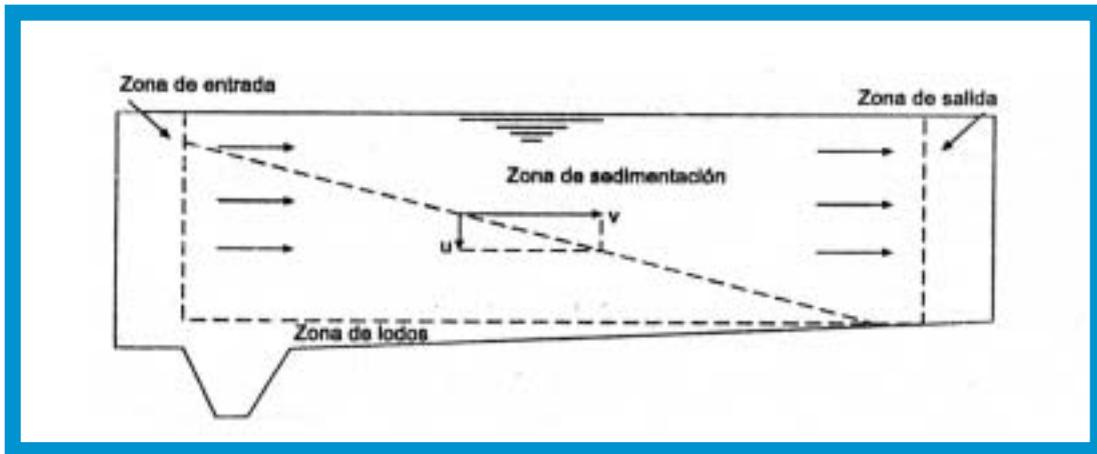
Debido a estas diferencias entre el tanque real y el ideal, no se puede considerar que la eficiencia de un decantador dependa únicamente de su carga superficial. Lo más correcto es afirmar que la carga superficial es más importante que la profundidad del tanque y que el período de retención.

Por otra parte, las partículas floculadas no son esféricas, y cambian de forma y peso al agruparse otras partículas durante la caída.

El estudio de la eficiencia de un decantador, entonces, sólo se puede hacer en forma práctica, o con modelos por medio de trazadores u otros sistemas.

En el diseño de sedimentadores reales, consideramos requisitos para cada una de sus 4 zonas:

- Zona 1. De sedimentación
- Zona 2. De entrada
- Zona 3. De salida
- Zona 4. De lodos



## Zona 1. De sedimentación

En esta zona es necesario considerar:

- **Carga superficial.** Es la velocidad mínima de sedimentación  $Q/A_h$ , que se espera que, en promedio, tenga un cierto porcentaje (70-98 %) de partículas de la suspensión.

La determinación de la carga superficial puede hacerse experimentalmente, efectuando un ensayo de sedimentación.

Según Acevedo Netto<sup>10</sup>, los flocs de sulfato de aluminio sedimentan con una velocidad comprendida entre 0.015 y 0.017 cm/s o sea entre 13 y 60 m/día. Por lo tanto, la carga superficial debería variar entre 13 y 60 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día.

Las cargas bajas, se usan en continuación con filtros de arena sola.

Las altas (35-45 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día), con filtros de lecho múltiple.

Tipo de instalación	Carga superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día)
Instalaciones pequeñas con operación precaria	20-30
Instalaciones proyectadas con nueva tecnología, con operación razonable	30-40
Instalaciones proyectadas con nueva tecnología, con buena operación	35-45
Instalaciones grandes con nueva tecnología, excelente operación y con auxiliar de coagulación cuando se necesite	40-60

<sup>10</sup> Universidad Católica Argentina:  
<http://www.ingenieroambiental.com/index.php?pagina=836>

- **Período de retención y profundidad.** Es el tiempo máximo que la partícula -con la mínima velocidad de sedimentación elegida- tarda en llegar al fondo. Por lo tanto, cuanto menor sea la profundidad, menor es el período de retención. Este concepto es aplicable a los sedimentadores de alta velocidad.

Los sedimentadores horizontales no pueden construirse con profundidades pequeñas, debido a que la velocidad horizontal no puede hacerse muy alta. Las profundidades varían entre 3 y 4,5 m

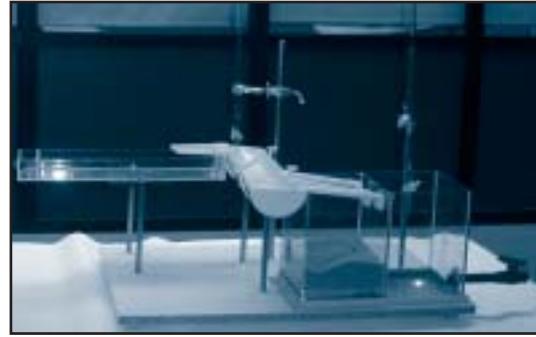
- **Forma de los sedimentadores.** Los más comunes son los rectangulares. La relación largo-ancho ( $L/A$ ) varía entre 4 y 5.
- **Velocidad horizontal y relación largo-profundidad.** En los sedimentadores horizontales es conveniente que la velocidad sea la más alta posible, para estimular la floculación pero sin perjudicar la eficiencia.

Si  $Q$  es el caudal,  $v_{sc}$  la velocidad de sedimentación crítica (carga superficial) y  $v_h$  es la velocidad horizontal, es:

$$Q = v_{sc} \cdot Ah ; Q = v_h \cdot Av$$

Como  $A_h$  (área horizontal) =  $A \cdot L$   
 $A_v$  (área vertical) =  $A \cdot h$

Resulta que  $L / h = v_h / v_{sc}$  -Relación entre la altura máxima y la altura mínima-



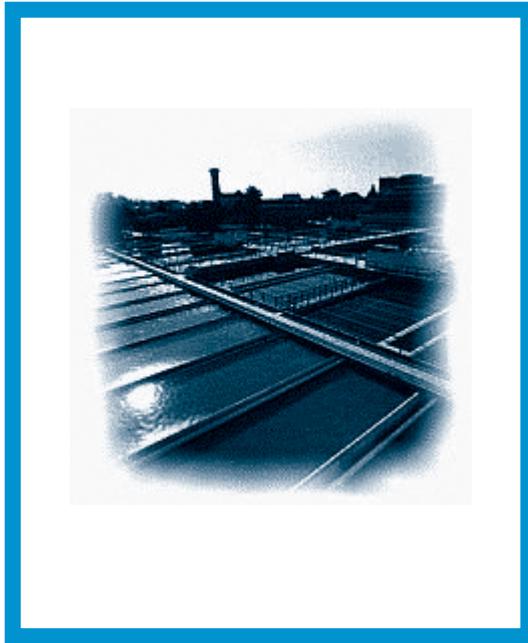
## Zona 2. De entrada

Resulta difícil hacer pasar el agua que proviene de los floculadores -con un gradiente de velocidad de entre 20 y 30  $s^{-1}$ - a decantadores donde el gradiente es de apenas 1  $s^{-1}$ , sin que se produzcan perturbaciones. Por lo tanto, la finalidad de la estructura de entrada es:

- Distribuir el afluente lo más uniformemente en toda el área transversal del decantador.
- Evitar que haya chorros de agua que produzcan movimientos rotacionales.
- Disipar la energía que trae el agua.
- Evitar altas velocidades que puedan arrastrar los sedimentos del fondo.

Es conveniente que las velocidades de entrada no sean mayores a 15 cm/s. Según Azevedo Netto<sup>11</sup>, los tabiques difusores deben tener un gran número de orificios pequeños, de forma circular: Los orificios más bajos deben estar a  $h/4$  a  $h/5$  del fondo; los orificios más altos a  $h/5$  a  $h/6$  de la superficie.

<sup>11</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto (1999) *Potabilización del agua*. Alfaomega. México.



### Zona 3. De salida

La salida del agua del decantador se realiza por vertederos.

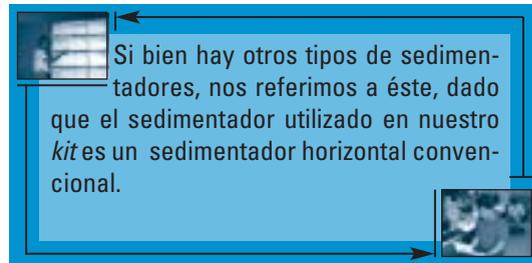
Generalmente, se especifica que la longitud de vertedero de salida debe ser tal que el gasto esté comprendido entre 1,67 y 3,3 l/s [6 y 12 m<sup>3</sup>/hora] por metro de vertedero.

### Zona 4. De lodos

Los lodos se depositan en el fondo del sedimentador de manera no uniforme. Entre el 60 y 90 % queda retenido en la primera mitad; esta cantidad es relativa, ya que varía con la turbiedad del agua y con la cantidad de productos químicos usados para la coagulación.

La remoción del lodo puede hacerse en forma:

- Continua: Se usan cadenas barreadoras que, por medio de zapatas, van empujando a los barros, lentamente, a un concentrador.
- Intermitente: Requiere vaciar el decantador cada cierto tiempo para que, durante el vaciado, se arrastren hidráulicamente los barros; se completa la limpieza del fondo, en forma manual.



Nos hemos referido hasta aquí a los procesos de coagulación, floculación y decantación.

Nos centramos, ahora, en la fase de...

## Alcalinización

Cuando se agrega el coagulante, al agua modifica su pH. Esta modificación del pH se explica por la reacción secundaria del coagulante con los carbonatos ácidos presentes en el agua. Uno de los productos de esta reacción es el dióxido de carbono, que queda disuelto en el agua dándole un carácter ácido.

Si no es tratada, el agua suministrada de esta forma atacaría no sólo a las cañerías de hierro sino también a las domiciliarias

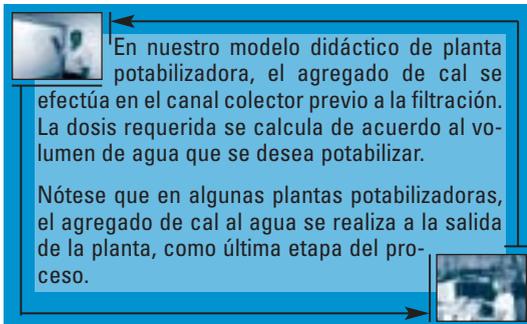
de cobre y plomo:

- El ataque a las cañerías de hierro produce aguas rojas, debido a la formación de hidróxido férrico en suspensión, el que colorealos artefactos de porcelana, lozas y esmaltes.
- En cuanto al ataque a cañerías de plomo, el marco regulatorio basado en el código alimentario, permite, en nuestro país, una concentración de plomo en el agua de consumo de 0,010 mg/L, ya que este metal es sumamente tóxico para el organismo humano.

Para evitar estos inconvenientes, el agua se alcaliniza en el canal colector de las plantas de potabilización.

Agregando el hidróxido de calcio, éste se combina con el dióxido de carbono presente en el agua. Quedan disueltas en el agua, entonces, sales de calcio que se depositan, luego, en los conductos de hierro o plomo, configurando una película protectora.

De este modo, el tratamiento con cal tiene la ventaja de suministrar agua para el consumo libre de plomo y otros metales, sumada a la reducción de gastos por la limpieza y desincrustación de las cañerías.



En nuestro modelo didáctico de planta potabilizadora, el agregado de cal se efectúa en el canal colector previo a la filtración. La dosis requerida se calcula de acuerdo al volumen de agua que se desea potabilizar.

Nótese que en algunas plantas potabilizadoras, el agregado de cal al agua se realiza a la salida de la planta, como última etapa del proceso.

El óxido de calcio, de fórmula  $\text{CaO}$ , también se denomina **cal viva**.

## Filtración

La producción de agua clara y cristalina es prerrequisito para el suministro de agua segura y requiere de la filtración. En la planta de purificación, la filtración remueve material suspendido -medido, en la práctica, como turbiedad- compuesto de flóculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia, puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración.

El primer filtro de arena se inventa en Escocia en 1804. En 1829, la Compañía del Río Támesis, en Londres, emprende la construcción de filtros lentos de arena y, en 1892, se demuestra su eficiencia para control biológico, en ocasión de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo.

El filtro está formado por:

- una capa de canto rodado grueso, utilizada como soporte,
- una capa de canto rodado fino,
- una capa de arena gruesa y, por último,
- una capa de arena fina.

El agua ingresa por la parte superior de los filtros y es recolectada, en el fondo, por aspiración, utilizando una bomba centrífuga que la recoge y la conduce a través de un sistema de cañerías.

En la etapa de filtración quedan retenidas las partículas que han logrado superar la decantación y que permanecen en el agua parcialmente clarificada.

Los filtros se van atascando y requieren ser

lavados, operación que se realiza con agua potable a contracorriente. Para ello, cada unidad filtrante de la planta cuenta con válvulas y dispositivos adecuados.

Generalmente, se piensa en los filtros como un tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante. Sin embargo, la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayoría de las partículas suspendidas puede pasar fácilmente a través de los espacios existentes entre los granos del medio filtrante.

En las principales instalaciones de filtración, los filtros suelen ser abiertos; los filtros cerrados se utilizan sólo para instalaciones pequeñas (menor de 40m<sup>3</sup>/h).

En las instalaciones de filtración de las estaciones de tratamiento de agua, el medio poroso suele ser arena, arena+antracita o bien carbón activo en grano; la materia en suspensión está constituida por flóculos o microflóculos procedentes de la etapa anterior de decantación o bien formados expresamente -cuando se sigue el proceso conocido como microfloculación sobre filtro o filtración directa-. Los filtros de estas instalaciones son, por lo general, abiertos, con velocidades de filtración de entre 6 y 15 m/h, empleándose los filtros cerrados a presión en instalaciones pequeñas (menores de 50 m<sup>3</sup> /h).

El espesor de la capa de arena suele oscilar entre 0,7 y 1 m, y la talla efectiva entre 0.8 y 1 mm, con un coeficiente de uniformidad entre 1,5 y 1,7. En el caso de lechos bicapa, el espesor de arena es 1/3 del total; sobre ella se ubica una capa de antracita de 2/3 del espesor total y talla efectiva entre 1,2 y 2,5 mm.

En una planta concreta, el espesor y la granulometría dependen de la velocidad de filtración, del tamaño y naturaleza de las partículas que van a ser retenidas, y de la pérdida de carga disponible.

La velocidad de filtración, para el caso de filtración rápida, suele ser del orden de 5 a 15 m/h (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h).

Uno de los parámetros más indicativos del comportamiento del filtro es la turbidez del agua filtrada. Al comenzar el período de filtración, partiendo de un lecho filtrante limpio:

- hay un período inicial de tiempo relativamente corto -**período de maduración**- en el que la turbidez del agua filtrada va disminuyendo hasta alcanzar un punto a partir del cual la turbidez se mantiene casi constante; éste es un período largo que depende de la altura de la capa del lecho;
- continuando la filtración, se llega a un punto a partir del cual la turbidez inicia un incremento; este punto marca el comienzo del **período de perforación** del filtro.

La pérdida de carga -que, en el caso de un filtro, en definitiva, nos indica el grado de dificultad que encuentra el agua a su paso a través de la arena- nos sirve para hacer un seguimiento del estado de atascamiento del lecho de arena con el transcurso del tiempo de filtración.

Al construir los filtros, se fija la pérdida de carga máxima a la que puede llegarse. Ésta es tal que el tiempo que tarda en alcanzarse es igual o ligeramente inferior al tiempo al cabo del cual se alcanza la perforación del filtro. De esta forma, se aprovecha el atascamiento de la casi totalidad de la altura del lecho de arena previsto.

Para conseguir una tasa o velocidad de filtración constante, se pueden utilizar:

- filtros que operan a **nivel constante**, con regulación aguas arriba y abajo mediante flotadores, válvulas de mariposa o sifones;
- filtros de **nivel variable**, en los cuales este nivel va aumentando a medida que aumenta la pérdida de carga como consecuencia del atascamiento o del colmado del lecho filtrante.

Llegado el momento de la máxima pérdida de carga de alguno de los filtros que forman la instalación, se interrumpe la entrada de agua a filtrar y se procede al lavado a contracorriente, que consta de tres fases:

1 Esponjamiento del lecho con aire a baja presión (entre 30 y 60 segundos).

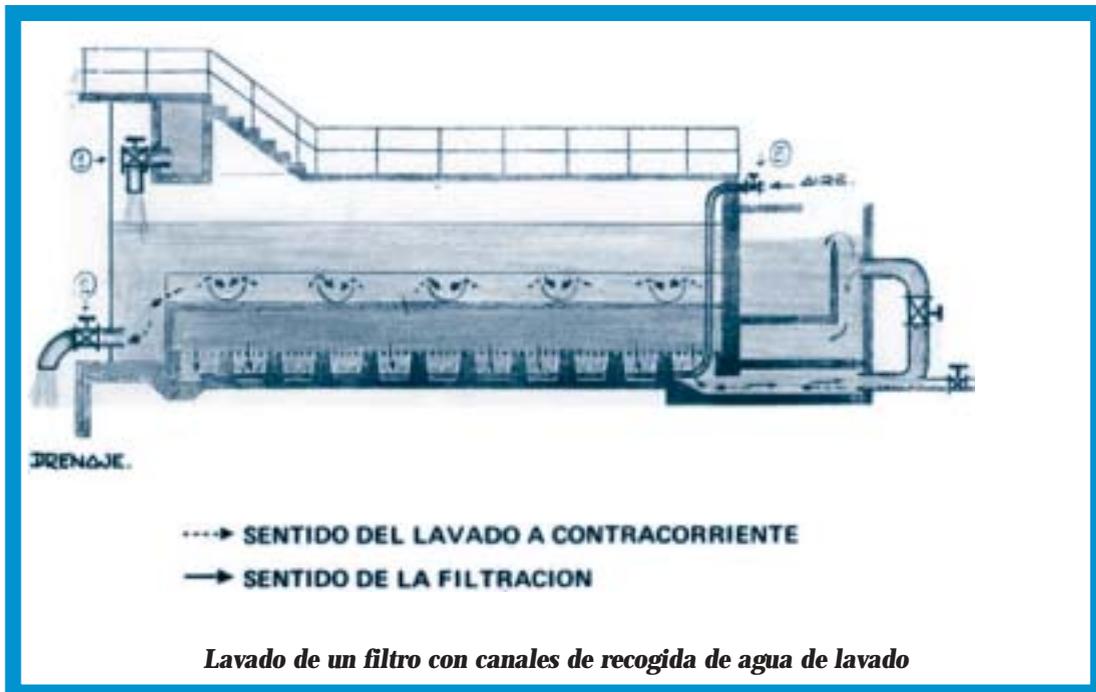
2 Lavado con aire y agua (entre 3 y 6 minutos).

3 Aclarado con agua (entre 12 y 7 minutos).

El lavado a contracorriente se realiza aprovechando la diferencia de nivel entre el canal de agua filtrada y el canal de recogida de agua de lavado.

En el lavado a contracorriente, el lecho de arena se expande. Entonces, el aire provoca que los granos de arena al rozar uno contra otro se desprendan de las partículas retenidas que, después, son arrastradas por el agua de lavado hacia los vertederos o canales de recogida del agua de lavado.

El proceso de lavado finaliza cuando esta agua resultante del lavado no muestra casi partículas en suspensión.



Un **lecho de medios apilados o de dos capas** (medio dual) es una respuesta para proporcionar una filtración de gruesa a fina en un patrón de flujo descendente. Los dos materiales seleccionados tienen distintos tamaños de grano y diferente gravedad específica (generalmente, se usa antracita molida con arena de sílice; la primera, con una gravedad específica de 1.6 y un tamaño de grano de 1 mm, se asienta más lentamente que la arena; la arena presenta una gravedad específica de 2.65 y tamaño de grano de 0.5 mm, de modo que la antracita de grano grueso descansa sobre la arena de grano fino después del enjuague).

En un lecho típico de medio dual, se colocan 50 centímetros de antracita encima de 25 centímetros de arena. La antracita gruesa permite una penetración más profunda en el lecho y proporciona jornadas de filtro más largas, a velocidades mayores de filtración. La arena fina pule al efluente.

Así como el medio dual de grueso a fino es más efectivo que el filtro de un solo medio, pueden lograrse mejoras posteriores introduciendo bajo la arena un **tercer medio** de grano más pequeño y más pesado. El granate -con una gravedad específica de 4.5 y un grano muy fino- se asienta más rápidamente que la arena de sílice y puede emplearse como capa de fondo. Este tipo de filtro opera con flujos grandes, y ofrece una penetración más profunda y jornadas más largas para el filtro, que los filtros de medio único o de medio dual.

Es crítica la velocidad de flujo a través del filtro, ya que limita el rendimiento y determina el número de filtros necesarios. En general, a medida que el flujo aumenta, también lo hace la penetración en el filtro. La velocidad del flujo

está limitada por la presión disponible y por las dimensiones del medio: A medida que el medio empieza a cargarse con sólidos, la velocidad neta por área de flujo dado aumenta hasta que fuerzas cortantes rompen los sólidos, que escapan en el efluente. En general, los filtros están diseñados para ser enjuagados antes de que se produzca este rompimiento en un punto determinado por la pérdida de presión -aproximadamente, 4 bar-.

La temperatura del agua afecta al desempeño del filtro debido a la viscosidad: a 1 °C, la viscosidad del agua es 44 % mayor que a 22 °C.

Por otra parte, el enjuague mejora con agua fría ya que: A mayor viscosidad más efectiva es la remoción de los sólidos del lecho. La formación de flóculos es mucho más lenta a temperaturas bajas, de modo que la capacidad de filtración en una planta determinada puede variar con la estación del año. En verano, los flóculos pueden permanecer en la superficie mientras que en invierno penetran profundamente en el filtro.

La **selección del medio filtrante** es determinada por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado<sup>12</sup>.

El medio ideal debe ser de un material durable, capaz de retener la máxima cantidad de sólidos y ofrecer facilidad para limpiarse con una cantidad mínima de agua de lavado. En una arena gruesa, la permeabilidad es mayor que en una arena fina, aunque la porosidad y el volumen de vacíos sean iguales. Los poros pequeños de la arena fina

<sup>12</sup> Kawamura S. (1975) *Design and Operation of High Rate Filters*. JAWWA-American Water Works Association-, vol 67.

causan mayor resistencia al flujo, o sea, menor permeabilidad.

El tamaño efectivo -TE- es el tamaño de partículas o del grano, en mm, tal que un 10 % del material en peso es más pequeño que dicho tamaño; en otras palabras, es el tamaño del tamiz, en mm, que permite el paso del 10 % del medio filtrante.

Las arenas se especifican por:

- El tamaño efectivo (TE): Diámetro del tamiz por el que pasa el 10 % en peso de un determinado volumen de arena.
- Coeficiente de uniformidad (CU): Relación entre el diámetro del tamiz por el que pasa el 60 % de arena en peso, con respecto al tamaño efectivo.

$$TE = d_{10}$$
$$CU = \frac{d_{60} \text{ Tamaño de partícula del 60\% que pasa}}{d_{10} \text{ Tamaño de partícula del 10\% que pasa}}$$
$$CU = \frac{d_{60}}{TE}$$

La arena es el medio filtrante más usado; posiblemente, por ser el más económico. En filtros rápidos de arena:

- la profundidad del lecho es de 60-70 cm,
- el TE de 0,45 - 0,55 mm y
- el CU de 1,2 - 1,7.

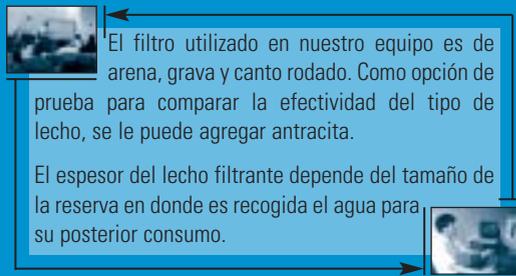
La arena para filtros:

- tiene una solubilidad en ácido clorhídrico al 40 % m/V, en 24 horas, menor del 5 %,
- tiene una densidad relativa mayor de 2,5 y
- es limpia y bien gradada, según normas AWWA -American Water Works Association- B100-53.

Como medio granular filtrante, en ocasiones se usa carbón de antracita triturado en lugar de arena. Según la AWWA, estándar B100-72, la antracita para filtros debe ser limpia, dura -con dureza mayor de 2,7 en la escala de Mohs-, de densidad relativa mayor de 1,4, solubilidad en ácido menor del 1 % y coeficiente de uniformidad menor de 1,7. En filtros de antracita se puede usar un lecho de 60-70 cm con tamaño efectivo de 0,70 mm o mayor.

Un filtro de medio dual arena-antracita, usa alrededor de 60 cm de antracita de 1 mm, sobre 15 cm de arena. Debido a la diferencia de densidades -antracita: 1,4; arena: 2,65-, la antracita de tamaño apropiado según el tamaño de la arena, permanece encima de la arena durante el lavado.

Cuando el lecho contiene grava, el tamaño y la profundidad de la capa inferior de grava dependen del sistema de drenaje usado. El lecho ideal de grava es uno en el cual ésta es casi esférica de forma y en el que existe un incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La profundidad del lecho de grava puede variar entre 15 y 60 cm; es usual una profundidad de 45 cm en filtros rápidos. La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.



El filtro utilizado en nuestro equipo es de arena, grava y canto rodado. Como opción de prueba para comparar la efectividad del tipo de lecho, se le puede agregar antracita.

El espesor del lecho filtrante depende del tamaño de la reserva en donde es recogida el agua para su posterior consumo.

## Desinfección

El agua filtrada, a pesar de ser un agua com-

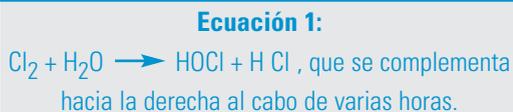
pletamente clarificada, puede contener microorganismos. La desinfección se realiza con el fin de obtener -desde el punto de vista microbiológico- un agua apta para el consumo humano; consiste en el agregado de cloro que asegure la eliminación de bacterias nocivas.

Esta cloración se realiza conjuntamente, en el mismo sistema de tubería que ingresa a las reservas. En estas condiciones, el agua ya es potable y es conducida a los tanques de reserva, desde donde se distribuye a la ciudad mediante las bombas adecuadas.

El cloro es un gas ampliamente distribuido en la naturaleza; su capacidad de reacción es tal que es muy extraño encontrarlo como gas libre, así como es conocido el peligro potencial para la salud al trabajar en su manufactura y en sus usos industriales. El cloro gas, en sí, es un gas cáustico, irritante, amarillo verdoso, cuyo peso supera el doble del peso del aire. Es manufacturado por el pasaje de electricidad (proceso de electrólisis) a través de una solución de sal de mesa; entonces, es usualmente comprimido a líquido, para empaque y almacenamiento. El manejo y uso de ambos -cloro líquido y cloro gaseoso- requiere atención a las precauciones de seguridad.

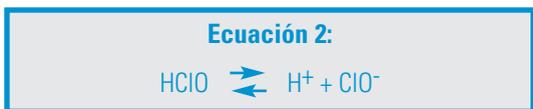
El cloro es sumamente soluble, únicamente en agua y continúa siendo la sustancia química que más económicamente, y con mejor control y seguridad se puede aplicar al agua para obtener su desinfección.

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



Para concentraciones de cloro menores de 1.000 mg/l -el caso general, en la práctica-, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como podemos observar en la ecuación 1, la adición de cloro gaseoso al agua baja su alcalinidad y, consecuentemente, su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl y del ácido hipocloroso, HClO.

El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito.



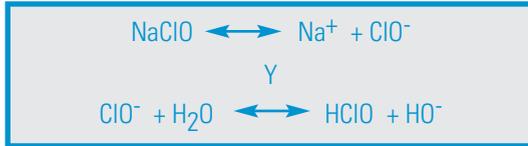
La ionización del ácido hipocloroso depende de la concentración de ion hidrógeno -o sea, del pH-:

- A valores de pH menores o iguales que 6, se inhibe y el residual es, predominantemente, HClO.
- A pH igual a 7.7 los residuales de HClO y ClO<sup>-</sup> son aproximadamente similares.
- A pH igual o mayor que 9.0, casi todo el residual es ClO<sup>-</sup>.

Las especies HClO y ClO<sup>-</sup> en el agua, constituyen **cloro libre disponible** o **residual de cloro libre**.

El ácido hipocloroso es el desinfectante más efectivo. En cambio, el ion hipoclorito es relativamente inefectivo en comparación con el ácido hipocloroso; por ello, la desinfección letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. En general, se considera que el HClO es 80 a 100 veces más efectivo que el ClO<sup>-</sup> para exterminar E. Coli.

Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio, se tiene:



En este caso, se presenta un incremento de la alcalinidad que depende de la magnitud con que el  $\text{ClO}^-$  reacciona con el agua.

Según el tipo de agua, la desinfección requiere un mayor o menor período de contacto y una mayor o menor dosis de desinfectante. Generalmente, un agua relativamente clara, con pH cerca de la neutralidad, sin muchas materias orgánicas y sin fuertes contaminaciones, requiere de unos cinco a diez minutos de contacto con dosis menores a 1 mg/l de cloro. En cada caso, debe ser determinada la dosis mínima requerida para que permanezca un pequeño residuo libre que asegure un agua exenta, en todo momento, de agentes patógenos vivos.

Cuando se aplican soluciones como las de hipoclorito de calcio o de sodio, debe tomarse en cuenta su contenido de cloro, expresado en la forma de ácido hipocloroso, con objeto de fijar las dosificaciones. También deben considerarse las concentraciones de las soluciones. Por ejemplo, un producto comercial, el hipoclorito de calcio, con 98 % de pureza, da:



En este caso, no sólo aumenta la alcalinidad sino la dureza total del agua.

El peso molecular del ácido hipocloroso es de, aproximadamente, 52; el del hipoclorito

de calcio es de, aproximadamente, 144.

Luego,  $2 \times 52 / 144 = 0.722$  y  $0.722 \times 0.98 = 0.71$ ; es decir, 71 % de Cl utilizable en la forma de ácido hipocloroso.

El agente desinfectante se puede presentar en tres estados físicos: gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ), líquido (solución acuosa de hipoclorito de sodio) o sólido (pastillas de hipoclorito de calcio). El equipo requerido para la dosificación depende del agente elegido.

- **Aplicación directa del cloro gaseoso.** Este sistema de aplicación requiere una cierta infraestructura y adiestramiento de los operarios, ya que el cloro viene embalado en cilindros y, para poder pasarlo a una solución acuosa, requiere de agua a presión. Por la complejidad y peligrosidad en el manejo del cloro gaseoso, este sistema es más utilizado en plantas de purificación convencionales para acueductos de gran tamaño.
- **Aplicación del agente sólido.** En instalaciones pequeñas, resulta ser más económico y fácil el empleo de hipocloritos (sales del ácido hipocloroso) que pueden obtenerse comercialmente en cualquiera de estas formas:

a **Hipoclorito de calcio.** El hipoclorito de calcio más usado es el HTH -*High Test Calcium Hypochlorite*- que se presenta en forma granular, en polvo o en tabletas. Su aplicación puede ser directa o mediante la preparación previa de una solución acuosa.

b **Hipoclorito de sodio.** Este hipoclorito se presenta en forma líquida, en diferentes concentraciones.

- **Aplicación de hipocloritos líquidos.** Éstos son dosificados mediante el empleo de hipoclo-

radores, bombas de desplazamiento positivo, de diafragma o pistón, dotados de elementos resistentes a la corrosión del cloro. Para hacer la dosificación de un hipoclorito, es necesario hacer una dilución de la concentración inicial de cloro de 0.5 a 1.0 por ciento en peso.

El cloro es un elemento muy corrosivo y, por lo tanto, requiere precaución en su manejo; adicionalmente, los equipos empleados deben ser de materiales resistentes a la corrosión.

Muchos factores determinan la exacta cantidad de cloro a dosificar en una aplicación dada para obtener los resultados deseados. Los dosificadores de gas cloro funcionan abarcando una amplia gama de dosificaciones y, normalmente, pueden convertirse fácilmente en dosificadores de capacidad mayor o menor.

El caudal máximo de un clorador es, por lo menos, veinte veces su dosificación mínima, con cualquier capacidad dada del tubo medidor.

La cantidad de cloro requerida para efectuar la desinfección (dosificación) o cualquier otro tipo de tratamiento depende

de:

- la demanda de cloro en el agua,
- la cantidad y tipo de cloro residual requerido,
- el tiempo de contacto del cloro en el agua,
- la temperatura del agua,
- el volumen del flujo a tratar;
- adicionalmente, todo tipo de restricción impuesta por las autoridades dedicadas a la salud pública.

Las diferentes sustancias presentes en el agua influyen en la demanda de cloro y complican su uso para la desinfección. Por lo tanto, es necesario aplicar suficiente cloro, no sólo para destruir organismos sino también para compensar el cloro consumido por esas sustancias.

El tipo y cantidad de cloro residual requerido para una aplicación particular, así como el tiempo de contacto necesario, varían de tiempo en tiempo y de lugar en lugar. Los resultados obtenidos en otras instalaciones pueden ser utilizados como una guía en la selección del tratamiento a seguir; asimismo, es conveniente realizar algunas pruebas de laboratorio en plantas existentes o en plantas pilotos para obtener el tipo de tratamiento requerido; estas pruebas son especialmente importantes cuando se desea realizar un tipo de cloración con varios objetivos (desinfección y otras finalidades).

El agua de la ciudad de Buenos Aires en final de red tiene una concentración de cloro libre mayor a 0,2 mg/L; para ello, cuando sale de la reserva, la concentración de cloro es de aproximadamente 1-1,2 mg/L. Según el código alimentario, se considera deficiente una concentración de cloro libre 0,2 mg/L.

**Dosificación** es la cantidad de cloro añadida al agua o aguas residuales, expresada en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l).

**Demanda** es la cantidad de cloro requerida para reaccionar con las sustancias orgánicas e inorgánicas, y destruir las bacterias contenidas en el suministro de agua.

**Cloro residual** es la cantidad de cloro remanente después de un período de contacto especificado. Es necesario mantener un nivel de cloro residual para asegurar el tratamiento completo y adecuado; implica un margen de seguridad contra una subsiguiente contaminación.

**Contrapresión** es la presión en una tubería en la que el cloro tiene que inyectarse, más la pérdida de presión en la tubería de solución desde el inyector al punto de aplicación.

Tratamiento de cloración para...	Dosificación típica en partes por millón
Agua: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refrigeración</li> <li>• Enfriamiento</li> <li>• Lavado a chorro</li> <li>• Pozo</li> <li>• Superficial</li> </ul>	3-5 20 50 1-5 1-10 <sup>13</sup>
Aguas residuales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas residuales</li> <li>• Efluente filtro percolador</li> <li>• Efluente fango activado</li> <li>• Efluente filtro de arena</li> </ul>	15-20 Dosis promedio 3-8
Algas	3-5
Bacterias	3-5
Bacterias ferrosas	1-10, variando con la cantidad de bacterias a controlar
Cianuro: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de cianato</li> <li>• Destrucción completa</li> </ul>	2 veces el contenido de cianuro 8, 4 veces el contenido de cianuro
Eliminación del color	La dosificación depende del tipo y de la cantidad de color que se desee eliminar. Puede variar desde una dosificación de 1 hasta una de 500 ppm
Limo	3-5
Olor	1-3
Piscinas	1-5
Precipitación de hierro	0.64 veces el contenido de Fe
Precipitación de manganeso	1.3 veces el contenido de Mn
Reducción de DBO	10
Sabor	1-3
Sulfuro de hidrógeno: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de sabor y olor</li> <li>• Destrucción</li> </ul>	2 veces el contenido de H <sub>2</sub> S 8, 4 veces el contenido de H <sub>2</sub> S
Lodo activado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de masa de lodo</li> <li>• Condensación de lodo</li> </ul>	1 - 8 Variable
Reducción de DBO	6 - 12
Desinfección: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas cloacales crudas (frescas)</li> <li>• Aguas cloacales crudas (del séptico)</li> <li>• Aguas cloacales clarificadas (frescas)</li> <li>• Aguas cloacales clarificadas (del séptico)</li> <li>• Efluente, precipitación química</li> <li>• Efluente del filtro de goteo</li> <li>• Efluente del lodo activado</li> <li>• Efluente del filtro de arena</li> </ul>	6-12 12-25 5-10 12-40 3-40 3-10 2-8 1-5
Control de olor: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcantarilla, recolectoras</li> <li>• En la planta</li> </ul>	1,5 - 10 5 - 10
Operación del filtro de goteo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de olor</li> <li>• Hoyo del filtro</li> <li>• Control de moscas en el filtro</li> </ul>	2 - 6 5 - 40 3 - 10

<sup>13</sup> Existen muchas variables que pueden afectar al agua de superficie y al tratamiento requerido.

**Control de producto no conforme**
**I. Requisitos de calidad: Marco regulatorio**

<b>1. Características físicas</b>		1998			
Color		10			
Olor y sabor					
Turbiedad UNT (4)		<1,0			
<b>2. Características químicas</b>					
2.1. Sustancias inorgánicas	Unidades	Metas	2.2. Sustancias orgánicas	Unidades	Metas
Alcalinidad total (Co <sub>3</sub> Ca)	mg/l	400	THM	µg/l	100
Aluminio residual	mg/l	0,2	Aldrin + Dieldrin	µg/l	0,03
Arsénico (As)	mg/l	0,05	Clordano	µg/l	0,1
Cadmio (Cd)	mg/l	0,005	DDT (Total isómeros)	µg/l	1
Cianuro (Cn)	mg/l	0,10	Detergentes	µg/l	0,50
Cloro activo (1)	mg/l	0,2-0,5	Heptacloro y heptacloroepoxid	µg/l	0,1
Cloruro	mg/l	250	Lindano	µg/l	3
Cobres (cu)	mg/l	1,0	Metoxicloro	µg/l	30
Cromo (cr)	mg/l	0,050	2,4 D	µg/l	100
Dureza total (Co <sub>3</sub> Ca)	mg/l	400	Benceno	µg/l	10
Fluoruro (F)	mg/l	2,0	Hexacloro benceno	µg/l	0,01
Hierro total (Fe)	mg/l	0,20	Monocloro benceno	µg/l	0,003
Manganeso (Mn)	mg/l	0,05	1,2 Dicloro benceno	µg/l	0,0003
Mercurio (Mg)	mg/l	0,001	1,4 Dicloro benceno	µg/l	0,0001
Nitrato (NO <sub>3</sub> -) (3)	mg/l	45	Clorofenoles	µg/l	1
PH (Pozos)	mg/l	6,5-8,5	Tetracloruro de carbono	µg/l	3
PH (Plantas) (5)	mg/l	pHs+/-1,0	1,1 Dicloroeteno	µg/l	0,3
Plomo (Pb)	mg/l	0,010	Tricloroetileno	µg/l	20
Selenio (Se)	mg/l	0,010	1,2 Dicloroetano	µg/l	10
Sólidos disueltos totales	mg/l	1500	1,1, 1 Tricloroetano	µg/l	200
Sulfatos (SO <sub>4</sub> =)	mg/l	400	Cloruro de Vinilo	µg/l	2
Zinc (Zn++)	mg/l	5	Benzopireno	µg/l	0,01
			Etilbenceno	µg/l	0,7
			Estireno	µg/l	<0,1
			Tolueno	µg/l	1
			Tetracloroetano	µg/l	10
<b>3. Características bacteriológicas</b>					
Bacterias aeróbicas	UFC/ml	100			
(Agar 37 °C 24 h.)	UFC/ml	MNP/100ml			
Bacterias coliformes a 37 °C (Caldo Mc. Conkey o verde brillante)					
Escherichia Coli <1	U/ml	U/ml	Ausencia		
Pseudomonas aeruginosas <1	U/100ml		Ausencia		
<b>II. Requisitos de cantidad</b>					
Altura de reserva: mayor o igual a 2,50 m.					

(1) Sujeto a la necesidad de calidad bacteriológica en el punto de suministro del usuario.

(3) En los casos en que no se pueda suministrar agua con un contenido inferior, el Ministerio de Salud debe autorizar el abastecimiento. Además, debe advertirse a la población sobre no usar esa agua para la preparación de la alimentación de lactantes.

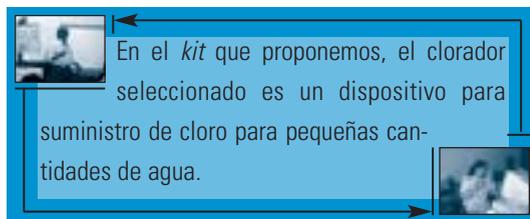
(4) 95 % del tiempo.

(5) 90 % del tiempo.

El término *demanda de cloro* poco significa para tratamientos de cloración de aguas negras. La expresión más aplicable es la de **requerimiento de cloración**, que se define como la cantidad de cloro que debe ser agregada por unidad de volumen para obtener el resultado deseado bajo condiciones específicas. El resultado puede ser basado en cierto número de criterios, tal como una densidad de coliformes estipulada, una concentración de cloro residual específica, la destrucción de un constituyente químico y otros criterios.

Cuando el cloro es utilizado para un propósito como el control del olor, la reducción del lodo mineral (légamo), el control de insectos en un filtro de goteo o el control de masa de lodo activado, su requerimiento se define como la cantidad de cloro que debe ser agregada para producir el resultado deseado. En la mayoría de estos casos, el requerimiento de cloro se determina en la planta; ocasionalmente, las pruebas de laboratorio pueden ser más convenientes.

Una vez recopilada la información básica requerida, se selecciona de los catálogos del fabricante el tipo y modelo del clorador.



Después de haber seleccionado el clorador, el próximo paso consiste en la selección de los accesorios para completar la instalación. Entre los accesorios más comunes para una completa instalación de un equipo de cloración, se encuentran:

- Alarmas y equipos de advertencia. Su función primordial es indicar todo tipo de falla, alta o baja presión de agua y/o cloro alto o bajo, o vacío de operación del clorador.
- Evaporadores de cloro. Permiten una alta *ratio* de vaciado de cloro líquido de los cilindros de cloro y su transformación en cloro gaseoso; se utilizan, principalmente, en instalaciones de gran capacidad.
- Registradores de flujo de cloro. En forma automática y continua, registran la *ratio* de flujo de cloro a través del clorador, permitiendo mantener un registro de cloro aplicado, durante un período de tiempo.
- Paneles de distribución de la solución de cloro.
- Máscaras de gas para la protección del personal, en caso de una fuga de cloro.
- Indicadores remotos del residual. Son operados por los registradores del residual; al estar instalados en diferentes lugares de la planta, mantienen informados a los operadores acerca del residual producido.
- Registradores de cloro residual.
- Equipos para la medición del residual. Permiten un control apropiado de la cantidad de cloro requerido.
- Válvulas y conexiones para agua, cloro líquido y cloro gaseoso.
- Balanzas de varios tipos. Pesan los cilindros de cloro e indican el consumo de cloro contenido en aquéllos.
- Detector de cloro. Activa una alarma en caso de escape de cloro; contiene un dispositivo que analiza el aire ambiental; al alcanzar éste un nivel de concentración inaceptable, activa una alarma luminosa o sonora.
- Bombas de agua del tipo reforzado *-booster-* o de solución. Permiten inyectar la solución de cloro en los puntos de aplicación.

# 3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

## Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

### El producto

Con el diseño y la construcción de la planta, los alumnos pueden analizar procesos y productos vinculados con la potabilización, y desarrollar métodos y técnicas de análisis de aguas.

partícula coloidal adecuada para la remoción de impurezas; para ello se incorpora un mezclador mecánico

El segundo componente en orden de importancia es el **decantador**. En nuestro kit se

trata de un decantador estático horizontal.

El **canal colector** es el tercer componente; está comunicado con el decantador mediante las bandejas portables que transportan el agua desprovista de impurezas al canal colector.

El recurso de mayor importancia, luego del decantador, es el **filtro**. De acuerdo con el manto filtrante seleccionado, se

optimiza la calidad del agua de consumo. En nuestra planta, el filtro consta de arena, grava, canto rodado y carbón vegetal.

El filtro está armado en una pecera que contiene un separador de vidrio en cuya base un niple actúa como conector entre el filtro y la reserva de agua tratada.

Equipo terminado



### Los componentes

Cada componente del *kit* tiene su importancia específica en el proceso.

El **floculador** permite lograr un tamaño de



**Pecera con filtro y división**

El resto de los componentes está formado por material de laboratorio, reactivos químicos y el bidón para el agua a tratar.

## Los materiales, herramientas e instrumentos

El *kit* didáctico es montado con piezas disponibles en ferreterías y negocios de materiales para construcción, o en negocios de venta de material de laboratorio y productos químicos. Su manufactura requiere algunos cuidados, ya que existen momentos durante el montaje en los que se necesita manipular herramientas cortantes y algunos reactivos cuyo tratamiento debe realizarse con sumo cuidado.

Al desarrollar la manufactura de la plancha con la ayuda de los alumnos, es necesario que usted supervise las tareas, certificando que ningún alumno corra peligro durante el montaje.

A continuación listamos las piezas, las herramientas y los complementos necesarios para montar el equipo:

- Bidón de 5 litros con canilla.
- Recipiente de plástico de alta densidad para el floculador, capacidad mínima 4 litros.
- 2 placas de acrílico transparente de 3 mm de espesor de 11,2 cm de largo por 4,5 cm de alto.
- 2 placas de acrílico transparente de 3 mm de espesor de 45 cm de largo por 4,5 cm de alto.
- 1 plancha de acrílico transparente de 11,5 cm de ancho por 45 cm de largo.
- 1 caño de desagüe de 4" de diámetro cortado por la mitad; largo 23 cm
- 1 tapa ciega para cerrar los extremos del caño de desagüe, cortada a 180°.
- 1 metro de bandeja portacables.
- 1 pecera de 35 cm de largo x 18 cm de ancho x 24 cm de alto.
- 1 vidrio de 17,3 cm de ancho x 23,8 cm de alto 3 mm de espesor.
- Niples de PVC con rosca externa, de cualquier color.
- Canilla para la salida el agua de la reserva.
- Plancha de melanina de 1m de largo por 60 cm de ancho y 5 cm de alto.
- 2 media caña de plástico.
- Tuercas y arandelas, cantidad necesaria.
- Remaches, cantidad necesaria.
- 5 metros de barral de madera de diámetro de un palo de escoba.
- Adhesivo silicona.
- Adhesivo para PVC.
- Esmalte sintético ½ litro.
- Tubos de PVC para conexiones.
- 1 metro de malla cerrada de plástico, tipo mosquitero.
- Motor de 6 voltios. Imán permanente
- Cables para conexión y conectores.
- Hélice para lancha.

Materiales y sustancias de laboratorio:

- 2 bureta de 25 ml.
- 1 dosificador de suero
- 3 portaburetas.
- 3 agarraderas para bureta.
- 3 pipetas de 10 ml.
- 3 vidrio de reloj.
- 1 caja de papel de pH universal o solución de indicador universal de pH.
- Varillas de vidrio.
- Tubos de vidrio acodados.
- 3 filtros.
- Papel de filtro.
- Rollo de papel para cocina
- 3 vasos de precipitado de 100 ml.
- 3 matraz aforado de 250 ml.
- Arena, cantidad necesaria.
- Grava, cantidad necesaria.
- Carbón vegetal, cantidad necesaria.
- Canto rodado, cantidad necesaria.
- Agua destilada.
- Solución de sulfato de aluminio al 6 % m/m.
- Solución de óxido de calcio al 6 % m/m.
- Solución de hipoclorito de sodio 0,5 g  $\text{Cl}_2$  /l de solución.
- Termómetro de alcohol, escala de -10 °C a 110 °C.
- Cloroformo.

Herramientas

- Sierra con arco.
- Morcetas.
- Pinza universal.
- Alicata.
- Tijera para cortar chapa o PVC.
- Tijera.
- Llaves fija.
- Llaves tubo.
- Marcador indeleble.
- Pistola de encolar.
- Limas.
- Escuadra.
- Morza.
- Martillo.

- Trincheta.
- Jeringa y aguja descartables.
- Frasco chico de vidrio.

Instrumentos:

- Cinta métrica
- Regla metálica

## La construcción

Organizamos el proceso de construcción en cuatro etapas:

1. construcción de la base,
2. construcción del decantador,
3. construcción del canal colector,
4. construcción del filtro y de la reserva.

### 1. Construcción de la base

La base es un estante de alacena de 1m de largo por 60 cm de ancho y 5 cm de alto.

Si en su escuela tiene otros materiales que se adapten y que sean resistentes a la humedad y a los productos químicos presentes en el proceso, los pueden utilizar.

### 2. Construcción del decantador

- 2.1. El acrílico ya está cortado con las dimensiones precisas. Es muy importante que los cortes de las planchas sean exactos para que no queden espacios que impidan el armado correcto.
- 2.2. Se liman las asperezas del acrílico y, luego, se limpia el polvillo para que

no interfiera en el sellado de las partes.

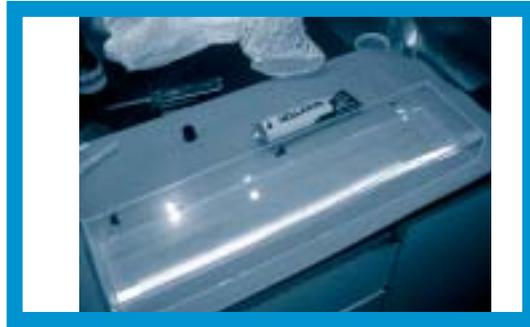
- 2.3. Se retiran las láminas protectoras del acrílico.
- 2.4. Se realiza un corte en el centro de una de las paredes menores, lugar por donde va a entrar el agua al decantador.
- 2.5. Se llena la jeringa con cloroformo; se unen las paredes de acrílico del decantador.
- 2.6. Se dispone la base del decantador sobre la mesada de trabajo (pieza de acrílico de 45 cm x 11,5 cm) y, sobre el largo, se apoya la pared lateral de mayor longitud.



- 2.7. Se comienza a pegar desde el centro hacia los extremos, para asegurar una buena adherencia. Este procedimiento se realiza con las dos paredes de mayor longitud.
- 2.8. Se pegan, luego, las dos paredes de los extremos.
- 2.9. Se termina la construcción pegan-

do una lámina de acrílico del mismo tamaño que las paredes de los extremos, a una distancia de 1,5 cm de la base y a, aproximadamente, 3 cm de la entrada de agua del decantador.

- 2.10. Una vez armado, se termina de sellar con silicona para prevenir pérdidas.



Una vez extendida la cantidad necesaria de silicona, moje el dedo con detergente y páselo sobre la aplicación, para lograr un alisado perfecto. Deslizando un cubito de hielo sobre la silicona se logra el mismo efecto.

- 2.11. Se deja secar el decantador por el término de un día, lejos de corrientes de aire.

### 3. Construcción del canal colector

- 3.1. Para construir el canal colector, se corta el caño de 4" por la mitad, con una sierra.



3.2. Se corta la tapa ciega a 180°.



3.3. Se pegan las tapas en los extremos del caño de desagüe con un adhesivo especial para PVC.



3.4. Se unen las partes pegadas con una morceta durante 20 minutos, para lograr un fraguado óptimo.



#### 4. Construcción del filtro y de la reserva

4.1. Para la construcción del filtro y de la reserva se dispone de una pecera de 35 x 18 x 20 cm con una perforación para la canilla por donde sale el agua a la red-

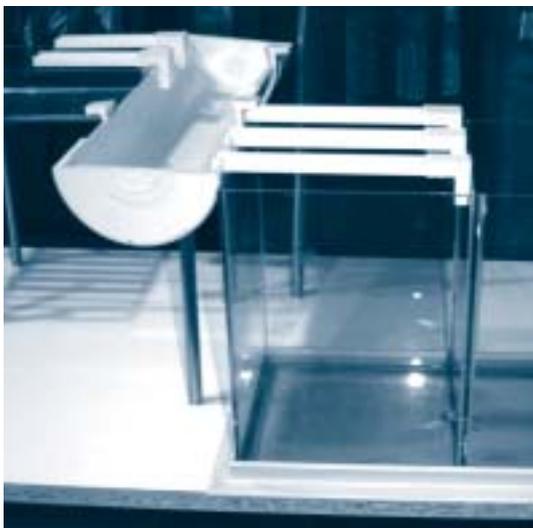
La pecera se divide en dos compartimientos con un vidrio de 5 mm de espesor y de 17,3 cm de ancho x 23,8 cm de alto al que se le ha realizado una perforación para incorporar el niple que conecta el filtro con la reserva.

Como la pecera de función múltiple es el primer componente para el armado del *kit*, el filtro con sus componentes ya se prepara en esta etapa.

El filtro puede ir separado de la reserva haciendo un portafiltro en el cen-

tro de la pecera. Nosotros, para lograr un producto de menor costo, lo separamos con el vidrio.

En lugar de utilizar una pecera, la reserva se puede armar con acrílico; pero, considere que esta elección es más costosa.



- 4.2. Para la construcción del filtro propiamente dicho se coloca una cama de grava gruesa de unos 5 centímetros de espesor sobre el fondo de la pecera y, sobre esta cama, otra capa de grava más fina de otros cinco centímetros.
- 4.3. Para evitar que se mezclen los diversos espesores del material, se utiliza una malla cerrada de plástico; y, para que el material quede bien apisonado, se hace presión con el frasquito de vidrio pequeño.



- 4.4. Luego, se coloca una capa de 2 cm de carbón vegetal y, a continuación, se completa el filtro agregando arena muy fina, previamente calcinada - esto se logra colocándola al fuego en una lata, hasta que se pone oscura y corre libremente-.

## El armado

Realizamos el armado de la planta en sentido contrario al de los pasos del proceso.

Sobre la base, marcamos muy suavemente los puntos en los que va a quedar ubicado cada componente.



El primer componente que ponemos es la pecera, con el filtro y la reserva. Para que no se deslice, sostenemos por los laterales con unos listones de madera o fibra previamente pegados a la base.

Una vez instalada la pecera, le conectamos el canal colector ajustado con la media caña. La media caña está afirmada a la base con varillas roscadas de  $\frac{1}{4}$ .

En una de las paredes laterales de la reserva instalamos una bureta de 25 ml de capacidad con su pico cercano al agua de la reserva.

En el proceso de potabilización, esta bureta se carga con hipoclorito de sodio para clorar el agua de la reserva que sale a la red.

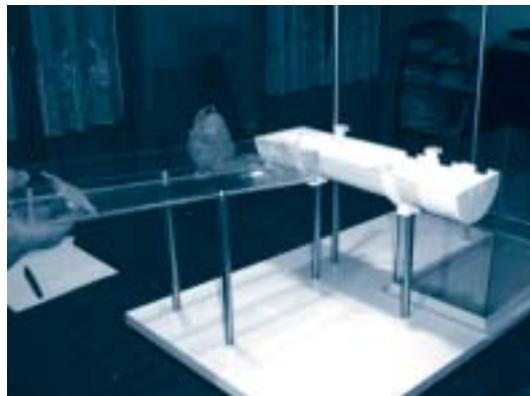
Montamos tres bandejas portacables equidistantes al canal colector; éstas quedan comprendidas entre el canal colector y el vidrio que separa el filtro de la reserva.

Las bandejas tienen perforaciones que permiten que el agua que sale del decantador entre al filtro sin turbulencias.

A un costado del canal colector y con su pico pescando en el borde de aquél, se instala un dosificador de suero de 25 ml de capacidad, necesario para la alcalinización.



Hasta ahora, hemos montado el filtro y la reserva al canal colector. El paso siguiente es montar el decantador.



El decantador está entre el canal colector y el floculador, fijado a la base con varillas roscadas de  $\frac{1}{4}$ .

Sobre la pared del decantador que limita con el canal colector montamos otras tres bandejas portacables con la base hacia abajo, para permitir la buena circulación del agua desde el decantador hacia el canal colector.



Mediante un tubo de goma, el decantador se conecta al recipiente en el que se produce la floculación. El floculador está apoyado sobre una base de madera tipo corlok.



Al floculador entra un tubo de goma proveniente del bidón que contiene el agua cruda para tratar.

Apoyada sobre las paredes del floculador se instala una bureta de 25 ml de capacidad que va servir para, en su momento, dosificar el coagulante.

El tercer componente en el floculador es un termómetro que permite controlar que la temperatura no exceda los 30° C.

El bidón de 5 litros de capacidad está apoyado en otra base.



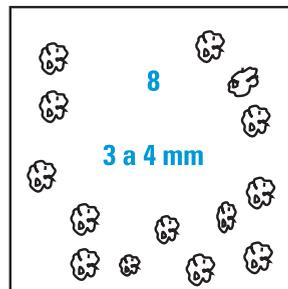
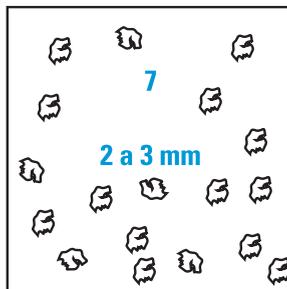
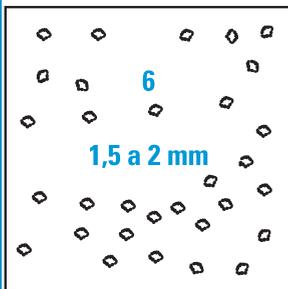
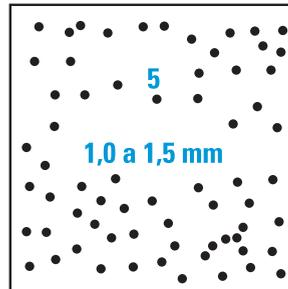
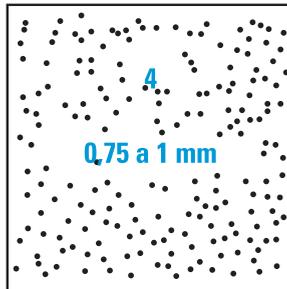
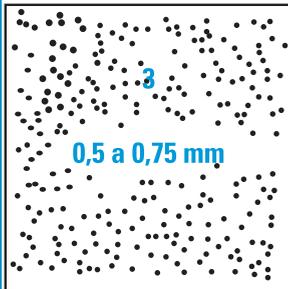
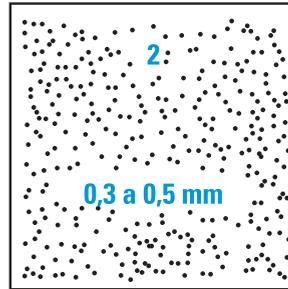
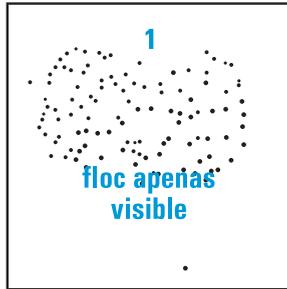
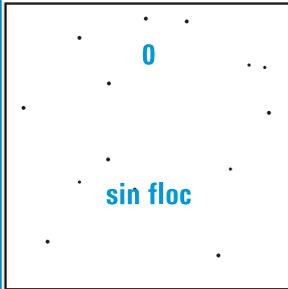
Es importante que las tres buretas que cumplen la función de dosificar las sustancias químicas necesarias para el proceso estén colocadas de modo tal que el producto que se está dosificando no salpique cuando cae sobre el agua a tratar. Si están apoyadas sobre las paredes del recipiente, el líquido va a deslizarse por ellas suavemente.

## El ensayo y el control

Para que la experiencia se pueda realizar con éxito es necesario que, una vez armado el dispositivo, supervisemos las conexiones. Porque, es la optimización de estas conexiones la que va a ayudar a mantener el flujo continuo una vez que la planta deja el régimen transiente.

▶ Cuando la planta comienza a funcionar, su régimen es **transiente** porque no están todos sus tramos con agua. Cuando llega el primer volumen de agua tratada a la reserva y la planta trabaja con flujo continuo, termina su etapa transiente.

En un principio, el agua cruda se deja reposar alrededor de 30 min en el floculador, para lograr el tamaño de floc adecuado.



Antes de la dosificación del sulfato de aluminio, medimos:

- el pH del agua cruda, que ha de estar en el rango de 7,5-8,4;
- su temperatura, que no debe superar los 30° C.

La dosificación del sulfato de aluminio se realiza por gravedad, mediante la bureta instalada previamente. Le recomendamos una concentración de sulfato de aluminio al 6 % o 60 g/L.

Durante el tiempo de floculación, debemos regular la velocidad del mezclador mecánico, de modo tal que no produzca floc de tamaño tan pequeño que dificulte la posterior decantación. Para esto, agitamos el agua a una velocidad de 100 rpm durante 20-30 segundos y, luego, a 40 rpm durante 20 minutos.

En el caso de no poseer el mezclador mecánico, regulamos la entrada de agua al floculador, para que circulen dos litros en dos horas y dosificamos 400 gotas de coagulante por hora, de modo tal de prever una gota cada 10 segundos.

Es importante la medición del pH en el floculador. Ya hemos mencionado que, para el agua del Río de la Plata, el pH óptimo de coagulación es 7,5.

Mientras se produce la floculación, interrumpimos la circulación en el tubo que conecta el floculador con el decantador; para esto, usamos una pinza de Mohr. Esto evita que agua sin una buena floculación ingrese al decantador.

Una vez pasados los 30 min, abrimos el paso y permitimos que el agua llegue al decantador en donde debe permanecer durante dos horas.

Cabe aclarar que el tiempo depende de la calidad del agua cruda.

En el intervalo en que el agua está en el decantador, procedemos a la floculación de otros dos litros de agua cruda. Pasadas las dos horas en que el agua está en el decantador, se abre la pinza de Mohr y se deja entrar el agua floculada al decantador. En este momento es importante el control del flujo; por eso hemos puesto cerca de la entrada del agua una barrera rompeolas que evite una mezcla abrupta de las dos aguas que produzca la remoción de los lodos y, también, que el agua que pasa al canal colector arrastre más impurezas de las debidas.

Una vez en el canal colector, el agua tratada en el decantador toma contacto con el hidróxido de calcio. Este proceso es necesario para regular el pH. El hidróxido de calcio es recomendado para plantas de tratamiento pequeñas con solución máxima al 6 %.

Al mismo tiempo que ingresa el agua al canal colector comienza la dosificación del hidróxido de calcio, de modo tal que cuando pasa al filtro ya está regulado el pH. Se dosifica una gota cada 10 segundos.

Ya en el filtro, el agua se libera del resto de las impurezas para llegar a la reserva lista para recibir la dosificación del cloro. Se dosifican 11 mg de cloro para dos litros de agua por hora, el equivalente a una gota cada 15 minutos. Esta dosis asegura un agua lista para el consumo.

## En el funcionamiento de la planta potabilizadora...

1. ¿Se han realizado las pruebas para dosificar adecuadamente el coagulante?
2. ¿Se verificó la temperatura y el pH antes y después del proceso, para asegurar la calidad del agua?
3. ¿Registra una conexión precisa de las bandejas de desborde del agua desde el decantador hacia el canal colector?
4. Todas las aguas, ¿llevan las mismas dosis de reactivos para el tratamiento?
5. ¿Están alineados los componentes, de modo de no interrumpir el flujo continuo?
6. La barrera rompeolas, ¿es efectiva -o produce acumulación de lodos que tapan el ingreso del agua cruda-?
7. Las pinzas de Mohr, ¿son suficientes para controlar el flujo de agua desde el floculador hasta el decantador?

Si los puntos 1, 2 y 5 no están comprobados, es necesario realizar el proceso nuevamente, ya que no podemos calcular las dosis del resto de los reactivos para asegurar el pH adecuado y que el agua no desborde al pasar al canal colector.

## La superación de dificultades

- El filtro y la reserva están resueltos en un mismo espacio que es la pecera de vidrio. El vidrio es más económico que el acrílico, pero presenta la dificultad de romperse cuando se le hacen las perforaciones para las conexiones de la canilla y el tubo que comunica el filtro con la reserva. Entonces, se debe seleccionar un vidrio de un espesor mayor de 5 mm.
- El hidróxido de calcio se debe dosificar en recipientes de PVC, ya que ataca el vidrio.
- No utilice un termómetro de mercurio para evitar la contaminación en caso de ruptura. Opte por un termómetro de alcohol.
- Para lograr interrumpir el acceso de agua desde el floculador hacia el decantador es conveniente utilizar un tubo de goma y no de PVC; la pinza de Mohr se ajusta mejor en la goma que en PVC.
- Si utiliza cloruro férrico como floculador, le recomendamos no diluirlo.
- Para cloruro férrico, emplee tuberías de plástico o de acero recubiertas de caucho.
- Para cloruro férrico sólido, lo mismo que para alumbre, la solución debe tener concentración mayor del 2,5 % m/m.
- Para sulfato férrico, se recomienda solución al 25 % y en ningún caso menor del 1 %.
- El tiempo de retención de la cámara de disolución es de 20 minutos.

## 4. EL EQUIPO EN EL AULA

**Vamos a presentarle propuestas de actividades que van a permitir a sus alumnos observar el proceso de potabilización del agua en diferentes situaciones, realizar ensayos en el laboratorio para transferir a la planta, y desarrollar experiencias comparativas de análisis de resultados y de detección de cómo la alteración de una simple variable ejerce influencia sobre las operaciones unitarias que conforman el proceso.**



### Actividad 1. Carbón activado en los filtros

Retomemos el caso de la escuela N° 7 Rosario Vera Peñaloza. El establecimiento carece de luz y de agua potable para poder llevar a cabo su proyecto de huerta, y, para superar esta situación, en el aula surgen soluciones posibles.

Una de estas soluciones es la de acudir a filtros purificadores que utilizan carbón activado.

A través del análisis de la información, el grupo de alumnos concluye:

*Los filtros caseros permiten purificar agua que*

*ya fue tratada en las plantas de potabilización, por lo que no pueden reemplazar el proceso.*

La función de los filtros caseros es bacteriostática mientras que la función de la planta es bactericida.

Este análisis del uso de carbón activado en los filtros para la purificación del agua permite a los alumnos replantear los componentes del manto filtrante, teniendo en cuenta que:

- La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electroquímica.
- El carbón activado es preparado a par-

tir de diversos materiales tales como carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000 °C) en ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

- Esta enorme cantidad de área superficial proporciona mayores oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. El carbón activado tiene una fuerte atracción adsorptiva para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono y es excelente para retener firmemente moléculas más pesadas, tales como compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos).
- El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Ésta es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción -en éste, un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y, allí, mantenido-.
- Este nivel de sistema de filtración bacteriostático remueve microorganismos: bacterias, hongos, etc.; pesticidas, plaguicidas, herbicidas, etc.; cloro; trazas de metales pesados, tales como cromo, plomo, mercurio, etc.

Una actividad de este tipo permite a los alumnos comprender por qué el filtro del *kit* está pensado para utilizar carbonilla y carbón vegetal.

## **Actividad 2.**

### **Diferentes tipos de lechos filtrantes**

Para probar los diferentes tipos de lechos filtrantes y su efectividad en la planta potabilizadora diseñada, los alumnos:

- a. Arman el filtro sólo con arena y ponen en funcionamiento la planta.
- b. Arman un segundo filtro con canto rodado en la base y, luego, trozos de carbón y arena; y, por último, el polvo de carbonilla.
- c. Ponen en marcha la planta.

Para el trabajo con carbón vegetal, la limpieza del filtro es sumamente importante ante el riesgo de que éste se transforme en un caldo de cultivo por la adsorción de la materia orgánica. Esta limpieza se realiza a contracorriente, o desarmando el lecho y lavando cada componente, con una frecuencia mensual.

Es aconsejable mantener la temperatura del agua inferior a los 30 °C.

Es conveniente armar el filtro, probarlo y dejar correr agua para limpiar el lecho, antes de incorporarlo al proceso de la planta.

## **Actividad 3.**

### **Metales pesados en el agua**

A través de la potabilización, ¿se pueden eliminar los metales pesados presentes en el agua? Los alumnos realizan una serie de

pruebas en el laboratorio relacionadas con las etapas y los reactivos químicos vinculados a ellas.

Toman una muestra-problema por equipo de trabajo y:

- miden el valor del pH;
- preparan las soluciones patrón de los reactivos químicos involucrados en el proceso;
- arman filtros variando su composición: Un solo lecho filtrante (arena), doble manto -arena y grava- y van agregando el carbón y el canto rodado. Realizan los ensayos que sean necesarios para regular la dosificación de coagulante y las dosis de cal apagada (CaO) para la alcalinización y de cloro para la desinfección;
- realizan ensayos directos en el laboratorio, determinando cualitativamente algunos metales (Pb, Hg, Ni, Cu) con muestra testigo;
- consultan bibliografía para las determinaciones cuantitativas<sup>1</sup>;
- utilizan el *kit* para potabilizar el agua;
- toman una muestra del agua potabilizada y realizan, nuevamente, los ensayos.

En este último paso, la comprobación permite concluir que los resultados son similares a los obtenidos antes de potabilizar: El proceso de potabilización no alcanza para la eliminación de determinadas sustancias.

<sup>1</sup> Normas ASTM - American Society for Testing and Materials-  
[www.astm.org/](http://www.astm.org/)

Como los metales pesados siguen estando allí, resulta imprescindible promover en el grupo el análisis de sus concentraciones, la determinación de si estas concentraciones se hallan aprobadas por el código alimentario y la consulta al organismo que se ocupa de realizar los análisis cuantitativos, para que determine si el agua puede ser consumida.

## Actividad 4.

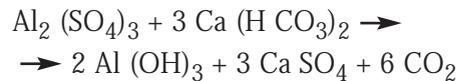
### Dosis adecuadas de reactivos

El coagulante empleado es el sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3]$ . Se sugiere utilizar un producto concentrado al 6 % m/m.

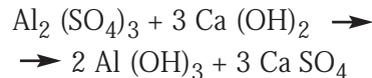
El sulfato de aluminio reacciona con las sustancias alcalinas presentes en el agua.

Las ecuaciones que representan las reacciones que tienen lugar al agregar sulfato de aluminio son:

Reacción entre el sulfato de aluminio y el bicarbonato de calcio



Reacción entre el sulfato de aluminio y la cal



El principal componente de la reacción es el hidróxido de aluminio. El hidróxido de aluminio se disuelve, dando:

- para valores de pH mayores de 7 aluminatos solubles,  $AlO_3^-$ ;
- para valores menores de 7,  $Al^{3+}$ .

El hidróxido de aluminio insoluble se produce cuando son iguales las concentraciones de iones negativos y positivos, neutralizándose. El valor del pH en ese momento se llama punto isoeléctrico. En el agua destilada es  $\text{pH} = 5,5$ .

El agua del Río de la Plata coagula mejor a  $\text{pH}$  próximo a 7,5.

Los hidróxidos de aluminio insolubles precipitan, formando una masa esponjosa, floc de barrido, que atrapa en su caída a los coloides o partículas suspendidas, las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas en el precipitado que desciende.

Para la determinación de la **dosis óptima de coagulante** a utilizar en la planta de potabilización, se pueden realizar dos tipos de ensayos diferentes:

- El ensayo de cilindros.
- La prueba de jarras.

El objetivo de estos ensayos es poder determinar la dosis que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, y la que hace que se forme un floc pesado y compacto que sedimente fácilmente.

Para evaluar la dosis óptima de coagulante para el ensayo de coagulación-floculación, recomendamos la **prueba de la jarra**, desarrollada entre 1918 y 1921 por Langelier y Baylis, por separado:

- Se realiza a una temperatura próxima a la que tendrá el agua realmente durante el tratamiento en la planta.

- Se utiliza un aparato que permite agitar simultáneamente, a una determinada velocidad, el agua contenida en una serie de vasos.
- En cada vaso de un litro se pone el agua cruda a ensayar y una dosis de coagulante diferente.
- Se agita el agua a una velocidad de 100 rpm durante 20 a 30 segundos, y luego, a 40 rpm durante 20 minutos.
- Se deja decantar y se observa cuál es el vaso que mejor resultado tiene; es decir, el que contiene el agua más clara. La dosis de coagulante utilizada en ese vaso es la que debe usarse en la planta.

Para el caso de nuestro kit trabajamos sólo con la prueba de jarras para seleccionar el coagulante. Esta prueba requiere, básicamente, de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia en seis vasos de precipitado.

Con este sistema de simulación pueden determinarse los siguiente parámetros:

- Determinación de dosis óptima mediante:

*Evaluaciones cualitativas:*

- tamaño del floc,
- tiempo inicial de formación del floc.

*Evaluaciones cuantitativas.*

- Determinaciones físicas: Turbiedad y/u olor residuales.
- Determinaciones químicas: pH, alcalinidad.

- Determinación de la velocidad de sedimentación en las jarras.
- Determinación de la influencia del pH en la coagulación.
- Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación.
- Determinación del tiempo y gradientes óptimos de floculación.
- Comparación entre la prueba de jarras y el comportamiento de los floculadores.
- Determinación de la eficiencia de los ayudantes de floculación.

Para determinar la **turbiedad** es necesario un equipo especial, el turbidímetro. Nuestro *kit* no cuenta con este equipo que es altamente costoso; pero sí es eficaz para el proceso de potabilización, ya que "la turbiedad es un parámetro físico de

indicación de características del agua que no está ligada en forma directa con riesgos inminentes a la salud de la población."<sup>2</sup> Tenemos en consideración, además, que las aguas que se utilizan para la implementación del *kit* son testeadas por los docentes a cargo del proyecto.

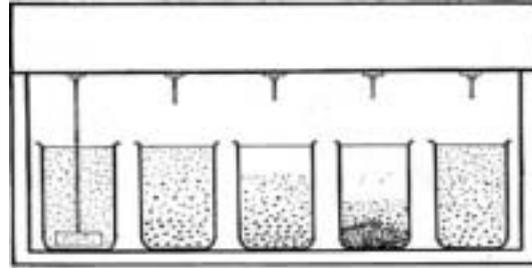
Para la prueba de jarras se necesitan 6 vasos

Esta dirección de la Organización Mundial de la Salud va a resultarle útil para profundizar en la determinación de la turbiedad:

<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt003.html>

Si se anima, encontrará aquí instrucciones para la construcción de un turbidímetro.

de precipitados (jarras), preferentemente de 2000 ml cada uno -aunque, también pueden usarse de 1000 ml-. De uso más cómodo son los vasos cuadrados de acrílico de 2000 ml.



Hacer el ensayo con un mayor volumen de agua, facilita la toma de muestras para la turbiedad residual y produce mejores resultados.

Debemos disponer, además, de:

- pipetas Mohr de 2 y 10 ml, para la adición de coagulantes a los vasos,
- 6 frascos de vidrio de 120 ml con sus tapas y
- 2 buretas con su respectivo soporte, para poder efectuar las determinaciones de alcalinidad.

Ponemos especial cuidado en la limpieza, evitando el uso de detergentes, ya que muchos contienen compuestos aniónicos que -si no son completamente eliminados de las paredes de vidrio- pueden alterar en forma significativa los resultados, principalmente cuando se utilizan polímeros catiónicos

El reactivo principal que proponemos utilizar en nuestro modelo didáctico de planta potabilizadora es el **sulfato de aluminio**, aún cuando también puede ser sulfato férrico. Optamos por el sulfato de aluminio, dado que las sales férricas producen hidróxido férrico de color naranja subido en su

<sup>2</sup> ETOS -Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios- de la República Argentina:  
<http://www.etoss.org.ar/Resoluciones/Resoluciones%20Etos/res05797.htm>

reacción con el agua; por esto, un pequeño exceso de coagulante daría al agua un tinte rojizo, lo que no ocurre si el exceso es de sal de aluminio.

El sulfato de aluminio se prepara agregando agua destilada a 100 g de coagulante hasta completar un volumen de 1000 ml, con lo que se obtiene una solución al 10 % m/V que se puede conservar como solución patrón por dos o tres meses.

El ensayo de **prueba de jarras** se hace diluyendo 10 ml de la solución patrón hasta completar 100 ml con agua destilada. Queda una solución al 1 % m/V que no se puede conservar por más de 24 horas pues corre el riesgo de hidrolizarse y de perder buena parte de su capacidad de coagulación.

Una solución al 1 % (10 g/l) tiene 10 mg de coagulante cada 1000 ml de solución; o sea que, cada ml de ésta, tienen 10 mg de coagulante. Por tanto:

Si se usan vasos de 2000 ml → 5 mg/l de coagulante aplicado

Si se usan vasos de 1000 ml → 10 mg/l de coagulante aplicado

Si se usan vasos de 500 ml → 20 mg/l de coagulante aplicado

Decíamos que la prueba de jarras debe realizarse, en lo posible, a la misma temperatura que tiene el agua en la planta de tratamiento; por esto, es conveniente tener un termómetro para medir la temperatura del agua antes de iniciar los ensayos.

El procedimiento del ensayo consiste en:

- a. Determinar la temperatura del agua cruda, el color, la turbiedad, el pH y la alcalinidad. También el hierro y el manganeso, si son significativos. →

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua. En una muestra de agua, la turbiedad puede ser causada por las dispersiones coloidales, las arcillas, el limo, la materia orgánica e inorgánica, etc.

Actualmente, el método más usado para determinar la turbiedad es el método nefelométrico -del griego *nephelos*, nube-, a través del cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro; los resultados se expresan en unidades de turbiedad nefelométrica.

En este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida:

- Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor es la turbiedad.

En la actualidad, la unidad de turbiedad es definida como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada:

1 unidad nefelométrica de turbiedad (NTU) = 7.5 ppm de SiO<sub>2</sub>

La unidad utilizada es la NTU -Unidad Nefelométrica de Turbidez-.

1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU) = 1 ppm de formazina estándar

La efectividad de los procesos de tratamiento de aguas superficiales es evaluada, generalmente, en términos de remoción de turbiedad. Mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación se pueden alcanzar niveles de 5 a 10 unidades; con una filtración adecuada, se logran turbiedades menores que una unidad (De acuerdo a normas internacionales, se pueden aceptar hasta 5 unidades).

Múltiples líneas de investigación han demostrado la existencia de una relación entre turbiedad y eficiencia de desinfección con cloro. En general, la conclusión de estos estudios es que las partículas que la ocasionan pueden proteger a los microorganismos patógenos de la acción desinfectante del cloro.

b) Añadir los coagulantes al agua, en dosis progresivas, en cada vaso de precipitado a través de una de las siguientes formas:

- Se coloca el agua de la muestra en las jarras, las que se introducen debajo de los agitadores; se ponen a funcionar los agitadores a 100 rpm. Luego, se inyecta el coagulante con una pipeta de 2 a 10 ml, profundamente, dentro del líquido junto a la paleta. No debemos dejar caer la solución del coagulante en la superficie del agua, pues esto desmejora la eficiencia de la mezcla rápida. El tiempo de mezclado suele ser de entre 30 y 60 segundos. El uso de pipetas puede producir errores en la dosificación, en más o en menos, cuando no se hace con mucho cuidado.

- Por medio de una pipeta o bureta se colocan las cantidades de coagulante que se van a agregar, en seis vasos pequeños de precipitado. El contenido de cada vaso se succiona con una jeringa médica provista de una aguja hipodérmica. Se retira la aguja de la jeringa; esta última, con su dosis completa, se pone junto a la jarra correspondiente. Se hacen girar las paletas del aparato a 100 rpm y se inyecta el contenido de cada jeringa en la jarra que corresponde, cuidando que la solución penetre profundamente, para que la dispersión sea más rápida. De esta forma, se evitan las imprecisiones en la cantidad dosificada, ocasionadas por el uso directo de la pipeta.

c. Una vez mezclados los coagulantes con el agua, se concretan las determinaciones de tipo cualitativo y cuantitativo que hemos mencionado.

En nuestro equipo de potabilización, el cálculo de la dosis de coagulante es una opción para optimizar la calidad del agua tratada.

Para profundizar en la aplicación del método, le recomendamos consultar: Arboleda Valencia, Jorge (1992) Teoría y práctica de la purificación de agua. Asociación Americana de Acueductos y Alcantarillado. Bogotá.

Realizamos tres pruebas:

### 1. Medición del pH

Se transfiere 1 ml de la muestra de agua en un pequeño frasco, añadiéndole dos gotas de indicador universal. El color resultante da el pH:

- Amarillo/Verde [Am.V] indica un pH de 7; sólo se obtiene del agua destilada.
- Verde [V] indica un pH de 7,3.
- Verde/Azul [V.Az] indica un pH de 7,5.

Estándares internacionales indican que el agua para consumo humano se ubica en los límites de pH 6,5-8,5.

En caso de que en su escuela no cuente con solución del indicador universal, sus alumnos pueden utilizar las tiras de indicador universal, que cumplen con la misma función.

### 2. Alcalinidad expresada en mg de bicarbonato/L

Todas las muestras de agua contienen sales de bicarbonato de calcio [ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ] y de bicarbonato de magnesio [ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ] en disolución. El bicarbonato total se determina

por titulación con una solución muy diluida de ácido clorhídrico (HCl), usando el indicador universal.

La titulación se lleva a cabo en un volumen de 1 ml del agua de la muestra; a éste se añaden dos gotas de indicador universal. El ácido se incorpora con un gotero de punta fina, anotándose el número de gotas requeridas para obtener el color rojo. En caso de no contar con gotero de punta fina, se puede utilizar una bureta.

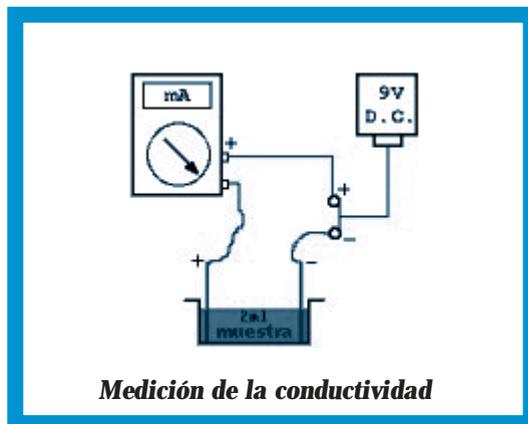
La prueba se realiza, simultáneamente, en una muestra de referencia de agua tratada. Esta muestra contiene 325 mg/l de bicarbonato. Así, pues, la alcalinidad de la muestra de agua puede determinarse en mg  $[HCO_3]^-/l$ .

Si la muestra de agua tratada necesita 10 gotas de la solución de HCl/ml, una gota de HCl equivale a 32.5 mg  $[HCO_3]^-/l$ .

Alcalinidad de la muestra de agua = número de gotas x 32,5 mg  $[HCO_3]^-/l$ .

### 3. Sólidos totales disueltos -STD- expresados como mg/l

La conductividad<sup>3</sup> eléctrica es el recíproco de la resistencia en ohm, medida entre las caras opuestas de un cubo de 1.0 cm de una solución acuosa a una temperatura especificada. Esta solución se comporta como un conductor eléctrico en el que se pueden aplicar las



leyes físicas de la resistencia eléctrica.

Las unidades de la conductividad eléctrica son el Siemens/cm (las unidades antiguas, eran los *mhos/cm* que son numéricamente equivalentes al S/cm).

En nuestra celda experimental sencilla para trabajo de campo, dos clips de alambre hacen las veces de electrodo.

Para poder determinar la conductividad con nuestro equipo, debemos calibrarlo con una solución estándar de cloruro de potasio cuya concentración varía de acuerdo al rango de conductividad que se quiere medir.

El valor de la conductividad de nuestra muestra de agua es 2,7 S/cm.

Si el valor está comprendido entre 0 y 200 S, la concentración de sólidos disueltos varía entre 0 a 100 mg/l STD.

Límite internacional de STD del agua para consumo humano es de 500 mg/l (sin exceder de 1000 mg/l).

<sup>3</sup> En este sitio encontrará información adicional acerca de la determinación de la conductividad y de algunos conductímetros: [http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q3ap02/apq3\\_23b\\_Sensores.html](http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q3ap02/apq3_23b_Sensores.html)

Estos ensayos se pueden realizar en el lugar de toma de la muestra, dado que los equipos necesarios son sencillos de armar y de trasladar.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano, y para una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Le sugerimos que, ante la necesidad de establecer el tratamiento adecuado, recurra a instituciones públicas -entre ellas, las universidades- que realizan análisis de aguas y a las que es posible solicitar la determinación de la turbiedad del agua a tratar. Esta tarea va a permitir a sus alumnos tomar conocimiento y entrar en contacto con otras organizaciones proveedoras de contenidos que contribuyan a su formación.

## Actividad 5. Sedimentadores

¿Recuerda usted que los alumnos del Centro de Formación Profesional se preguntaban qué decantador resultaría adecuado para la planta en la que van a realizar su pasantía?

Los alumnos de Pablo averiguan<sup>4</sup> que los sedimentadores convencionales usados en purificación de aguas son, generalmente, rectangulares, circulares o cuadrados:

- En tanques rectangulares, el flujo va esencialmente en una dirección, paralela a la longitud del estanque; se llama flujo rectilíneo. En estos decantadores estáticos, las partículas ingresan y caen en dirección horizontal hacia abajo del rectángulo del decantador; el agua decanta-

da sale por arriba.

- En tanques circulares de dosificación central, el agua fluye radialmente desde el centro al perímetro externo; esto se conoce como flujo radial. Otros tanques circulares tienen dosificación perimetral con flujo en espiral o flujo radial.

Consideran datos sobre los **sedimentadores de mantos de lodos**. En este tipo de decantador, el agua entra en los decantadores de manto de barro por abajo, en forma de pulsos constantes, y choca con el manto ya formado, en el fondo del tanque; luego, el exceso de barro sale por el costado por medio de tolvas; el agua ya decantada sale por arriba hasta las canaletas de recolección. Estos sedimentadores consisten, esencialmente, en un tanque de fondo cónico o piramidal en la parte inferior, en el cual se inyecta el agua cruda que asciende, disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta. De esta manera, se forma un manto de partículas -o manto de lodos- hidráulicamente suspendido.

El agua que asciende tiene que pasar el manto. Así, en el mismo tanque se realizan los procesos de floculación (dentro del manto) y de sedimentación. En el manto de lodos hay una alta concentración de partículas (10 al 20 % del volumen), por lo que se lo puede considerar como un filtro de flujo ascendente. En este proceso, las partículas pequeñas que entran por el fondo, arrastradas por el caudal de entrada al chocar con otras, incrementan su tamaño hasta adquirir un volumen tal que caen, chocando con las que suben.

---

<sup>4</sup> Romero Rojas, Jairo A. (1999) *Potabilización de agua*. Alfaomega. México.



**Sedimentador tipo pulsátor Degrémont®. [www.degremont.fr](http://www.degremont.fr)**

La desventaja básica de este decantador es requerir una operación cuidadosa, especialmente cuando el agua cambia fuertemente su turbiedad o sus características químicas.

El crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes del sedimentador también puede ser un problema en el proceso de sedimentación. Estos crecimientos pueden causar olores y sabores, así como taponamiento en los filtros. Dichos crecimientos se pueden controlar mediante una

aplicación de una mezcla de 10 gramos de sulfato, (VI) de cobre (II) y 10 gramos de cal por litro de agua sobre las paredes, con cepillo, cuando los tanques están vacíos.

Los alumnos también obtienen información sobre los decantadores de tipo Pulsátor<sup>5</sup>.

Considerando estas características y las derivadas de la investigación, el grupo coincide en que el tanque adecuado es el que se sugiere en el kit, un decantador estático rectangular de flujo rectilíneo.

---

<sup>5</sup> Si desea profundizar ideas acerca de este sedimentador, puede indagar en:

<http://www.tratamentodeesgoto.com.br/degremont/automobilistica/index.php>

[www.tratamentodeesgoto.com.br/degremont/sistemas\\_publicos/index.php](http://www.tratamentodeesgoto.com.br/degremont/sistemas_publicos/index.php)

<http://www.degremont.fr/>

<http://www.tratamentodeesgoto.com.br/degremont/papeleira/index.php>



A series of 20 horizontal dotted lines for writing.

A series of 20 horizontal dotted lines for writing.

## 5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–  
Oficina 112  
Saavedra 789. C1229ACE.  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a [evcenet@inet.edu.ar](mailto:evcenet@inet.edu.ar), enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

*Desde ya, muchas gracias.*

# Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Nivel educativo                       | 5. Documentación                               |
| 2. Contenidos científicos y tecnológicos | 6. Otras características del recurso didáctico |
| 3. Componentes didácticos                | 7. Otras características del material teórico  |
| 4. Recurso didáctico                     | 8. Propuestas o nuevas ideas                   |

## 1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

Nivel educativo	EGB 2	EGB 3	Polimodal (*)			Escuela técnica (*)						Trayecto técnico-profesional (*)	Formación profesional (*)	Otra (*)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6				
Nivel en el que usted lo utilizó															

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....

.....

(\*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.

.....

## 2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



### 3. Componentes didácticos:



#### 3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro <sup>1</sup>
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario) .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario): .....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>1</sup> Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

### 3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica  Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:	Mejor	Igual	No aplicado <sup>2</sup>	Incorporado <sup>3</sup>
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

<sup>2</sup> No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

<sup>3</sup> Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.





<b>3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica</b>	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

<b>3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)</b>	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				



4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No



4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?		
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?		
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?		
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?		
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?		
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?		
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?		
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?		

Sí	No

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

a. <input type="checkbox"/> <b>Planificación.</b>	b. <input type="checkbox"/> <b>Diseño en dos dimensiones.</b>
c. <input type="checkbox"/> <b>Construcción, armado.</b>	d. <input type="checkbox"/> <b>Ensayo y control.</b>
e. <input type="checkbox"/> <b>Superación de dificultades</b> (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
f. <input type="checkbox"/> <b>Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares</b> (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.).	

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Sí	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

a. <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.	b. <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.
c. <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.	d. <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).
	.....
	.....
	.....
	.....
	.....
	.....
	.....



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a.  Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b.  Es más económico.

c.  Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d.  Es más adaptable (a diversos usos).

e.  Otra (Por favor, especifique): .....

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido: .....

.....

.....

.....

.....

.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas): .....

.....

.....

.....

.....

.....



4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):



Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable <sup>4</sup>	Otro <sup>5</sup>
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

<sup>4</sup> NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

<sup>5</sup> Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				







## 5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):



5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV <sup>6</sup>	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>6</sup> Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

## 5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....





6.2. Técnicas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)

	Sí	No
a. Portabilidad. Puede ser utilizado en el taller, aula, laboratorio.		
b. Modularidad. Puede ser adaptado a diversos usos; para trabajar diversos contenidos curriculares o para realizar diferentes experiencias didácticas; para aprendizaje, demostraciones, análisis, etc.		
c. Reutilización. Posee partes, componentes, bloques o subsistemas que pueden ser desmontados para volver a su estado original, y usados en sí mismos o en forma independiente.		
d. Incrementabilidad. Puede complejizarse agregando piezas o completando el sistema para mejorar su funcionalidad, rendimiento, precisión o calidad.		
e. Aplicabilidad múltiple. Como sistema tecnológico, permite que usted seleccione las variables con las que desea trabajar (algunas de las que maneja el sistema, todas las previstas o agregar otras).		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificando su comentario con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



6.3. Didácticas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)



	Sí	No
a. Congruencia. Tiene relación con los testimonios de realidad incluidos en el módulo de capacitación.		
b. Pertinencia. Los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional.		
c. Integración. Posibilita el tratamiento asociado de los conocimientos científicos y tecnológicos propuestos en el material.		
d. Escalabilidad. Es posible utilizarlo con proyectos o problemas con diferentes niveles de complejidad.		
e. Complejidad creciente. Las soluciones alcanzadas para una parte del problema, sirven de base para las siguientes o permite que, agregando componentes, sea utilizado como solución a problemas más complejos.		
f. Adaptabilidad. Permite su adaptación a soluciones diversas en torno a las problemáticas planteadas.		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificándola con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## 7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB <sup>7</sup>	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

<sup>7</sup> Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo

## 8. Propuestas o nuevas ideas:



Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

- a.  docente a cargo de un grupo de alumnos      b.  directivo
- c.  responsable de la asignatura:      d.  lector del material

.....

- e.  otro (especifique):

.....

.....

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.		
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)		
c. Planificación de las experiencias didácticas.		
d. Trabajo con resolución de problemas.		

Otras (Por favor, especifique en qué ámbitos ligados con los contenidos ha generado estas nuevas ideas o propuestas):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Si su respuesta fue afirmativa le pedimos que la amplíe:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for writing the response to the question above.



Títulos en preparación de la serie “**Recursos didácticos**”.

- Arquitectura bioclimática
- Ascensor
- Banco de carpintero
- Biodigestor
- Biorreactor para la producción de alimentos
- Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- Celda de combustible
- Celda solar
- Entrenador en lógica programada
- Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- Equipamiento para matricería
- Generador de biodiesel
- Generador eólico
- Instalación sanitaria de una vivienda
- Manipulador neumático
- Máquina de vapor
- Programador visual para microcontroladores PIC
- Relevador de las características de componentes semiconductores
- Simuladores interconectables basados en lógica digital
- Sismógrafo
- Sistemas SCADA para el control de procesos industriales
- Tren de aterrizaje