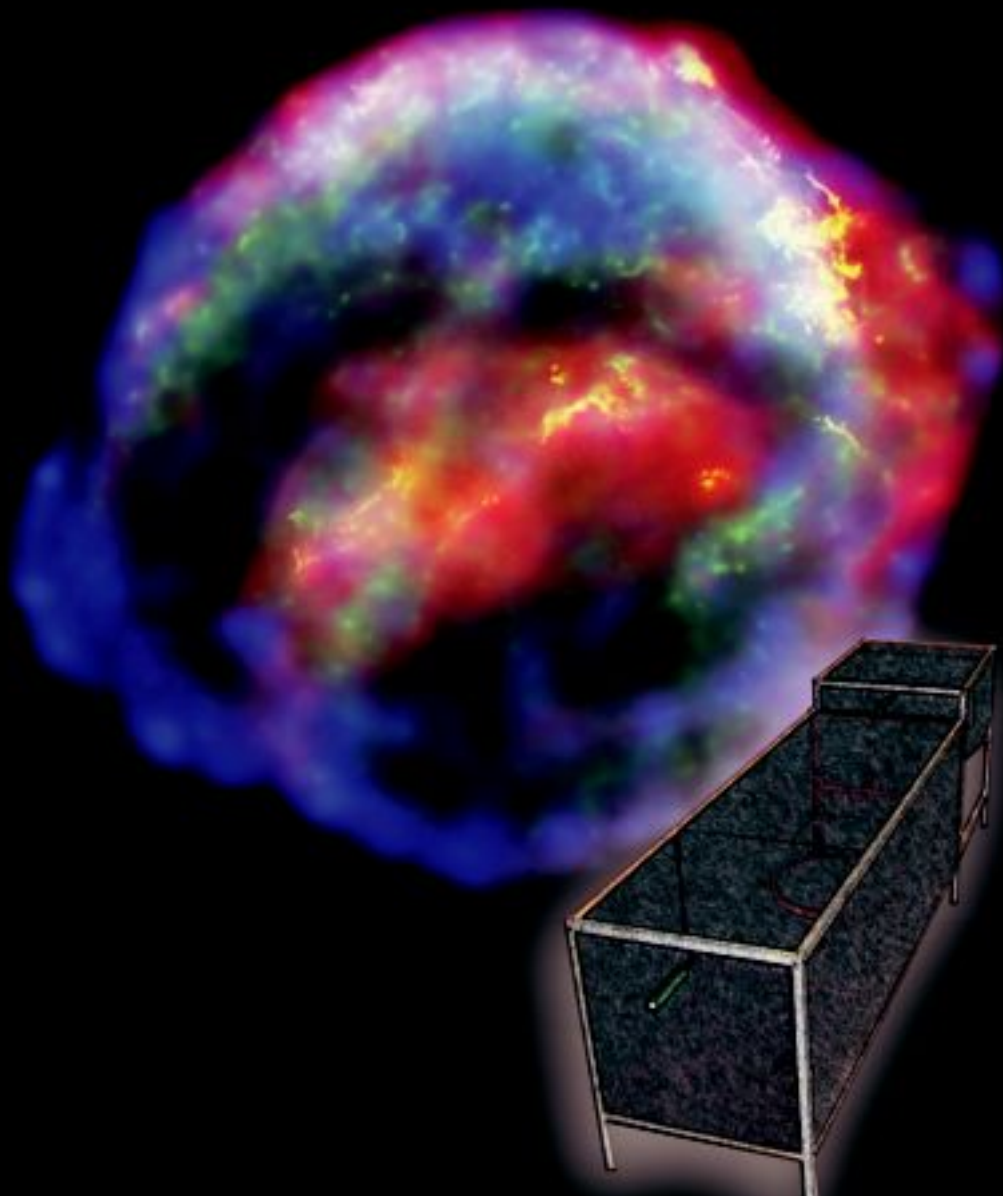




Planta de tratamiento de aguas residuales



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

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 de tratamiento de aguas residuales

Eduardo Antonio Schiappacasse

Colección Serie "Recursos didácticos".

Director del Programa: Juan Manuel Kirschenbaum.

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 950-00-0539-5

Schiappacasse, Eduardo

Planta de tratamiento de aguas residuales / Eduardo Schiappacasse;
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2006.

148 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 30)

ISBN 950-00-0539-5

I. Aguas Residuales.

I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 628.162

Fecha de catalogación: 3/01/2006

Impreso en MDC MACHINE S. A., Marcelo T. de Alvear 4346 (B1702CFZ), Ciudadela,
en marzo 2006

Tirada de esta edición: 2.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y de motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra 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
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componentes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible
- 21 Generador eólico
- 22 Auto solar
- 23 Simuladores interconectables basados en lógica digital
- 24 Banco de trabajo
- 25 Matricería. Matrices y moldes
- 26 Máquina de vapor
- 27 Sismógrafo
- 28 Tren de aterrizaje
- 29 Manipulador neumático
- 30 Planta de tratamiento de aguas residuales

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.
- Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnica

Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el período 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 educativos 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–:

- *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.

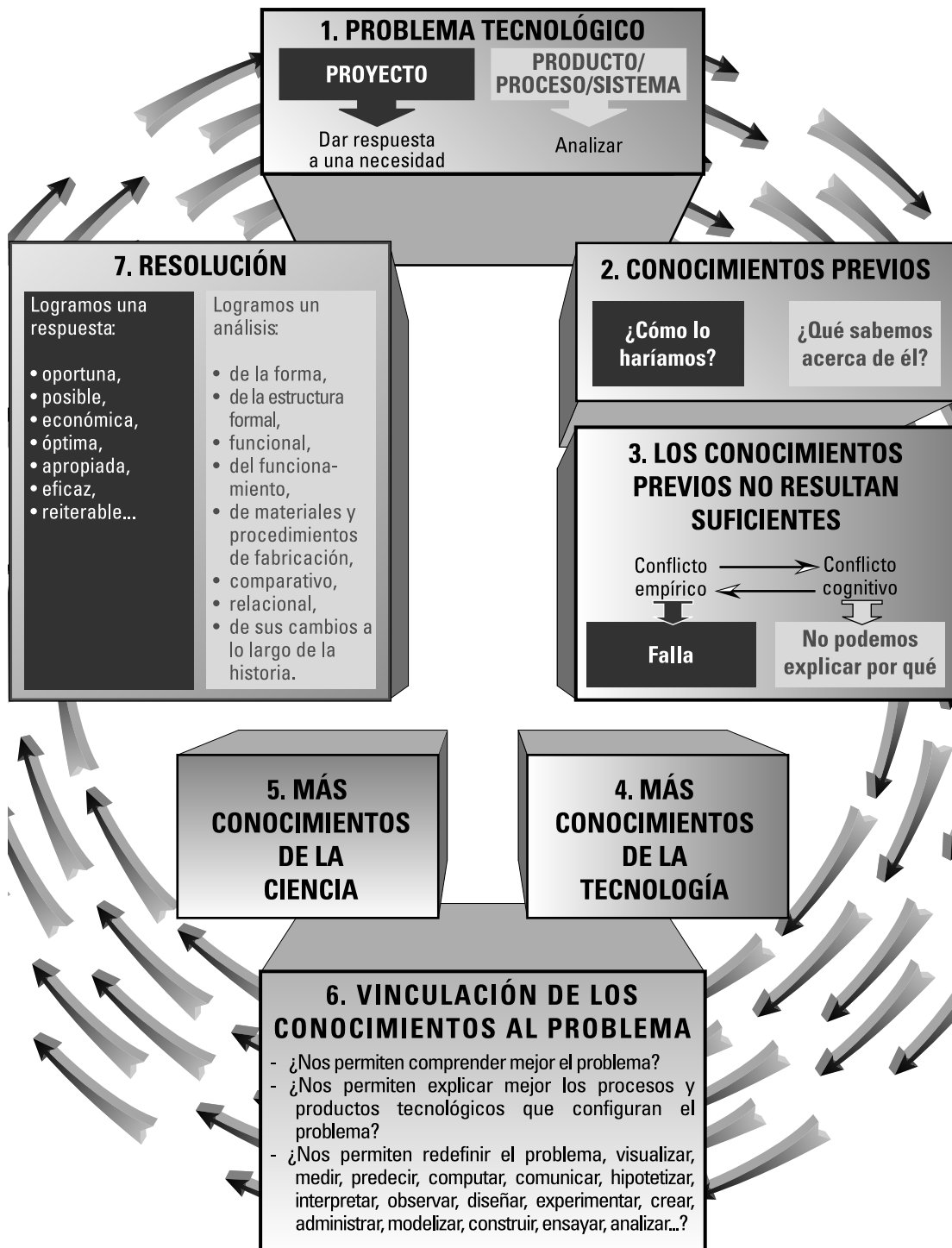
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

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



30. Planta de tratamiento de aguas residuales

Este material de capacitación fue desarrollado por

Eduardo Antonio Schiappacasse
Ingeniero de Alimentos. Diplomado en Estudios Avanzados y candidato al título de Doctor en Ingeniería, en la especialidad Alimentos (Universidad Politécnica de Valencia, España). Es profesor titular ordinario de la cátedra “Química y bioquímica de los alimentos”, profesor titular en “Saneamiento e higiene industrial” en la carrera de Ingeniería de Alimentos (Universidad Nacional de Entre Ríos) y profesor titular en “Alimentación y ambiente” en la carrera de Técnico Superior en Gestión Ambiental. Es investigador y consultor; se desempeñó en la actividad estatal y privada, y realizó numerosas publicaciones vinculadas con el agua y con los alimentos.

Dirección del Programa:
Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinación general:
Haydeé Noceti

Diseño didáctico:
Ana Rúa

Administración:
Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:
Laura Irurzun

Diseño gráfico:
Tomás Ahumada
Carolina Macedra
Fabiana Rutman

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

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	7
• Aguas residuales	
• Selección del método de tratamiento	
1. Pretratamiento	
2. Tratamiento primario	
3. Tratamiento secundario	
3 Hacia una resolución técnica.	
Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	89
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción	
• El armado	
• El ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
4 El equipo en el aula	97
5 La puesta en práctica	106

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

En las bases curriculares de la educación técnico-profesional se encuentran especificadas competencias relativas a la disposición final de residuos líquidos originados por la actividad del hombre, por desagües cloacales y por la industria en general. Este conocimiento y este desempeño respecto de procesos tecnológicos para el tratamiento de aguas residuales integra conceptos y procedimientos del campo de la hidráulica, la microbiología y la biotecnología.

Consideremos estas situaciones problemáticas registradas en aulas de la educación técnico-profesional:

La contaminación de los recursos de agua subterránea y superficial, y el impacto ambiental que ocasionan —con consecuencias para la salud y la economía— es el tema que ocupa a los alumnos de la asignatura “Aguas” en su formación técnica en química.

Ya han analizado casos de contaminación de aguas y sus consecuencias, a partir de artículos periodísticos y de divulgación científica de casos; y, ahora, consideran la pregunta de su profesora:

- ¿Cuáles son las causas principales de contaminación de aguas en nuestra ciudad?

A partir de esta pregunta, los alumnos sistematizan la información disponible acerca de los casos de contaminación e integran:

- En las ciudades, la actividad diaria de las personas genera residuos domésticos líquidos que son eliminados por medio del alcantarillado cloacal.
- La actividad industrial produce afluentes contaminantes; su grado de contaminación depende del tipo de industria que los genera.
- La actividad agrícola utiliza agroquímicos que son arrastrados por las lluvias hacia cuerpos abiertos receptores de agua o que se infiltran por el suelo hasta las aguas subterráneas.

- En los casos anteriores, el cuerpo receptor final de los contaminantes está constituido por las aguas subterráneas o superficiales.

Ahora:

- ¿Cómo hacemos para evitar esta contaminación?

Los alumnos de “Diseño de instalaciones sanitarias” están desarrollando un proyecto tecnológico para el tratamiento de desagües cloacales de su localidad.

Ya han analizado:

- el hecho de que, si se deja líquido cloacal en un estanque natural, éste sufre —con el tiempo— un proceso de autodepuración;
- los distintos métodos de análisis físico-químicos de afluentes residuales;
- las distintas tecnologías para el tratamiento de afluentes residuales y las diferencias comparativas de costos.

Y, ahora, se encuentran definiendo los parámetros físicos y químicos de interés para el seguimiento

del proceso de tratamiento, la composición del afluente residual, la cantidad a tratar y las etapas de tratamiento a desarrollar, los tiempos de residencia hidráulica y, en consecuencia, el volumen de los dispositivos de tratamiento.

De este modo, los alumnos definen los componentes del proceso de tratamiento del afluente cloacal, que les permita generar un dispositivo tecnológico que, a partir de distintas hipótesis respecto de las características del producto final a obtener –según la composición del afluente inicial y de las condiciones de proceso–, les permita simular parámetros, repetir el proceso y extraer resultados comparativos acerca del tratamiento a desarrollar para obtener el efluente final, ajustado a las normas que regulan los vertidos y su disposición final.

Se designa **afluente** al que ingresa a la planta de tratamiento y **efluente** cuando sale de ella.

Los alumnos del Centro de Formación Profesional están analizando la tecnología de tratamiento de los residuos líquidos generados en la industria de elaboración de leche entera pasteurizada.

Como tarea inicial, los integrantes del grupo consideran los afluentes generados en la elaboración del producto y determinan que la etapa de lavado de equipos es la que produce el mayor caudal de afluente.

El formador plantea, entonces:

-¿Cuáles son los factores más importantes a tener en cuenta para obtener menores caudales en el afluente general?

-¿Cómo impacta esta reducción de la cantidad de agua en la operación de lavado de la planta, en el tratamiento general?

Surge, entonces, la necesidad de contar con un equipo que permita simular distintas calidades de

afluentes en su relación caudal-concentración, para obtener conclusiones con respecto a la calidad final del efluente obtenido y a su relación con los costos de tratamientos.

Desde “Tecnología de procesos”, los alumnos encaran esta situación problemática:

La producción frigorífica, de creciente demanda por los mercados internacionales, tiene el inconveniente de formar afluentes de alta carga en materia orgánica que generan elevados costos de tratamiento.

Y, estos costos en el tratamiento de afluentes finales están integrados al precio final del producto, por lo que se requiere considerarlos cuidadosamente para disminuir estos costos de producción y aumentar los beneficios del producto final.

¿Cómo resolver esta situación?

Los alumnos definen:

- Los términos generales del problema.
- Una hipótesis: Desarrollar acciones de minimización de carga en la fuente de generación de los afluentes.

Para definir los aspectos teóricos que involucra el proceso, determinan:

- Etapa del proceso productivo en la que es necesario implementar la técnica.
- Tipos de acciones a desarrollar.
- Opción por un proceso discontinuo (operación en *batch*) o continuo.
- Modo de recuperación de contaminantes, en caso de un proceso discontinuo.

¿Cómo modelizar este proceso?

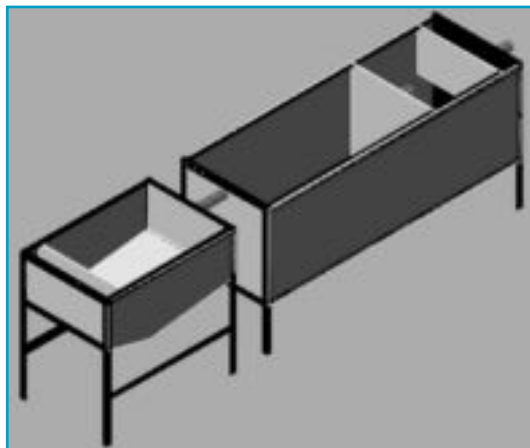
El recurso didáctico que proponemos

Vamos a presentarle una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver éstas y otras situaciones tecnológicas planteadas en torno al tratamiento de desagües cloacales y de afluentes de la fabricación de alimentos.

Contando con este recurso didáctico **Planta de tratamiento de aguas residuales**, es posible:

- variar y controlar los principales parámetros que afectan el rendimiento y la viabilidad del proceso,
- acotar las variables de proceso en cada etapa de tratamiento: tiempo de residencia

hidráulica, tiempo de retención celular, aireación mediante inyección de aire, pH, cantidad de sustrato (biomasa) medida en concentración de materia orgánica DBO –demanda bioquímica de oxígeno–.



2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

El medio ambiente es una compleja red que integra diferentes sistemas, formando un equilibrio ecológico que resulta imprescindible preservar. Pero, esta preservación no siempre es una realidad: la degradación y la contaminación de los recursos naturales, atmosféricos e hídricos, la defectuosa gestión de los recursos mineros, forestales y agrícolas, el manejo inadecuado del suelo, el paulatino deterioro de los recursos culturales, paisajísticos, edificios y recreativos, todo es consecuencia de la sociedad que integramos.

La industria no es ajena a esta desatención de los dispositivos de preservación; por el contrario, constituye uno de sus factores principales, por lo que es necesario abordar el análisis de cada proceso productivo en particular y buscar soluciones integrales para él. Porque, si bien desde sus inicios, la industria ha significado un cambio de importancia cualitativa para la humanidad —permitiendo un mayor acceso a la población para disfrutar de una mejor calidad de vida—, como contrapartida ejerce una gran presión sobre los recursos naturales al utilizarlos como insumos para su producción y al generar efluentes contaminantes. En el ámbito industrial, la demanda de los recursos naturales se ha realizado sin respetar los mecanismos de reproducción equilibrada del ecosistema ni garantizar el uso racional de la energía, generando un volumen cada día más importante de efluentes o desechos sólidos, líquidos y gaseosos que se descargan o disponen en el suelo y el agua, sobre ríos, mares, o aire, usando el medio ambiente como cuerpo receptor.

La contaminación de las aguas es la que más ha ocupado la atención y la que ha promovido cierta conciencia en los últimos años.

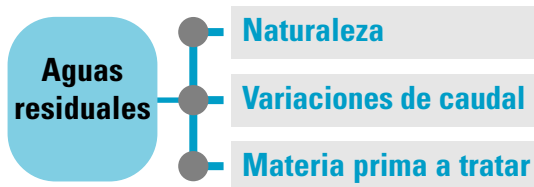
La **contaminación del agua** comienza a registrarse con las aglomeraciones humanas y los desarrollos locales; pero, hasta que el problema no toma cierta magnitud no se comienza con la etapa correctiva con tratamientos que impliquen la recuperación de los productos residuales. Sin embargo, esta inversión es necesaria y debe afrontarse, para evitar llegar a niveles incompatibles con la vida de vegetales, animales y, finalmente, del hombre.

¿Qué sucede, específicamente, en nuestro país? Las industrias argentinas vienen sufriendo el efecto de la recesión económica y, desde un tiempo a esta parte, no pueden escapar a una situación de deterioro que también incluye a sus resguardos ecológicos; a pesar de sus esfuerzos no han podido incorporar los avances tecnológicos que se producen en el ámbito internacional para resolver el problema que provoca la gran cantidad de carga contaminante orgánica del enorme volumen de efluentes líquidos y sólidos que produce.

Es en este tratamiento de aguas residuales del que nos ocuparemos en este material de capacitación. La “cuestión de las aguas” abarca un escenario muy amplio de problemas porque incluye aguas residuales de urbanizaciones, aguas residuales de sistemas combinados o unitarios, así como de aguas grises, negras e industriales de procesos de manufactura con calidades muy específicas y varia-

bles según el proceso del cual provienen, y, por supuesto, el tratamiento de aguas residuales en el medio rural, en aguas de uso agrícola y pecuario, para riego y reutilización.

Aguas residuales



Naturaleza de las aguas residuales

El agua para consumo humano se origina en fuentes subterráneas y superficiales. Es innegable que ha de llevar consigo sustancias en solución y suspensión, además de bacterias, debido a su contacto con el aire, con el suelo, y con la vida vegetal y animal. A fin de hacer conveniente y segura la calidad y la condición del agua, es necesario protegerla adecuadamente.

El agua potable no es químicamente pura, ya que contiene sustancias originadas en sus características iniciales, o añadidas durante o después de su tratamiento. La calidad de las aguas potabilizadas se altera después de su uso con propósitos domésticos, comerciales, públicos e industriales. Hablamos, entonces, de aguas residuales.

Por lo común, las aguas residuales contienen menos del 0,10 % de impurezas en suspensión y en solución, menos de mil partes por millón (ppm) que incluyen basuras, hojas, excretas, lavado de patios y toda variedad de materias que se arrojan al alcantarillado.

Estos líquidos residuales urbanos se transportan, específicamente, a través del sistema de conductos de la red cloacal que traslada los desperdicios resultantes del uso del agua doméstica, comercial e industrial, y de todas aquellas aguas superficiales o subterráneas que puedan penetrar en las colectoras. Las aguas cloacales están sembradas de materia orgánica y, por eso, ofrecen alimento abundante para millares de bacterias; estas presencias implican muchos cambios bioquímicos, desde el punto de origen y a todo lo largo de su curso.

Las aguas de lluvia que escurren superficialmente se desvían de este sistema cloacal en todas aquellas comunidades en las cuales se prevé un sistema de tratamiento para las aguas residuales.

Por eso, antes de su vuelco en un cuerpo receptor, estas aguas residuales requieren un tratamiento que permita:

- prevenir y reducir la diseminación de enfermedades transmisibles causadas por los microorganismos patógenos,
- conservar las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico, industrial y agrícola,
- mantener las características del agua necesarias para la piscicultura,
- resguardar las aguas para baño y otros propósitos recreativos, y preservar la fauna y la flora acuáticas.

En el caso particular de un afluente cloacal, el grado a alcanzar en un determinado tratamiento, varía de un lugar a otro y depende de:

- los usos preponderantes de las aguas receptoras aguas debajo del punto de vuelco de los desagües,
- la capacidad del cuerpo de agua en asimilar –por dilución y autodepuración– el líquido tratado, y
- las exigencias legales establecidas por los órganos de control de la contaminación, para el cuerpo receptor en consideración.

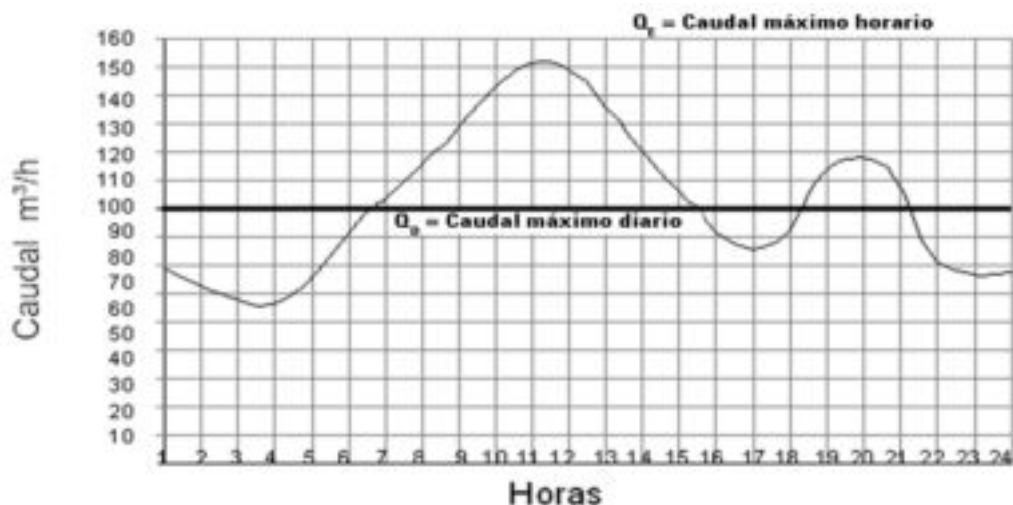
horarias, diarias y estacionales; esta variación depende de los hábitos de la población y de las características del sistema colector. También tienen importancia el tipo y la explotación de plantas industriales que vuelcan sus efluentes residuales a la colectora.

La contribución de desagües por habitante varía entre 130-170 l/hab.día.

Variaciones de caudal del líquido cloacal

El líquido cloacal tiene variaciones de caudal

Para tener una idea más precisa de los caudales medios diarios anuales y de sus variaciones horarias a lo largo del día, se los debe medir, siempre que sea posible, durante 24 horas, en diferentes días de la semana y épocas del año –principalmente, en las épocas secas y en las lluviosas–.



Se observa que los caudales comienzan a aumentar paulatinamente a partir de las 5 horas, alcanzando su máximo entre las 10 y las 14 horas. Luego de estos horarios, disminuyen gradualmente hasta alcanzar otro pico entre las 17 y las 20. Por lo general, como las ciudades del interior no poseen actividad nocturna que justifique un gran consumo de agua de abastecimiento, el pico del período nocturno es más bajo que el presentado durante el día. Los caudales mínimos se registran en el período de las 23 a las 5 horas.

Comportamiento de las variables horarias de los desagües cloacales de una localidad

Los caudales pueden variar bastante, no sólo de una comunidad a otra sino dentro de una misma comunidad, en función de:

- hábitos y condiciones socio-económicas de la población,
- existencia de conexiones de aguas pluviales en la red de desagües,
- construcción, estado de conservación y mantenimiento de las redes de desagües –que implica una mayor o menor infiltración–,
- clima,
- medición y costo del agua distribuida,
- presión y calidad del agua distribuida en la red de agua, y
- estado de conservación de los aparatos sanitarios y caudal de los grifos.

Materia prima a tratar

En general, se considera que el líquido cloacal tiene tres características:

- composición,
- concentración y
- condición.

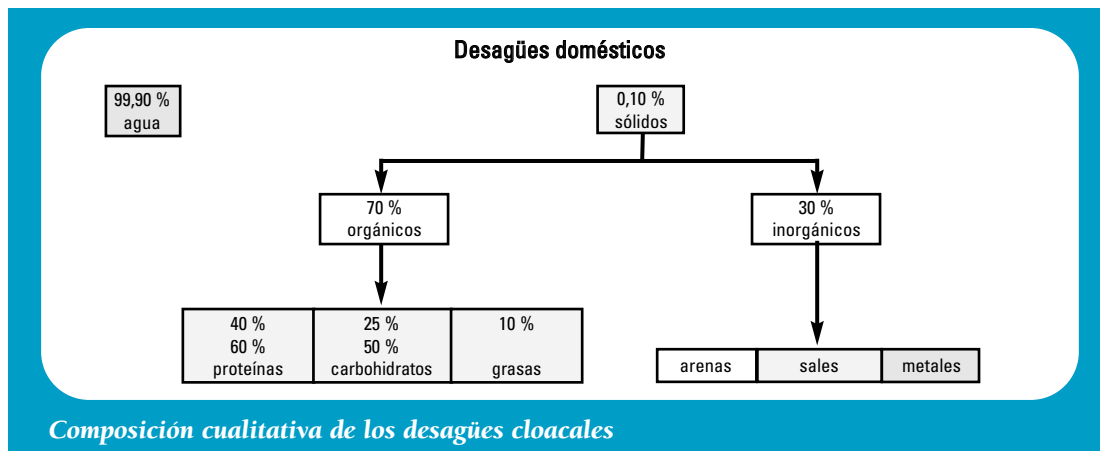
Composición. El contenido de los desagües cloacales varía cualitativamente, en función

de la composición del agua de abastecimiento y de los diversos usos que se da a esa agua. De modo general, se puede decir que –no habiendo una significativa contribución de desechos industriales– los desagües cloacales se constituyen, aproximadamente, de un 99,90 % de agua y de un 0,10 % de sólidos, en peso seco.

El **líquido** es, en sí mismo, nada más que un medio de transporte de las innumerables sustancias orgánicas, inorgánicas y microorganismos eliminados por el hombre diariamente. Los sólidos son los responsables del deterioro de la calidad del cuerpo del agua que reciben los desagües; por esto es muy importante su conocimiento, ya que permite prever un sistema de tratamiento de desagües.

Es tan grande el número de diferentes sustancias que componen los desagües cloacales que –aún si fuese posible– no tiene sentido relacionarlas. Para la caracterización de esos desagües se utilizan determinaciones físicas, químicas y biológicas, cuyos valores permiten conocer su grado de contaminación y, consecuentemente, dimensionar y medir la eficiencia de las plantas de tratamiento de desagües.

La composición es la característica química



del líquido cloacal que permite conocer, cuali y cuantitativamente, sus componentes. Es necesario determinar la composición para

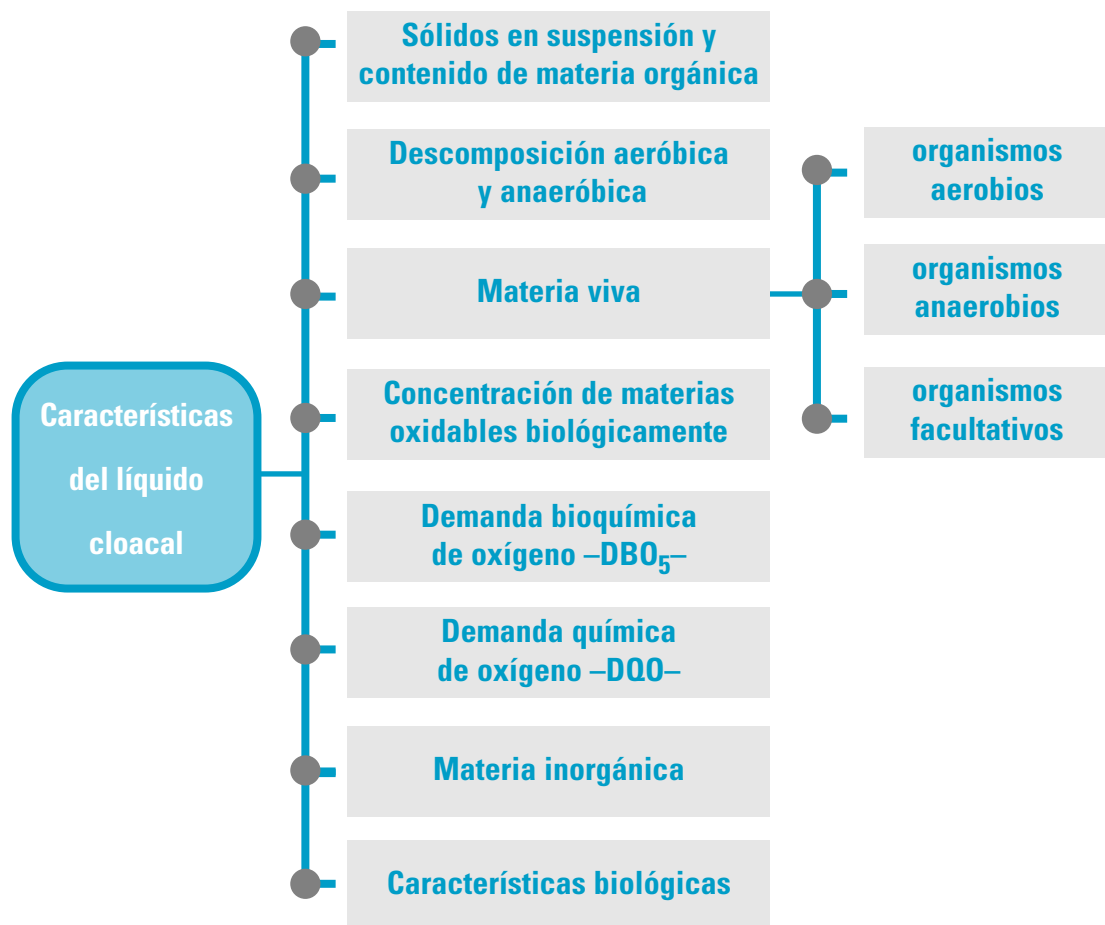
establecer la concentración; ambas pueden ser influidas en forma apreciable por el aporte de aguas residuales industriales.

Composición promedio de aguas residuales domésticas			
Constituyente (mg/l)	Concentrado	Medio	Diluido
Sólidos totales	1000	500	200
Sólidos volátiles	700	350	120
Sólidos fijos	300	150	80
Suspendidos totales	500	300	100
Suspendidos volátiles	400	250	70
Suspendidos fijos	100	50	30
Disueltos totales	500	200	100
Disueltos volátiles	300	100	50
Disueltos fijos	200	100	50
Sedimentables (ml/l)	12	8	4
DBO ₅	300	200	100
OC	150	75	30
OD	0	0	0
Nitrógeno total	85	50	25
Nitrógeno orgánico	35	20	10
Nitrógeno de NH ₄ ⁺	50	30	15
Nitrógeno de NO ₂ ⁻	0,10	0,05	0
Nitrógeno de NO ₃ ⁻	0,40	0,20	0,10
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad (como CO ₃ Ca)	200	100	50
Grasas y aceites SSEE	40	20	0
DBO ₅ : Demanda bioquímica de oxígeno; el subíndice 5 indica que la determinación se lleva a cabo durante cinco días. OC: Oxígeno consumido. OD: Oxígeno disuelto. SSEE: Sustancias solubles en éter etílico.			

Concentración. Indica la proporción de materia cloacal y agua. Un líquido cloacal puede hacerse menos concentrado por dilución con agua, sin que se pierda la composición relativa de sus componentes.

Condición. Se refiere al estado en que se encuentra el líquido cloacal según variaciones que se producen a medida que transcurre el tiempo desde su evacuación, por acción de la temperatura, de la desintegración mecánica de las materias en suspensión por roce en las cañerías, de la cantidad y

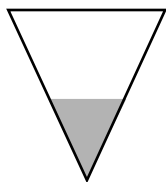
clase de microorganismos presentes y de la posibilidad de absorción de oxígeno. La presencia de sustancias germicidas puede retardar los procesos de descomposición biológica. Estas alteraciones se traducen en la pérdida del oxígeno disuelto, pasando el líquido cloacal de su condición inicial de fresco, al de líquido séptico, atravesando una etapa intermedia que se produce cuando se agota el oxígeno disuelto, pero sin haberse iniciado la etapa de la descomposición anaeróbica que tiene lugar en el líquido séptico.



El contenido total de materia sólida contenida en el agua se define como **sólidos totales** (SST) y comprende los sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. Éstos pueden encontrarse como **sólidos disueltos** (SD) que no sedimentan y que se localizan en el agua en estado iónico o molecular, o como sólidos en suspensión

Los **sólidos en suspensión** (SS) pueden ser sedimentables (Ss) que, por su peso pueden sedimentar fácilmente en un período de tiempo, o no sedimentables (Sc), que no sedimentan tan fácilmente por su peso específico próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal.

Para determinar los sólidos sedimentables, se realiza un ensayo introduciendo un litro de muestra en un cono de Imhoff. Los sólidos separados al cabo de un tiempo (1-2 horas) se denominan sólidos sedimentables.



Cono Imhoff

Los **sólidos orgánicos** proceden de la actividad humana; pueden ser de origen animal o vegetal. Contienen, principalmente, C, H, O, así como N, S, P y K.

En el caso de las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, su característica es la posibilidad de degradación, y descomposición por reacciones químicas o de los microorganismos.

Los **sólidos inorgánicos** son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales, arenas, tierras, etc.

Los sólidos suelen ser medidos a través de la demanda de oxígeno que causan los desagües (DBO –demanda bioquímica de oxígeno– y DQO –demanda química de oxígeno–). Otros parámetros importantes son los nutrientes, por el efecto de eutroficación que pueden causar en los cuerpos receptores, además de su importancia en el propio proceso biológico de tratamiento de desagües (serie nitrogenada y fósforo).

Los desagües cloacales contienen innumerables organismos vivos tales como bacterias, virus, larvas y protozoarios que, en su mayoría, son liberados junto con los desechos humanos. Algunos son de suma importancia en el tratamiento de aguas residuales pues descomponen la materia orgánica compleja, transformándola en compuestos orgánicos más simples y estables; otros –denominados organismos patógenos– provocan enfermedades.

Los compuestos químicos que se hallan presentes son muchos; podemos citar:

- urea, albúminas, proteínas, ácidos acético y láctico,
- bases jabonosas y almidones,
- aceites animales, vegetales y minerales,
- hidrocarburos,
- gases: sulfhídrico, metano, etc.,
- sales: bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etc.

A efectos prácticos de la ingeniería sanitaria, interesa destacar la composición del agua residual, considerando el tipo de sustancia incorporada:

- Materia líquida con elementos disueltos.
- Materia sólida.
- Materia viva.

Los muchos productos provenientes de la vida cotidiana que se evacúan al alcantarillado se mezclan para formar las aguas resi-

duales domésticas, cuyo contenido se mide por su potencial de polución. Por ejemplo: aplicado a una muestra, el método que mide la DBO nos da a conocer su déficit de oxígeno y no propiamente el contenido; y, a través de otros análisis determinamos sólidos en solución y suspensión, y la posibilidad de sedimentación.

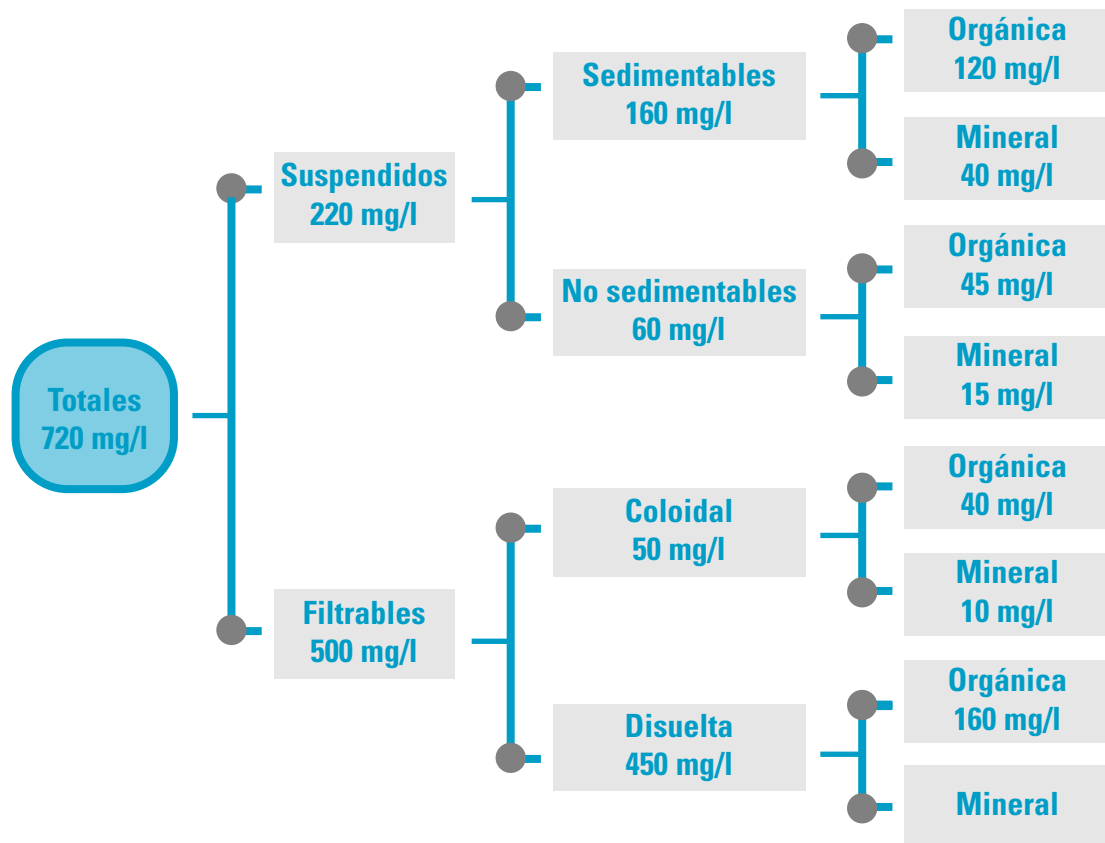
El análisis de las aguas residuales comprende:

- La condición física.
- Los componentes orgánicos y su estado.

Sólidos en suspensión y contenido de materia orgánica. También resulta necesario contar con un índice que represente los elementos en suspensión orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. Cada uno de estos sólidos es de constitución diferente por el contenido orgánico e inorgánico:

- A los sólidos inorgánicos se los denomina sólidos fijos (F).
- A los sólidos orgánicos se los denomina sólidos volátiles (V).

Para la determinación de los sólidos se deseca la muestra a 103 °C. A 700 °C, la materia



Condición física de los constituyentes principales de aguas residuales en ppm; estas cifras son aplicables en forma general, pero deben determinarse por medio de los análisis correspondientes para cada caso de importancia

orgánica se volatiliza, quedando los sólidos fijos; y, por diferencia con los que permanecen a 103 °C, se obtienen los volátiles.

En la tabla presentamos los contaminantes de aguas residuales.

CONTAMINANTE		RAZÓN DE SU IMPORTANCIA
Físicos	Sólidos suspendidos	Importancia estética, por su tendencia a formar depósitos de barro y condiciones anaeróbicas.
Químicos	Orgánicos biodegradables	Compuestos, principalmente, de proteínas, carbohidratos y grasas. Son medidos en términos de DBO y de DQO. Si se descargan al ambiente sin tratar, la estabilización biológica de estos compuestos puede llevar a la disminución del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
	Nutrientes	Carbono, nitrógeno y fósforo son esenciales nutrientes para el crecimiento. Cuando se descargan al medio acuático, estos nutrientes pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son descargados sobre tierra en cantidades excesivas, pueden ocasionar la contaminación de aguas subterráneas.
	Orgánicos refractarios	Estos productos orgánicos tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos los constituyen los surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas.
	Metales pesados	Debido a su naturaleza tóxica, algunos metales pesados pueden impactar negativamente sobre los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales y sobre la vida de las corrientes acuáticas.
	Sólidos inorgánicos disueltos	Constituyentes inorgánicos como calcio, sodio y azufre son adicionados al agua natural como resultado de su uso; pueden necesitar ser removidos para reutilizar el agua.
Biológicos	Patógenos	Provocan enfermedades transmisibles por organismos patógenos en el agua.

El líquido cloacal es de naturaleza sumamente compleja. Su análisis no dilucida su composición total. Los análisis adquieren verdadero valor cuando se dispone de una serie que permite obtener conclusiones estadísticas.

El análisis de las aguas residuales permite determinar la naturaleza de las aguas residuales y su potencial de polución, en su estado original, a lo largo de su curso en las alcantarillas o en las varias etapas de tratamiento.

Las características físicas del efluente cloacal son: temperatura, olor, color y turbiedad. Los compuestos químicos que contiene el líquido cloacal pueden clasificarse en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos.

Las sustancias químicas inorgánicas más comunes están formadas por sulfatos, carbonatos y cloruros de calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro. Los componentes orgánicos del líquido cloacal están compuestos, en gran parte, por proteínas, glúcidos y lípidos.

Las proteínas y los subproductos de su metabolismo y descomposición son las materias productoras de nitrógeno en los desechos. La fuente principal de nitrógeno en los líquidos cloacales es la urea, la que se descompone rápidamente en anhídrido carbónico y amoníaco. Las proteínas también pueden contribuir a agregar azufre a los desechos, el cual —por reducción— se puede desprender en forma de ácido sulfhídrico.

Los glúcidos, fundamentalmente azúcares y almidones, son los primeros en ser atacados por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos. Por esto, en el líquido cloacal séptico, el pH puede ser inferior al del líquido fresco.

Los lípidos se descomponen y producen olo-

res desagradables; son responsables de la formación de espuma en la unidad de sedimentación y recubren otras partículas orgánicas. Los microorganismos presentes en el líquido cloacal varían en tipo y número, de acuerdo con su composición. Los microorganismos pueden ser: hongos, protozoarios, algas, bacterias y virus.

El líquido cloacal crudo puede contener millones de bacterias por mililitro, incluyendo coliformes, estreptococos, proteus y otras originadas en el tracto intestinal del hombre. El líquido cloacal puede ser también una fuente potencial de protozoarios, bacterias y virus patógenos, tales como los agentes causantes de la disentería, cólera, fiebre tifoidea, virus de la poliomielitis y de la hepatitis infecciosa.

Los microorganismos que intervienen en la purificación del líquido cloacal actúan oxidando o reduciendo, según sea el medio:

- En ambiente anaeróbico pueden reducir la urea, hidrolizar las proteínas y la celulosa, emulsionar las grasas, reducir los nitratos y sulfatos y producir metano, dióxido de carbono y amoníaco.
- En ambiente aeróbico producen nitritos y nitratos, dióxido de carbono y agua.

Descomposición aeróbica y anaeróbica.

Existen, entonces, dos medios para descomponer el contenido orgánico de las aguas residuales:

- Donde la bacteria es capaz de utilizar el oxígeno libre en los procesos de su vida, se produce descomposición aeróbica.
- Donde la bacteria debe extraer el oxígeno de los compuestos pues no hay oxígeno libre, se produce descomposición anaeróbica.

En un ambiente favorable dado puede aprovecharse a voluntad uno u otro método, y ambos son útiles. Por lo común, los barros se tratan por métodos anaeróbicos; y, al contrario, los sólidos en solución o en condición coloidal, se tratan por métodos aeróbicos.

Por regla general, de esta manera logramos alcanzar la mejor economía, lo cual no quiere decir que no podemos lograr éxito eligiendo uno independientemente del otro.



Los líquidos residuales de la industria alimenticia se caracterizan por tener alta concentración de materia orgánica y pueden tratarse en plantas similares a las de líquidos cloacales; pero otras industrias pueden alterar las condiciones de las plantas diseñadas para desagües cloacales cuando éstos son de carácter muy tóxico, muy ácido, muy alcalino o de cualquier naturaleza que perturben los procesos fisicoquímicos y bioquímicos que van efectuándose que, en ciertas proporciones, impiden los procesos enzimáticos de los microorganismos o, incluso, producen su muerte.

En el recurso didáctico **Planta de tratamiento de aguas residuales** se puede ensayar el tratamiento de aguas residuales provenientes del alcantarillado cloacal y de las industrias alimenticias.



Materia viva. Entre la materia viva incorporada a las aguas, abarcada con la denominación de microorganismos, pueden citarse: virus,

algas, protozoos, bacterias, hongos, insectos, rotíferos, etc.

Los microorganismos pueden ser **parásitos**, si viven a expensas de otro organismo vivo; y tienen características de benignos o de patógenos. Estos últimos pueden ser causa de enfermedades que afectan directamente al hombre, como hepatitis, fiebres tíficas, cóleras, salmonelosis, disenterías, etc., que marcan el peligro potencial de las aguas residuales.

La importancia de la bacteriología de las aguas de alcantarillado se justifica al señalar que, de los 20 g/h.d en las heces, el 25 % son bacterias, cuyo número se estima en $2,5 \cdot 10^{10}$ bacterias por gramo. Las bacterias coliformes son las más abundantes; de ellas, los coliformes fecales constituyen el 30 al 40 %. Con independencia de los coliformes y del *Escherichia coli* se encuentran los estreptococos, *Lactobacillus*, estafilococos, *Proteus* y *Pseudomonas*, y especies bacterianas esporógenas.

Las bacterias patógenas se excretan, generalmente, de forma intermitente y en cantidades variables, según el estado de salud de la población. Entre los principales organismos que se encuentran en las aguas residuales, se pueden citar los gérmenes *Salmonella*, *Sigella*, *Brucella*, *Microbacterium*, *Leptospira*.

Un aspecto importante, que nunca debe olvidarse, es la supervivencia de los microorganismos, que pueden ocasionar contaminación en verduras, cultivos, praderas y en las aguas.

Otra clasificación importante es la basada en la posibilidad que tienen los microorganismos para la captación de oxígeno, como elemento básico energético de su vida. Atendiendo a esta característica:

CLASIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS

Aerobios	Se caracterizan por captar de forma directa el oxígeno disuelto en el agua.
Anaerobios	Obtienen el oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).
Facultativos	Pueden adaptarse a las condiciones aerobias o anaerobias, dependiendo de la existencia o no de oxígeno disuelto en las aguas.

Decíamos que un grupo de microorganismos es patógeno y puede originar serios problemas sanitarios al hombre; pero, conviene dejar en claro aquí que, por otro lado, existen legiones de microorganismos que colaboran con la naturaleza, ayudando a un continuo reciclado, reutilización de la materia, cerrando ciclos tan importantes como los del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

Formando parte de la materia viva del líquido cloacal también es posible encontrar organismos macroscópicos, que son visibles, como gusanos, insectos y otras formas que ayudan a la descomposición biológica de la materia orgánica.

Concentración de materias oxidables biológicamente. Los compuestos orgánicos naturales contienen carbono, hidrógeno y oxígeno —que constituyen los elementos principales— así como nitrógeno, fósforo y azufre; son de origen vegetal o animal, y pueden estar constituidos por:

- 40-60 % de proteínas
- 25-50 % de carbohidratos
- 10 % de lípidos

Los compuestos
naturales
del carbono

Los seres vivos utilizan estos compuestos como la fuente energética a través de la oxidación biológica que se produce en el seno

del agua —hasta su mineralización—; de hecho, el oxígeno se convierte en índice fundamental para la definición y el control de las aguas residuales. Esta cantidad de oxígeno en el agua puede ser incrementada por:

- Captación del oxígeno a través de la superficie de la interfase agua-aire.
- Acción fotosintética debida, principalmente, a las algas verdes.

La cantidad de oxígeno puede disminuir por respiración de los microorganismos, por elevación de la temperatura, por reacciones químicas y por la acción metabólica de los microorganismos.

La materia orgánica absorbe de forma natural una cierta cantidad de oxígeno hasta su mineralización, ya sea por procesos químicos o biológicos de oxidación que se dan en el seno del líquido. El índice para medir este fenómeno puede efectuarse mediante el análisis de parámetros tales como:

- a. demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5),
- b. demanda química de oxígeno (DQO).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). La DBO es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la oxidación por vía biológica de la materia orgánica

ca biodegradable presente en ella, en determinadas condiciones de ensayo (20 °C, presión atmosférica, oscuridad y muestra diluida con agua de dilución con oxígeno disponible durante el periodo de incubación).

En algunos casos, cuando se trata de líquidos cloacales con elevados contenidos de líquidos industriales, es necesario que el agua de dilución contenga nutrientes y también puede necesitarse agregar un cultivo bacteriano.

El ensayo se realiza llenando uno o varios frascos con el agua cruda a analizar más el agua de dilución en distintas proporciones; estos frascos se tapan y se colocan en incubación en un lugar oscuro, a 20 °C. Transcurrido un cierto tiempo, se determina la cantidad de oxígeno consumido en función de la cantidad de oxígeno disuelto de las muestras.

El periodo de incubación es, generalmente, de 5 días a 20 °C. Pueden utilizarse otros periodos de tiempo y temperaturas –pero, esta última debe ser constante a lo largo de todo el ensayo–. La presión también influye en el ensayo, pero su variación no es muy significativa.

En las curvas de la figura puede observarse la evolución de la DBO en función del tiempo y de la temperatura; a diferente temperatura se obtienen distintos resultados, ya que las velocidades de reacción bioquímica son función de ella.

La oxidación bioquímica es un proceso lento y, teóricamente, tarda un tiempo infinito en completarse. Transcurridos 20 días, la oxidación ha alcanzado entre un 95 a 99 %; y, en el plazo de 5 días utilizado en el ensayo de DBO₅, la oxidación ha llegado hasta un 60 a 70 %.

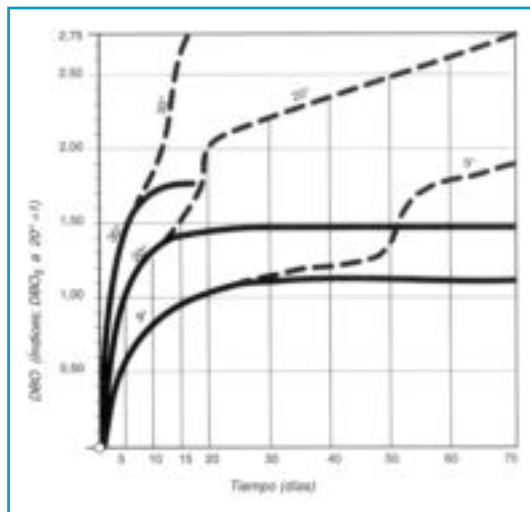
La curva está formada por dos etapas. En la primera (línea completa) se produce la des-

composición de los compuestos del carbono; ésta se inicia inmediatamente y, con una temperatura de 20 °C, concluye aproximadamente a los 20 días. La segunda etapa (línea de trazos), en la que se produce la descomposición de los compuestos nitrogenados, se inicia al cabo de algunos días (con 20 °C a los 10 o 15 días).

Entre las desventajas de la DBO se encuentran las de requerir:

- elevada concentración de bacterias activas.
- agregado de nutrientes, en algunos casos,
- pretratamiento, si existen residuos tóxicos,
- reducir los efectos de los organismos nitrificantes,
- prolongado tiempo para obtener resultados,

Con ella, además, sólo se miden los productos biodegradables.



Demanda química de oxígeno (DQO). La DQO es la cantidad de oxígeno disuelto, consumida por un líquido residual durante la oxidación de la materia orgánica por vía química, provocada por un agente químico fuertemente oxidante.

Como agente químico oxidante se utiliza el dicromato de potasio y, para facilitar la oxidación de ciertos compuestos orgánicos, se agrega un catalizador (sulfato de plata). Si el ensayo se realiza en frío, la determinación tarda aproximadamente 2 horas; pero, si se efectúa a elevada temperatura, la oxidación tarda 30 minutos.

La oxidación se produce sobre las sales minerales oxidables y sobre la materia orgánica biodegradable; por lo tanto:

DQO agua residual > DBO agua residual

Esto, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente.

En muchos líquidos cloacales es posible establecer correlaciones entre los resultados de la DQO y los de la DBO.

La DQO permite medir la materia orgánica en líquidos cloacales e industriales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

Materia inorgánica. Algunos componentes inorgánicos tienen especial importancia, ya que permiten detectar la descarga de desagües industriales.

PH. El pH es la concentración del ión hidrógeno. Los desagües cloacales tienen valor próximo a 7, adecuado para los organismos neutrófilos. Valores altos o bajos del pH significan la aparición de desagües industriales. Para garantizar los procesos biológicos, debe controlarse el pH entre 6.2 y 8.5; de esta forma, no se generarán problemas de inhibición.

Cloruros. El ión cloruro está presente siempre en los líquidos cloacales; el aporte por

heces humanas es de unos 6 g cloruros/ (hab. día). En los lugares donde la dureza del agua es elevada, los ablandadores pueden incorporar grandes cantidades de cloruros al líquido cloacal.

La infiltración en la red de desagües cloacales de aguas subterráneas cercanas a aguas saladas o al mar es otra fuente de cloruros y de sulfatos.

Su consideración sirve para detectar vuelcos industriales, cuando su concentración presenta oscilaciones fuertes o valores muy distintos a los del líquido cloacal.

La salinización del líquido cloacal inhibe la acción de los microorganismos en las plantas de tratamiento; comienzan a presentarse problemas cuando los cloruros alcanzan los 3.500 mg/l.

Nitrógeno. El nitrógeno presente en el líquido cloacal fresco se encuentra, principalmente, en la forma de urea y materia proteica. Por la acción de las bacterias se transforma en nitrógeno amoniacal, ya sea como ión amonio (pH inferior a 7) o como amoníaco (pH superiores a 7). La edad del líquido cloacal está indicada, entonces, por la cantidad de amoníaco presente.

En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. El predominio del nitrógeno del nitrato indica que el líquido cloacal se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno.

Fósforo. El líquido cloacal puede contener de 6 a 20 mg/l de fósforo; éste es aportado por las excretas humanas, detergentes, etc. El fósforo es un elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos de las aguas y, en consecuencia, para la depuración biológica.

Azufre. Los sulfatos se encuentran presentes en el líquido cloacal; son reducidos químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno por las bacterias, en condiciones anaeróbicas. El sulfuro de hidrógeno SH_2 puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico, el cual es corrosivo para las cañerías de cemento.

Gases. Los gases más frecuentes encontrados en el líquido cloacal sin tratar son: nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4). Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que están expuestas al aire; los otros se originan por la descomposición de la materia orgánica presente en el líquido cloacal.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios; pero es ligeramente soluble en el agua y su presencia en la solución depende de: la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura, la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.).

La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable, porque evita la formación de olores desagradables; en los meses de verano, los niveles de oxígeno disuelto tienden a disminuir, haciéndose críticos, porque aumenta la velocidad de las reacciones bioquímicas que lo utilizan.

Sulfuro de hidrógeno. Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. No se forma en presencia de un abundante suministro de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con olor a huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del barro se debe a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el

hierro presente para formar sulfuro ferroso (SFe). Durante la descomposición anaeróbica pueden generarse otros compuestos volátiles como el indol, escatol y mercaptanos que pueden producir olores peores que el del sulfuro de hidrógeno.

Metano. El metano es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del líquido cloacal. Es un hidrocarburo incoloro e inodoro de gran valor como combustible. En el líquido cloacal no suelen encontrarse grandes cantidades, debido a que pequeñas cantidades de oxígeno son tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano.

Características biológicas del líquido cloacal.

Los aspectos biológicos incluyen los microorganismos que se encuentran en el líquido cloacal, los que intervienen en el tratamiento biológico y los que se utilizan como indicadores de polución.

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas residuales se dividen en:

- Protistas: bacterias, hongos, protozoos y algas.
- Plantas: las de semilla, helechos, musgos y hepáticas.
- Animales: vertebrados e invertebrados.

Los virus –que también se encuentran en el líquido cloacal– se clasifican según el sujeto infectado.

Bacterias. Son las encargadas de la descomposición y estabilización de la materia orgánica.

Algas. Cuando las condiciones son favorables, pueden reproducirse rápidamente cubriendo ríos, lagos y embalses, produciendo eutrofica-

ción. Las descargas de líquido cloacal crudo o tratado, rico en nutrientes biológicos, favorecen la eutroficación. La presencia de algas afecta las fuentes de agua porque pueden causar problemas de olor y sabor; además, pueden alterar el valor de las aguas superficiales para usos recreativos por el crecimiento de ciertas especies de peces y de otro tipo de vida acuática. En el tratamiento del líquido cloacal puede ser necesario controlar o eliminar el carbono, las distintas formas del nitrógeno y del fósforo y otros elementos –como el hierro y el cobalto– a efectos de eliminar nutrientes que eviten la eutroficación.

Protozoos. Los más importantes son amebas, flagelados, ciliados libres y fijos. Se alimentan de bacterias y de otros protistas microscópicos, y son importantes en los procesos biológicos y en la purificación de los ríos, por mantener el equilibrio entre los distintos microorganismos.

Organismos coliformes. Las bacterias coliformes forman la flora intestinal de hombre; no son patógenas para él y pueden destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento del líquido cloacal. Una persona evacua entre 100.000 y 400.000 millones de organismos coliformes por día.

Los organismos patógenos son evacuados por los seres humanos que tienen una enfermedad o que son portadores de alguna. Estos organismos excretados por el hombre causan enfermedades del sistema gastrointestinal como la fiebre tifoidea, disentería, diarrea y cólera.

Como el número de organismos patógenos presentes en el líquido cloacal y en aguas contaminadas es reducido y difícil de aislar, los organismos coliformes se utilizan como indicador de que los organismos patógenos también pueden estar presentes; su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

La materia orgánica es un medio óptimo para el desarrollo de las bacterias y, por otro lado, el número de microorganismos en los vertidos es elevado. Así, en vertidos de una ciudad sobre un cauce pueden detectarse, por cada 100 ml:

- $300 \cdot 10^6$ aerobios,
- $25 \cdot 10^6$ coliformes y
- $5 \cdot 10^6$ estreptococos.

Se observa, en consecuencia, la necesidad de contemplar estos índices. Para su determinación se han escogido microorganismos de origen humano y de fácil detección. Así, normalmente, se determinan:

- Colimetría por enriquecimiento en caldo lactosa estándar.
- Estreptometría, estreptococos en caldo glucosado.
- Colonias en agar (a 37°C y 48 horas).
- Colonias de anaerobios tipo *Clostridium welchii* en agar Wilson.

Selección del método de tratamiento

Los determinantes más importantes en la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales son:

- la naturaleza del agua residual y
- los requerimientos de uso o disposición del efluente.

Por esto, la solución de un problema de tratamiento de aguas residuales se despliega en:

ETAPAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Caracterización del agua residual cruda y definición de las normas de vertimiento.
- Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y la comparación de costos de las alternativas propuestas.
- Diseño detallado de la alternativa de costo mínimo.
- Construcción.
- Operación y mantenimiento del sistema construido.

Las condiciones óptimas de operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales dependen de las características físicas, sociales y económicas preponderantes en el sitio de localización de la planta, las que se tienen en cuenta al definir el diseño del sistema; son ellas las que establecen la confiabilidad, la flexibilidad, los requerimientos de personal técnico, el grado de automatización y de control de proceso, y los costos de la operación y del mantenimiento.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales de diseño y eficiencia excelente pero con costos de operación y mantenimiento altos —que el explotador no tiene capacidad de solventar—, resulta una mala opción; porque, la experiencia indica que el costo inicial y los costos de operación y mantenimiento constituyen el factor primordial al adoptar una solución de contaminación hídrica exitosa. Por otra parte, un sistema de tratamiento de baja confiabilidad no garantiza la producción de un efluente de la calidad requerida y convierte la operación del sistema en un problema que obliga a poner atención y a destinar recursos excesivos a esta actividad. La disponibilidad de personal técnico altamente calificado y de suficientes recursos económicos también es un requisito decisivo para la

adopción de diseños con equipos mecánicos complejos.

Los principales factores de importancia en la selección de procesos y operaciones de tratamiento son:

- **Factibilidad.** El proceso debe ser factible y, por consiguiente, compatible con el dinero disponible, el terreno existente, y la aceptabilidad del cliente o de la comunidad propietaria.
- **Aplicabilidad.** El proceso debe ser capaz de proveer el rendimiento solicitado; es decir, estar en capacidad de producir un efluente con la calidad requerida, para el rango de caudales previsto.
- **Confiabilidad.** El proceso debe ser lo más confiable posible; esto es, contar con condiciones óptimas de trabajo que sean difíciles de alterar, tener capacidad de soporte de cargas y caudales extremos, y mínima dependencia de tecnología u operación completa.
- **Costos.** El proceso debe ser de costo mínimo. La comunidad o el propietario deben ser capaces de costear todos los compues-

tos del sistema de tratamiento, así como su operación y su mantenimiento.

Las características del afluente, por su parte, determinan la necesidad de un pretratamiento particular, de uno primario o de un tratamiento secundario, así como el tipo de tratamiento (físico, químico, biológico o combinado), la necesidad de neutralización o de igualamiento, y el tipo de tratamiento biológico.

La cantidad y la calidad del lodo producido determinan la complejidad del tratamiento requerido para su disposición adecuada.

La mejor opción es un proceso sin problemas de tratamiento y disposición de lodos. Los procesos sencillos requieren menos personal, menor adiestramiento profesional y, por tanto, son más ventajosos.

Los diferentes tratamientos existentes constan de las mismas etapas en todos los casos:

1. Pretratamiento
2. Tratamiento primario
3. Tratamiento secundario –biológico–
4. Tratamiento terciario
5. Desinfección

En toda planta depuradora se realiza un **pretratamiento** que permite eliminar los sólidos gruesos y los elementos de grandes dimensiones; éste se realiza mediante rejillas gruesas y finas. Tiene como objetivo remover del agua residual aquellos componentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores. Los sólidos –arenas, tierra y otros sólidos de naturaleza mineral– se separan mediante unidades llamadas desarenadores. En algu-

nos casos y según las características del afluente, se realiza la separación de las grasas mediante desengrasadores.

En el **tratamiento primario** se eliminan, fundamentalmente, los sólidos en suspensión, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio.

Dependiendo de la tecnología de la planta de tratamiento, estas unidades son eliminadas; así sucede en el caso de tratamiento secundario con oxidación total o mediante lagunas aireadas, y en plantas pequeñas.

Constituye un modo de preparar el agua para el tratamiento secundario y se efectúa por medio de unidades llamadas sedimentadores primarios¹.

Los métodos corrientes para el tratamiento de las aguas residuales se han desarrollado, por lo general, con dos propósitos, que son: la captación de los sólidos sedimentables y la estabilización biológica. Se trata de imitar los procesos de la naturaleza, poniéndolos bajo control y acelerándolos por medio de instalaciones.

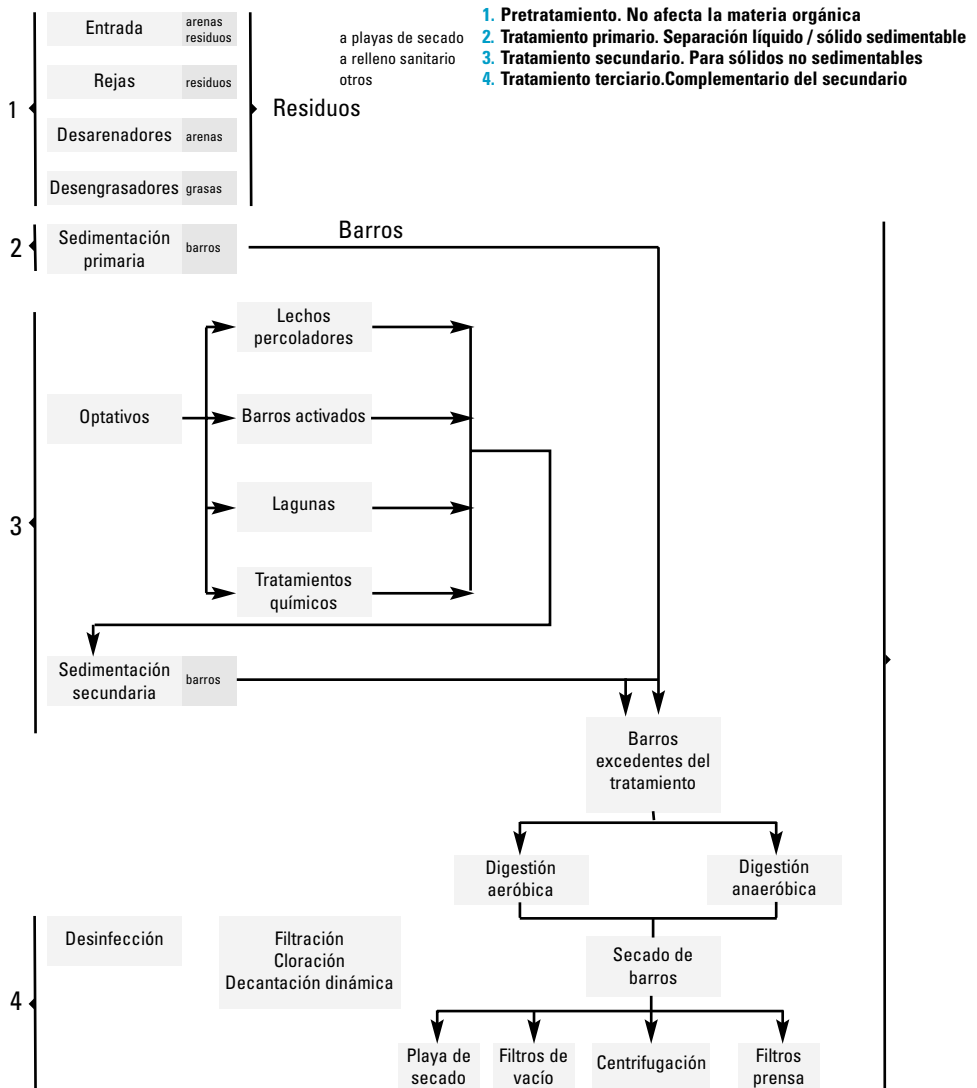
El **tratamiento secundario** se utiliza para remover DBO soluble y sólidos suspendidos; incluye los procesos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación.

El **tratamiento terciario** supone la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutroficación de cuerpos receptores o de mejorar la calidad del efluente secundario, con el fin de adecuar el agua para su reutilización.

La **desinfección** realizada con cloro gaseoso o soluciones de clorogénes basa su acción

¹ Aquellos procesos primarios en los cuales se mejoran los resultados por medio de la utilización de coagulantes químicos –tales como las sales de aluminio o hierro y cal– reciben el nombre de **tratamientos primarios avanzados**. Como procedimiento auxiliar, el tratamiento cumple un fin en aquellos casos en que se requiere obtener efluentes de una calidad bastante superior a la que resulta del tratamiento primario, aunque no justifican un tratamiento completo.

Esquema secuencial de una planta de tratamiento de líquidos cloacales



desinfectante del cloro en su muy elevada reactividad, que determina reacciones inmediatas con la mayoría de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

La nitrificación parcial o total de un efluente cloacal, consiste en la oxidación parcial o

total del nitrógeno amoniacal, transformándolo en nitritos y nitratos. En estos efluentes, dado que parte o todos los compuestos amoniacales han sido oxidados, pasando a ser compuestos oxigenados del nitrógeno, es mucho menor la cantidad de cloro que reaccionará con los pocos compuestos

amoniacaes presentes; es decir, será menor la demanda de cloro y, por lo tanto, también lo será la dosis necesaria para una eficaz desinfección.

La hidrólisis del cloro en el líquido cloacal da lugar a varios subproductos, de los cuales los más activos como desinfectantes son los siguientes, en orden decreciente de actividad:

- ácido hipocloroso,
- ión hipoclorito,
- monoclóraminas,
- dicloraminas.

Estos compuestos clorados reaccionan con los materiales genéticos (ácidos nucleicos) y proteicos de los microorganismos, produciendo alteraciones en su desarrollo, en su metabolismo y en su reproducción.

En general, es imposible predecir el conjunto de estos compuestos que resultará de la

cloración de un efluente cloacal, dada la gran variedad de sustancias orgánicas presentes en el líquido a clorar, por lo que suelen constituir una fracción desconocida al momento del proyecto, identificada como fracción total de halógenos orgánicos o fracción TOX –*Total Organic X*–, donde X representa al cloro, yodo y bromo). Dentro de esta fracción, los trihalometanos (identificados con la sigla THM) de los cuales, uno de los más conocidos es el cloroformo, están señalados como causantes de cáncer en animales. El vuelco de efluentes con trihalometanos en aguas que luego se utilizarán para ingesta humana, introduce el riesgo de incorporar agentes carcinógenos en la alimentación de los usuarios del sistema de agua potable.

Hasta que se aclaren definitivamente estas cuestiones, lo recomendable es no efectuar la cloración del afluente final; porque, además, muchos de los halógenos orgánicos formados son no biodegradables.

1. Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es el de remover el material flotante y en suspensión acarreado por las aguas residuales tales como papel, trapos, cáscaras, pedazos de madera, tapones de botella, latas, arena y grava, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las maquinarias, equipos e instalaciones de las unidades de tratamiento de la planta.

Entre los tratamientos preliminares podemos nombrar:

- 1.1. Rejas
- 1.2. Tamices
- 1.3. Desarenadores

REJAS

Según su inclinación

Horizontales
Verticales
Inclinadas

Según su forma

Rectas
Curvas
Tipo canasto

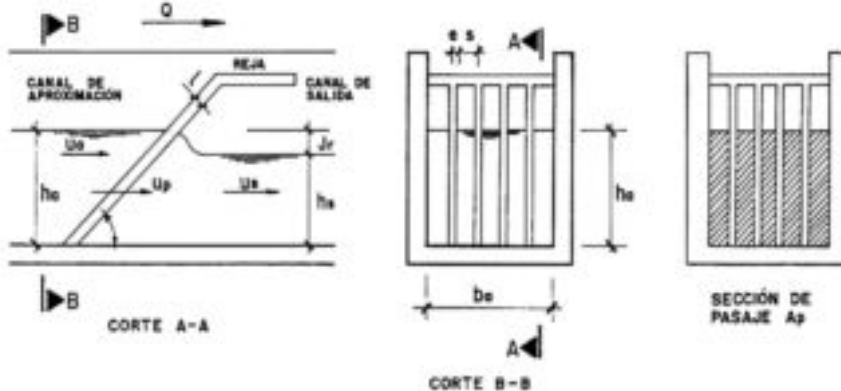
Según la separación entre las barras

Gruesas, con espaciamentos entre 5 a 15 cm.
Medias, con espaciamento entre 1.5-2 a 5 cm.
Finas, con espaciamentos entre 1 a 1.5-2 cm.

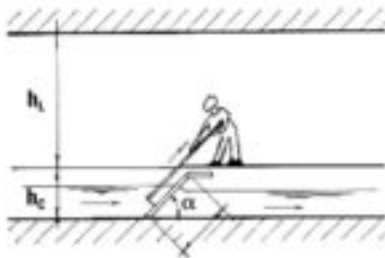
Según la forma de limpieza

Manual
Mecánica

Rejas inclinadas



Rejas de limpieza manual; dimensiones recomendadas



$h_1 = 2.30 \text{ a } 2.50 \text{ m}$
 $h_0 = \text{No superior a } 1.20 \text{ m}$
 $\alpha = 30^\circ \text{ a } 45^\circ$



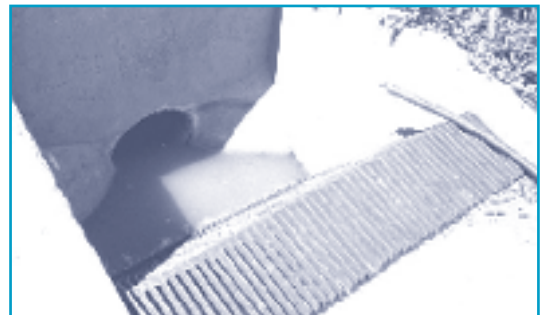
$L_1 = \text{No superior a } 1.50 \text{ m; preferentemente, no mayor a } 1.00$
 $L_2 = 2.00 \text{ m}$

1.1. Rejas. Son construidas con barras metálicas, distribuidas paralelamente, colocadas verticalmente e igualmente espaciadas. El espaciamiento está dado por la clase de material que se quiere remover y por la forma en que se va a retirar el material retenido.

Debido a que la limpieza manual es más esporádica, el espaciamiento de las rejas es mayor y las barras tienden a inclinarse a los límites superiores de los valores dados. En general, las rejas gruesas son de limpieza manual.

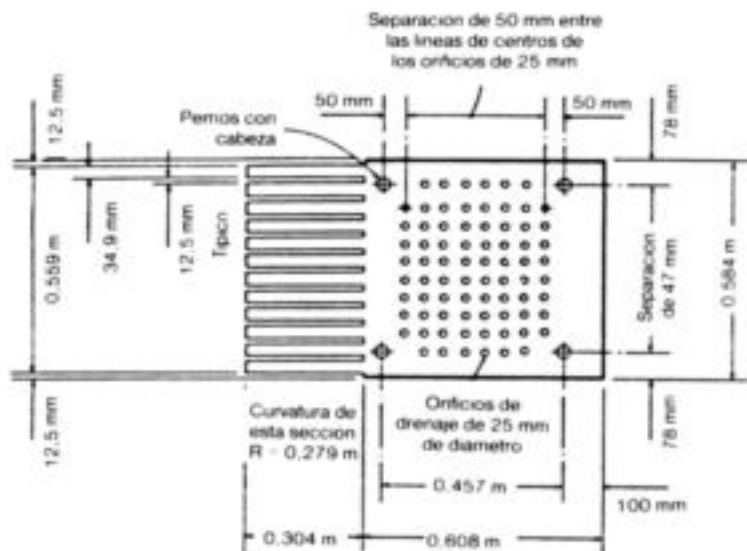
La utilización de rejas de tipo manual o mecánico está determinada por el tipo de planta de tratamiento y por la cantidad de

material retenido. El mantenimiento de las rejas mecánicas requiere más cuidado que el de las manuales, por lo que las primeras sólo se recomiendan para instalaciones grandes.

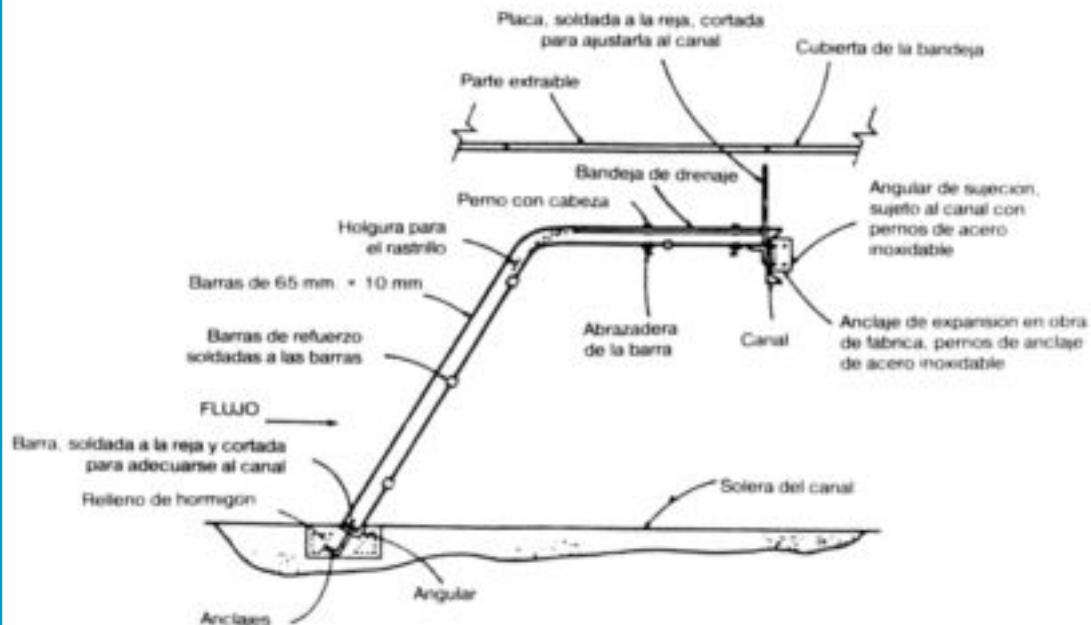


Reja de limpieza manual

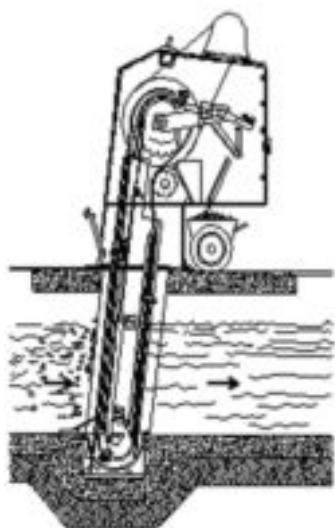
Reja de limpieza manual



Planta de la bandeja de drenaje



Reja inclinada de limpieza mecánica



La cantidad de material retenido está en función inversa al espaciamiento de las barras y sujeta a condicionantes climáticos. Los datos reportados en investigaciones² son:

Espaciamiento de las barras en rejillas de pretratamiento de líquidos cloacales

Abertura (cm)	Cantidad l/m ³
2,0	0,038
2,5	0,023
3,5	0,012
4,0	0,009

² Según Schroeffer, valores reportados para los Estados Unidos de Norteamérica.

El material retenido se caracteriza por poseer un 85 % de material combustible y de 80 a 90 % de agua, una densidad de 0,7 a 1,0 kg por litro y un poder calórico de 2.200 a 6.600 BTU por kilogramo, en estado húmedo, y de 30.000 BTU por kilogramo en estado seco.

Ejemplo de composición del material retenido por las rejillas durante el pretratamiento de líquidos cloacales –Sao Paulo. Brasil–

Papel	10 a 70 %
Estopa	10 a 20 %
Trapos y tejidos	5 a 15 %
Materiales diversos	20 a 60 %

El material removido en las rejillas puede disponerse de las siguientes formas:

- Incinerado.
- Enterrado.
- Transportado fuera de la planta.

Debido al alto contenido de humedad, la disposición por incineración del material removido requiere que éste sea secado previamente y el empleo de combustible suplementario.

Cuando el material es dispuesto por enterra-

miento, se debe tener cuidado de cubrirlo con una capa de tierra de 30 a 50 cm de espesor ya que, de no ser así, se presenta el problema de proliferación de roedores, moscas y demás vectores.

Cuando la limpieza de las rejillas se hace manualmente, es necesario contar con espacio para el almacenamiento del material removido; éste no debe dejarse acumular por más de tres horas, por ningún motivo.

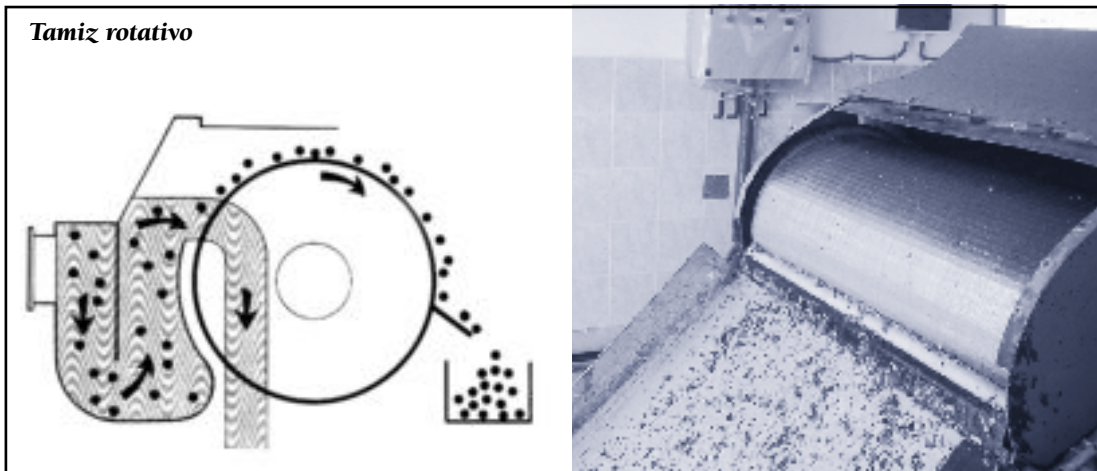
El transportado fuera de la planta es recomendable donde pueda haber gran cantidad de residuos filamentosos, de frutas etc.

1.2. Tamices. El proceso de tamizado es netamente físico y se utiliza para eliminar los residuos sólidos. Hay tamices con separación de hasta 0.2 m, aún cuando los que más habitualmente se utilizan son de 1 mm de abertura.

TAMICES

- Planos estáticos
- Curvos estáticos
- Giratorios con sistema de limpieza
- Con superficies móviles

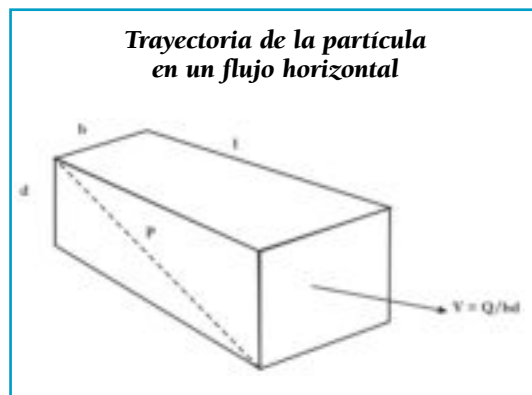
Tamiz rotativo



1.3. Desarenadores. Permiten la remoción de elementos en suspensión, sólidos inorgánicos presentes en las aguas negras, constituidos por arenas, grava, arcillas, ceniza y tierra, los que perjudican el tratamiento posterior. Porque, por abrasión, las arenas aceleran el desgaste sobre los elementos mecánicos en movimiento y producen la obstrucción de las estructuras de tratamiento, al reducir su vida útil y al generar sobrecargas de barros, depósitos en las conducciones hidráulicas, tuberías y canales, abrasión en rodets de bombas y equipos, disminuyendo la capacidad hidráulica.

La separación de arenas no se realiza conjuntamente con la decantación (sedimentación primaria). Debido a la complicación que produce la mezcla de lodos y arena, ésta ocasionaría una mayor densidad de los barros y haría más difícil su separación de las paredes y fondo de los depósitos y conducciones, aumentando el riesgo de atascamientos en canales.

una reducción de la velocidad del flujo por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica.



Tenemos:

Caudal Q Sección (S) x Velocidad (V)

Partícula:	P	$Q = S \cdot V$
Distancia:	d	$Q = b \cdot d \cdot V$
Tiempo:	t	$Q = b \cdot d \cdot l / t$
Velocidad horizontal:	$V = l / t$	$Q = b \cdot l \cdot R$
Velocidad de caída:	$R = d / t$	$Q = A \cdot R$

Las arenas no son putrescibles y tienen velocidades de sedimentación superiores a las de los sólidos orgánicos que sí se pudren.

Los desarenadores son depósitos donde, por reducción de la velocidad de flujo, se produce la retención de las arenas que se acumulan en el fondo. Los desarenadores se ubican antes de los equipos mecánicos (bombas desmenuzadoras) y son precedidos por las rejas.

Su diseño se asemeja al de un canal cuyo propósito fundamental es el de mantener una velocidad de flujo tal que no supere —ni por exceso ni por defecto— cierto rango preestablecido, que es del orden de 30 cm/s con $\pm 20 \%$.

El procedimiento utilizado para poder separar la arena del agua residual consiste en provocar

Así, la teoría indica que manteniendo Q constante para cualquier valor R (que estará fijado por el diámetro de las partículas que queremos remover), habrá un área superficial $A = b \cdot l$ inversamente proporcional.

O sea: El área $b \cdot l$ será necesariamente mayor si se seleccionan partículas más pequeñas para ser extraídas, y viceversa. Además, no hace falta que la profundidad del estanque sea mayor que la que corresponde a la distancia vertical que ha de caer la partícula durante el período de su travesía o retención.

En la práctica, hay que tomar en cuenta muchos otros factores además de los teóricos. Después de todo, no podemos diseñar un estanque de dimensiones tales que varíen con el valor variable de Q, ni desatender la desi-

gualdad de las velocidades a través de la sección, en términos de la velocidad promedio ni de la distribución casual de las partículas en el flujo, ni pasar por alto muchas condiciones que distan mucho de ser las ideales.

Por ejemplo. Si buscamos el área superficial, en metros cuadrados, que requiere teóricamente un tanque desarenador a fin de eliminar los sólidos suspendidos cuya velocidad de sedimentación es mayor de 2.0 mm/s, siendo el gasto de 10.000 m³/día.

$$V = 2,0 \text{ (86.400/1.000)}$$

$$V = 172,8 \text{ m/día}$$

$$A = b \cdot l$$

$$A = 10.000 \text{ (m}^3\text{/día) / 172.8 (m/día)}$$

$$A = 58,0 \text{ m}^2$$

La experiencia enseña que, en un tanque desarenador de poca profundidad, de una sección y una longitud tales que la velocidad

promedio del flujo esté comprendida entre 0,15 y 0,30 m/s, el período de retención es de un minuto, aproximadamente, y sirve bastante bien para la remoción por gravedad de las partículas pesadas de un diámetro efectivo de 0,20 mm, o más. Es decir, puede depositarse mucha de la materia inerte y dejar pasar la materia suspendida que debe destinarse a los procesos de tratamiento. Si no se cumple esta condición, en el proceso se producen depósitos de materia que puede fermentar, produciendo malos olores y difícil manejo.

DESARENADORES

Según el tipo de flujo

De flujo horizontal

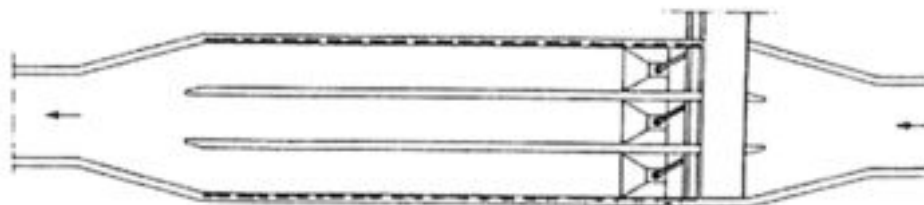
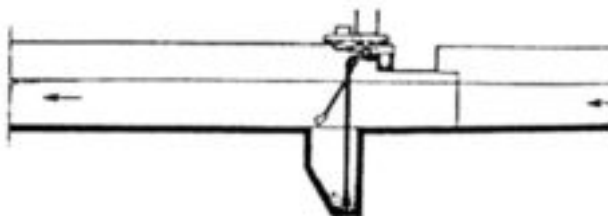
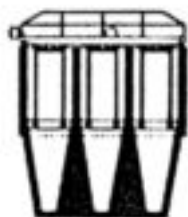
De flujo vertical

Según el tipo de separación

Con separación natural

Con separación dinámica (inyección de aire)

Desarenador de flujo horizontal



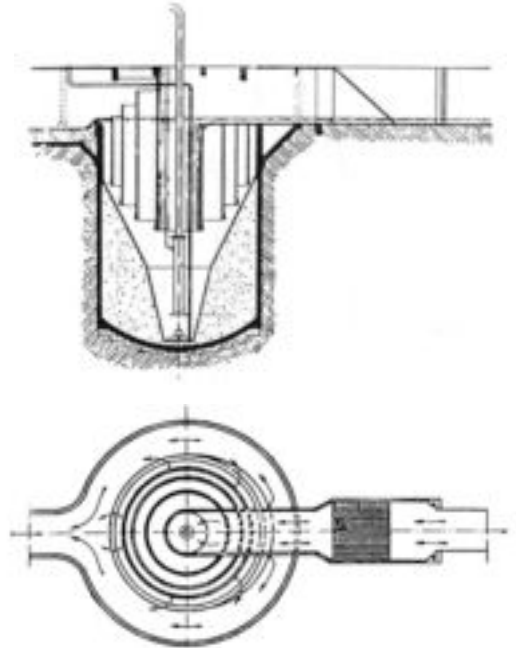
Los **desarenadores de flujo horizontal** son los más comúnmente utilizados. Se materializan realizando un ensanchamiento del canal conductor del líquido, con el objetivo de disminuir la velocidad a 20-30 cm/s.

Su eficiencia depende, básicamente, de su superficie horizontal y de la velocidad de caída de las partículas en suspensión.

Uno de los problemas más comunes es que la velocidad horizontal de circulación del agua –al ser función del caudal afluente– sufren variaciones permanentes. A pesar de que existen dispositivos de regulación de la velocidad, no se han conseguido obviar estos problemas.

Los **desarenadores de flujo vertical** funcionan a sección llena. En ellos, la velocidad ascensional del agua es inferior a la velocidad de la caída de los granos de arena, por lo que se puede obtener su depósito; en caso contrario, no hay sedimentación de las partículas.

Desarenador de flujo vertical



Su desventaja principal es que deben ser mucho más profundos que los de flujo horizontal. En ellos, la cantidad de material retenido depende de:

- los factores geométricos del dimensionamiento y de sistema de desagües (separado o unitario),
- el estado del terreno y del pavimento,
- los sistemas de limpieza,
- el tipo de sumideros,
- la frecuencia e intensidad de las precipitaciones.

La mayor velocidad de caída de la materia orgánica es de 3 a 4 cm/s. En consecuencia:

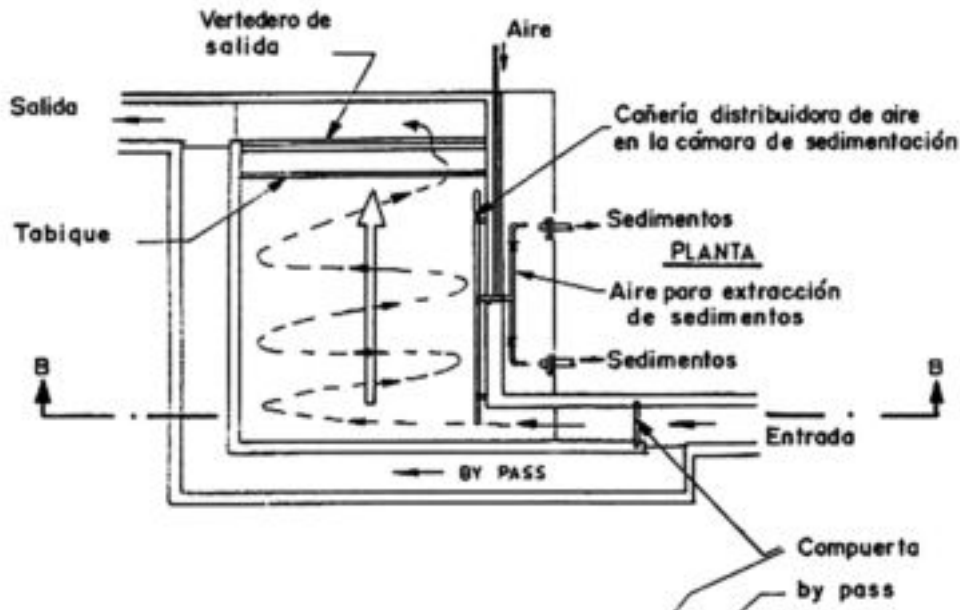
- si se fija la velocidad ascensional del desarenado en 6 cm/s, se puede asegurar que no habrá depósito y que los granos de arena, en su mayor parte, quedarán retenidos; este rango de velocidades asegura la

deposición de gran parte del material inerte e, inevitablemente, de una pequeña cantidad de materia orgánica asociada a él;

- velocidades menores de 15 cm/s producen que la disposición de materia orgánica putrescible aumente considerablemente;
- velocidades mayores de 40 cm/s producen el arrastre de las partículas que se desea remover.

Existen diseños con aditamentos para regular la velocidad del flujo (separación dinámica); entre éstos se cuentan las unidades con inyección de aire. En estas unidades, el aire es inyectado a una altura de un metro o más del fondo; la acción agitadora del aire mantiene en suspensión a la materia orgánica más ligera y deja que las arenas queden relativamente libres de ella, depositándose en la zona no agitada que queda bajo la de difusión del aire.

Desarenador de flujo helicoidal por aire



La cantidad de arenas retenidas está definida, obviamente, en función del tipo de sistema y del estado de conservación del alcantarillado, del porcentaje del área pavimentada de la población servida y de la estación del año, principalmente.

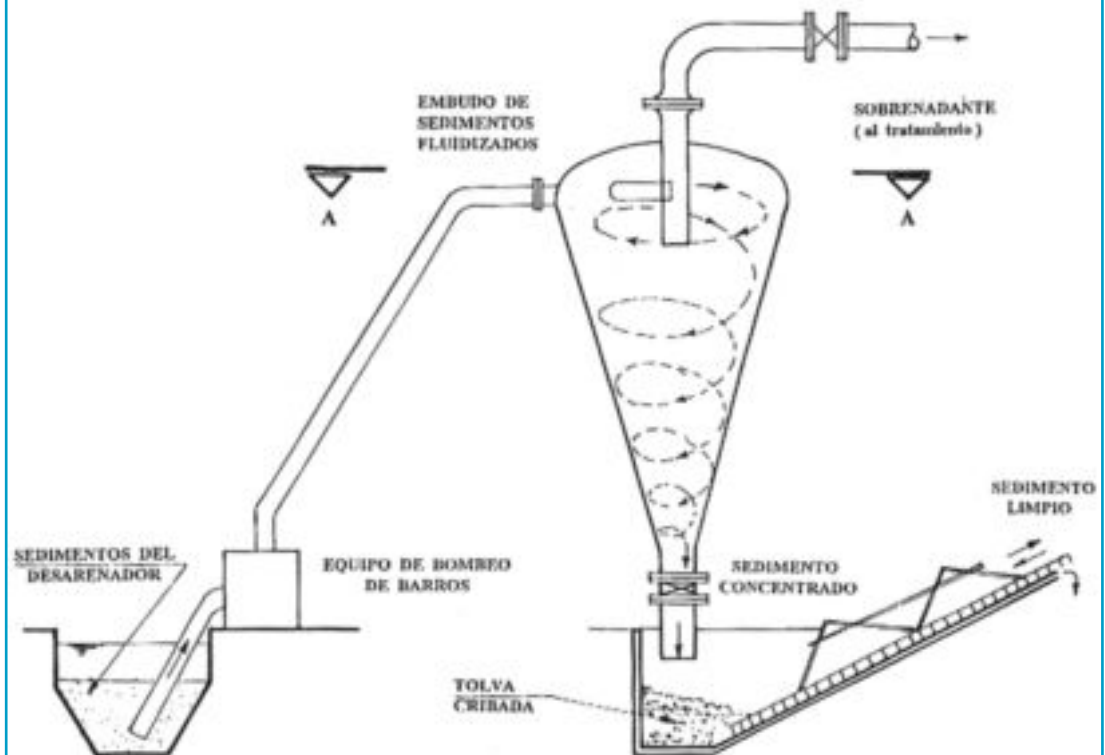
Por regla general, puede esperarse un volumen de arenas:

- de 7 a 30 l por cada 1.000 m³ para sistemas separados y

- de hasta 220 l por cada 1.000 m³, en sistemas combinados.

La limpieza de las unidades de desarenado puede ser manual o mecánica. Cuando el desarenador se limpia manualmente, se debe proveer espacio para el almacenamiento de las arenas depositadas. Los desarenadores para plantas de tratamiento de desechos de sistemas de alcantarillado combinado, deben tener al menos dos unidades que se limpien manualmente o una unidad de limpieza mecánica provista de una derivación auxiliar.

Sistema de lavado de arenas



Existe un variado número de equipos para desarenadores; entre ellos se cuentan los de tipo rotativo con palas aspadoras del fondo, los de elevación por eyector a aire, los de remoción de arenas por transporte de tornillo, los de remoción por bombeo.

La disposición de las arenas retenidas en los desarenadores es, por lo común, por enterramiento, ya que el contenido de materia orgánica putrescible impide su uso para otros propósitos.

Es aconsejable que la limpieza de los desarenadores se realice cuando el espacio de almacenamiento esté lleno entre un 50 y 60 %. Cuando se usan unidades de limpieza mecánica que no son de accionamiento automático, el sistema debe limpiarse (accionar el mecanismo) a intervalos regulares, para evitar una carga indebida sobre el mecanismo limpiador.

Las observaciones del fabricante y la experiencia determinan la frecuencia apropiada.

Registrar un marcado olor de las arenas es un indicio de mal funcionamiento, ya que indica que se está depositando demasiada materia orgánica.

En la **limpieza manual**, la gran mayoría de los problemas en la operación en los desarenadores es proveniente de la variación de velocidad dentro de la cámara. La operación debe contemplar las siguientes fases:

- Medición periódica de la capa de arena acumulada.
- Aislamiento de la cámara que contiene la cantidad de arenas establecida para remoción; generalmente, cuando el material ocupa la mitad del líquido del canal o bien 2/3 de todo su drenaje de los efluentes retenidos en la cámara.

- Envío del líquido a otra unidad o bien al líquido afluente.
- Estimación de la cantidad de arena retenida.
- Transporte del material removido para alguno de los destinos adecuados; la disposición en superficie no es adecuada.
- Lavado de la cámara.
- Análisis de una muestra de arena, en términos de sólidos volátiles.
- Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsiguientes.

En la **limpieza mecánica** son necesarios los recaudos de:

- Mantenimiento del movimiento de los equipos libre de taponamientos.
- Lavado diario.
- Vaciado de la unidad; por lo menos una vez al año deben ser revisados los equipamientos y las conducciones sumergidas, así como las condiciones de la estructura.

Los siguientes componentes deben ser revisados periódicamente:

- Rejas.
- Bulones de los elevadores de contenedores, cadenas y engranajes.
- Rieles y apoyos de los transportadores aéreos.
- Hélices de recolección.
- Pines de trituración.

El equipamiento que opera sumergido y las cadenas deben ser lubricados según las recomendaciones del fabricante, en cuanto a frecuencia y al tipo de lubricante a utilizar.

La utilización de contenedores de materiales fuertes y livianos reduce el desgaste de la cadena del elevador. También ayuda el rociado de las cadenas con agua, a medida que emergen del agua en tratamiento; este procedimiento evita que la arena se incruste en las uniones de la cadena. El operador debe man-

tener una distribución del flujo pareja a través de la sección de las cámaras de arena circulares y rectangulares.

Las cámaras aireadas requieren una ventilación adecuada si la cámara está encerrada; de lo contrario, la atmósfera corrosiva afectará, inevitablemente, los controles y los elevadores. Los elevadores deben ser inspeccionados al menos una vez al año. Los tubos dañados o doblados deben ser enderezados o sustituidos, según se requiera. Si disminuye la turbulencia superficial, es necesario limpiar los difusores, para eliminar jirones y exceso de arena.

Los gases explosivos o tóxicos contenidos en los desagües crean una atmósfera indeseable. En esos casos se deben tomar las medidas de:

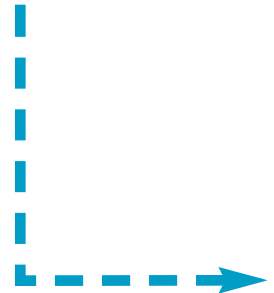
- Ventilado del desarenador.
- Definición de la zona como explosiva; protección acorde.
- Definición de la zona como tóxica; protección de los operadores.

Si no se elimina la arena en las primeras etapas del proceso, ésta causará problemas más tarde, de manera inevitable. De aquí que lograr un alto nivel de eliminación temprana

de arenas sea un objetivo deseable. No obstante, el operador debe tener en cuenta la relación entre el desgaste de los equipos y el aumento de la eficiencia de eliminación de arena, y la longevidad de los equipos de aguas abajo. Las cámaras de aireación y los sistemas de desarenadores de ciclón resultan menos agresivos con los equipos; los canales de limpieza manual evitan el desgaste del equipamiento.

El contenido volátil de la arena es otra de las consideraciones de control. Un mayor nivel de eliminación de arena conlleva mayor nivel de eliminación de materia orgánica —que es un resultado indeseable cuando ésta supera el 15 %, dado que la arena debe disponerse como barro—.

Dado que el equipamiento de eliminación de arena tiene muchas partes móviles, aparece un gran número de roturas y de funcionamiento defectuosos posibles, que afectan la operación y la eficiencia del sistema. El operador debe conocer sus equipos y saber evaluar los problemas que han de ocurrir. Siempre se deben seguir las instalaciones del manual de operación y mantenimiento del fabricante de los equipos.



GUÍA PARA LA OPERACIÓN DE LOS DESARENADORES

a) Desarenadores

Síntoma, observación	Causa probable	Revisar o monitorear	Solución
Arena en los canales.	Canales operando a excesiva velocidad. Elevadores o equipos de eliminación operando a muy baja velocidad.	La velocidad del colector.	Reducir la velocidad del colector.
Mucha vibración en el desarenador (tipo ciclón).	Obstrucción en el puerto inferior o superior.	El flujo en el puerto inferior.	Eliminar la obstrucción.
Olor a huevo podrido en la cámara de arena.	Formación de SH_2 .	Los depósitos de barro, en busca de sulfitos disueltos.	Lavar la cámara y dosificar con hipoclorito.
Acumulación de arena en la cámara.	Desechos sumergidos. Velocidad de flujo muy lenta, o cadena o elevador roto.	La cámara en busca de desechos. Los equipos.	Lavar la cámara a diario. Eliminar desechos. Reparar equipos.
Corrosión del metal y el hormigón.	Ventilación inadecuada.	La ventilación y la presencia de sulfitos, total y disuelta.	Aumentar la ventilación, y reparar y pintar anualmente.

b) Desarenadores con aire

Síntoma, observación	Causa probable	Revisar o monitorear	Solución
Reducción de la turbulencia en la cámara de aireación.	Difusores cubiertos por desechos o arena.	Los difusores.	Limpiar los difusores, y corregir las rejillas u otras partes del pretratamiento.
Bajo nivel de recolección de arena.	Fondo a excesiva velocidad. Mucha aireación.	La velocidad. La aireación.	Mantener la velocidad a, aproximadamente, 0,3 m/s. Reducir la aireación. Aumentar el tiempo de retención usando más unidades, para reducir el flujo por unidad.
Desborde a la cámara de arena.	Problemas en la bomba.	Las bombas.	Ajustar los roles de bombas.
Desechos sépticos con grasa y burbujas.	Barros en el fondo de la cámara.	El fondo de la cámara.	Lavar la cámara a diario. Remover los desechos. Reparar la cadena. Reparar pines de trituración.

2. Tratamiento primario

Una gran parte de las sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales no se puede retener en las rejillas, desarenadores y desengrasadores, y tampoco por flotación —porque son sustancias más pesadas que el agua—.

Pero, si se reduce la velocidad de la corriente por debajo de un determinado valor, es posible eliminar un 50 a 60 % de las materias en suspensión en el afluente a la planta. Porque, al sedimentar, estas partículas arrastran, en su caída, una cantidad de bacterias, con lo que generan una importante remoción de materia orgánica asociada a las partículas sedimentables, expresada en reducción de DBO.

La **sedimentación primaria** es un proceso unitario de carácter físico que tiene por objeto fundamental la retención de los sólidos suspendidos sedimentables, existentes en el agua residual.

Lo normal es que la depuración primaria forme parte de un proceso con otras operaciones, para alcanzar los resultados previstos con el mejor rendimiento económico de todo el sistema. En esta hipótesis, la depuración primaria se coloca a continuación del pretra-

tamiento y antes del proceso biológico. Su función básica es reducir la carga contaminante mejorando el rendimiento y las condiciones de funcionamiento de los procesos posteriores.

La depuración primaria puede utilizarse como operación única de un proceso de depuración, si las condiciones de vertido lo permiten, o razones técnicas o económicas aconsejan la construcción inicial de un tratamiento primario. Al mismo tiempo que posibilita una solución provisional y limitada del problema, da la posibilidad de un mayor y más exacto conocimiento del vertido para el diseño de la segunda etapa.

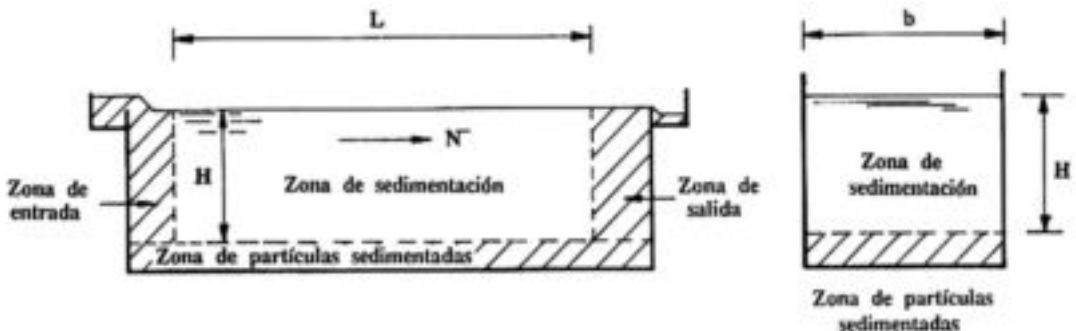
Le sugerimos consultar:
Alegria, Mónica (2005)
Planta potabilizadora.
Instituto Nacional de
Educación Tecnológica.
Buenos Aires.

La versión digital de
esta obra está disponible
en www.inet.edu.ar

Existen distintos tipos de sedimentación:

Tipo 1. Sedimentación de partículas discretas. Es lo que ocurre en los procesos de simple decantación, como en los desarenadores

Zonas de sedimentación de partículas



y en sedimentadores primarios, separando partículas discretas que no han sido removidas en los desarenadores.

Tipo 2. Sedimentación de partículas indiscriminadas. Sedimentación de partículas aglomerables en baja concentración. Este tipo se corresponde con la acción que se desarrolla en los sedimentadores primarios, donde se pueden encontrar todo tipo de partículas, en tamaño, densidad y constitución.

Tipo 3. Sedimentación de partículas floculadas y en floculación. Sedimentación por zonas, cuando la concentración de partículas en el líquido es relativamente elevada. Se da en los sedimentadores secundarios de los tratamientos químicos y biológicos, y, en especial, en los de estaciones de barros activados.

Tipo 4. Sedimentación de partículas aglomerables en altas concentraciones. Sedimentación por compresión, cuando las partículas se encuentran en contacto físico unas con otras. Se da en todos los sedimentadores, y se verifica en las tolvas de los tanques y en espesadores de barros.

Las variables más comunes del proceso de sedimentación son:

- Tamaño de las partículas.
- Peso específico de las partículas.
- Concentración de sólidos en suspensión; a mayor concentración, mayor eliminación de sólidos.
- Temperatura; a mayor temperatura, menor es la densidad del líquido y más rápida la sedimentación.
- Tiempo de retención; cuanto mayor es el tiempo, mayor es la eficiencia; se debe tener en cuenta que tiene relación directa con los barros depositados en el fondo: periodos muy largos pueden ser negativos.
- Velocidad ascensional; en algunos decanta-

dores, cuanto mayor es la velocidad ascensional, menor es la eficiencia.

- Velocidad del flujo.
- Acción del viento sobre la superficie del líquido.
- Fuerzas biológicas.
- Cortocircuitos.
- Gradientes de temperatura que existen entre los diferentes puntos del líquido; si se introduce en el decantador agua más fría o más densa, se impulsa hacia arriba el agua caliente o de menor densidad que se encuentra en las capas inferiores, provocando una corriente de densidad ascendente que perjudica la sedimentación por aumentar la velocidad ascensional.

Curva de sedimentación. Se denomina *barro sedimentable* a aquel que se deposita en un cono de ensayo de 40 cm de altura al cabo de dos horas. Y *eficacia de sedimentación* al porcentaje sobre dicho barro sedimentable al cabo de cierto tiempo.

Las probetas cónicas son de un litro de capacidad y graduadas en centímetros cúbicos a partir de su parte inferior. El porcentaje de decantación al cabo de dos horas, se calcula por la fórmula:

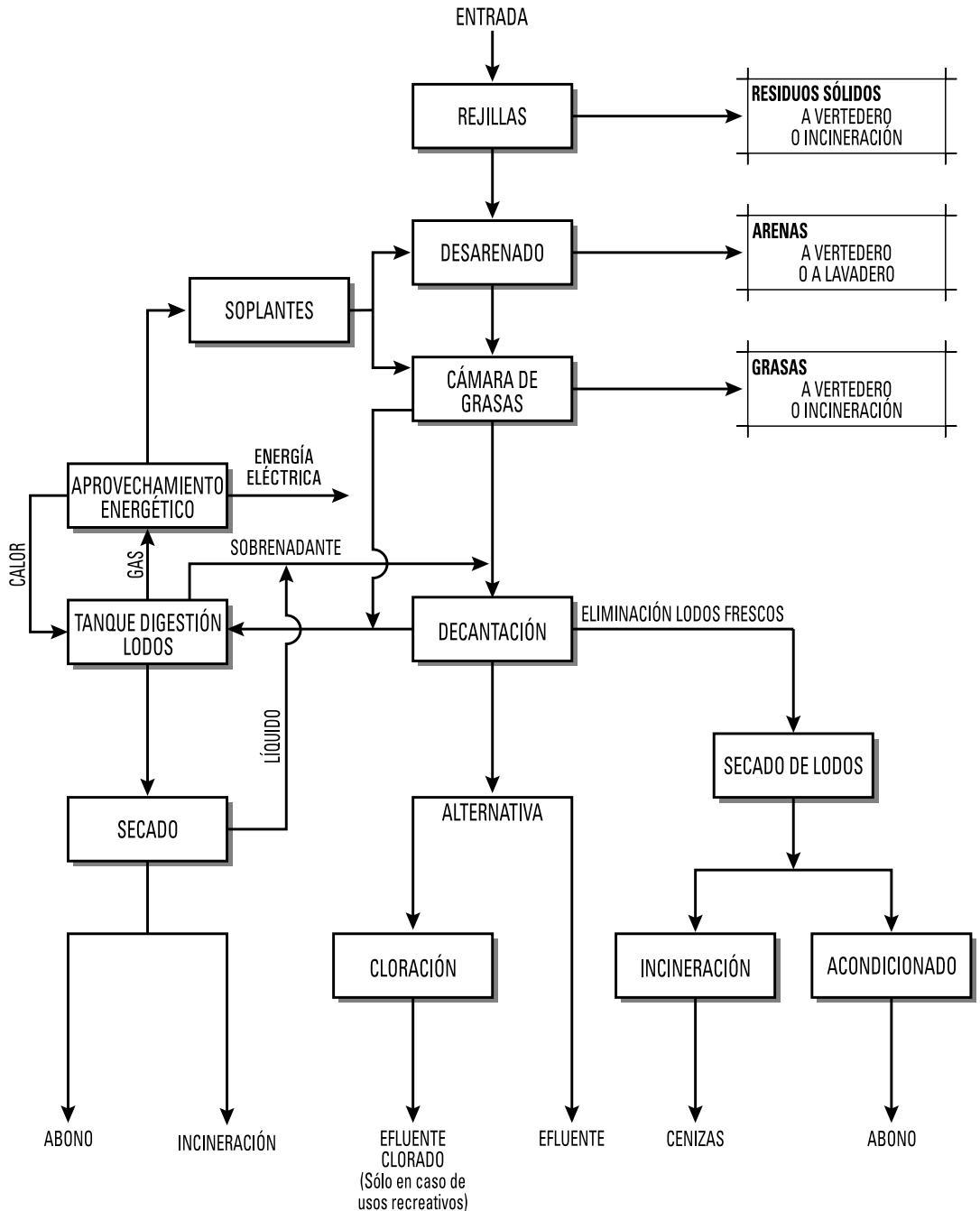
$$\frac{a - b}{a} \cdot 100$$

Donde:

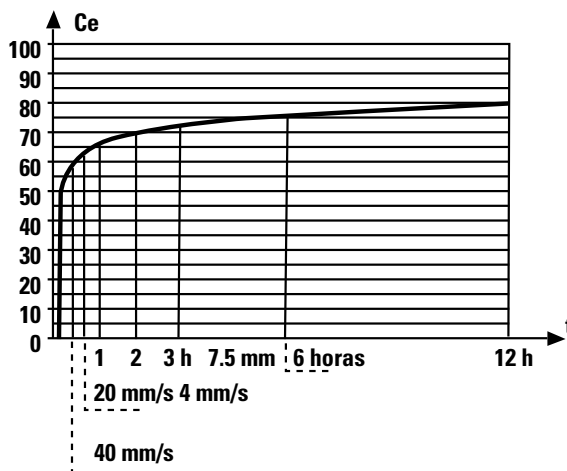
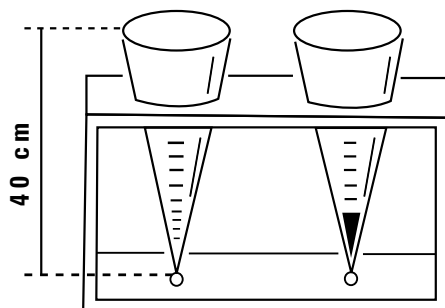
- a = Sólidos sedimentables en el afluente.
- b = Sólidos sedimentables en el efluente.

Examinando detenidamente la curva de sedimentación, puede advertirse que, al llegar a la hora de reposo, el coeficiente de eficacia C_e es de 0,90 a 0,95 de la sedimentación. Es decir que, el aumentar el tiempo por encima de una hora no compensa el incremento de rendimiento en la sedimentación.

Diagrama de un proceso físico de decantación



Cono y curva de sedimentación



Los sólidos en suspensión de las aguas residuales pueden ser granulares y grumosos:

- los granulares sedimentan con velocidad uniforme e independiente unos de otros;
- los grumosos, constituidos por partículas que se unen unas a otras para sedimentar, forman flóculos o grumos, que adquieren mayor velocidad de descenso.

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN Y TIEMPO PARA DIVERSAS PARTÍCULAS

Diámetros de partículas —mm—	Orden de magnitud	Velocidad de sedimentación —mm/s—	Tiempo necesario para decantar un metro
10	Gravilla	1000	1 segundo
1	Arena gruesa	100	10 segundos
0,1	Arena fina	8	2 minutos
0,01	Cieno	0,147	2 horas
0,001	Tamaño de bacterias	0,00154	7,5 días
0,0001	Tamaño de partículas de arcilla	0,0000154	2 años
0,00001	Tamaño de partículas de coloides	0,000000154	206 años

La sedimentación propiamente dicha es, normalmente, de flujo horizontal; su forma puede ser rectangular, cuadrada o circular.

Para su dimensionado, de acuerdo a criterios “de experiencia”, basta en principio seleccionar una carga hidráulica y un tiempo de retención adecuados, para obtener el rendimiento que se desee.

Donde:

- C_H = Carga hidráulica ($m^3/m^2 \cdot h$)
- Q = Caudal a depurar (m^3/h)
- A = Área superficial (m^2)
- V = Volumen del tanque de decantación (m^3)

El proceso convencional de tratamiento de aguas residuales no es un proceso único sino que es el resultado de la unión de dos procesos distintos. El primero se basa en leyes físicas y el segundo en procesos biológicos. Por esto, cuando se proyecta una instalación con tratamiento completo, la planta debe concebirse teniendo como directriz la idea de conseguir un proceso conjunto óptimo.

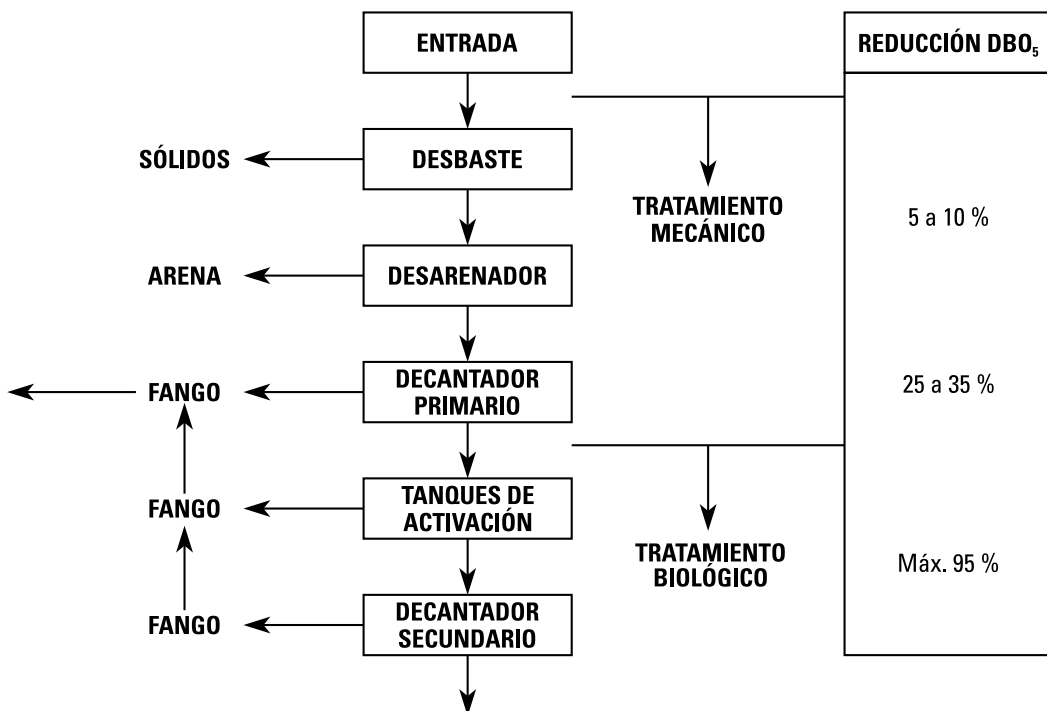
Carga hidráulica:

$$C_H = \frac{Q}{A}$$

Período de retención o tiempo de residencia hidráulica

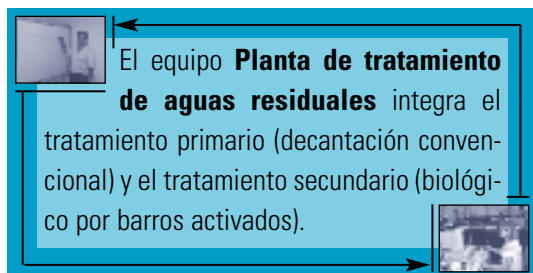
$$T_{RH} = \frac{V}{Q}$$

Esquema de planta con tratamiento biológico



Acorde con esta idea, pueden construirse estaciones depuradoras de los siguientes tipos:

- Plantas depuradoras sin decantación primaria.
- Plantas depuradoras con decantación, con simple misión de decantación gruesa.
- Plantas depuradoras con decantación primaria convencional.
- Plantas depuradoras con decantación primaria de alto rendimiento, o bien con decantación de aguas coaguladas³ y floculadas previamente.



La sedimentación primaria permite:

- Mayor simplicidad de operación de la planta.
- Homogeneidad en la calidad del barro.
- Remoción del barro en un solo punto.
- Eliminación de malos olores, al entrar el agua directamente al tanque de aireación –si las aguas llegan en condiciones sépticas–.
- Mejoría de la sedimentabilidad del barro activado.
- Aumento de la capacidad de absorción de picos de carga, debido al mayor contenido de barros en el tanque de activación.
- Suplantado del tratamiento de barro en la planta –caso de lagunajes–, o bien su transporte a un punto exterior de tratamiento o eliminación.

- Mejora de los sistemas con largos períodos de aireación, con digestión aerobia; principalmente, en climas templados y cálidos.
- Almacenamiento de lodos en el tanque de aireación, que no produce olores hasta su extracción.
- Ahorro económico de un 7-10 % en la primera inversión, y de un 5-7 % en mantenimiento y explotación.

Las desventajas pueden concretarse en:

- Mayor consumo energético en el proceso biológico por barros activados.
- Menor producción de gas en la planta.
- Peligro de formación de sedimentaciones en el depósito de aireación, si no hay una instalación de desarenado bien dimensionada.
- Posibilidad de formación de barros flotantes en el decantador secundario, si no hay una buena eliminación de grasas a la entrada de la planta.
- Eliminación de un elemento de regulación hidráulica y de carga en la depuradora, frente a caudales de punta y caudales de lluvia en los sistemas unitarios.
- Reducción probable de la capacidad de espesado de los lodos que se llevan, posteriormente, a digestión.

La calidad de los barros que se recogen en los tanques de sedimentación varía ampliamente entre distintas plantas. Las variaciones dependen de la composición, la frescura, la fuerza, los constituyentes, la sedimentabilidad de las aguas que entran al tanque, las características del tanque de decantación y la administración del tanque de sedimentación primaria –incluidos los métodos de remoción de barros–.

³ La **coagulación** es un proceso que consiste en aplicar productos químicos para lograr la desestabilización de suspensiones coloidales de partículas sólidas y, asimismo, la adsorción y precipitación de compuestos en solución, a fin de su remoción por sedimentación, flotación y/o filtración, pasando previamente, o no, por un proceso de floculación.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL BARRO CRUDO DE ORIGEN CLOACAL

Parámetro	Descripción	Observaciones
Textura física	Irregular, grumoso.	
Color	Marrón.	Puede suceder que algunas tinturas de desechos industriales colorean los barros, que pueden ser de color gris oscuro o negro, si son sépticos.
Densidad	Varía el contenido de sólidos.	Una buena calidad para retirar debe promediar 5 % de sólidos.
Olor	Normalmente, ofensivo.	Podría llegar a tener poco o ningún olor en presencia de algunos desechos industriales –como sales metálicas–.
Materia volátil	El promedio varía entre 70 y 80 % de total de sólidos secos.	Ocasionalmente, puede llegar a 85 ó 60 %. Si baja sustancialmente de 70 % debe sospecharse la presencia de arena.
Septicidad	Normalmente, no hay.	Los barros crudos son sépticos cuando el agua lo es, cuando el barro se retiene demasiado en los tanques o cuando llega un licor sobrenadante de baja calidad de los digestores.
Volumen de lodos	De 0,07466 l/m ³ por agua tratada. El valor promedio es de 250 a 350.	Valores altos indican que el barro retirado es muy fino o la presencia de algún desecho voluminoso; bajos niveles indican aguas débiles, tanques de poca eficiencia o acumulación de barros en los tanques.
Digestibilidad	Normalmente, fácil.	La presencia de sólidos no digeribles indica la existencia de desechos industriales dañinos como sales metálicas o material fibroso.
Contenido graso	Normalmente de 10 a 20 mg/l.	Valores apreciablemente mayores indican la presencia de desechos industriales.

Los sedimentadores **primarios** separan los sólidos sedimentables, tratando el agua residual por simple proceso físico. Los **secundarios**, en cambio, separan los sólidos floculados en el tratamiento biológico, tratando el agua residual procedente de una etapa de tratamiento biológico (Nos referiremos a éstos en unas páginas más).

SEDIMENTADORES

Según el proceso

- Primarios
- Secundarios

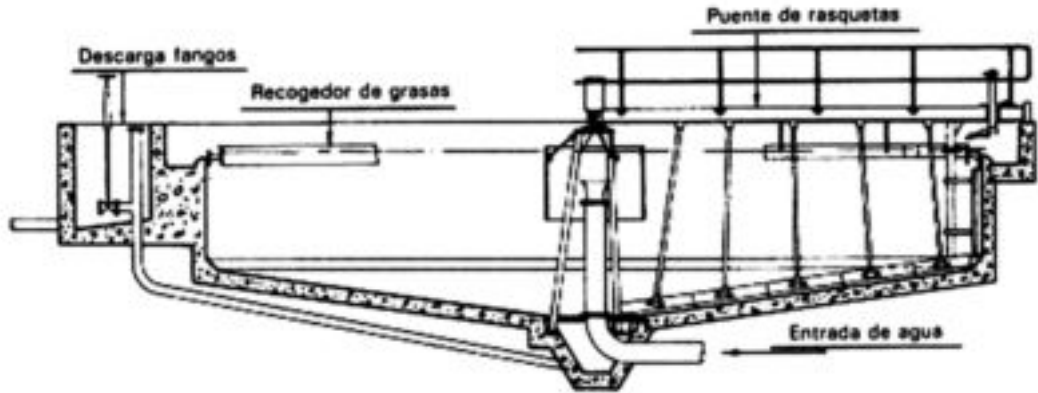
Según el flujo hidráulico

- Horizontales
- Verticales

En los sedimentadores de **flujo horizontal**, el agua fluye en esa dirección; pueden ser circulares o rectangulares. En los de **flujo verti-**

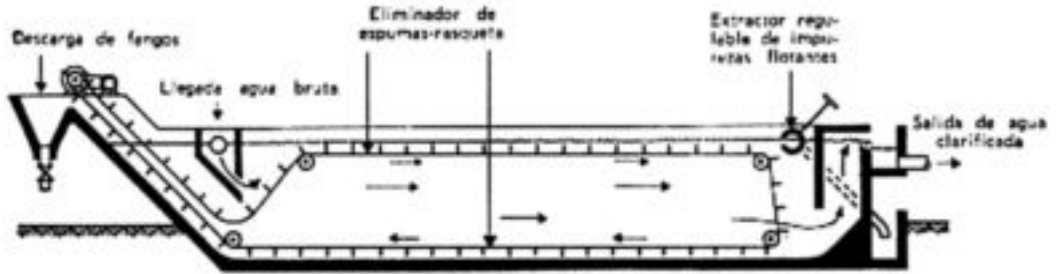
cal, el agua fluye de abajo hacia arriba; pueden ser circulares (en plantas grandes) o rectangulares (en plantas pequeñas).

Sedimentador circular de flujo horizontal

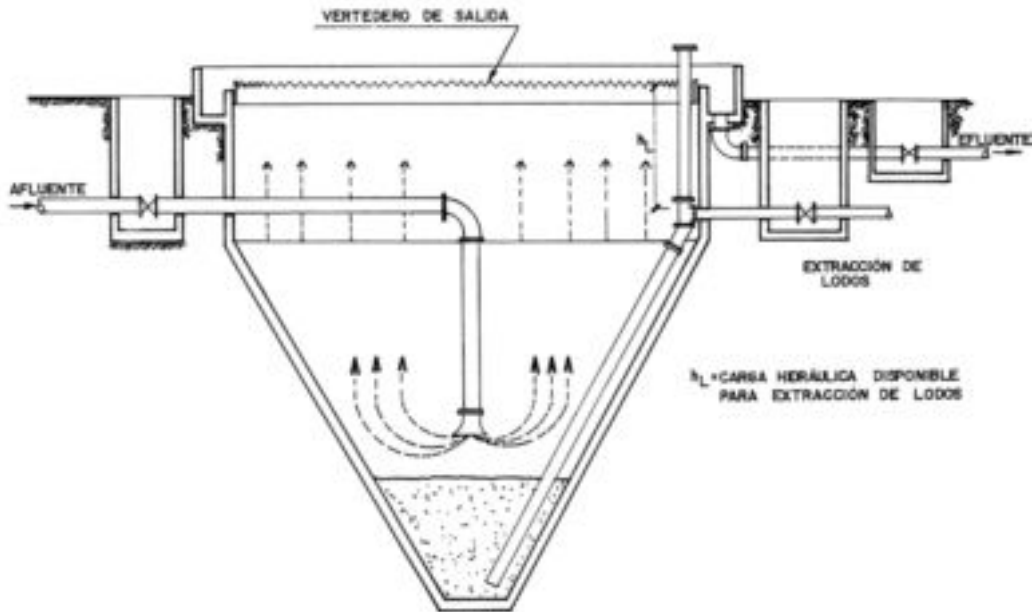


Interior de un sedimentador circular

Sedimentador horizontal de mecanismo sin fin para la extracción de barros



Sedimentador de flujo vertical



DISPOSITIVOS EN LOS DECANTADORES

- 1 Entrada
- 2 Salida
- 3 Barrido de barros
- 4 Recolección de barros
- 5 Purga de barros
- 6 Control de procesos
- 7 Mantenimiento

1. Dispositivos de entrada. En sedimentadores circulares consisten en un cilindro que permite el reparto uniforme con una corona circular en la zona inferior.

En sedimentadores rectangulares, incluyen pantallas aquietadoras; su función es romper la energía de entrada del agua y facilitar su reparto en las capas inferiores del decantador. También puede utilizarse la entrada por vertedero, con mampara frontal de tranquilización.

La velocidad en los conductos de entrada debe ser de 1 m/s y la pantalla aquietadora debe disminuir la velocidad a 0,5 m/min.

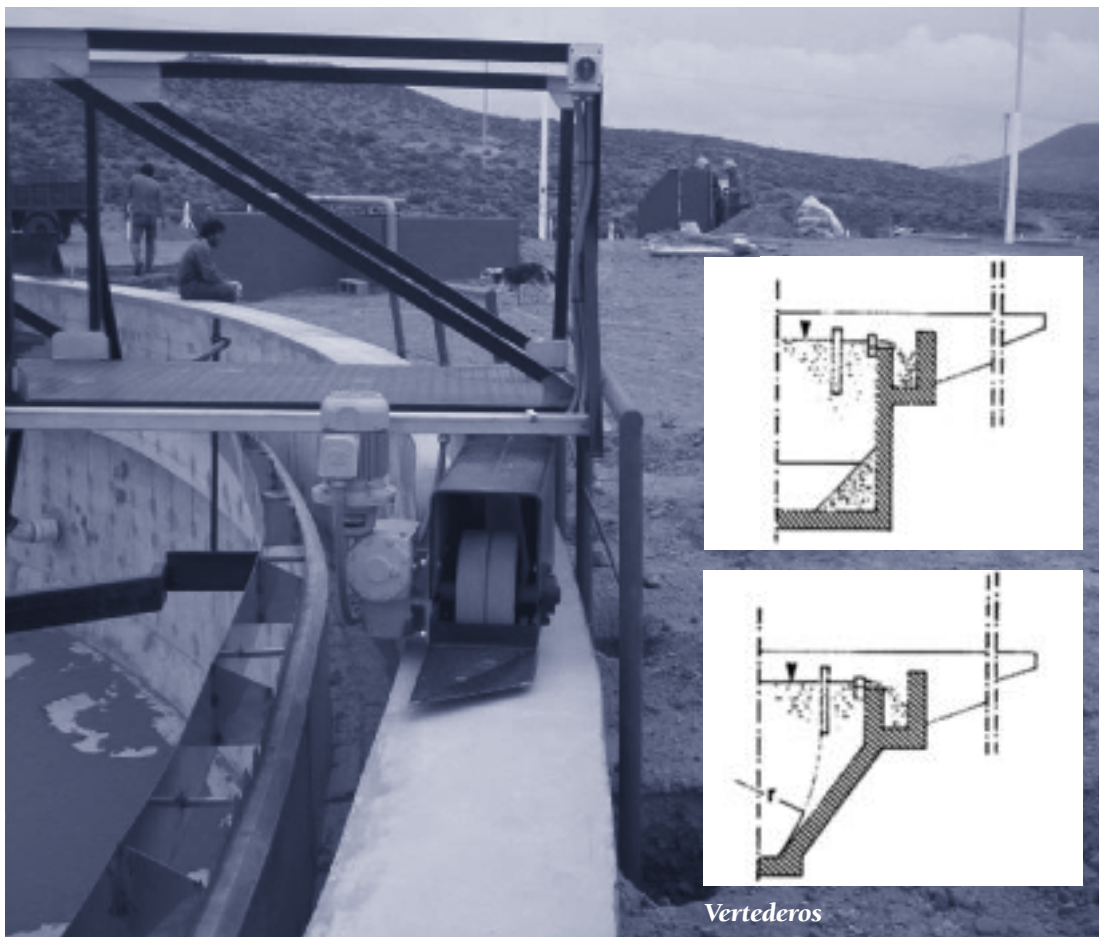
2. Dispositivos de salida. Éstos pueden ser:

Vertederos perimetrales. Suelen ser de tipo dentado; este rasgo permite que las variaciones en el nivel de agua del decantador para los diferentes caudales queden muy atenuadas. Para evitar que sea recogida la capa superficial que puede llevar espumas y sólidos sobrenadantes, el vertedero de salida se protege con una pantalla aquietadora.

Vertederos radiales. Aunque no suelen ser de uso normal, se utilizan combinados con los perimetrales cuando la carga de salida por vertedero resulta muy alta.

Van situados en la pared opuesta a la entrada. Cuando, por la excesiva carga de agua, es necesario colocar varios, éstos se disponen en paralelo, ocupando una superficie no superior a un tercio de la del decantador.

Según diferentes fuentes, las velocidades máximas recomendadas en vertedero, para los decantadores primarios, pueden ajustarse a los siguientes valores para caudales medios:



Ten States Standards	5,2 m ³ /h.m	si Q mes < 160 m ³ /h
Ten States Standards	7,7 m ³ /h.m	si Q med ≥ 160 m ³ /h
Gehm Bregman	26,2 m ³ /h.m	Decantadores rectangulares
Gehm Bregman	16,9 m ³ /h.m	Decantadores circulares
Bebin	10 m ³ /h.m	

3. Dispositivos de barrido de barros. Los decantadores circulares pueden integrar distintos sistemas:

- **Eje de barredor.** Un sistema de barrido de fondo es accionado desde un eje central del que cuelga; gira mediante un moto reductor situado en la parte central del decantador. Este tipo suele usarse sólo en decantadores de pequeño diámetro, debido tanto a los esfuerzos que debe soportar el eje, como a la gran desmultiplicación que es necesaria en el reductor para grandes diámetros. Las barredoras de fondo llevan el barro hacia una tolva central, desde donde se retira.
- **Puente de barredor de tracción central.** El sistema es parecido al anterior; pero, en éste, las barredoras cuelgan de un puente giratorio que va desde el centro hasta la periferia, con objeto de descargar de esfuerzos al eje. El accionamiento se realiza desde un moto-reductor central.
- **Puente de barredor de tracción periférica.** El sistema es similar al anterior; sólo se diferencia en que la tracción no se realiza desde el centro sino desde la periferia, mediante un carro tractor. Este sistema es empleado para los grandes decantadores, porque permite obtener pequeñas velocidades de arrastre para éstos.
- **Barredores de succión.** En este tipo, los barros no son barridos a ninguna tolva sino que son constantemente aspirados del fondo del decantador, mediante aspiradores.

Presentan la desventaja de que la concentración del barro de salida es menor, por no existir concentrador en el propio decantador.

Los posibles dispositivos de barrido, en decantadores rectangulares:

- **Puente traslacional de barrido longitudinal.** Un sistema de barredor cuelga de un puente que se traslada alternativamente de un lado a otro del decantador. Estas barredoras barren el barro hacia unas tolvas situadas en el extremo de llegada del agua. El barrido es longitudinal.
- **Puente traslacional de barrido transversal.** El sistema es similar al anterior, diferenciándose de él en que el barrido se produce, por la forma de las barredoras, de forma transversal hacia una tolva corrida a lo largo del decantador.
- **Barredoras arrastradas por cadena sin fin.** El sistema es similar al primero con una diferencia en el sistema de arrastre de las barredoras: el puente tractor cambia por un sistema de cadena sin fin.
- **Barredoras de succión.** Con cualquiera de los sistemas de arrastre citados, en los que se sustituyen las barredoras por aspiradores.

4. Dispositivos de recolección de barros. Los decantadores circulares pueden incluir:

- **Tolva central.** Una tolva en el centro del

decantador recoge el barro acumulado por las paletas.

- **Tolva central con espesador.** El volumen de la tolva se amplía y se dota de mecanismos para realizar el espesamiento del barro.
- **Tolva longitudinal intermedia.** Cuando el diámetro del decantador es grande, suele usarse una tolva longitudinal que reduce a la mitad el trayecto de transporte del barro en el fondo del decantador.

Por su parte, los decantadores rectangulares integran:

- **Tolva en el extremo del decantador.**
- **Tolva longitudinal.** Este tipo de tolva reduce la longitud de transporte del barro

en el fondo del decantador, comparada con la solución anterior.

5. Dispositivos de purga de barros. En ambos tipos de decantadores podemos encontrar:

- **Salida de fondo.** Una tubería de fondo recoge el barro de la tolva central para transportarlo a una tolva adosada. Pueden instalarse válvulas de accionamiento manual o motorizado por temporización.
- **Salida a nivel superior.** Aprovechando la presión hidrostática existente en el fondo del decantador, puede extraerse el barro hasta una altura inferior al nivel de agua en el decantador.

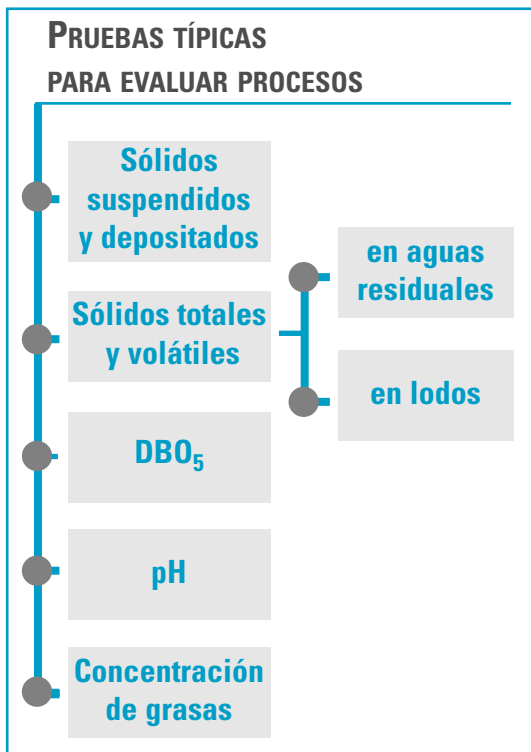
El orden de purgas puede establecerse en 5 a 8 purgas por día, con tiempo de purga de 7 a 12 minutos.



Sistema de recolección de barros

6. Dispositivos de control de procesos. Las pruebas requeridas para los afluentes, efluentes y lodos del tratamiento primario varían según la planta.

A la hora de decidir qué pruebas son esenciales, el operador debe considerar los permisos existentes, las unidades de tratamiento aguas abajo y las descargas industriales previstas.



Sólidos suspendidos y depositados. Estas pruebas sobre muestras compuestas se hacen con frecuencia diaria en plantas grandes y, al menos dos veces a la semana, en plantas más pequeñas. Las muestras de los afluentes y efluentes de los tanques se toman en puntos donde las aguas estén bien mezcladas. Los resultados indican la eficiencia de la eliminación primaria, la carga de sólidos que entra a las unidades de tratamiento aguas abajo y la cantidad de lodos a bombear.

Sólidos totales y volátiles en aguas residuales.

Cuando los resultados de estas pruebas se acoplan con los valores de sólidos suspendidos, dan una muy útil información acerca del tipo, la concentración y la cantidad de sólidos. Esto permite la detección y, en algunos casos, la estimación cuantitativa del volumen de desperdicios domésticos e industriales. También puede detectarse la infiltración de aguas superficiales y subterráneas.

Sólidos totales y volátiles en lodos. Estas pruebas se pueden realizar semanalmente, sobre muestras compuestas extraídas de los tanques. El resultado arroja información sobre la carga de sólidos en los digestores y las unidades de secado de barros. La determinación exacta del porcentaje de humedad de los lodos permite al operador revisar las observaciones visuales del nivel de compactación, las necesidades de variar la frecuencia de eliminación de barros y sus cantidades, y el volumen del exceso de agua que entra a los digestores y a las unidades de secado.

DBO₅. Las pruebas de DBO₅ a muestras compuestas de afluentes y efluentes se pueden realizar una vez a la semana, aún en plantas pequeñas, o cada quince días siempre y cuando se realicen ensayos frecuentes de DBO (dos veces por semana y, en algunos casos, a diario). Las pruebas de los efluentes de los tanques dan una excelente medida de la carga orgánica en el proceso biológico aguas abajo.

PH. El pH de los afluentes cloacales sin tratar se mide periódicamente, para determinar su rango normal; y, también, se mide cuando se espera una contribución inusual. Un pH consistentemente bajo en las muestras puede indicar la descomposición parcial de las aguas en el sistema de recolección, la descarga regular de desechos descompuestos o la descarga de ácidos al sistema. Si resulta posi-

ble, la medición continua representa una advertencia temprana de descargas inusuales.

Concentración de grasas. La muestra de grasas se hace de manera periódica en las descargas cloacales, para determinar el peso de las contribuciones de las descargas comerciales e industriales.

7. Dispositivos de operación y mantenimiento.

La naturaleza de los problemas operativos y su severidad son, frecuentemente, dependientes de la temperatura. En aguas más frías, se hace más difícil bombear barros, las grasas se recogen con mayor rapidez y la cantidad de natas aumenta; en cambio, la septicidad y el olor disminuyen.

DEFICIENCIAS DE DISEÑO Y CÓMO COMPENSARLAS

Deficiencia	Solución
Mala flotabilidad de grasas.	Preaírear el agua para aumentar la flotabilidad de la grasa.
Desbordamiento de escoria.	Separar el sistema de eliminación de escoria de la presa de salida; bajar más la pantalla en el tanque.
Dificultad para eliminar los barros debidos a exceso de arena.	Instalar una cámara desarenadora o eliminar las fuentes de arena.
“Cortocircuito” a través del tanque, con la consiguiente deficiencia de eliminación de sólidos.	Modificar el diseño hidráulico e instalar una pantalla aquietadora –baffles– apropiada para dispersar el flujo y reducir la velocidad de entrada.
Mucho desgaste y frecuente rotura de las cadenas y de los pines de trituración, debido a la arena.	Instalar una cámara de arena.
Eliminación inadecuada de gran carga de grasa.	Instalar equipos de flotación o evacuadores.
Condiciones sépticas resultantes de sobrecarga de los flujos laterales.	Desviar o proveer otra alternativa para la eliminación de los desperdicios de otros procesos de la planta (sobrenadantes) que normalmente se recirculan al tanque de sedimentación.
Excesiva corrosión.	Recubrir las superficies con pintura u otro protector.
Persistentes problemas de corrientes térmicas en el clarificador.	Instalar ecualización de flujo y una cuenca de mezclado, antes del sedimentador.
Mala eliminación de escoria, debido a los vientos.	Instalar una barrera antiviento para proteger al tanque. Modificar el sistema de recolección de escoria, para compensar los vientos.
Agua séptica.	Mejorar la hidráulica del sistema colector, para reducir la acumulación de sólidos.


3. Tratamiento secundario

Se llama **tratamiento secundario** al proceso de purificación por medio de procesos biológicos, que permite eliminar la materia orgánica biodegradable, y no decantable o disuelta, así como restos de sólidos en suspensión que no fueron eliminados por el tratamiento primario.


Ya hemos planteado que puede escogerse la descomposición aeróbica o la descomposición anaeróbica para llevar a cabo los cambios de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, antes de que dichas aguas sean dispuestas. Desde luego, los subproductos inmediatos o consiguientes de los dos tipos de descomposición son muy distintos.

SUBPRODUCTOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS	
Procesos aeróbicos	Procesos anaeróbicos
CO ₂ dióxido carbónico NO ₂ nitritos NO ₃ nitratos SO ₄ sulfatos	H ₂ S hidrógeno sulfurado CH ₄ metano NH ₃ amoníaco H ₂ hidrógeno N ₂ nitrógeno C ₈ H ₇ N indol C ₉ H ₉ N escatol C ₆ H ₅ SH mercaptano N ₆ H ₁₄ N ₂ cadaverino

Los subproductos de la descomposición aeróbica son estables e inofensivos. En cambio, los de la descomposición anaeróbica son, en parte, inestables, molestos y poco agradables. La descomposición anaeróbica debe explotarse dentro de un sistema cerrado y se aplica más en el acondicionamiento de los lodos o en aquellos casos en donde la materia orgánica es bastante concentrada. Por lo tanto, el tratamiento secundario es, casi invariablemente, del tipo aeróbico.



El recurso didáctico que proponemos desarrolla un sistema aeróbico de lodos activados.



- #### DISPOSITIVOS PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO AERÓBICO
- a. Lagunas de estabilización
 - b. Barros activados

a. Lagunas de estabilización

Las primeras lagunas de estabilización fueron, en realidad, embalses contruidos como sistemas reguladores de agua para riegos. En estos embalses se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo; pero, en el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

El primer embalse en el que se realizaron estudios de este tipo fue en el Lago Mitchell, situado en la ciudad de San Antonio (Texas, Estados Unidos), a principios del siglo pasado.

Posteriormente se realizaron estudios sistemáticos de los procesos responsables de la depuración por lagunaje, para lo que se efectuaron seguimientos de las características físicas, químicas y microbiológicas de lagunas de estabilización situadas en California,

Nevada, Texas y Arizona (Estados Unidos) y Lund (Suecia). Estos primeros estudios permitieron establecer las características básicas del funcionamiento de las lagunas de estabilización y la influencia de distintos factores (temperatura, luz, configuración, orientación, forma y tamaño de los estanques, composición del agua residual) sobre el comportamiento de estas plantas depuradoras.

Desde entonces, el empleo de lagunas de estabilización como sistemas de depuración de aguas residuales se ha generalizado en todo el mundo. Actualmente, existen plantas de tratamiento por lagunaje en todas las condiciones climáticas. Sólo en Estados Unidos hay más de 5.000 instalaciones operadas por organismos públicos y un tercio de las plantas de tratamiento municipales utiliza el lagunaje.

Como resultado de la experiencia adquirida en la utilización de lagunas de estabilización se han ido incorporando mejoras de diseño que han permitido obtener efluentes de gran calidad que no plantean ningún problema en el medio ambiente.

En cuanto al tamaño de estas plantas de tratamiento, en la actualidad existe una gran variedad de lagunas de estabilización que opera correctamente. Aunque, a menudo, se utilizan para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas o medianas poblaciones (500-20.000 habitantes), los siguientes ejemplos demuestran la aplicabilidad de esta técnica a poblaciones de gran tamaño:

El lagunaje constituye uno de los métodos más adecuados para el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales fácilmente biodegradables.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL LAGUNAJE

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada estabilización de la materia orgánica. • Desinfección del efluente. • Flexibilidad de tratamiento (puntas de carga y caudal). • Posibilidad de tratar vertidos industriales fácilmente biodegradables (lecherías, mataderos, conserveras). • Fácil adaptación a variaciones estacionales. • Posibilidad de uso como sistema regulador para riegos. • Bajo costo de instalación y de operación • Nulo consumo energético. • Baja generación de barros. • Biomasa potencialmente aprovechable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada ocupación de terreno. • Presencia de materia en suspensión (fitoplancton) en el efluente. • Pérdidas considerables de agua por evaporación, en verano.

EJEMPLOS DE POBLACIONES QUE CUENTAN CON LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Localidad	Habitantes	Área	Caudal tratado
Auckland, Nueva Zelanda	900.000	530 ha	210.000 m ³ /día
Melbourn, Australia	2.900.000	310 ha	350.000 m ³ /día
Stockton, California	150.000	250 ha	250.000 m ³ /día

TIPOS DE LAGUNAS

Según el oxígeno disuelto y la profundidad

Anaeróbicas
Aeróbicas,
Facultativas

Según la forma de alimentación y descarga

Continuas
Semicontinuas

La presencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina qué tipo de mecanismo va a ser responsable de la depuración; éste es uno de los criterios fundamentales en la tipología utilizada. Las variables oxígeno/profundidad están relacionadas, ya que las fuentes de oxígeno disuelto en lagunas son fenómenos de superficie; estas fuentes de oxígeno son la actividad de las algas microscópicas y la reaeración a través de la interfase aire-agua.

Las **lagunas continuas** son aquellas en las que se produce la entrada y salida continua de agua residual y de efluente, respectivamente; la mayoría de las lagunas para tratamiento de aguas residuales urbanas funciona de acuerdo con este principio. En el caso de **lagunas semicontinuas** o de descarga controlada, éstas se llenan con agua residual que se almacena durante un lapso prolongado, hasta que se inicia su vaciado; este tipo de diseño se utiliza, a menudo, en

zonas con grandes variaciones estacionales o cuando la laguna de estabilización se utiliza, simultáneamente, como sistema regulador de riegos.

Lagunas anaeróbicas. La depuración ocurre por la acción de bacterias anaeróbicas. En estas lagunas, como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto período de retención del agua residual, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de barros acumulados en el fondo, y eliminar parte de la carga orgánica.

Las lagunas anaeróbicas se utilizan, normalmente, como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido —en sólidos y en materia orgánica del agua residual— y no la obtención de un efluente de alta calidad. Por esta razón, las lagunas anaeróbicas operan en serie con lagunas facultativas y de maduración. Generalmente, se utiliza un sistema compuesto por, al menos, una laguna de cada tipo en serie, para asegurar que el efluente final de la planta depuradora posea una calidad adecuada durante todo el año.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO TÍPICAS PARA DIFERENTES TIPOS DE LAGUNAS DEL LAGUNAJE

Tipo de laguna	Profundidad (m)	T_{RH} (días)	Carga superficial [kg. DBO (ha.día)]	Carga volumétrica [kg DBO (m ³ .día)]	% de remoción		
					DBO	SS	Coliformes
Aeróbica	0,5 a 1	50-60	< 55	-	< 90	< 90	> 99
Facultativa	1,5 a 3	50-60	< 55	-	< 90	< 90	> 99
Anaeróbica	2 a 4	< 5	220 a 1300	0,08 a 0,5	< 90	-	-
Aireadas	3 a 3,5	3-15	80-00	-	< 90	-	-

Como su nombre lo indica, en las lagunas anaeróbicas se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

ETAPAS DE ESTABILIZACIÓN ANAERÓBICA

- a. Hidrólisis
- b. Formación de ácidos
- c. Formación de metano

a. Hidrólisis. Se produce la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica, de forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

b. Formación de ácidos. Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles; fundamentalmente, en ácidos acético, propiónico y butírico. Esta etapa puede ser llevada a cabo por bacterias anaeróbicas o facultativas; hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos y, además, esta conversión ocurre con gran rapidez. Dado que estos productos del metabolismo de las bacterias formadoras de ácido están muy poco estabilizados en relación con los productos de partida, la reducción de DBO₅ o DQO es pequeña en esta etapa.

c. Formación de metano. Una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias entra en

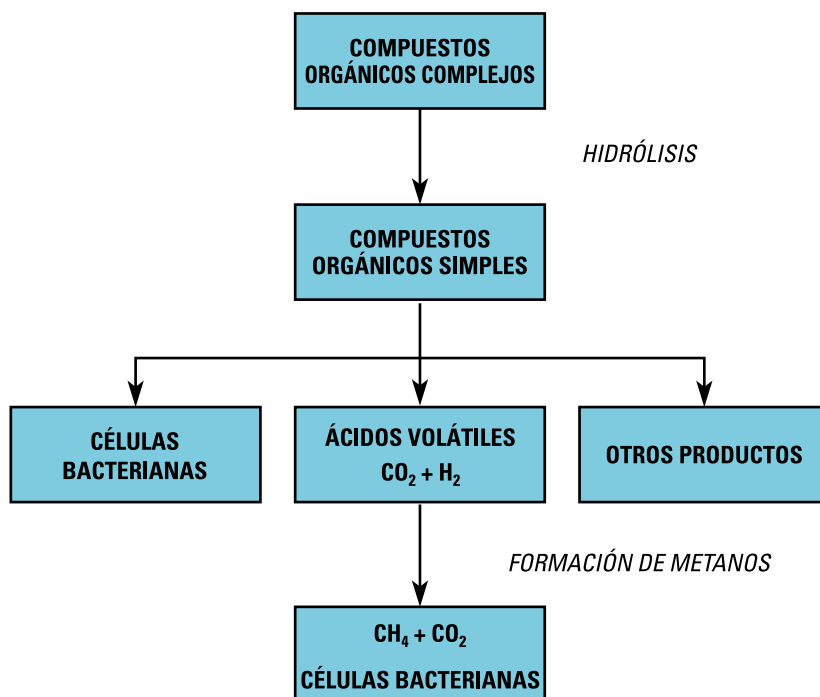
acción, y los utiliza para convertirlos en metano y dióxido de carbono. La liberación de estos gases es responsable de la aparición de burbujas —que son un síntoma de buen funcionamiento en las lagunas anaeróbicas—. Esta fase de la depuración anaeróbica es fundamental para conseguir la eliminación de materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO₅ o DQO del medio.

El metano es un gas combustible e inodoro y el dióxido de carbono es un gas estable que forma parte, en poca cantidad, de la composición normal de la atmósfera.

A diferencia de lo que ocurriría con la fase acidogénica, hay pocos microorganismos capaces de desarrollar la actividad metanogénica; su metabolismo es más lento y, además, son mucho más sensibles a las distintas condiciones ambientales que presentamos a continuación.

Las bacterias metanogénicas son anaeróbicas estrictas; es decir, mueren en presencia de oxígeno disuelto. Por otra parte, estas bacterias son también muy sensibles al pH. Puesto que en la segunda fase de la digestión anaeróbica se están produciendo ácidos, si no existe en el medio un número adecuado de bacterias metanogénicas que transformen estos productos y se produce su acumulación, el pH disminuye. Se estima que, para valores de pH inferiores a 6,8, la actividad comienza a presentar problemas; y que, por debajo de un pH de 6,2, se detiene completamente. Cuando esto ocurre, se liberan no sólo ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables sino otros compuestos como ácido sulfhídrico (SH₂), mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican un funcionamiento deficiente en las lagunas anaeróbicas.

Secuencia de procesos anaeróbicos de la materia orgánica



Teniendo en cuenta la secuencia de etapas por las que tiene lugar la digestión anaeróbica, es necesario ajustar las condiciones operativas de las lagunas para que se produzca la estabilización de la materia orgánica hasta los productos finales metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

En primer lugar, si las lagunas operan con tiempos de retención muy pequeños, sólo las fases hidrolítica y acidogénica tienen tiempo de desarrollarse, pero no la de formación de metano —que es más lenta—; por tanto, se producirán olores y se obtendrá una eliminación muy baja de la materia orgánica.

Por otra parte, si la carga es escasa y el tiempo de retención elevado, comienzan a desarrollarse algas en la superficie y el oxígeno

producido da lugar a la muerte de las bacterias metanogénicas, también con el resultado de desarrollo de olores desagradables.

Las lagunas anaeróbicas requieren un mantenimiento adecuado para preservar, en todo momento, el equilibrio entre las fases responsables de la depuración.

Otro factor que influye en el comportamiento de las lagunas anaeróbicas es la temperatura. Las bacterias metanogénicas crecen mejor cuanto mayor es la temperatura, con un intervalo óptimo de crecimiento entre 30-35 °C. Por tanto, las lagunas anaeróbicas presentan una actividad muy superior durante el verano, lo que puede comprobarse fácilmente observando la cantidad de burbujas que aparecen en superficie en las distintas épocas del año.

INTERVALOS ÓPTIMOS DE TEMPERATURA Y PH EN LAGUNAS ANAERÓBICAS

Variable	Óptimo	Extremo
Temperatura	30-35 °C	15-40 °C
PH	6.8-7.4	6.2-7.8

La abundante carga orgánica presente en esta primera fase del tratamiento, da lugar a que el posible oxígeno introducido en las lagunas –con el afluente o por reaireación superficial– se consuma rápidamente en la zona inmediatamente adyacente a la entrada o a la superficie.

En las lagunas anaeróbicas se produce la reducción de los sulfatos –que entran con el agua residual– a sulfuros. La presencia de sulfuros en el medio disminuye la posibilidad de crecimiento de las algas en dos formas:

- La penetración de la luz necesaria para el crecimiento de las algas se ve impedida por la presencia de sulfuros metálicos en suspensión –como el sulfuro de hierro– responsable de la tonalidad gris de las lagunas anaeróbicas; estos sulfuros acaban precipitando en el fondo de las lagunas, y provocan la coloración gris oscura o negra que presentan los barros.
- Los sulfuros solubles son tóxicos para las algas, de modo que los cortos períodos de residencia, la falta de iluminación y un ambiente de composición química hostil impiden el crecimiento de éstas y, en consecuencia, mantienen el medio en condiciones anaeróbicas. El aporte de oxígeno atmosférico es despreciable, debido a que la difusión de este gas en la columna de agua es muy lenta.

Ocasionalmente, en estas lagunas se desarrollan otras bacterias que le confieren una coloración rojiza. Se trata de bacterias fotosintéticas del azufre que viven en la zona superficial

y que oxidan los sulfuros a azufre elemental. Los pigmentos que poseen estas bacterias dan una coloración rosa o roja a las lagunas.

La presencia de estas bacterias es indicativa de carga insuficiente en las lagunas anaeróbicas y conviene tomar las medidas que ya hemos planteado para impedir la aparición de algas en superficie. En algunos casos, la presencia de estas bacterias puede resultar beneficiosa ya que, al oxidar a los sulfuros, se evita la aparición de olores relacionados con la liberación de ácido sulfhídrico. Sin embargo, la carga orgánica apenas se modifica por la acción de estas bacterias y las lagunas rojas presentan, típicamente, unas concentraciones muy elevadas de carga orgánica a la salida.

Las lagunas anaeróbicas que se construyen pueden ser:

- Lagunas de gran tamaño, poca profundidad y tiempos medios de residencia del agua residual.
- Lagunas pequeñas, profundidad media a alta y tiempos cortos de residencia. Éste es el modelo más aplicado.

Las lagunas anaeróbicas profundas permiten:

- **Conservación de calor.** La superficie expuesta a intercambios de calor con la atmósfera en lagunas profundas y de pequeño tamaño es muy reducida; y además, los taludes de tierra proporcionan un adecuado sistema de aislamiento para prevenir el enfriamiento excesivo del agua durante el invierno.

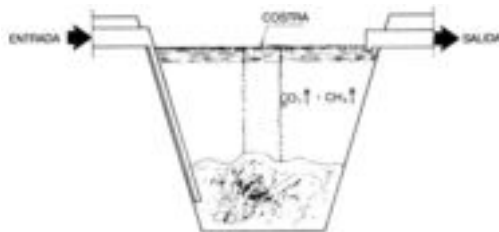
- **Disminución en los requerimientos de terreno.** Cuando se usan lagunas profundas, disminuye la necesidad de superficie a ocupar para alcanzar un determinado nivel de depuración. Las lagunas anaeróbicas profundas permiten reducir la superficie ocupada total en un 40-50 %.
- **Disminución del riesgo de arrastre de sólidos.** En el diseño profundo, el barro sedimenta en el fondo de la balsa y es muy poco probable que se produzca su arrastre con la salida, que tiene lugar por superficie.
- **Oxigenación restringida, al minimizar la superficie.** Por una parte, al ser inferior la superficie, la transferencia de oxígeno disminuye; por otra, la mezcla inducida por la acción del viento es muy escasa, debido al efecto de los taludes y a la imposibilidad de formación de olas.
- **Concentración de sólidos en una zona pequeña.** Este rasgo favorece la compactación de los barros; porque, en lagunas anaeróbicas de gran tamaño y escasa profundidad, a menudo se produce la flotación de los barros, con el consiguiente peligro de arrastre por el efluente⁴; en cambio, en lagunas profundas (con profundidad superior a 2,5 m), el barro se acumula en el fondo, donde se produce su mineralización en condiciones anaeróbicas.
- **Disminución de los costos de mantenimiento.** El barro se va acumulando durante un período de varios años (normalmente, de 3 a 6 años), por lo que sólo es necesario el vaciado de las lagunas después de un tiempo prolongado de utilización. De esta forma, el diseño profundo no sólo faci-

lita la acumulación de barros sino que proporciona un lugar de almacenamiento, en el que tiene lugar su mineralización.

- **Flexibilidad.** Permiten establecer distintos tipos de circulación y modificar los tiempos de tratamiento, si se detectan anomalías en su funcionamiento. Por otra parte, la disponibilidad de varias lagunas anaeróbicas es necesaria para las operaciones de vaciado y limpieza, y los costos operativos son menores⁵.

Dados los mecanismos por los que transcurre la degradación, un tiempo de residencia prolongado y una elevada superficie son contraproducentes, ya que favorecen la oxigenación del medio (por reaeración y/o fotosíntesis) que, como hemos visto, da lugar a problemas en las lagunas anaeróbicas.

Laguna anaeróbica típica, de pequeño tamaño y profundidad alta



El tiempo de retención de una laguna anaeróbica se debe ajustar cuidadosamente, de modo que las fases acidogénicas y metanogénicas estén equilibradas, y que no haya posibilidad de desarrollo de algas en superficie. El tiempo de residencia recomendado en estas lagunas oscila entre 2 y 5 días, dependiendo de la naturaleza del vertido y del clima del lugar de emplazamiento. En nume-

⁴ WHO. *World Health Organization* –Organización Mundial de la Salud-. 1987. www.who.int

⁵ Agamit SA *Obras hidráulicas* (1987) Madrid.

rosos estudios se ha demostrado que tiempos de residencia superiores provocan un rápido deterioro de la calidad del efluente.

La formación de espumas o costras en superficie es normal en lagunas anaeróbicas; y, según algunos autores, beneficiosa porque previene las pérdidas de calor –sobre todo, en climas fríos– e impide la liberación de

malos olores. En algunos países con climas muy rigurosos, en invierno se favorece la formación de costra superficial mediante la colocación de paja o poliestireno.

Las cargas volumétricas empleadas normalmente en lagunas pequeñas y profundas están en el intervalo 100-400 g DBO₅, dependiendo de la naturaleza del vertido a tratar.⁶

SISTEMAS DE LAGUNAS

Sistema	Descripción
Laguna facultativa	La DBO soluble y finamente particulada se estabiliza en forma aeróbica por las bacterias dispersas en el medio líquido; la DBO suspendida tiende a sedimentar, siendo estabilizada anaeróbicamente por bacterias en el fondo de la laguna. El oxígeno requerido por las bacterias aeróbicas es producido por las algas, por medio de la fotosíntesis.
Laguna aeróbica + laguna facultativa	La DBO es estabilizada en un 50 % en la laguna anaeróbica más profunda y de menor volumen; la DBO remanente es estabilizada en la laguna facultativa. El sistema ocupa menor superficie que una sola laguna facultativa.
Laguna aireada facultativa	Los mecanismos de remoción de la DBO son similares a los de las lagunas facultativas. El oxígeno es entregado por medios mecánicos. Como la laguna es también facultativa, una gran parte de los sólidos y de la biomasa sedimenta, y es descompuesta anaeróbicamente en el fondo.
Laguna aireada de mezcla completa + laguna de decantación	La energía introducida por unidad de volumen de la laguna es elevada. La biomasa permanece dispersa en el medio líquido o en mezcla completa. La mayor concentración de bacterias en el medio líquido aumenta la eficiencia de remoción de DBO, lo que permite que la laguna tenga un volumen inferior al de una aireada facultativa; pero, el efluente contiene elevados tenores de sólido que necesitan ser removidos antes de ser descargados en el cuerpo receptor. La laguna de decantación debe ser removida por períodos, en algunos años.
Laguna de maduración	El objetivo principal de la laguna de maduración es la eliminación de microorganismos patógenos. En las lagunas de maduración predominan condiciones ambientales adversas para los patógenos, como elevado pH, elevado oxígeno disuelto –OD–, temperatura más baja que la del cuerpo humano, falta de nutrientes y producción por otros organismos. Las lagunas de maduración constituyen un posttratamiento de procesos, que tiene como objetivo la remoción de DBO. Se suelen proyectar como una laguna única con una serie de chicanas –pliegues– o como una serie de lagunas. La eficiencia en remoción de coliformes es elevada.

⁶ Middlebrooks y col. (1982) WHO.



Laguna facultativa en Villa Mercedes, San Luis

Lagunas facultativas. Se caracterizan por poseer una zona aeróbica, próxima a la superficie, y una zona anaeróbica en el fondo. La extensión relativa de estas dos zonas varía durante el año en función de la carga aplicada y de la eficacia de las dos fuentes de oxígeno al medio: la actividad fotosintética de las algas y la reaeración a través de la superficie.

La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado, principalmente, por las algas presentes.

La degradación de la materia orgánica en lagunas facultativas tiene lugar, fundamentalmente, por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia

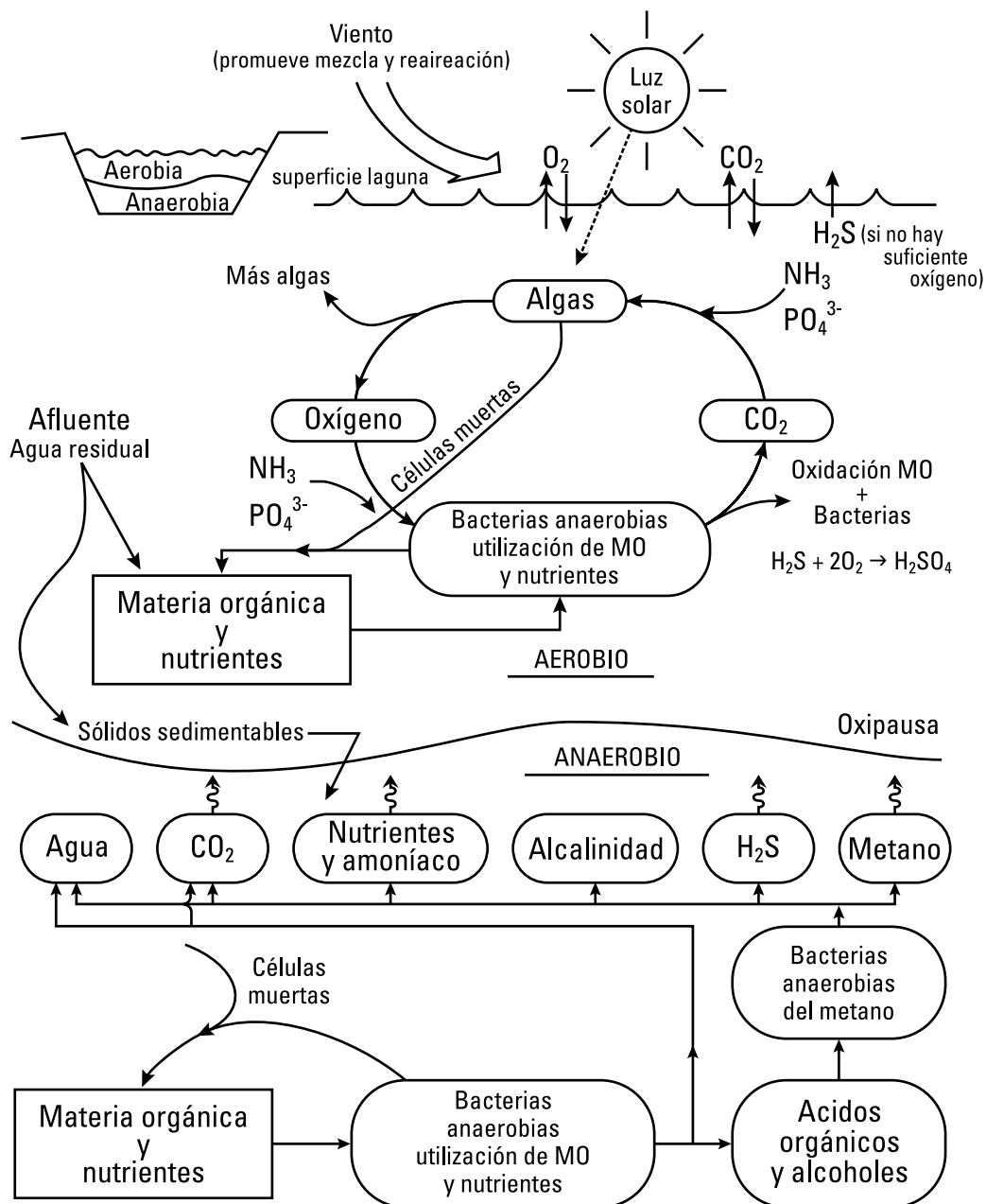
como en ausencia de oxígeno disuelto –si bien su velocidad de crecimiento y, por tanto, la velocidad de depuración es mayor en condiciones aeróbicas–⁷. Puesto que la presencia de oxígeno es ventajosa para el tratamiento, las lagunas facultativas se diseñan para favorecer los mecanismos de oxigenación del medio.

Puesto que las algas necesitan luz para generar oxígeno y la difusión de éste en el agua es lenta, las lagunas tienen poca profundidad (1-2 metros); facilitan, así, un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical.

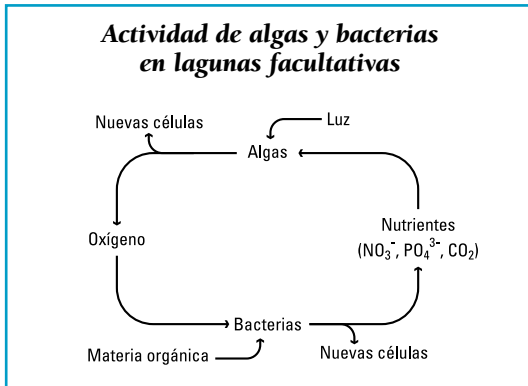
La profundidad a la cual se anula el contenido de oxígeno disuelto se llama **oxipausa** y varía a lo largo del día y del año.

⁷ Metacalf & Eddy (1979; 2º ed.) Wastewater Engineering. Treatment Disposal Reuse. Mc Graw Hill.

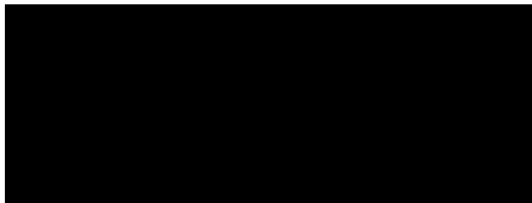
Procesos de tratamiento de una laguna



Uno de los signos de buen funcionamiento en las lagunas facultativas es el desarrollo de un color verde brillante, debido a la presencia de algas. Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, que son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa⁸.



Desde el punto de vista de la depuración, las bacterias se pueden describir como pequeños reactores bioquímicos, capaces de autorregularse. La oxidación biológica es la conversión bacteriana de los compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos oxidados, proceso que se conoce con el nombre de mineralización. Como ejemplo de estos procesos tenemos:



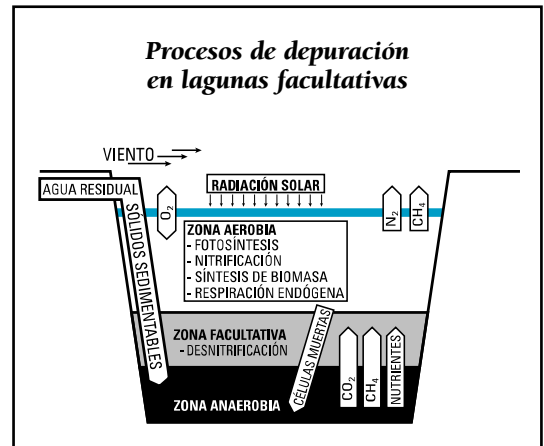
Las bacterias oxidan los productos de desecho para conseguir la energía y las materias primas necesarias para la síntesis de las moléculas complejas de las que están formadas (proteínas, polisacáridos, etc.). El proceso global de oxidación bacteriana puede describirse mediante la ecuación:



Por su parte, en presencia de luz, las algas sintetizan la materia orgánica de la que están constituidas; para esto necesitan, además, dióxido de carbono y nutrientes disueltos:



De esta forma, si combinamos la actividad de algas y bacterias, el proceso global es el siguiente:



⁸ Mara, 1976; Dinges, 1982; Brock, 1978.

FACTORES QUE AFECTAN LA DEPURACIÓN EN LAGUNAS FACULTATIVAS

Climatológicos

Temperatura
Luz
Viento
Evaporación
Lluvia

Físicos

Estratificación
Flujo a través de las lagunas
Profundidad

Químicos y bioquímicos

PH
Oxígeno disuelto
Nutrientes

Detengámonos, inicialmente, en los **factores climatológicos**.

Como ocurre con todos los procesos biológicos, la **temperatura** tiene una influencia marcada en todas las etapas. La velocidad de la depuración aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias.

Sin embargo, en lo que respecta a las algas, se han detectado retardos importantes en la actividad fotosintética a temperaturas elevadas (superiores a 28 °C), relacionados con la estimulación del crecimiento de algas verdiazules (cianofíceas), menos productivas que las algas verdes (clorofíceas) a las que sustituyen⁹. Puesto que este fenómeno coincide con una gran actividad de las bacterias y, por tanto, con grandes consumos de oxígeno, pueden desarrollarse zonas anaeróbicas en

las lagunas facultativas en épocas muy calurosas —especialmente, si el calentamiento se produce de forma brusca—.

Como hemos visto, la **luz** es fundamental para la actividad fotosintética. Ésta depende no sólo de la luz que alcanza la superficie del agua sino de la que penetra en profundidad. Dado que el medio es normalmente muy turbio —debido, sobre todo, a la presencia de las mismas algas, constituyendo un fenómeno que se conoce como autosombreado—, la luz que penetra en la laguna se atenúa rápidamente y se anula a poca distancia de la superficie. Por esta razón, la profundidad de las lagunas debe ser pequeña, garantizando así que la mayor parte de la columna de agua cuente con cierto grado de iluminación.

Puesto que la intensidad de la luz varía a lo largo del día y a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas varía, también, de la misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos fundamentales: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, los que aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde; y, a partir de este punto, los valores decrecen a lo largo de la noche. Esta evolución se observa mejor durante la primavera y verano, cuando la actividad fotosintética es más intensa.

También la acción del **viento** en las lagunas facultativas es importante, por dos razones:

- La reaireación a través de la interfase aire-agua depende de la velocidad del viento.
- El efecto de mezcla del viento puede evitar el desarrollo de estratificación térmica; aunque, en ocasiones, la acción del viento puede dar lugar a la aparición de problemas de flujo.

⁹ WHO. 1987.

Otro factor que debe tenerse en cuenta en climas muy cálidos y secos es la **evaporación**; porque, la repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. Y, el consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial si el efluente se va a emplear en riego. Se considera que una evaporación diaria de 5 milímetros no provoca efectos apreciables en las lagunas.

El efecto inmediato de la **lluvia** es provocar un aumento del caudal de entrada, por lo que el tiempo de residencia del agua disminuye. Cuando la lluvia es fuerte, la turbulencia que ésta genera da lugar a que las lagunas aparezcan revueltas. El oxígeno disuelto suele bajar después de las tormentas, debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Este último fenómeno es especialmente importante en días cálidos, cuando la caída de tormentas provoca el enfriamiento superficial de las lagunas, con lo que se crea una capa de inversión que favorece el desprendimiento de barro hacia la superficie. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debida tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca su caída.

Consideremos, ahora, cómo influyen los **factores físicos** en los procesos de depuración que tienen lugar en lagunas facultativas.

Puesto que la densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4° C y aumenta para temperaturas menores o mayores, el agua más cálida es más ligera y tiende a “flotar” sobre las capas más frías. Durante las estaciones de primavera y verano, el calentamiento tiene lugar desde la superficie; las

capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras. Este fenómeno es lo que se conoce como estratificación. Si las lagunas son suficientemente profundas, la **estratificación** aparece a medida que progresa la primavera y se mantiene hasta mediados de otoño¹⁰. En lagunas poco profundas, la acción del viento es suficiente para romper esta distribución por densidades y para dar lugar a la homogeneización de toda la columna de agua. El efecto principal de la estratificación térmica en lagunas facultativas es la segregación a efectos de flujo de la capa fría inferior. Como la alimentación a la laguna facultativa viene directamente del alcantarillado o de las lagunas anaeróbicas, su temperatura es normalmente alta, se distribuye en una capa fina próxima a la superficie y ocupa sólo una fracción del volumen de la laguna. En estas condiciones, el tiempo de residencia es inferior al de diseño, por lo que no hay tiempo suficiente para la mineralización de la materia orgánica; así, el efluente presenta concentraciones anormalmente altas de DBO₅ y DQO.

Detengámonos, ahora, en una segunda variable física: el **flujo a través de las lagunas**. La actividad biológica en las lagunas facultativas está muy influida por las características de la circulación del agua. Cuando se proyecta una laguna facultativa, se calcula el tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de depuración. Aunque este dato es significativo, desde el punto de vista de la depuración lo que importa es si realmente todo el material que entra en la laguna permanece en ella durante ese tiempo o si hay diferencias importantes entre el tiempo que una parte u otra del fluido permanece en la laguna. Cuando esto ocurre, la fracción que atraviesa rápidamente el estanque alcanza un grado

¹⁰ Belioyich, 1982; Moreno y col. 1984.

menor de estabilización que la que permanece embalsada durante más tiempo. Estas diferencias en el tiempo real de residencia provocan, siempre, la disminución de la eficacia de la depuración.

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, la velocidad y dirección de los vientos dominantes, y, como veíamos anteriormente, por la aparición de diferencias de densidad dentro del estanque. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas; es decir, en partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo.

La **profundidad** de las lagunas facultativas suele fijarse entre 1 a 2 metros. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual suele desaconsejarse para evitar el desarrollo de mosquitos. En cuanto al límite superior, las profundidades inferiores a 2 metros tienen el objetivo de limitar la posibilidad de estratificación, así como favorecer un ambiente aeróbico en la mayor parte del perfil vertical.

En los procesos de depuración de una laguna facultativa, también influyen **factores químicos y bioquímicos**.

El **pH** de las lagunas facultativas viene determinado, fundamentalmente, por la actividad fotosintética del fitoplancton y por la degradación de la materia orgánica efectuada por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO₂ como producto final, lo que causa una disminución del pH. Cuando las

lagunas facultativas están operando correctamente, el pH presenta valores ligeramente alcalinos (7,5-8,5).

Debido a que la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas facultativas presenta variaciones durante el día y la noche. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. Estas variaciones diarias son muy marcadas en verano, cuando pueden alcanzarse niveles de pH de hasta 9 o mayores, partiendo de valores del orden de 7-7,5 al final de la noche.

El contenido de **oxígeno disuelto** en las lagunas facultativas es uno de los mejores indicadores sobre su funcionamiento. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. Una laguna facultativa que opere correctamente debe tener una capa superficial oxigenada. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación sinusoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar desde un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es muy común encontrar que las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto en las capas superficiales.

Además de las variaciones diarias en el contenido en oxígeno disuelto, éste presenta variaciones importantes en la profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie y, a medida que aumenta la profundidad, va disminuyendo hasta anularse. La oxipausa y su posición dependen de la actividad fotosintética, del consumo de oxígeno por las bacterias y del grado de mezcla inducido por el viento. En invierno, la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano.

Los **nutrientes** son fundamentales para la buena marcha de la depuración en lagunas. El agua residual urbana posee un contenido en

nutrientes adecuado para el desarrollo de los microorganismos responsables de la depuración, sin que sea necesario ajustar la concentración de ninguno de ellos. A medida que progresa la depuración —y, especialmente, cuando se dispone de varias lagunas en serie— se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias.

Este hecho sólo constituye un problema cuando todavía hay una concentración importante de materia orgánica por estabilizar. Normalmente, en lagunas de estabilización, el agotamiento de nutrientes sólo ocurre en épocas de intensa actividad biológica y suele venir precedido de la eliminación de materia orgánica hasta los niveles máximos en este tipo de tratamiento (10-30 ppm de DBO_5).

Es mucho más frecuente la estabilización total de la materia orgánica sin que ello suponga el agotamiento de nutrientes. En las lagunas facultativas, se pueden alcanzar eficacias de eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) del 40-90 %.

Lagunas aeróbicas. El diseño de éstas debe tener una gran área superficial en relación con el volumen. El tirante o profundidad de estas lagunas es de 0,60 m, lo que favorece el desarrollo de algas y, por consiguiente, una adecuada producción de oxígeno; pero, además, origina el desarrollo de malezas en el fondo, lo que se evita impermeabilizándolo con revestimiento plástico o asfáltico colocado sobre el terreno previamente compactado. Las lagunas aeróbicas pueden ser:

- de maduración —que operan en forma natural— o
- aireadas mecánicamente.

Lagunas de maduración. Son un subgrupo de las lagunas de aeróbicas —que también se llaman lagunas de oxidación—; tienen como objetivo primordial la eliminación de bacterias patógenas. Estas lagunas operan, al menos, como lagunas secundarias; es decir, el agua residual ha pasado, como mínimo, por otro tratamiento antes de ser introducida en ellas y, aquí, logra una elevada desinfección, así como la mineralización de los nutrientes orgánicos.

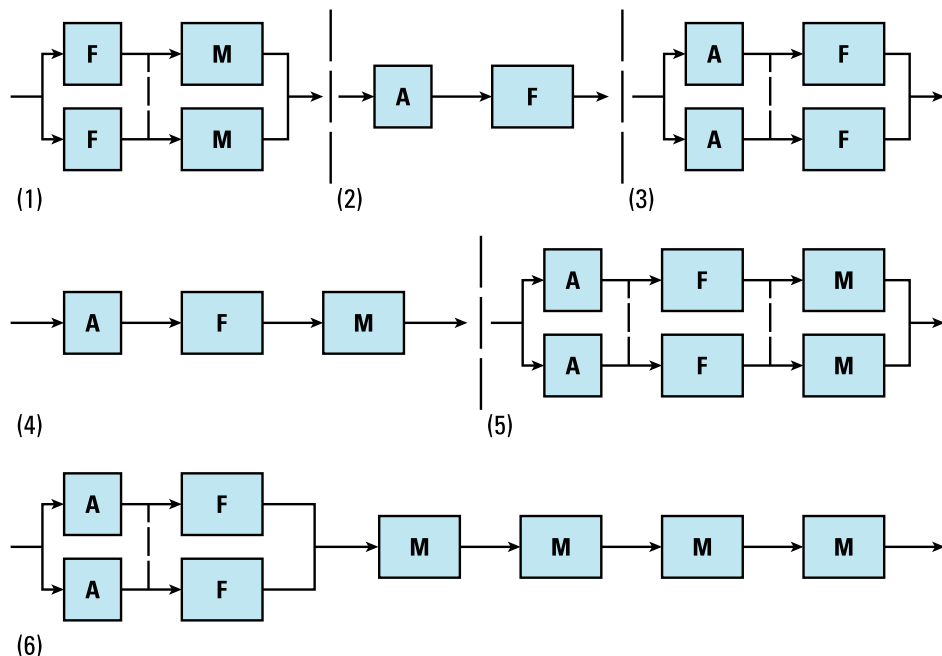
En estas lagunas de maduración se mantiene un ambiente aerobio en toda su profundidad, lo que se consigue con menores cargas aplicadas, de forma que la fotosíntesis y la reaireación son suficientes para proporcionar oxígeno disuelto a toda la columna de agua.

La secuencia habitual es la de laguna anaeróbica seguida de laguna facultativa y, por último, de laguna de maduración, si bien hay distintas variaciones sobre este esquema general, y, muy a menudo, se instala más de una laguna de maduración. A veces, incluso, se construyen lagunas de maduración como etapa final del tratamiento de otros sistemas de depuración —como barros activados—, con lo que se sustituye la desinfección en estos sistemas.

Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos: la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, la clarificación del efluente y la consecución de un efluente bien oxigenado.

Las plantas de tratamiento suelen estar constituidas por los tres tipos de lagunas operando en serie —debido a que éstas requieren niveles decrecientes de carga orgánica para funcionar correctamente— es decir, una después del otra. De esta forma se alcanza una mayor calidad en el efluente final del sistema.

Disposiciones más comunes de lagunas en plantas de tratamiento;
A: anaeróbica, F: facultativa, M: laguna de maduración



Lagunas aireadas mecánicamente. Son similares a las lagunas de estabilización; su única diferencia es que están provistas de equipos de aireación cuya finalidad principal es introducir oxígeno a la masa líquida. Su profundidad varía de 3,0 a 5,0 m.

En ellas, el afluente residual es arrojado directamente en la laguna, luego de pasar por un tratamiento preliminar. Así, funcionan como un tanque de aireación en el cual la aireación artificial sustituye a la oxigenación natural que, en las lagunas de estabilización, se realiza a través de las algas.

Su área es menor que la de las lagunas de estabilización, debido a su mayor profundidad y al tiempo de retención para la estabilización de la materia orgánica, que también es menor.

Las lagunas aireadas se han empleado exitosamente durante mucho tiempo en el tratamiento de desagües domésticos de pequeñas y medianas ciudades, y de desechos orgánicos de origen industrial. Su uso extensivo ha sido concretado por las industrias de papel, de procesamiento de alimentos, petroquímicas y varios otros tipos de industrias con desechos de origen orgánico.

**TIPOS DE LAGUNA
 AIREADA MECÁNICAMENTE**

Aeróbica con mezcla completa
 Facultativa
 Con aireación prolongada

En las **lagunas aireadas con mezcla completa** todos los sólidos decantables se mantienen en suspensión; éstas funcionan, básicamente, como un sistema de barros activados con aireación extendida sin reciclado del barro y suelen ser las primeras de una serie de lagunas aireadas.

Este tipo de laguna posee una relación alta de potencia/volumen. En ella, la edad del barro es igual al tiempo de retención hidráulica. Por su parte, la remoción de DBO_5 varía de 50 a 60 % –con la gran desventaja de transportar muchos sólidos en el efluente–.



Las principales ventajas de las lagunas aireadas aeróbicas con mezcla completa –en relación con las lagunas aireadas facultativas– son:

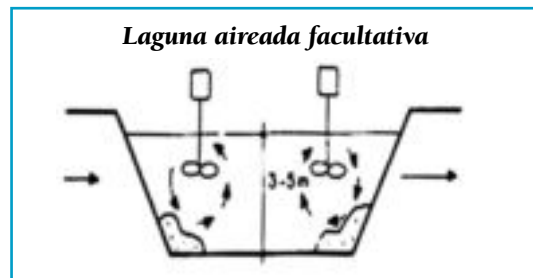
- mayor eficiencia en un mismo período de aireación,
- ausencia de algas, una vez que el oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica es provisto por los equipos de aireación,
- menor área ocupada.

Sus desventajas más notorias:

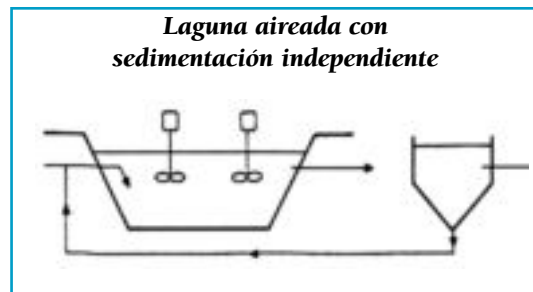
- mayor concentración de sólidos biológicos en el efluente,
- mayor consumo de energía eléctrica.

En las **lagunas aireadas facultativas** no hay control de sólidos; parte de éstos sale con el efluente y el resto es decantado en su parte inferior.

La potencia de estas lagunas es limitada y la edad del barro es mayor que el tiempo de retención hidráulico. La remoción de DBO varía de 70 a 90 %. En ese sistema –que, también, se basa en el principio del proceso de barros activados– no hay reciclado de barro.



Las **lagunas aireadas con aireación prolongada** son llamadas, también, lagunas aireadas con mezcla completa y pueden ser con sedimentación independiente



En estas lagunas existe total control de sólidos y la remoción de DBO es de 95 a 98 %. Su eficiencia es elevada y su costo de construcción se considera apenas mayor que el de las lagunas de estabilización. En cuanto a su operación y mantenimiento, el costo es un poco más elevado, debido al mantenimiento de los equipos electromecánicos y a la energía eléctrica.

De los tres tipos de lagunas aireadas, los más usados son los dos primeros: las aeróbicas con mezcla completa y las facultativas. La tercera tiene un costo más elevado que las anteriores y su operación es más sofisticada, con mayor consumo de energía eléctrica.

Si no existe la posibilidad de uso de las lagunas de estabilización, las lagunas aireadas mecánicamente son una opción inmediata viable.

Detengámonos, ahora, en los equipos utilizados para la aireación.

La transferencia de oxígeno se obtiene con la introducción artificial de aire en la masa líquida, la que tiene como principal finalidad suplir la cantidad necesaria y suficiente para que haya autodepuración a través

de la oxidación biológica de la materia orgánica.

La solubilidad del oxígeno del aire en el agua aumenta con la presión del sistema y con la disminución de la temperatura, hasta un punto próximo al de congelación, tal como lo refleja la tabla. La presión puede controlarse añadiendo el aire por medios mecánicos; en cuanto a la temperatura, dado que estos sistemas operan generalmente a cielo abierto, están sujetos a las condiciones ambientales.

VALORES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUA¹¹

Temperatura en °C	Concentración de cloro en agua (mg/l)			Diferencia por 100 mg de cloro
	0	5000	10000	
	Oxígeno disuelto (mg/l)			
0	14.6	13.8	13.0	0.017
1	14.2	13.4	12.6	0.016
2	13.8	13.1	12.3	0.015
3	13.5	12.7	12.0	0.015
4	13.1	12.4	11.7	0.014
5	12.8	12.1	11.4	0.014
6	12.5	11.8	11.1	0.014
7	12.2	11.5	10.9	0.013
8	11.9	11.2	10.6	0.013
9	11.6	11.0	10.4	0.012
10	11.3	10.7	10.1	0.012
11	11.1	10.5	9.9	0.011
12	10.8	10.3	9.7	0.011
13	10.6	10.1	9.5	0.011
14	10.4	9.9	9.3	0.010
15	10.2	9.7	9.1	0.010
16	10.0	9.5	9.0	0.010
17	9.7	9.3	8.8	0.010
18	9.5	9.1	8.6	0.009
19	9.4	8.9	8.5	0.009
20	9.2	8.7	8.3	0.009
21	9.0	8.6	8.1	0.009
22	8.8	8.4	8.0	0.008
23	8.7	8.3	7.9	0.008
24	8.5	8.1	7.7	0.008
25	8.4	8.0	7.6	0.008
26	8.2	7.8	7.4	0.008
27	8.1	7.7	7.3	0.008
28	7.9	7.5	7.1	0.008
29	7.8	7.4	7.0	0.008
30	7.6	7.3	6.9	0.008

INTRODUCCIÓN DE OXÍGENO

Por aire difuso

Por aireación superficial

Por turbina de aireación

El proceso de transferencia de oxígeno al agua es, en general, una operación de baja eficiencia, por lo que es importante destacar que:

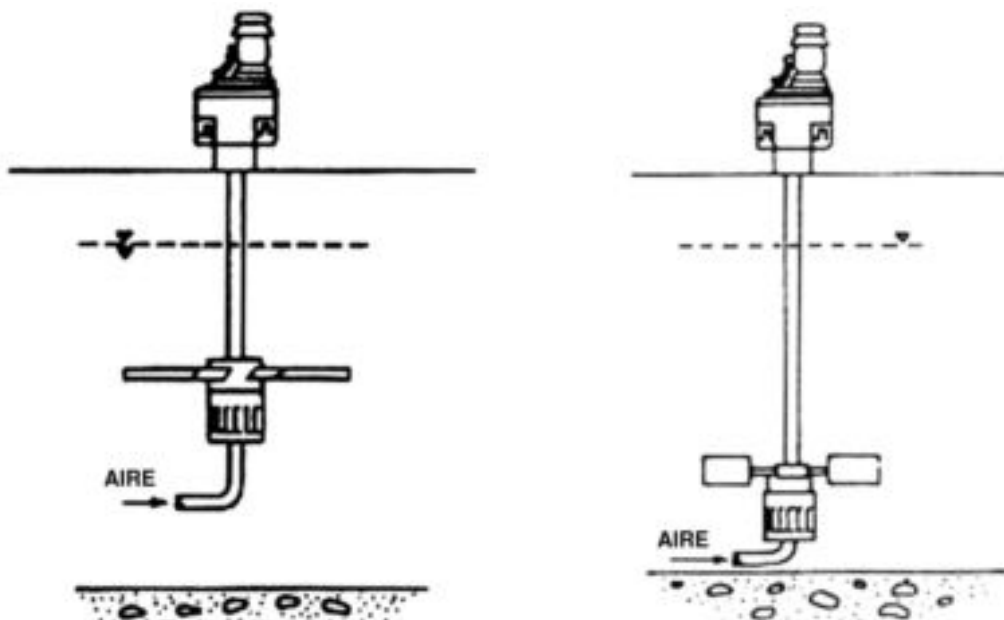
- la mezcla es esencial para optimizar la transferencia de oxígeno,
- los dispositivos de aireación tienen un potencial para la transferencia de la masa de oxígeno cuya eficiencia depende de la

aplicación del dispositivo correcto,

- los parámetros utilizados para asegurar la transferencia de oxígeno deben ser compatibles con el sistema en estudio.

El proceso de transferencia de oxígeno **por aire difuso** se obtiene a través de aspersores especiales, domos o discos cerámicos porosos que reciben el aire inyectado de tabulaciones de supresión de aire, asentados en el fondo de las lagunas aireadas mecánicamente. Los aireadores por aire difuso son usados, mayormente, en instalaciones de tratamiento de desagües cloacales de gran porte, los que utilizan el proceso de barros activados.

Esquemas de equipos de aireación



¹¹ Se considera aire saturado de humedad y conteniendo 20,9 % de oxígeno, sobre una presión de 760 mm de mercurio.



Difusor de domo

En los sistemas de **aireación superficial**, ésta es obtenida por dispositivos rotativos, levemente sumergidos en agua que, de esta forma, esparcen o difunden el agua, arriba de la superficie.

La transferencia de oxígeno está basada en el aumento de la superficie de contacto entre el líquido y el aire. Esta sección, al mismo tiempo, induce un flujo en forma espiral dentro del tanque, en un trayecto que depende de la geometría del tanque y del dispositivo de aireación.

En los sistemas de aireación superficial, la aireación mecánica es obtenida por dispositivos rotativos, levemente sumergidos en agua que, de esta forma, esparcen o difunden el agua arriba de la superficie.

La acción mecánica de los aireadores efectúa la transferencia de oxígeno a través de los siguientes mecanismos:

- movimiento de la superficie de agua, debido a la existencia de ondas en el tanque de aeración;
- burbujas de aire arrastradas por el agua;
- difusión de agua en forma de gotas;
- mezcla aire-líquido en las proximidades del aireador, donde el aire es empujado por el agua.

La transferencia de oxígeno es máxima en el área aireada donde la turbulencia es máxima también.

La cantidad de oxígeno introducida en el agua depende de las fuerzas creadas en función del diámetro, rotación, inmersión, tipo y número de paletas del aireador.

En comparación con sistemas de aire comprimido, la turbulencia es muy intensa y la vida de las burbujas es muy pequeña; de tal manera, la influencia de los detergentes en el oxígeno consumido es mínima.

Además de la función de oxigenar, el aireador debe crear corrientes de circulación en el tanque, de forma de evitar la sedimentación de barro biológico.

La forma, las dimensiones y el volumen deben estar en relación con el aireador, de tal manera que cuando éste provea el oxígeno necesario, la mezcla sea suficiente. Cuando esto no ocurre, debe adicionarse una energía extra para la mezcla.

Los aireadores superficiales pueden ser clasificados en:

- aireadores con eje horizontal,
- aireadores lentos tipo cono,
- aireadores rápidos tipo turbina.

Los rotores de aireación con eje horizontal se indican para ser instalados en tanques poco profundos. Los aireadores de eje horizontal deben alcanzar dos objetivos:

- máxima distribución de agua trasladada, con la finalidad de aumentar las interfases;
- máxima admisión de aire al agua, aguas arriba del aireador donde las láminas entran en el agua.

Los aireadores lentos *tipo cono* son recomendados para potencias instaladas pequeñas y medias. Son montados en tanques de sección cuadrada o circular.

El funcionamiento de esos aireadores induce a dos tipos de movimientos espiralados, sobreponiéndose uno al otro, en una trayectoria compleja de flujo. Por intermedio de ese sistema se obtiene dispersión y bombeo del líquido.

El movimiento espiral vertical controla la tasa de transferencia de oxígeno, mientras que el aumento del flujo espiral horizontal disminuye la diferencia entre las velocidades del agua y del rotor, reduciendo, en consecuencia, la capacidad de oxigenación y la eficiencia. Por ello, frecuentemente, el tanque es dotado de chicanas, con la finalidad de minimizar el flujo espiralado horizontal.

Los **aireadores rápidos tipo turbina** se utilizan para potencias instaladas grandes y medias. También se instalan en tanques de sección cuadrada o circular. Como medio de introducción de oxígeno en el líquido utilizan, simplemente, su capacidad de bombeo. En esos equipos, la turbina presenta un diámetro pequeño y trabaja en alta rotación, para aumentar al máximo el volumen bombeado. La transferencia de oxígeno se realiza solamente por la difusión del agua en la atmósfera.

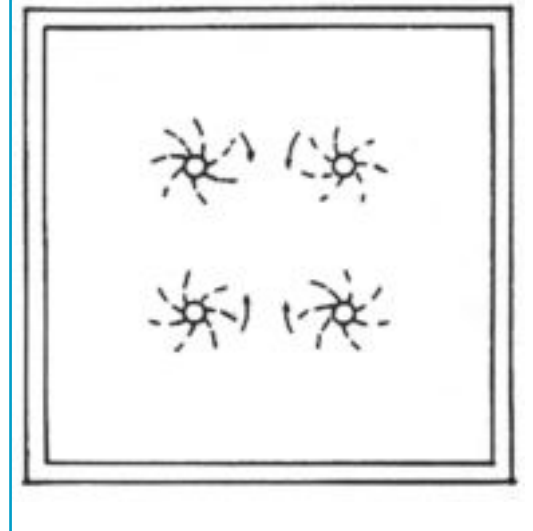
La transferencia de oxígeno, para cada equipo dado, funcionando a una velocidad e inmersión determinadas, depende:

- de la potencia específica, en w/m^3 ;
- de la forma del tanque de aireación;
- de la relación entre el diámetro y la altura.

Los aireadores que son instalados en las lagunas aireadas mecánicamente deben

girar en sentidos opuestos, con la finalidad de obtener concordancia en el giro de los volúmenes aireados.

Distribución de aireadores en relación con el sentido de rotación



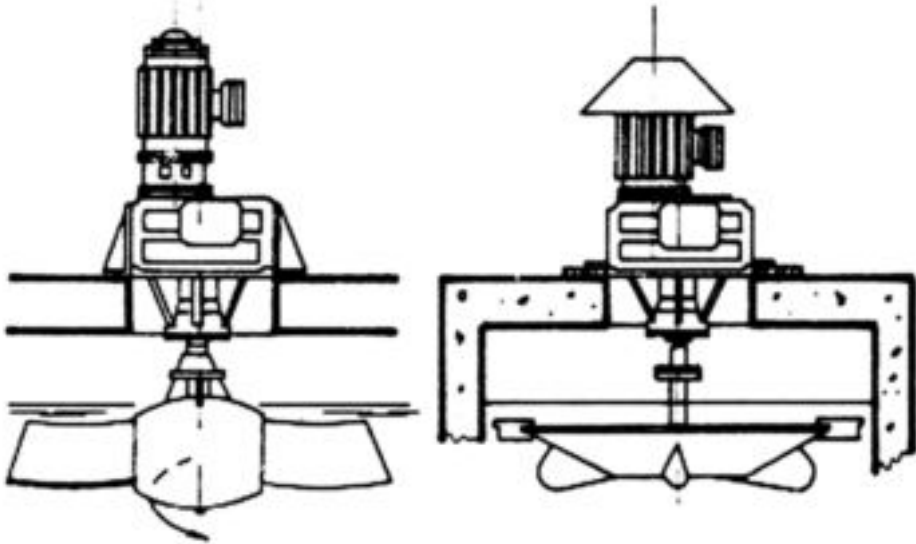
Existen dos tipos de montaje de aireadores superficiales:

- fijo,
- fluctuante.

Los **aireadores fijos** se instalan sobre una estructura ejecutada en hormigón armado o perfiles metálicos. Estas estructuras fijas de hormigón armado son muy costosas, debido al gran volumen de material utilizado; por su parte, las estructuras metálicas –aunque sean relativamente más baratas– tienen la desventaja de oxidarse fácilmente, disminuyendo su vida útil con más rapidez.

La gran desventaja de una y otra instalación fija es que excluyen la posibilidad de aumentarse las cantidades de aireadores en etapas futuras.

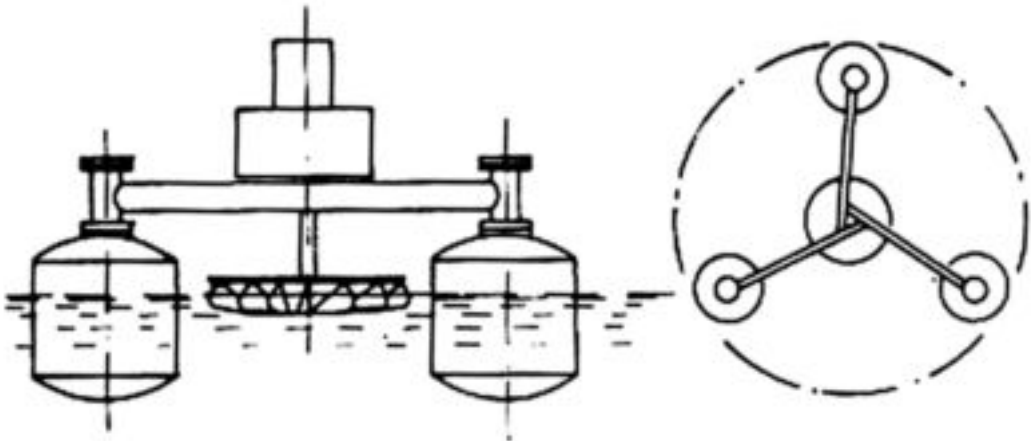
Aireadores instalados en estructura fija



Cuando la variación del nivel de los desagües cloacales es muy grande o los tanques de aireación son de gran dimensión, los

aireadores deben, preferentemente, montarse sobre **fluctuantes** compuestos por tres flotadores.

Esquema de aireador con flotadores



El operador debe efectuar un control diario de las lagunas, con el objeto de detectar cualquier problema de funcionamiento. Las observacio-

nes son sencillas y se realizan todos los días a la misma hora. En la tabla se muestra el listado de las incidencias a tener en cuenta:

PARTE DIARIO DEL CONTROL OPERATIVO

Fecha:	Hora:	Nombre del operador:					
Incidencias	AR	A	F	M	EF	Observaciones	
Caudal							
Profundidad del agua, m							
Profundidad del fango, cm							
Espumas o flotantes							
Manchas de grasa							
Fangos flotantes							
Coloración							
Manchas de colores							
Plantas de taludes							
Plantas acuáticas							
Erosión de taludes							
Infiltraciones de agua							
Insectos o larvas							
Rotíferos, pulgas de agua							
Roedores							
Aves acuáticas							
Olores desagradables							
Estado de los caminos							
Estado del acceso							
Rejas							
Acumulación de gruesos							
Cámaras de grasa							
Filtros							
Sedimentadores							
Medidores de caudal							
Jardinería							
Caseta							
AR: Agua residual bruta A: Anaerobia F: Facultativa M: Maduración EF: Efluente final							

RESULTADOS ANALÍTICOS

Fecha:	Hora:	Nombre del operador:				
Variable	AR	A	F	M	EF	Observaciones
Temperatura, °C						
DBO ₅ , mg/l						
DQO (no filtrada) mg/l						
DQO (filtrada), mg/l						
Sólidos suspensión, mg/l						
Coli. fecales/100 ml						
Clorofila a, µg/l						
Amoníaco, mg/l						
Nitratos, mg/l						
Fósforo total, mg/l						
Sulfuros, mg/l						
Sulfatos, mg/l						
pH						
Oxígeno disuelto, mg/l						
Conductividad, µg/cm						
Sodio, mg/l						
Calcio, mg/l						
Prondundidad del fango						
Magnesio, mg/l						
AR: Agua residual bruta A: Anaerobia F: Facultativa M: Maduración EF: Efluente final						

En esta segunda tabla se incluyen las variables que deben analizarse en plantas de lagunas.

A pesar de que el operador sabe perfectamente que está trabajando en una planta de tratamiento de aguas residuales y que éstas pueden ser un foco infeccioso, es normal que,

con el paso del tiempo, “pierda el miedo” y olvide el carácter de riesgo para la salud que su trabajo puede adquirir si no toma algunas precauciones básicas. Precisamente, cuando se alcanza este punto, la probabilidad de que surjan accidentes aumenta en gran medida. Por esta razón, es aconsejable colocar, en un

lugar bien visible, una lista de instrucciones higiénicas que sirvan de recordatorio de que existe un riesgo real que, afortunadamente, es fácil de prevenir.

Las medidas de seguridad que se enumeran a continuación han sido recomendadas por la Organización Mundial de la Salud, en 1987, para operadores de lagunas de estabilización:

- La planta depuradora debe contar siempre con un depósito de agua limpia, jabón y lejía. Es aconsejable utilizar toallas descartables de papel, para evitar que, debido a la necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela, éstas permanezcan demasiado tiempo sin lavar.
- La planta debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, algodón, alcohol, una disolución detergente desinfectante, tijeras y pinzas. También es conveniente que el operador disponga de algún líquido repelente para evitar las picaduras de mosquitos u otros insectos.
- El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y, al menos, dos trajes. Todas las prendas utilizadas en la depuradora deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
- Siempre que vaya a comer, a beber o, incluso, a encender un cigarrillo, es necesario lavarse las manos. Si se hace alguna comida en el recinto de la depuradora, hay que designar un área de ésta para este fin y evitar, en todo momento, comer a la vez que se está efectuando alguna labor que pueda ocasionar el contacto de la comida con algún elemento que haya estado en contacto, a su vez, con aguas residuales o barros. Si es posible, es preferible evitar las comidas en el interior del recinto.
- Todas las herramientas de trabajo deben limpiarse con agua limpia, antes de ser guardadas después de su uso.
- Los cortes, arañazos y abrasiones que pueda sufrir el operador deben desinfectarse inmediatamente después de que se han producido.
- Si la planta dispone de electricidad y el operador debe, también, ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado están secos. Asimismo, debe disponer de guantes y herramientas dotados de aislamiento eléctrico.
- La entrada de la verja debe mantenerse cerrada, incluso cuando el operador está trabajando en el recinto, ya que éste no puede estar pendiente todo el tiempo de posibles visitas y existe un riesgo importante de caídas en las lagunas, especialmente para los niños. En este sentido, las lagunas más peligrosas son las anaeróbicas, porque el barro del fondo es pegajoso y hace difícil la salida de una persona que se haya caído en ellas. También es importante recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados y tocan las arquetas de reparto u otros elementos de la planta.
- La planta debe contar con una pequeña embarcación, cuerda y salvavidas.
- El operador debe vacunarse contra el tétanos y fiebre tifoidea, así como contra otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. También debe someterse a un chequeo médico periódico.
- Antes de empezar su labor como operador, la persona seleccionada para este trabajo debe recibir instrucción en primeros auxilios.

b. Barros activados

DISPOSITIVOS PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO AERÓBICO

- a. Lagunas de estabilización
- b. Barros activados

El barro activo se produce por la aireación de sucesivas cantidades de agua residual y se mantiene en actividad por una aireación adecuada, ya sea de él solo o bien mezclado con las aguas residuales.

El dispositivo para el tratamiento secundario por barro activado requiere un proceso biológico aeróbico de flujo continuo que consiste en la agitación de una mezcla de agua residual con 15 % o más de su volumen de lodo líquido, bacteriológicamente activo, en presencia de una amplia cantidad de oxígeno atmosférico, durante el tiempo preciso para coagular una gran proporción de sus sustancias coloidales, seguido de una sedimentación adecuada para lograr la separación del lodo floculado.

La mezcla del desecho, el líquido cloacal (ali-

mento) y el lodo recirculado (biomasa bacteriológicamente activa) es agitada y mezclada en tanques de aireación (reactores) para formar un barro que se denomina **licor**.

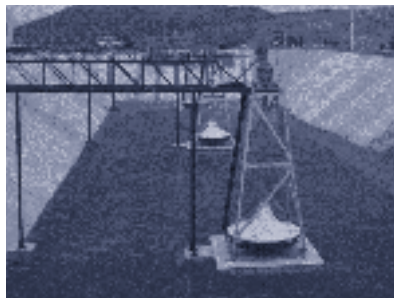
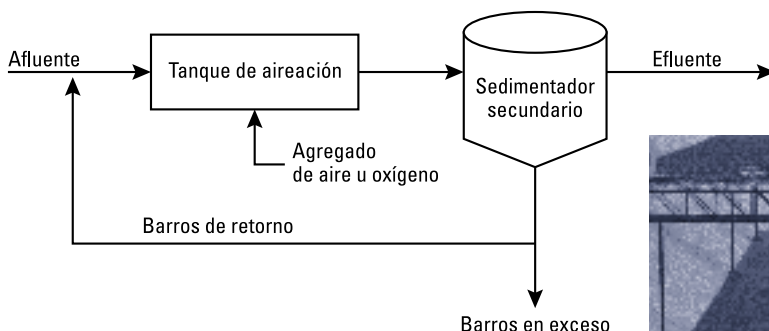
Este lodo recirculado proviene de los sólidos depositados en las tolvas de sedimentadores secundarios. En todos los casos, se considera el tanque de aireación y el sedimentador como una sola unidad operacional.

La edad de lodo o tiempo que permanecen los microorganismos activos en el sistema debe ser compatible con la reducción esperada de materia orgánica. La masa de esos microorganismos no debe ser inferior a un mínimo requerido para asimilarla, ni mayor a un máximo a partir del cual se produce la proliferación de bacterias filamentosas que son difíciles de sedimentar.

A mayor edad de lodo se tendrá una mayor eficiencia en reducción orgánica y viceversa.

La edad del lodo es regulada mediante la recirculación del lodo activado depositado en el sedimentador secundario, hacia el reactor.

Esquema de planta de tratamiento de lodos activados



Las etapas esenciales del proceso de lodos activados son:

1. **Etapla de contacto**, adsorción o floculación del agua residual y del lodo activado.
2. **Etapla de aireación** que mantiene el licor-mezcla aeróbico y en suspensión. Las dos primeras etapas se realizan en forma simultánea dentro del reactor, salvo la variante del proceso de contacto-estabilización que se realiza en tanques separados.
3. **Etapla de separación** de la fase sólida (lodo activado) y la fase líquida (efluente tratado) del licor mezclado, la que se realiza en el sedimentador secundario.
4. **Etapla de recirculación**, haciendo retornar el lodo activado –depositado en la tolva del sedimentador secundario– al afluente del reactor.
5. **Etapla de disposición** del lodo activado en exceso, a fin de mantener el equilibrio de la biomasa.

Así, en una planta de tratamiento es posible detectar tres procesos u operaciones unitarias: sedimentación primaria, aireación y sedimentación secundaria. Los dos últimos son esencialmente necesarios; en cambio, la sedimentación primaria no es imprescindible y en variantes del proceso –como la aireación prolongada– no se la incluye.

Además de los tratamientos primario y secundario (biológico), la planta debe tener el pretratamiento o tratamiento preliminar que permite –como ya analizábamos– remover los sólidos (gruesos y finos, pesados y flotantes), a fin de no perturbar los procesos que le siguen.



Tanque de aireación de barros activados

Las ventajas del tratamiento por barros activados son:

- El grado de purificación es alto.
- El área requerida para la instalación de la planta es pequeña.
- El costo inicial de la construcción es bajo.
- Las pérdidas de cargas son muy pequeñas, eliminándose –por lo general– la necesidad de bombeo.
- Es inodoro.
- El barro producido tiene un alto porcentaje en nitrógeno.

Sus desventajas:

- El volumen de barros a manipular es superior al producido por otros procesos.
- El carácter del barro hace difícil su manejo.
- Los gastos de explotación son elevados.
- Hay muchos equipos electromecánicos que controlar y mantener.
- Una negligencia temporaria da como resultado un barro pobre y se requiere un tiempo considerable –de 10 a 20 días– para remediarlo, produciendo, en el interín, un efluente de mala calidad.
- Los desagües industriales –especialmente, los productos químicos– destruyen el ciclo de purificación.

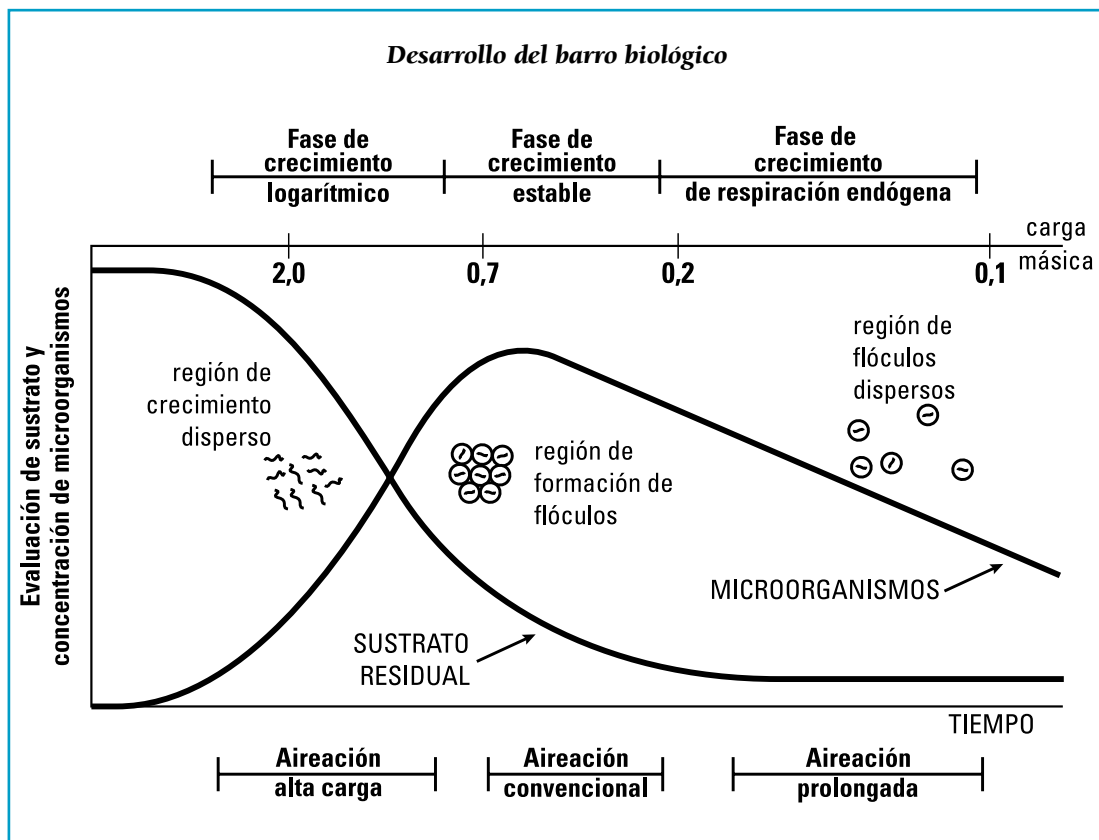
Detengámonos, ahora, en cómo se desarrolla el **barro biológico** en este proceso.

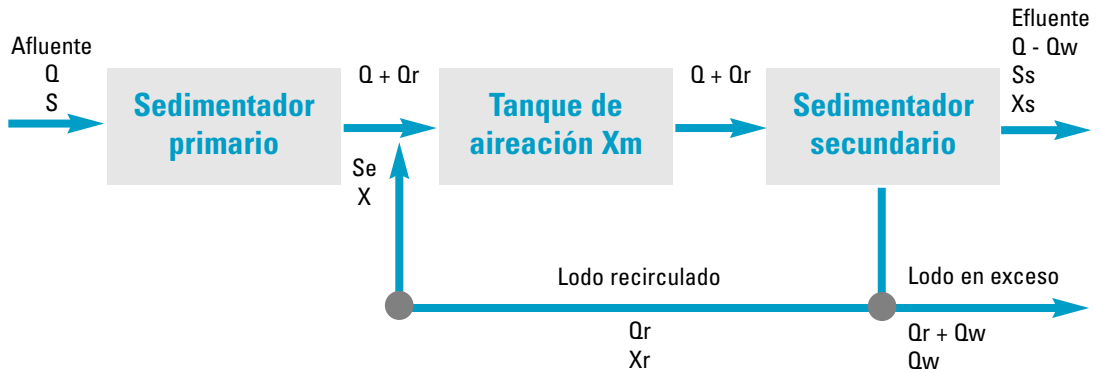
En el diagrama es posible visualizar la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica, representada en dos curvas. Una corresponde al crecimiento y a la distribución de los microorganismos (lodo o floculo biológico) producidos en el proceso y la otra curva presenta la reducción de la materia orgánica (sustrato residual) que se expresa como reducción de la DBO del sistema.

En este proceso es posible reconocer tres fases diferenciadas:

- **Fase de crecimiento logarítmico.** En ella hay abundancia de alimento a disposición de los microorganismos.
- **Fase de crecimiento declinante.** En la que se termina el alimento, por lo que la producción de microorganismos disminuye.
- **Fase de respiración endógena.** Ocurre una autooxidación provocada por la falta de alimento, con destrucción de células de microorganismos y una sucesión de nuevas especies.

Para plantear la cinética del proceso, debemos analizar el significado de las diferentes variables que intervienen.





Donde:

- V = Volumen del tanque de aireación.
- Q = Caudal que ingresa a la planta de tratamiento.
- Q_r = Caudal de recirculación.
- Q_w = Caudal de lodos en exceso.
- $Q - Q_w$ = Caudal efluente del sedimentador secundario.
- Q_r / Q = Relación de recirculación.
- S = Concentración de DBO total que ingresa al sistema.
- S_e = Concentración de DBO total que ingresa al reactor.
- S_s = Concentración de DBO en el efluente del sedimentador secundario.
- X_m = Concentración de sólidos suspendidos en el tanque de aireación.
- X = Concentración de sólidos suspendidos del efluente del sedimentador secundario.
- X_r = Concentración de sólidos suspendidos del lodo recirculado.

De acuerdo con la carga orgánica a tratar respecto de la biomasa activa suspendida en el licor mezclado dentro de la cámara de aireación, hay tres clases básicas del proceso de barros activados definidos por el rango de cargas o la materia orgánica disponible para los microorganismos:

- Alta carga.
- Media carga (convencionales).
- Baja carga (aireación prolongada).

RANGOS DE CARGA PARA PROCESOS DE BARROS ACTIVADOS

Proceso	MCRT (días)	F/M (kg DBO ₅ / kg/min SsVTA . día)
Alta carga	3-5	0.4 - 1.5
Convencional	5-15	0.2 - 0.4
Baja Carga	15-30	0.05 - 0.2

MCRT: Tiempo promedio de residencia celular expresado en días.

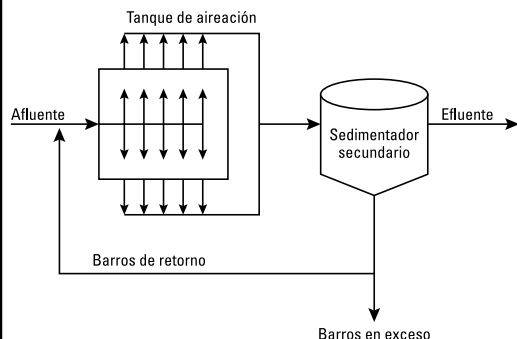
F/M: Rango de factor de carga, definido como la relación entre la carga orgánica que ingresa diariamente al reactor (kg DBO₅/ día) y la biomasa dentro del tanque de aireación, expresada por los kilogramos de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (kg SsVTA).

A partir de estos tres rangos de carga, la forma y el número de tanques pueden ser modificados para dar variaciones en el patrón de flujo.

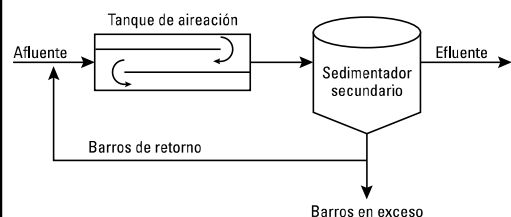
VARIACIONES HIDRÁULICAS EN EL PROCESO

Mezcla completa
Flujo pistón
Contacto y estabilización
Alimentación escalonada
Aireación extendida

Proceso de barros activados de mezcla completa



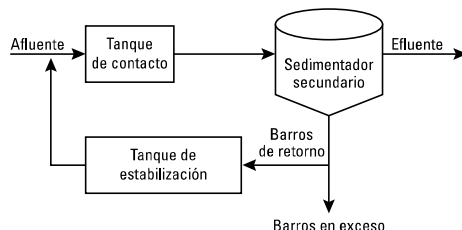
Proceso de barros activados con flujo pistón



El proceso de barros activados **por contacto y estabilización** es un proceso y configuración específica de tanques que comprende:

- un tanque de contacto de corto tiempo,
- un sedimentador secundario y,
- un tanque de estabilización con, aproximadamente, seis veces el tiempo de permanencia del tanque de contacto.

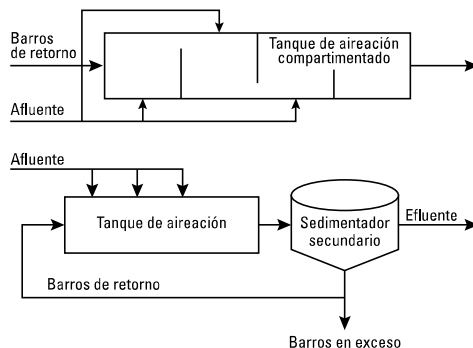
Proceso de barros activados mediante contacto y estabilización



La **alimentación escalonada** es una modificación de la configuración de flujo pistón en la cual el efluente a tratar es alimentado en dos o más puntos, a lo largo del tanque de aireación. Con esta modificación, los requerimientos de toma de oxígeno son relativamente parejos. Las configuraciones de alimentación escalonada suelen usar equipos de aireación con difusores.

El tanque de aireación puede ser largo y rectangular, o en forma de pliegues (chicanas). El efluente a tratar se alimenta en dos o más puntos del tanque de aireación, usualmente en los primeros 50 y 75 % de la longitud del tanque. También es posible usar el mismo criterio, compartimentalizando el tanque y dirigiendo el flujo a lo largo de cada compartimiento. Usualmente, el último compartimiento no recibe efluente crudo.

Proceso de barros activados con alimentación escalonada



El proceso de **aireación extendida** o prolongada usa el mismo esquema de flujo que un proceso de mezcla completa o flujo pistón; pero, retiene el efluente en el tanque de aireación durante 18 horas o más. Este proceso opera a altas MCRT (bajo F/M), resultando una condición donde no hay suficiente alimento en el sistema para sustento de todos los microorganismos presentes. Entonces, los microorganismos compiten muy activamente por el alimento remanente y usan su propia estructura celular como alimento.

No se necesita más que mirar -desde arriba de la superficie de un tanque de sedimentación final- el movimiento descendente de los sólidos en suspensión de los lodos activados, para convencerse de la rapidez de la acción de la separación, en virtud de que el licor mezclado ha sido bien acondicionado en la etapa anterior del proceso. Esta **sedimentabilidad** se estima mediante una prueba sencilla:

- Se toma una muestra de un litro del licor de los tanques de aireación.
- Se sedimenta por treinta minutos, en una probeta graduada de 1.000 mililitros; el volumen ocupado por los lodos se expresa en porcentaje o en mililitros.
- Se mezcla bien la muestra u otra muestra que se tome separadamente.
- Se determinan los sólidos suspendidos que se expresan en porcentaje, en peso o en miligramos por litro.

Se tiene, entonces:

Índice volumétrico de lodos, IVL

Porcentaje de lodos sedimentados
(en volumen; ml/l)

IVL = $\frac{\text{Porcentaje de lodos sedimentados (en volumen; ml/l)}}{\text{Porcentaje de sólidos suspendidos (en peso; g/l)}}$

PARÁMETROS TÍPICOS DE DISEÑO PARA PROCESOS DE BARROS ACTIVADOS					
Proceso	Carga orgánica volumétrica (kg DBO ₅ /m ³ . día)	Periodo de retención (horas)	Edad de lodos (días)	Densidad de lodos X _v (kg SsVTA/m ³)	Factor de carga F/M (kg DBO ₅ / kg SsVTA . día)
Alta carga o aireación modificada	1,3-2,4	1-3	0,4-0,6	0,5-1,5	1,5-5,0
Convencional	0,48-0,64	5-7	5-10	2-3	0,2-0,4
Aireación prolongada	0,2-0,30	18-30	18-30	4-6	0,05-0,15
Alimentación escalonada	0,32-0,96	6-9	5-10	2-3	0,2-0,4
Mezcla completa	0,64-0,96	1-3	5-15	3-6	0,2-0,6
Contacto estabilización	0,32-0,96	0,5-1; 3 - 6	-	1,5-4 (a) 6-10 (b)	0,2-0,6
a: En tanque de contacto. b: En tanque de estabilización de lodos.					

El índice de densidad de lodos es el recíproco del índice volumétrico de lodos multiplicado por 100. Se calcula de los datos obtenidos por los métodos descritos anteriormente. Es decir:

Índice de densidad de lodos, IDL

$$IDL = \frac{\text{g/l de sólidos suspendidos}}{\text{ml/l de lodos sedimentados}} \cdot 100$$

$$IDL = \frac{100}{IVL}$$

Resumiendo: El IVL es el volumen en mililitros ocupado por un gramo de lodos activos según la prueba citada; el IDL, que es su recíproco multiplicado por 100, es el contenido de sólidos en términos de porcentaje en peso.

Multiplicando el IDL por 10.000, se obtiene el contenido de sólidos de los lodos, en ppm.

Cuanto más bajo es el IVL, mejores son las condiciones de sedimentación. Los valores altos indican que la capacidad de sedimentación es pobre. En este marco, un índice de 100 es considerado barro de buena calidad de sedimentación.

En lenguaje técnico, el IVL es el "Índice de Mohlman" y el IDL es el "Índice de Donaldson".

El diseño del sedimentador secundario debe ser efectuado con un criterio más estricto que el de otros procesos. El índice volumétrico de lodos IVL, generalmente, es superior a 100 (por tener bajo peso específico), lo que significa una regular sedimentabilidad. Porque, el incremento del valor IVL origina el problema denominado **abultamiento del lodo** –*bulking*–, provocado por el aumento del volumen en ml que ocupa un gramo de lodo seco, con la consiguiente disminución de su peso específico. En consecuencia, esos lodos abultados escapan en el efluente del sedimentador, con su carga orgánica adicional hacia el curso receptor.

Hay varias causas que producen el *bulking*; las más comunes son la sobrecarga de la DBO, la de los SsTA en el reactor y la del oxígeno provisto por los aireadores, o la aireación insuficiente. Hay otras causas específicas como son el aumento del caudal, el afluente séptico, etc.

Centrémonos ahora en la **edad del lodo**, parámetro que se aplica tanto en el diseño como en la operación del sistema.

Se define como la **edad del lodo** (EL) el tiempo promedio que una partícula de los sólidos suspendidos permanece bajo aireación, en su pasaje a través del proceso.

Se expresa por la relación de la masa de sólidos suspendidos volátiles en aireación con la

CONDICIONES DE SEDIMENTABILIDAD DEL BARRO

IVL(ml / g)	Sedimentabilidad	Características
Menos de 50	Perfecta	Efluente sin turbidez
50-100	Muy buena	Efluente bueno
100-200	Tolerable	Peligro de pérdida de barro
200-400	Mala	Lodo enfermo
Más de 400	Prácticamente imposible	Pérdida completa de barro

masa de sólidos suspendidos volátiles del afluente.

$$EL \text{ (días)} = \frac{V \cdot X_m}{Q \cdot X}$$

Donde:

- V = Volumen líquido del reactor (cámara de aireación) [m³].
- Q = Caudal diario del afluente [m³/día].
- X_m = Concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor (licor mezclado) [ppm].
- X = Concentración de sólidos suspendidos totales del afluente [ppm].
- EL = Edad del lodo [días].

Consideremos este ejemplo. Si:

$$V = 600 \text{ m}^3$$

$$X_m = 2000 \text{ ppm.}$$

$$Q = 2400 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$X = 100 \text{ ppm}$$

$$EL = \frac{600 \text{ m}^3 \cdot 2000 \text{ ppm}}{2400 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 100 \text{ ppm}}$$

$$EL = 5 \text{ días}$$

También resulta necesario considerar el **tiempo promedio de residencia celular**.

El tiempo promedio de residencia celular se define como el lapso –en días– que un microorganismo permanece en el circuito reactor-sedimentador secundario, y se expresa por la relación entre la biomasa en el tanque de aireación (kg SsVTA) y la masa de sólidos suspendidos volátiles que abandona diariamente el sistema (kg SsV lodo en exceso + kg SsV del efluente).

Ambos parámetros EL y MCRT coinciden cuando pueden despreciarse los sólidos suspendidos del efluente del proceso. Para procesos con alta edad de lodos (EL > 20 días) se

tiene muy poca cantidad de sólidos en suspensión en el efluente final y, en consecuencia, la edad de lodos se puede considerar igual al tiempo promedio de residencia celular.

También deben considerarse la **relación de recirculación** $r = Q_r / Q$ (Q_r = caudal recirculado y Q = caudal medio afluente) y la **concentración de sólidos suspendidos** en el reactor X_m = SSTA y en la recirculación X_r .

El porcentaje de caudal de recirculación depende de esa concentración X_r (bajos valores de X_r dan mayores Q_r y viceversa), y se expresa:

$$Q_r = \frac{X_m / X_r}{1 - X_m / X_r} \cdot 100$$

Por ejemplo, consideremos:

$$X_m = 2000 \text{ ppm}$$

$$X_r = 8000 \text{ ppm}$$

$$Q_r = \frac{2000 \text{ ppm} / 8000 \text{ ppm}}{1 - 2000 \text{ ppm} / 8000 \text{ ppm}} \cdot 100$$

$$Q_r = (0,25 / 1 - 0,25) \cdot 100$$

$$Q_r = 33 \%$$

Los microorganismos presentes en el proceso de fangos activados consumen el oxígeno, suministrado a través del aire, a medida que consumen alimento (materia orgánica). Si conocemos el valor de la carga orgánica que ingresa a la cámara de aireación (biorreactor), podemos calcular el caudal de aire a insuflar.

Por ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{DBO removido} &= \text{DBO entrada} - \text{DBO salida} \\ \text{DBO removido} &= 1050 - 52,5 \end{aligned}$$

DBO removido = 997,5

Carga orgánica = $Q \text{ (m}^3 \text{ / día)} \times \text{DBO}$

Cantidad de oxígeno = 60000 l / día.
0.9975 g O₂ / l

Cantidad de oxígeno = 59850 g O₂ / día

Volumen de aire =

$$\frac{59850 \text{ g O}_2 \cdot 100 \text{ g aire} \cdot 1 \text{ mol aire}}{\text{día} \cdot 21 \text{ g O}_2 \cdot 29 \text{ g}}$$

Volumen de aire = 9827,58 mol / día

$V = n R T / P$

$V =$

$$\frac{9827,58 \text{ mol/día} \cdot 0,082 \text{ atm} \cdot 1 \text{ (}^\circ\text{K} \cdot \text{mol)} \cdot (273 + 20) ^\circ\text{K}}{1 \text{ atm}}$$

$V = 236117,58 \text{ l aire / día.}$

$V = 236,11758 \text{ m}^3 \text{ / día}$

$V = 9,384 \text{ m}^3 \text{ aire / hora}$

La actividad biológica se puede medir por la velocidad con la que los microorganismos utilizan el oxígeno del aire y consumen la materia orgánica (sustrato); ésta se puede tomar como una medida de la cinética del proceso.

El diseño de los tanques de aireación en el proceso de lodos activados se basa en la medida de la cinética del proceso determinado por la ecuación de Michaelis-Menten, la cual establece que la velocidad específica de utilización de sustrato es una función hiperbólica de la concentración de sustrato y se expresa por la siguiente función:

$$\text{Velocidad de utilización del sustrato} = \frac{V_{\text{máx}} \cdot S}{K_m + S}$$

Donde:

- $V_{\text{máx}}$ = Velocidad máxima de utilización de sustrato por los microorganismos en los tanques de aereación.
- S = Concentración orgánica que rodea a los microorganismos; concentración de sustrato limitante.
- K_m = Constante de saturación del sustrato

o de Michaelis-Menten; concentración del sustrato para la cual la velocidad de utilización del sustrato por unidad de biomasa es la mitad de la velocidad máxima.

El recomendamos consultar:

- Schiappacasse, Eduardo (2005) *Biorreactor para la producción de alimentos*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires.

La versión digital de este material de capacitación está disponible en www.inet.edu.ar.

Consideremos, finalmente, las normas de diseño recomendadas para **estaciones de lodos activados del tipo convencional**.

NORMAS DE DISEÑO

- Dimensiones de los tanques de aireación
- Dimensiones de la cámara de aireación
- Cantidad de aire

Dimensiones de los tanques de aireación: Las dimensiones de los tanques de aireación se miden en términos de período de retención basado en el flujo promedio (capacidad de diseño) de las aguas a tratar, según las siguientes cifras:

Capacidad de diseño, en litros por segundo	Período de retención, en horas
8,8–35,1	7,5
35,1–44,0	7,5–6,0
Más de 44,0	6,0

Dimensiones de la cámara de aireación:

Altura (h) = 3 a 4.5 m
Ancho (a) = 1 a 2 m x (h)
Largo (l) = 3 a 8 m x (h)
Numero de unidades = 2 (mínimo)

Cantidad del aire: La demanda del oxígeno es más grande en la entrada de los tanques de aireación –o sea, en las etapas iniciales del proceso– y disminuye, progresivamente, a lo largo de éste. Los sopladores deben suministrar hasta 150 % de su rendimiento normal, que se mide en 1.000 pies cúbicos del aire por libra de la DBO afluente; o sea, 62,3 metros por kg. En todo caso, el valor del oxígeno disuelto debe mantenerse en 2 mg por litro, en el tanque, durante su funcionamiento.



Equipo de aireación por difusión de alta eficiencia. Repicky SA www.repicky.com.ar

A partir de la experiencia acumulada en años de operación de las estaciones depuradoras de lodos activados, hemos observando un cambio tanto en el equipo como en el modo de operar las varias estaciones ya construidas. Mientras que las normas de diseño arriba citadas sólo tienen como finalidad lograr

una instalación que no presente fallas molestas, queda aún algo muy importante que considerar: Los componentes correlativos a los denominados parámetros de diseño y operación –tales como el aire a suministrar, los sólidos a llevar en los lodos de retorno, además de su cantidad y la naturaleza de los flóculos, y su sedimentabilidad en los tanques finales–. Todo esto se relaciona, a la vez, con la carga orgánica de las aguas a tratar.

Subproductos del tratamiento de aguas residuales

Los subproductos del tratamiento de las aguas residuales son:

- a. La arenilla que viene de los desarenadores.
- b. El material retirado del flujo por las rejillas.
- c. La nata y la espuma eliminadas de la superficie del líquido en los tanques de sedimentación primarios.
- d. Los lodos provenientes de éstos.
- e. Los lodos excedentes en el proceso de lodos activados.

El subproducto **a** es una materia ya extraída y lavada, de carácter inerte, de modo que es fácil disponerla como relleno en varias ubicaciones.

El subproducto **b** es una materia poco agradable –lo mismo que c–; pero, por lo general, si se la dispone en digestores con los lodos es una materia digerible y que, también, puede quemarse. Raras veces un problema de mayor importancia, porque es de poco volumen.

Todo esto no hace menor el problema de la disposición de las arenillas, las materias sobrenadantes provenientes de un tratamiento primario de aguas residuales, ni pasa por alto la necesidad de cuidar cabalmente todos los desechos semejantes.

Por otra parte, el acondicionamiento y la disposición de los lodos d y e que se originan en

PARÁMETROS DE DISEÑO Y OPERACIÓN PARA EL PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

Caudal de recirculado Qr (%)	20-35	$\frac{X_m/X_r}{1 - X_m/X_r} \cdot 100$
P (h) Tiempo de aireación	5-7 horas (difusión) 9-12 horas (aireación mecánica)	$\frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}$
Cantidad de aire aplicado Se debe mantener, por lo menos, 2 ppm de O ₂ disuelto en la cámara de aireación.	7-5 m ³ /m ³ de afluente	56/76 m ³ /kg DBO
Concentración de sólidos suspendidos en el reactor (cámara de aireación) SsVTA	1000/2500 ppm	
Índice volumétrico de lodos IVL (ml/g)	100/200	$\frac{\text{Lodos sedimentados} \cdot 30' \text{ (ml/l)}}{\text{Sólidos suspendidos totales (g/l)}}$
Edad de los barros EL (días)	5 -10	$\frac{V \text{ (m}^3\text{)} \cdot X_r \text{ (ppm)}}{Q \text{ (m}^3\text{/día)} \cdot X \text{ (ppm)}}$
Eficiencia global del proceso (e) %	80-95 % medidos en reducción de DBO	$\frac{S_e - S_s}{S_e} \cdot 100$

los tanques de sedimentación primarios o en los secundarios, por separado o mezclados, es lo que constituye el problema primordial. Efectivamente, éste merece tanto estudio como el tratamiento de las mismas aguas residuales que producen los lodos a disponer.

Tenemos que desechar toda idea de disponer en condiciones crudas, los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales, bien por el volumen de aquéllas o por su naturaleza.

Son contados los sitios en donde las estaciones depuradoras pueden ubicarse al

alcance de cuerpos de agua receptores, como el mar, los cuales puedan ser aprovechados con tal propósito.

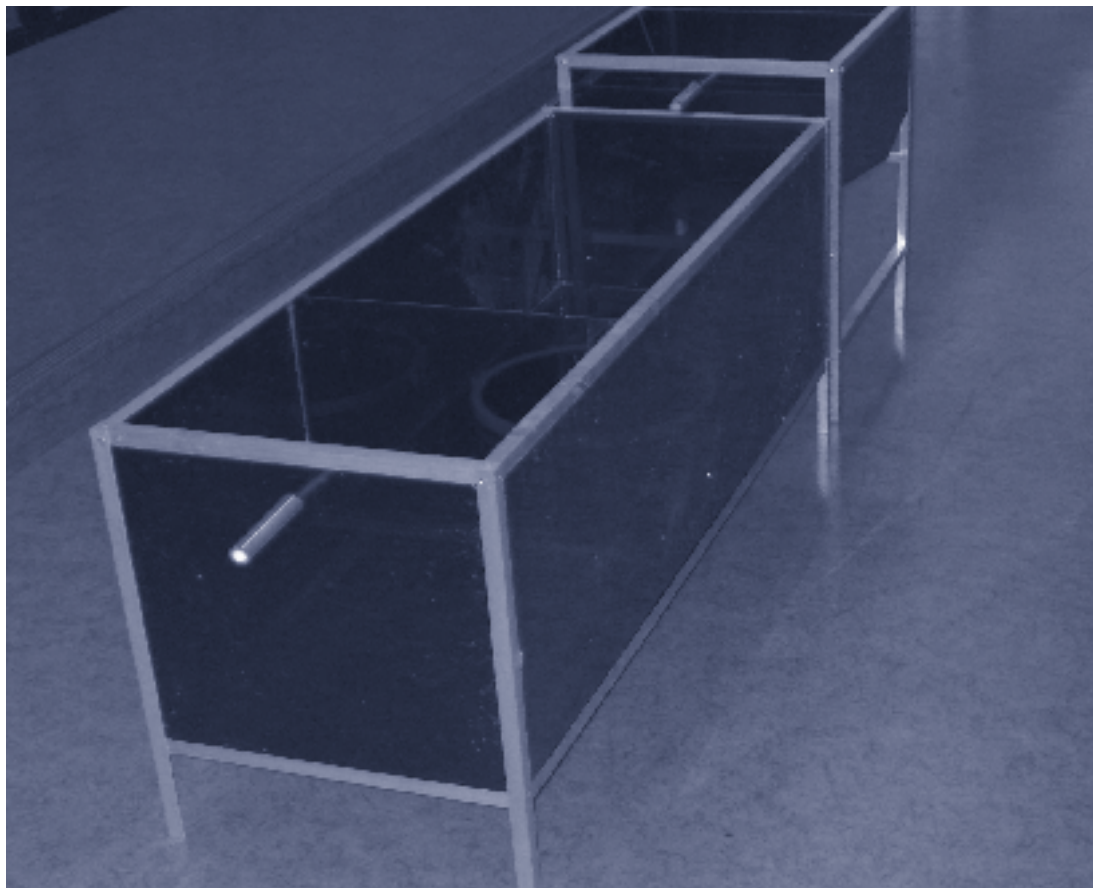
El mismo carácter de la materia prohíbe cualquier procedimiento que pueda ocasionar perjuicios a la salud pública, ya por contacto o exposición, o a causa de vectores insectos, u otros animales o vegetales. De modo que, en la gran mayoría de los casos, no queda sino el único recurso ya conocido. A saber: la digestión y la destrucción parcial consiguiendo de los sólidos y, enseguida, el desecamiento de los sólidos digeridos antes de disponerlos convenientemente.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA.

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

El producto

Se trata de una planta de tratamiento de aguas residuales que permite al alumno simular y analizar el procesamiento de aguas de desagües cloacales y de industrias alimenticias¹².



¹² El desarrollo de planos e imágenes, y la construcción del equipo son obra de Pablo Pilotto.

Pablo Pilotto realizó estudios de Diseño Industrial (Universidad Nacional de La Plata). Es coordinador de la Unidad de Cultura Tecnológica del Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). Es profesor de "Tecnología de los materiales" (Escuela de Educación Técnica N° 1. Las Flores. Provincia de Buenos Aires). Es autor de *Experiencias telemáticas con las Unidades de Cultura Tecnológica* (2003. INET. Buenos Aires) y tutor online de acciones de capacitación docente del Sistema de Educación a Distancia del INET.

Los componentes

La planta de tratamiento consta de:

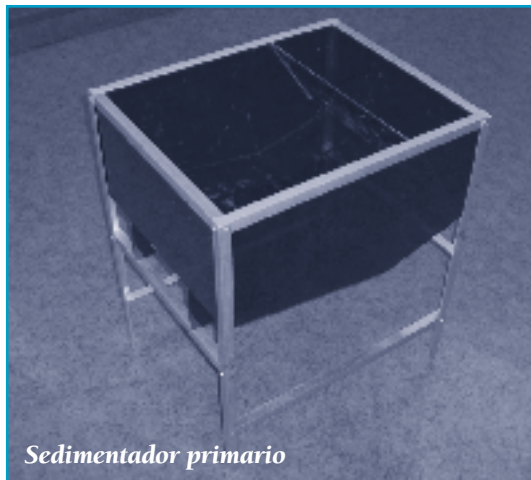
- un sedimentador primario que permite remover los sólidos sedimentables en un periodo de retención de dos horas;
- una cámara de aireación, en donde ingresa el agua y en la que permanece sometida a aireación intensa durante horas, según el método de lodos activados que se seleccione; aquí se forma el lodo activado;
- un sedimentador secundario o clarificador, en donde el lodo activado se decanta.

Incluimos, también, una estructura portante que, además de soportar los contenedores, cumple la función de contrarrestar la presión que ejerce el líquido desde el interior hacia el exterior.

La cámara de aireación y el clarificador integran una misma unidad de tratamiento.

El aire es suministrado mediante un difusor de membrana de burbuja fina tipo RG-30, interponiendo una válvula de retención para evitar el paso de agua al compresor.

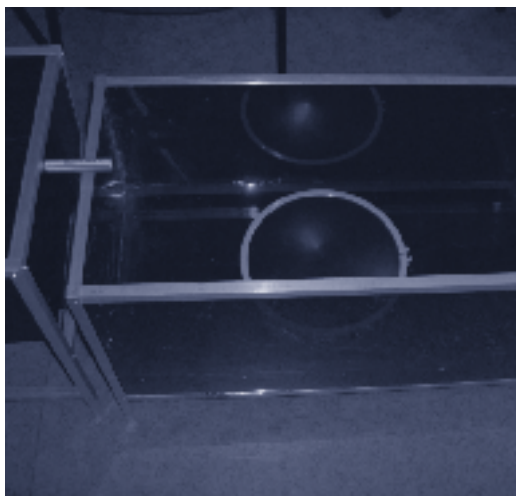
El retorno del lodo, desde el clarificador a la cámara de aireación, se puede hacer en forma manual o mediante una bomba.

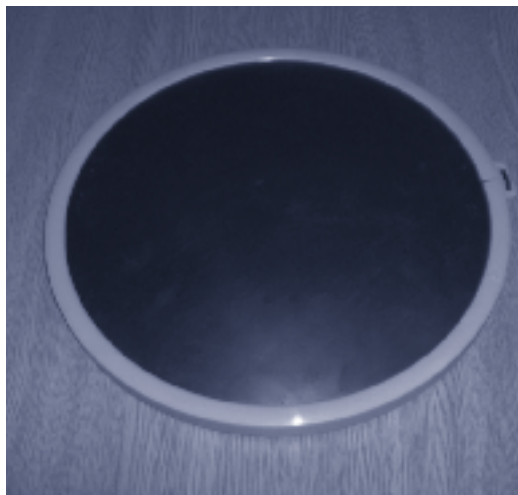


Sedimentador primario



Cámara de aireación y clarificador





Difusor de membrana



Compresor

Los materiales, herramientas e instrumentos

Es posible construir la planta de tratamiento de aguas residuales con materiales dis-

ponibles en ferreterías y en negocios de provisión de laboratorios y de materiales de construcción —a excepción del dispositivo difusor de aire que debe adquirirse en negocios especializados en el tratamiento de aguas residuales—.

A causa de que la transferencia de oxígeno del aire al agua es una operación de baja eficiencia, hemos recurrido a un dispositivo comercial específico; otras alternativas no lograban la eficiencia requerida para que el agua pudiera tratarse convenientemente.

Tanto el decantador primario como la cámara de aireación y el clarificador están contru-uidos en acrílico de 3 mm. Para su armado y montaje usamos un adhesivo de contacto y un sellador que garantizaran la estanqueidad de cada uno de los contenedores.

La estructura portante está contru-uida en perfil de aluminio de 20 x 20 mm..

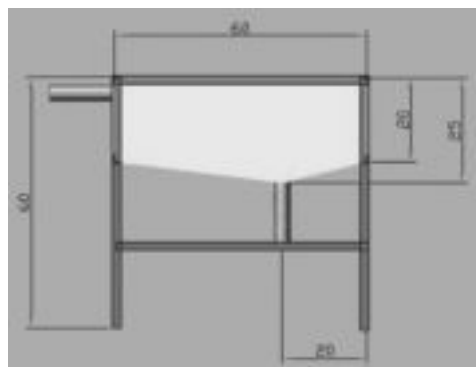
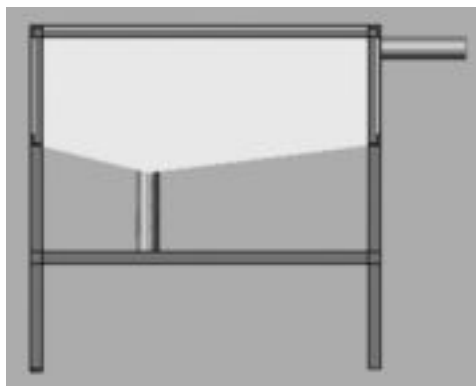
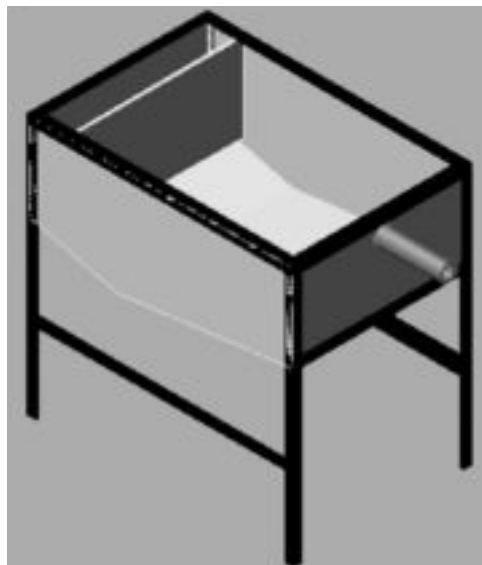
La construcción y el montaje del equipo no reviste ninguna dificultad; sus alumnos lo podrán hacer, teniendo el debido cuidado y contando con su supervisión durante el corte de las placas de acrílico.



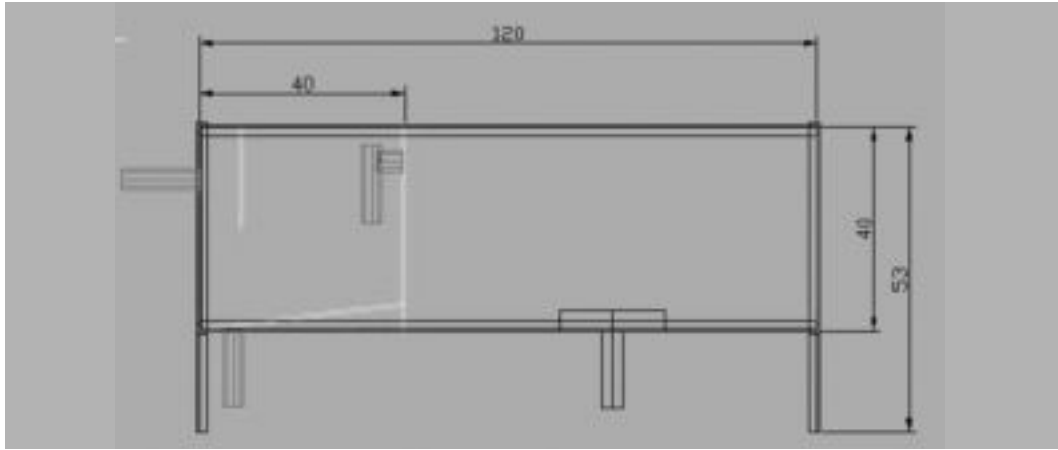
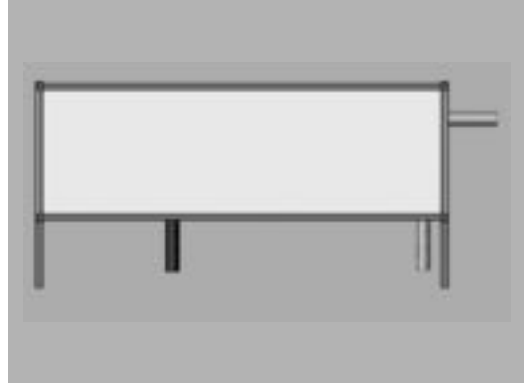
Las herramientas y componentes necesarios para construir la planta:

- Placas de acrílico transparente de 3 mm de espesor.
- Cañerías de alimentación y desagües de 19 mm de diámetro, cuyas uniones se efectúan por termofusión –en caso de usar caño tipo IPC– o a rosca –en caso de usar cañerías estándar y sus acoples–.
- Un compresor de DC 12 volt, 20.7 bar.
- Un difusor de aire de membrana de burbuja fina tipo RG-300, de 31 cm de diámetro con entrada de rosca $\frac{3}{4}$ " BSP.

Decantador primario



Decantador secundario

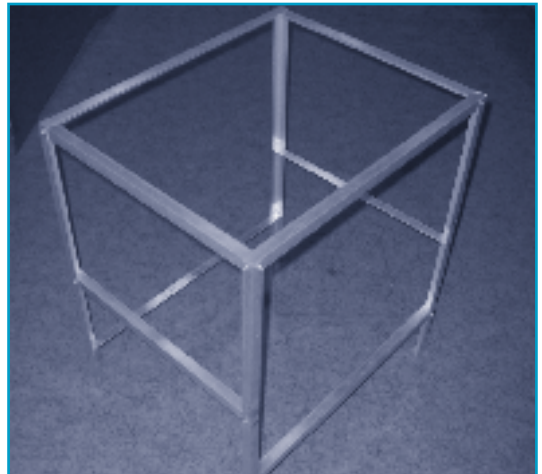


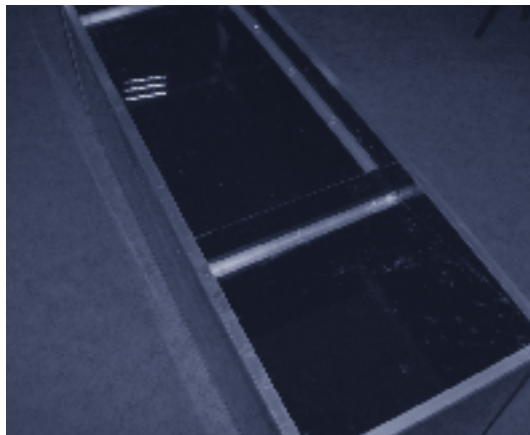
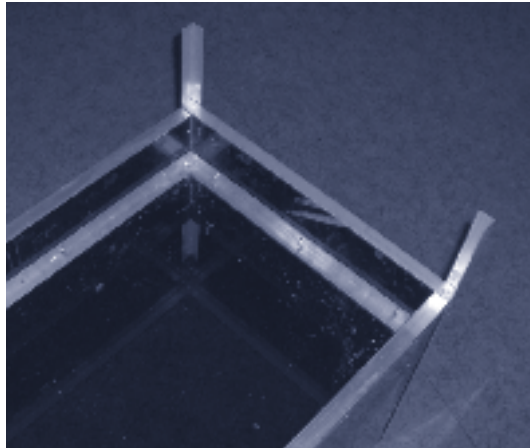
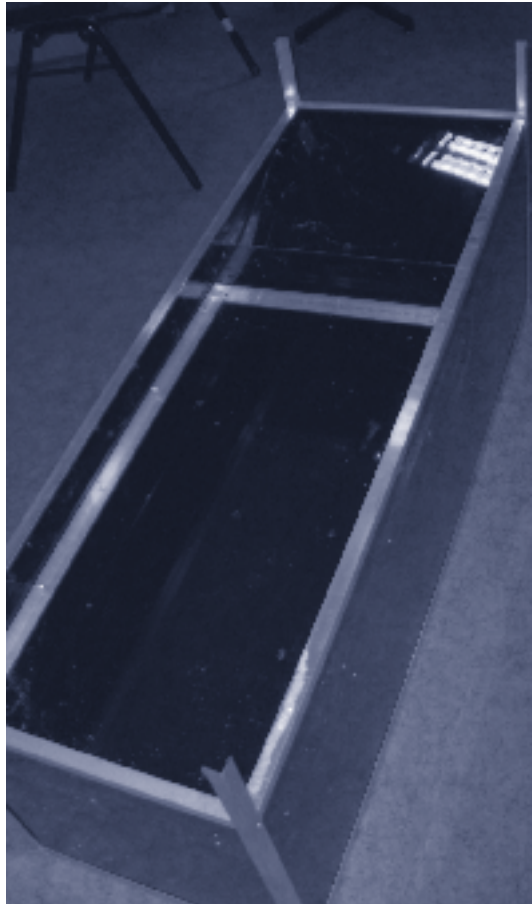
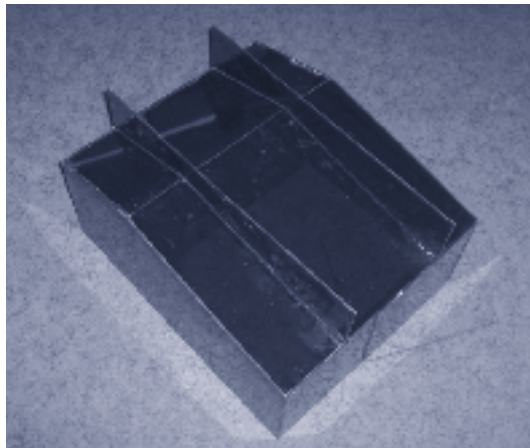
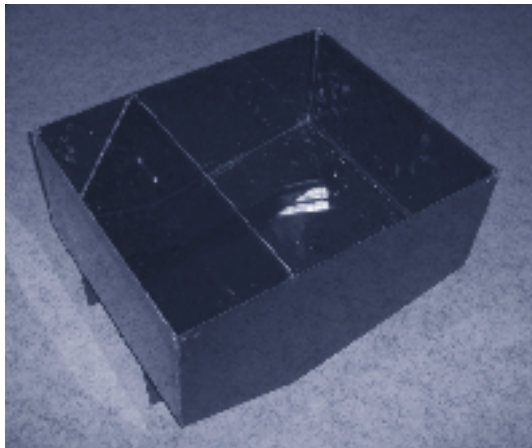
La construcción

Organizamos la tarea de este modo:

- Construcción de la estructura de soporte.
- Construcción del decantador.
- Construcción de la cámara de aireación y el clarificador.
- Construcción de las cañerías de acoples.

Las imágenes muestran la secuencia de construcción:





El armado

El dispositivo se puede armar en forma manual; le recomendamos hacerlo de este modo:

1. Disponemos la estructura de soporte sobre una mesa.
2. En forma manual, acoplamos el sedimentador primario de acrílico.
3. También manualmente, acoplamos el difusor a la cámara de aireación de acrílico integrada con el clarificador. Montamos en la estructura portante.
4. Montamos las cañerías de entrada y salida de afluente a cada dispositivo. Conectamos el difusor al compresor.
5. Adosamos la cañería de retorno de lodos; un extremo se integra al conducto de salida de lodos del clarificador y éste a la bomba de lodos –si se dispone–; la salida de la bomba se adosa a la tubería de entrada de agua y a la cámara de aireación.
6. Conectamos las salidas de lodos del sedimentador primario y el excedente de lodos del clarificador a un recipiente plástico, para su posterior disposición.

El ensayo y el control

Para que las experiencias puedan realizarse con éxito, es necesario que verifiquemos la estanqueidad de los dispositivos, de las cañerías y de sus conexiones, lo que va a posibilitar contar con un flujo continuo, una vez que la planta se deja en régimen.

¿Cómo logramos poner la planta en régimen?

La llenamos totalmente con el afluente a tratar, de modo que el agua que ingrese por un extremo del sedimentador primario salga por el otro extremo (clarificador).

Dado que la planta está diseñada para que el agua fluya de un extremo a otro por gravitación, al poner en funcionamiento los aireadores, el agua que sale del clarificador debe ingresar por el otro extremo para ser tratada nuevamente, hasta que se cumpla el tiempo seleccionado para la cámara de aireación; a partir de esto, la planta entra en régimen y el efluente de salida es agua tratada.

El agua se bombea o se aplica en forma manual al sedimentador primario, en donde permanece en reposo durante dos horas o el tiempo que se estime necesario, intervalo en el cual efectuamos la purga de barros en el decantador.

Para esta tarea, nos basamos en la guía incluida en la segunda parte del libro.

El agua decantada ingresa a la cámara de aireación en donde se somete al proceso de aireación durante el tiempo seleccionado.

El agua pasa al sedimentador secundario o clarificador donde permanece por otra hora y media. Luego de este tiempo, los lodos retornan a la cámara de aireación en el volumen seleccionado.

Este barro de retorno aporta los microorganismos necesarios para llevar a cabo la depuración del agua. Ingresa en el mismo punto que el agua a tratar entra a la cámara de aireación, puesto que, en este punto, tiene la mayor cantidad de carga orgánica (sustrato); por lo tanto, son necesarios más microorganismos para su depuración.

Finalmente, el agua sale por el extremo opuesto, como agua tratada.

Considere la siguiente guía:

- Es necesario mantener el contenido de oxígeno disuelto en la cámara de aireación por encima de las 2 ppm, excepto en las inmediaciones de la alimentación.
- Los lodos activados deben recircularse continuamente, conforme al porcentaje determinado; si no se puede realizar en forma continua, es necesario hacerlo en intervalos de cada 15 minutos.
- El contenido de sólidos en el tanque de aireación puede variar considerablemente; pero, usualmente, lo hace entre 1000 y 2500 ppm.
- Es necesario un IVL cercano a 100 y edad de lodos de 3 a 4 días.
- Las sobrecargas orgánicas periódicas o repetitivas, y sustancias tóxicas causarán dificultades en la operación, por lo que deben evitarse.

Cuando la planta está en régimen, observamos que, en la cámara de aireación, se han formado flóculos de apariencia granulosa, bien delimitados, de color pardo dorado y con olor a moho; este rasgo indica un buen funcionamiento.

La superación de dificultades

La alimentación de agua tratada —previa al ingreso al sedimentador primario— debe pasarse a través de un tamiz o malla metálica con aberturas próximas a los 5 mm, para evitar

obturaciones en los circuitos de la planta; esto también puede hacerse mediante la utilización de una bomba dosificadora, adicional al equipo.

La purga de barros se puede hacer de igual modo, adicionando un tubo flexible y utilizando una pinza de laboratorio.

Si no se dispone de la bomba dosificadora, la operación puede hacerse mediante un bidón de suficiente capacidad —no menor de 25 litros— con salida en su base inferior. A este bidón se adiciona un tubo de látex. Mediante una pinza de laboratorio, se regula el caudal en función del tiempo, procurando agitar continuamente, en forma manual, para evitar sedimentos.

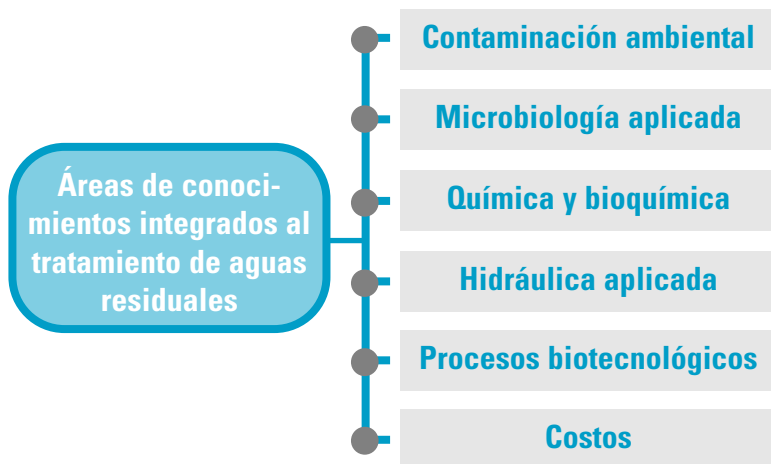
La formación de sobrenadantes o espumas en los sedimentadores puede retirarse en forma manual, con un colador metálico.

Si no se dispone de una bomba, el retorno de lodos a la cámara de aireación puede hacerse cada hora y media, drenando el volumen necesario y retornándolo —en forma manual— al ingreso de la cámara de aireación.

Debe tenerse cuidado con la higiene personal de los alumnos operadores. Es necesario tener en cuenta que, según su procedencia, el líquido residual a tratar puede presentar alta contaminación y contener bacterias patógenas, por lo que deben tomarse todos los resguardos que hemos establecido.

4. EL EQUIPO EN EL AULA

El equipo que le proponemos desarrollar permite integrar conocimientos al tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, mediante la utilización de tecnología de lodos activados.



Consideremos, inicialmente, algunas posibilidades didácticas de la **Planta depuradora de aguas residuales**:

- **Capacidad del equipo.** Se trata de un dispositivo que guarda relación geométrica —en cuanto a dimensiones— respecto de los distintos dispositivos; por esto, se puede obtener una buena interpretación del proceso a través de la medición de variables tales como caudales, tiempos de retención hidráulica y de aireación.
- **Aspectos ambientales que involucra.** Es importante que los alumnos se concienticen sobre los aspectos ambientales que implica la contaminación de las aguas y cuáles son las alternativas de tratamiento. Para esto, además del diseño y la construcción del equipo, recomendamos búsquedas en Internet de artículos -avalados por instituciones dedicadas a la investigación y a la transferencia de conocimientos- vinculados a la contaminación de aguas (contaminación de la cuenca del Matanza-Riachuelo, instalación de fábricas de pasta de celulosa y papel en Fray Bentos, República Oriental del Uruguay, que supone la contaminación del río Uruguay, etc.).
- **Experiencias de hidráulica aplicada.** La medición de caudales, la velocidad de flujo y la sedimentación natural de partículas en un líquido en movimiento, son aspectos que se pueden comprobar.
- **Conocimientos de microbiología, química y bioquímica de las aguas residuales.** Los alumnos pueden estudiar los cambios físico-químicos de las aguas residuales durante su tratamiento y relacionarlos con los aspectos microbiológicos.

- **Experiencias vinculadas a procesos biotecnológicos.** En el tratamiento secundario, se puede comprobar la eficiencia del tratamiento biológico, mediante la modificación de las variables del proceso y las condiciones del medio (agua residual).

- **Determinación de los costos de tratamiento.** Los estudiantes pueden indagar en cómo impacta en la economía -en particular, de quien origina la contaminación y, en general, la contaminación de las aguas-, relacionando los costos de tratamiento con el causal a tratar y su grado de contaminación.

Actividades a desarrollar

Vamos a presentar guías de actividades de trabajo prácticos centrados en la planta de tratamiento, que van a permitir a los alumnos realizar en el aula-taller la simulación y la observación del proceso de tratamiento de líquidos residuales de distintas procedencia, desarrollar experiencias comparativas de análisis de resultados de las distintas etapas de tratamiento y evaluar, a través de la modificación de las distintas variables del proceso, cómo influyen en la eficiencia del tratamiento final.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Tratamiento de desagües cloacales.
2. Tratamiento de líquidos residuales generados en la industria láctea.
3. Evaluación del tratamiento primario del afluente de un establecimiento de elaboración de cerámicos destinados a la construcción.
4. Evaluación del tratamiento de afluentes generados en la industria cárnica.

Actividad 1. Tratamiento de desagües cloacales

Permite desarrollar un proyecto tecnológico para simular y establecer las condiciones recomendables en el tratamiento de desagües cloacales.

Las tareas a encarar por los alumnos, son:

- Establecer la importancia ambiental del tratamiento de los desagües cloacales.
- Evaluar el tratamiento de desagües cloacales mediante la aplicación de tecnologías de lodos activados.
- Establecer la importancia de los tiempos de retención hidráulica y la aireación mediante la difusión de aire, para la calidad del producto final.
- Establecer, mediante la evaluación del IVL, las características de los microorganismos en la cámara de aireación y las cualidades del afluente final.
- Establecer la importancia del nivel de oxígeno disuelto y el valor del pH en la cámara de aireación.
- Determinar los costos unitarios del tratamiento.

Las variables seleccionadas:

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Temperatura Caudal afluente Cantidad de materia orgánica (DBO) Cantidad de sólidos suspendidos totales	Tiempo de residencia hidráulica Densidad del afluente Viscosidad Olor, color, formación de espuma, etc.
VARIABLES CONTROLADAS	
pH Concentración de oxígeno disuelto Concentración o volumen de sustrato, cantidad de materia orgánica (DBO)	

Materiales:

- Afluente del alcantarillado cloacal.
- Recipientes recolectores.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Planta de tratamiento de lodos activados

Los alumnos:

1. Ensamblan el dispositivo.
2. Acoplan la bomba de alimentación de afluente y ajustan el caudal de alimentación.
3. Insertan el dispositivo de aireación y conectan el compresor.
4. Acoplan la bomba al conducto de retorno de lodos del clarificador.
5. Para la obtención de datos de proceso, realizan: medición de caudales, lecturas de temperatura, tiempo de residencia hidráulica, caudal de aire suministrado y

▶ Le recomendamos realizar distintas pruebas con sus alumnos, para establecer las condiciones ideales: empezando desde 3 horas de aireación, hasta una aireación continua y creciente, aumentando los tiempos de residencia hidráulica.

cantidad de oxígeno disuelto a intervalos de tiempo preestablecidos.

6. Obtienen muestras cada hora, para medir el oxígeno disuelto y el pH.

7. Determinan IVL, cada hora.

8. Clasifican el proceso de barros activados definidos por el rango de cargas o la materia orgánica disponible para los microorganismos:

- alta carga,
- convencional y
- baja carga.

9. Para cada rango de carga y calidad del producto final, concretan: el tiempo de residencia hidráulico, la cantidad de aire a suministrar y el porcentaje de lodos que tiene que retornar a la cámara de aireación.

10. Para cada proceso en régimen, determinan DBO en la entrada y en la salida de cada operación.

▶ Le recomendamos partir de una cantidad de 15 a 20 % de lodos que retornan del clarificador a la cámara de aireación.

11. Determinan la cantidad de barros generados en el sedimentador primario y el clarificador, estableciendo un protocolo de disposición final.

12. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Tablas de resultado de DBO y SST para las distintas etapas, comparando valores iniciales y finales, y obteniendo rendimientos.
- Gráficos: Variación de la disminución de la DBO en función de las distintas variables de proceso: tiempo de residencia hidráulica, pH y cantidad de aire suministrado, en función de la temperatura de proceso y de la cantidad de lodo que retorna a la cámara de aireación.
- Construcción de datos que relacionan la cantidad de afluente tratado y el costo insumido en todo el proceso, a efectos de obtener el costo unitario de tratamiento.

13. Establecen comparaciones de costos en relación con el valor del m³ de agua potabilizada y el obtenido en la planta de tratamiento; obtienen conclusiones.

14. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según:

- calidad del afluente inicial,
- propiedades del efluente final,
- rendimiento,
- validez de los principios microbiológicos clásicos,
- validez de los principios básicos de hidráulica aplicada,
- calibración de las condiciones óptimas de operación,
- importancia y nivel de aireación durante el proceso, obtención y variación de la calidad del efluente final en función de los tiempos de retención hidráulica y aireación, etc.

15. Desarrollan propuestas de mejora en el proceso.

16. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

17. Evalúan la ecoeficiencia de las operaciones realizadas.

Actividad 2. Tratamiento de líquidos residuales generados en la industria láctea

Esta segunda actividad tiene como objetivo evaluar el tratamiento secundario del afluente de una industria láctea.

Materiales:

- Afluente de la industria láctea.
- Recipientes recolectores.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Planta de tratamiento de lodos activados

Los alumnos:

1. Ensamblan el dispositivo.
2. Acoplan la bomba de alimentación de afluente y ajustan el caudal de alimentación.
3. Insertan el dispositivo de aireación y conectan el compresor.
4. Acoplan la bomba al conducto de retorno de lodos.
5. Para la obtención de datos de proceso, realizan lecturas de temperatura, tiempo de residencia hidráulica, caudal de aire suministrado y cantidad de oxígeno disuelto, a intervalos de tiempo preestablecidos.

6. Obtienen muestras cada hora, para medir el oxígeno disuelto y el pH.

7. Determinan IVL, cada hora.

8. Concretan el producto final, determinando la cantidad de aire a suministrar y el tiempo de residencia hidráulico final necesario.

9. Determinan y calibran el porcentaje de lodos que tiene que retornar a la cámara de aireación.

10. Para cada proceso en régimen, determinan DBO en la entrada y en la salida de cada operación.

11. Determinan la cantidad de barros generados en el sedimentador primario y en el clarificador, estableciendo un protocolo de disposición final.

12. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Tablas de resultado de DBO y SST para las distintas etapas, comparando valores iniciales y finales, y obteniendo rendimientos.
- Gráficos: Variación de la disminución de la DBO en función de las distintas variables de proceso: tiempo de residencia hidráulica, pH y cantidad de aire suministrado, en función de la temperatura de proceso y de la cantidad de lodo que retorna a la cámara de aireación.
- Construcción de datos que relacionan la cantidad de afluente tratado y el costo insumido en todo el proceso, a efectos de obtener el costo unitario de tratamiento.

Para la tarea 5, le recomendamos realizar distintas pruebas con sus alumnos, para establecer las condiciones ideales: empezando desde 3 horas de aireación, hasta una aireación continua y creciente.

13. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según:

- calidad del afluente inicial,
- propiedades del efluente final,
- rendimiento,
- validez de los principios microbiológicos clásicos,
- validez de los principios básicos de hidráulica aplicada,
- calibración de las condiciones óptimas de operación,
- importancia y nivel de aireación durante el proceso, obtención y variación de la calidad del efluente final en función de los tiempos de retención hidráulica y aireación,
- etc.

14. Desarrollan propuestas de mejora en el proceso.

15. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

16. Evalúan la ecoeficiencia de las operaciones realizadas.

Actividad 3. Evaluación del tratamiento primario del afluente de un establecimiento de elaboración de cerámicos destinados a la construcción

Este tercer proyecto tecnológico permite, mediante la utilización del tratamiento primario de la planta:

- Simular y establecer las condiciones óptimas para la remoción de sólidos sedimentables provenientes de una industria ela-

boradora de cerámicos.

- Realizar y controlar el proceso de sedimentación primaria, para obtener la reducción de sólidos sedimentables.
- Desarrollar el control de proceso para la recuperación de sólidos y retornarlos como materia prima para la elaboración de cerámicos.

Materiales:

- Afluente de una industria elaboradora de cerámicos o mosaicos para la construcción.
- Recipientes recolectores.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Planta de tratamiento (sedimentador primario).

Los alumnos:

1. Ensamblan el dispositivo.
2. Acoplan la bomba de alimentación de afluente y ajustan el caudal de alimentación.
3. Para la obtención de datos de proceso, realizan lecturas de temperatura y tiempo de residencia hidráulica, a intervalos de tiempo preestablecidos.
4. Obtienen muestras cada 10 minutos, para medir SST y turbiedad.
5. Determinan DBO o DQO a la entrada y a la salida del sedimentador primario.

Le recomendamos realizar distintas pruebas con sus alumnos, para establecer las condiciones ideales: empezando con variaciones de caudales que permitan acotar los tiempos de retención hidráulica de 1 a 3 horas, variando la temperatura del afluente y calentándolo –si es necesario–, a efectos de comprobar cómo incide sobre la calidad del efluente final.

6. Determinan el porcentaje de sedimento que acumula el sedimentador al cabo de las dos horas de operación, y establecen un protocolo de purgas y limpieza del dispositivo.

7. Establecen un protocolo de disposición final de los sedimentos.

8. Presentan resultados, a partir de:

- Tablas: Tablas de resultado de SST comparando valor iniciales y finales, y obteniendo rendimientos.
- Gráficos: Variación de la disminución de la DBO o DQO, en función de los distintos tiempos de residencia hidráulica.
- Construcción de datos que relacionan la cantidad de afluente tratado y el costo insumido en todo el proceso, a efectos de obtener el costo unitario de tratamiento.

9. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según:

- calidad del afluente inicial,
- propiedades del efluente final,
- rendimiento o eficiencia del sedimentador,
- validez de los principios básicos de hidráulica aplicada,
- calibración de las condiciones óptimas de operación,
- importancia de las temperaturas en el sedimentador a distintos niveles y obtención de la variación de la calidad del efluente final, en función de los tiempos de retención hidráulica.
- etc.

10. Desarrollan propuestas de mejora en el proceso.

11. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

12. Evalúan la ecoeficiencia de las operaciones realizadas.

Actividad 4. Evaluación del tratamiento de afluentes generados en la industria cárnica

Permite desarrollar un proyecto tecnológico para simular y establecer las condiciones recomendables en el tratamiento de afluentes en la industria cárnica.

Las tareas a encarar por los alumnos, son:

- Establecer la importancia ambiental del tratamiento de los desagües residuales de la industria frigorífica.
- Evaluar el tratamiento de afluentes, mediante la aplicación de técnicas de reducción de contaminantes en su fuente de generación.
- Establecer la importancia de la recuperación de subproductos en la calidad del afluente final.
- Mediante la evaluación de los distintos procesos utilizados en la industria frigorífica, establecer un modelo para economizar agua en las etapas de producción y lavado.
- Ensayar tratamientos de afluentes con y sin reducción previa de contaminantes.
- Determinar los costos unitarios del tratamiento.

Por tratarse de un proyecto más complejo que el anterior, vamos a plantear tres etapas de trabajo, a los fines de secuenciar apropiadamente los pasos y las variables a controlar en cada caso:

- **Etap 1.** Evaluar la importancia ambiental del tratamiento de afluentes en la industria frigorífica.
- **Etap 2.** Ajustar, considerando las distintas etapas de producción, un modelo para eco-

nomizar agua, ensayar tratamientos previos y/o primarios para la reducción de carga contaminante y evaluar la recuperación de subproductos en la calidad del afluente final.

- **Etap 3.** Evaluar, con y sin reducción de carga contaminante, las variables de proceso de tratamiento y determinar los costos de unitarios de tratamientos en cada caso.

Etap 1. Evaluar la importancia ambiental del tratamiento de afluentes en la industria frigorífica

Los alumnos:

1. Mediante revisión bibliográfica, establecen la importancia ambiental del tratamiento de afluentes de la industria frigorífica.
2. Mediante revisión bibliográfica, caracterizan los efluentes líquidos producidos en la industria frigorífica, separando líneas verdes y rojas.
3. Determinan DQO y sólidos suspendidos totales para cada afluente de proceso, y seleccionan aquellos que aportan mayor carga contaminante, a efectos de efectuar las acciones de reducción sobre éstos.

Etap 2. Ensayar acciones de minimización de carga contaminante

4. Mediante la revisión de los distintos procesos, establecen los porcentajes de reducción de agua de lavado.
5. Seleccionan procesos a través de los cuales se pueda realizar la recuperación de subproductos, mediante la utilización de tratamientos previos y/o primarios (elaboración de harina de sangre y/o de huesos, grasa, etc.)

utilizando el sedimentador primario; recuperan materias primas.

6. Ensayan métodos de sedimentación con el agregado de coagulantes químicos.

Materiales:

- Muestras de afluentes de distintos procesos.
- Recipientes recolectores.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Cronómetro.
- Filtro de malla, de alambre o tela.
- Centrífuga de laboratorio.

7. Extraen muestras de los distintos procesos, en forma manual y puntual, establecen temperaturas mediante estimación o determinando el tiempo de llenado de un volumen de un recipiente colector por el caudal de afluente originado por cada proceso.

8. Para cada operación de lavado, determinan: tiempos y formas de lavado, y los caudales utilizados. Estiman las reducciones porcentuales de volúmenes de agua de lavado.

9. Con una malla de alambre, filtran los residuos más voluminosos (restos de carnes, vísceras, etc.).

10. Utilizan una centrífuga de laboratorio para efectuar la reducción de sólidos en el efluente; establecen tiempo y velocidad (rpm) en la operación.

11. Pesan estos residuos y determinan si es posible reprocessarlos.

12. Utilizan este afluente lo más pronto posible, para iniciar la segunda etapa; en su defecto, almacenan a menos de 4 °C, sin llegar al congelamiento, para procesarlo posteriormente.

13. Ensayan la sedimentación primaria con y sin el agregado de coagulante, utilizando sulfato de aluminio - $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_2$; en este caso, consideran que los sólidos sedimentados ya no pueden utilizarse como materia prima para reprocessarlos, por la oclusión del coagulante en el sedimento.

Para determinar la dosis de coagulante, le recomendamos probar, para establecer las condiciones ideales, empezando desde 10 ppm y continuando con dosis crecientes de 10 hasta 60 ppm, con agitación fuerte durante los primeros 20 segundos y, luego, continuar por 10 minutos a baja velocidad.

14. Mediante lecturas de temperatura, estimación de velocidad de flujo en el sedimentador y tiempo de residencias, obtienen muestras para medir temperaturas, densidad, pH y DBO.

15. Presentan re-sultados a partir de:

- Tablas: Valores de muestras a lo largo del proceso (agitación, temperatura, densidad, pH) y eficiencia para cada ensayo.
- Gráficos: Variación de turbiedad en función del tiempo de proceso y agitación, cambio en las propiedades de producto final en función de la temperatura de proceso, y gráficos de rendimiento en función del tiempo y de la disminución de sólidos y de la DBO.

16. Evalúan y establecen conclusiones respecto de la influencia de implementar acciones de minimización de carga previa y de disminución del agua utilizada en la calidad del afluente final, según los parámetros analizados.

17. Desarrollan propuestas de mejoras en el proceso de producción.

18. Discuten acerca de las ventajas y de las des-

ventajas de utilizar procedimientos de minimización de carga mediante acciones previas de tamizado, centrifugación o sedimentación con el agregado de coagulantes; incluyen parámetros que acotan cada uno de estos procesos.

19. Discuten respecto de establecer un modelo continuo por el agregado de materias primas durante el ciclo de procesos, proyectando dicha operación en un modelo a escala industrial.

20. Postulan un modelo de proceso mejorado, a partir de las experiencias efectuadas.

21. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

Etapas 3. Evaluar el proceso de tratamiento final y determinar los costos unitarios en cada caso

22. Efectúan el tratamiento del afluente con y sin minimización de carga contaminante, utilizando el método convencional de lodos activados; determinan los costos directos de operación y establecen las diferencias para cada caso.

23. Para cada una de las operaciones de minimización de carga contaminante, determinan los costos directos.

24. Comparan los costos con y sin minimización de carga, y establecen conclusiones con respecto a la conveniencia de llevarlas a cabo.

[illegible]

Handwriting practice lines consisting of 20 sets of three horizontal dashed lines.

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

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

[illegible]

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:

[illegible]

3. Componentes didácticos:



3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
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):

.....

.....

.....

.....

.....

¹ 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	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
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).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.
³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	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).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	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. Recurso didáctico:

4.1. Construcción del recurso didáctico

Tomando en cuenta la finalidad prevista en el material para el recurso didáctico (equipamiento o software), le pedimos que nos indique si, a partir de la propuesta contenida en el material:

4.1.1. Utilizó:

a. <input type="checkbox"/> Un equipo ya construido, según la propuesta del material.	b. <input type="checkbox"/> Un software.
c. <input type="checkbox"/> Otro que ya tenía disponible (de características similares).	d. <input type="checkbox"/> Ninguno.

Si su respuesta fue “d.” indíquenos la razón, por favor:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

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

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):

.....

.....

.....

.....

.....

4.2.1. ¿Cómo utilizó el recurso didáctico (hecho por usted o ya construido), en las experiencias didácticas que concretó? (Puede marcar todas las opciones que crea necesarias)

- [illegible]





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 ⁴	Otro ⁵
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				

⁴ NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.
⁵ Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

[illegible]

Capacidad de aplicar y transferir	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
s. Interrelacionar los datos, técnicas y procedimientos en el diseño de la solución.				
t. Utilizar técnicas de representación adecuadas al equipo que se construye o en el ya construido que se utiliza.				
u. Integrar los conocimientos científicos y tecnológicos en los momentos pertinentes para el diseño de la solución.				
v. Relacionar, ensamblar componentes en la secuencia adecuada.				
w. Utilizar de manera correcta la simbología y los lenguajes propios de la tecnología (representación gráfica, simbólica, etc.).				
x. Transferir conocimientos científicos y tecnológicos en otras actividades similares.				
y. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				

Otro (Por favor, exprese aquí los comentarios que tenga, identificando el ítem con la letra que corresponda):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





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 ⁶	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)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ 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)

.....

.....

.....



	Sí	No
a. Simplicidad. Es sencillo de construir por parte de los alumnos.		
b. Economía. Es posible hacerlo con materiales de bajo costo.		
c. Compatibilidad. Todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí.		
d. Acoplabilidad. Puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos.		
e. Sencillez. Permite combinar diferentes tipos de materiales (madera, cartón, plástico, otros similares).		
f. Facilidad de armado y desarmado. Permite, sencillamente, realizar pruebas, correcciones, incorporación de nuevas funciones, etc.		

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

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:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



[illegible]

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 ⁷	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:

.....

.....

.....

⁷ 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. <input type="checkbox"/> docente a cargo de un grupo de alumnos	b. <input type="checkbox"/> directivo
c. <input type="checkbox"/> responsable de la asignatura:	d. <input type="checkbox"/> lector del material
.....	
e. <input type="checkbox"/> 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:

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, resembling notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings present.

Sí	No

¿Puso en práctica alguna de estas ideas o propuestas?

¿Cuál/es? ←

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

En caso negativo, por favor, indíquenos por qué:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Títulos en preparación de la serie “**Desarrollo de contenidos**”.

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
 - El aire como materia prima
 - El azufre como materia prima
 - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro
- Colección: **Construcciones**
 - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
 - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento
- Colección: **Telecomunicaciones**
 - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
 - Cálculo de enlaces alámbricos
- Colección: **Materiales**
 - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos
- Colección: **Tecnología en herramientas**
 - Historial de las herramientas de corte
 - Diseño y fabricación de herramientas de corte
- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
 - Instalaciones eléctricas
 - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
 - Familia lógica CMOS



MINISTERIO *de*
EDUCACIÓN
CIENCIA y TECNOLOGÍA
PRESIDENCIA *de la* NACIÓN



Argentina

ineti
*Instituto Nacional de
Educación Tecnológica*