

CURSOS INSTITUCIONALES

EMPRESA:

CURSO:

FECHA:

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CONCEPTO	CALIF.
ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADA EN EL CURSO	
ACTUALIZACION DEL CURSO	
APLICACION PRACTICA DEL CURSO	

EVALUACION DEL CURSO

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

1.- LE AGRADO LA ESTRUCTURACION DEL CURSO

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

NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------

PORQUE

2.- QUE CAMBIOS SUGERIRIA PARA MEJORAR EL CURSO

3.- RECOMENDARIA EL CURSO A OTRA(S) PERSONA(S)

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

NO	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------

PORQUE

4.- QUE CURSOS RECOMENDARIA QUE IMPARTIERA LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

5.- OTRAS SUGERENCIAS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***

I N T R O D U C C I O N

Expositor:

Ing. Rafael López Ruiz

CLASIFICACION DE PARTICULAS

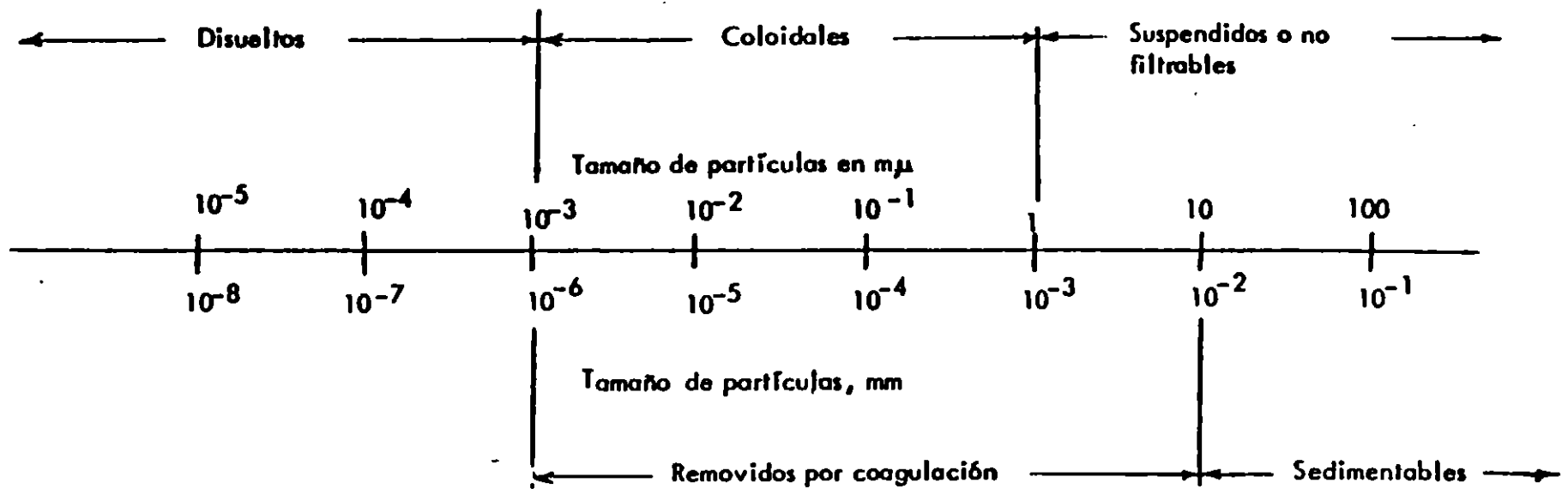


Fig. 1 Clasificación y ámbito de tamaño de las partículas en el agua.

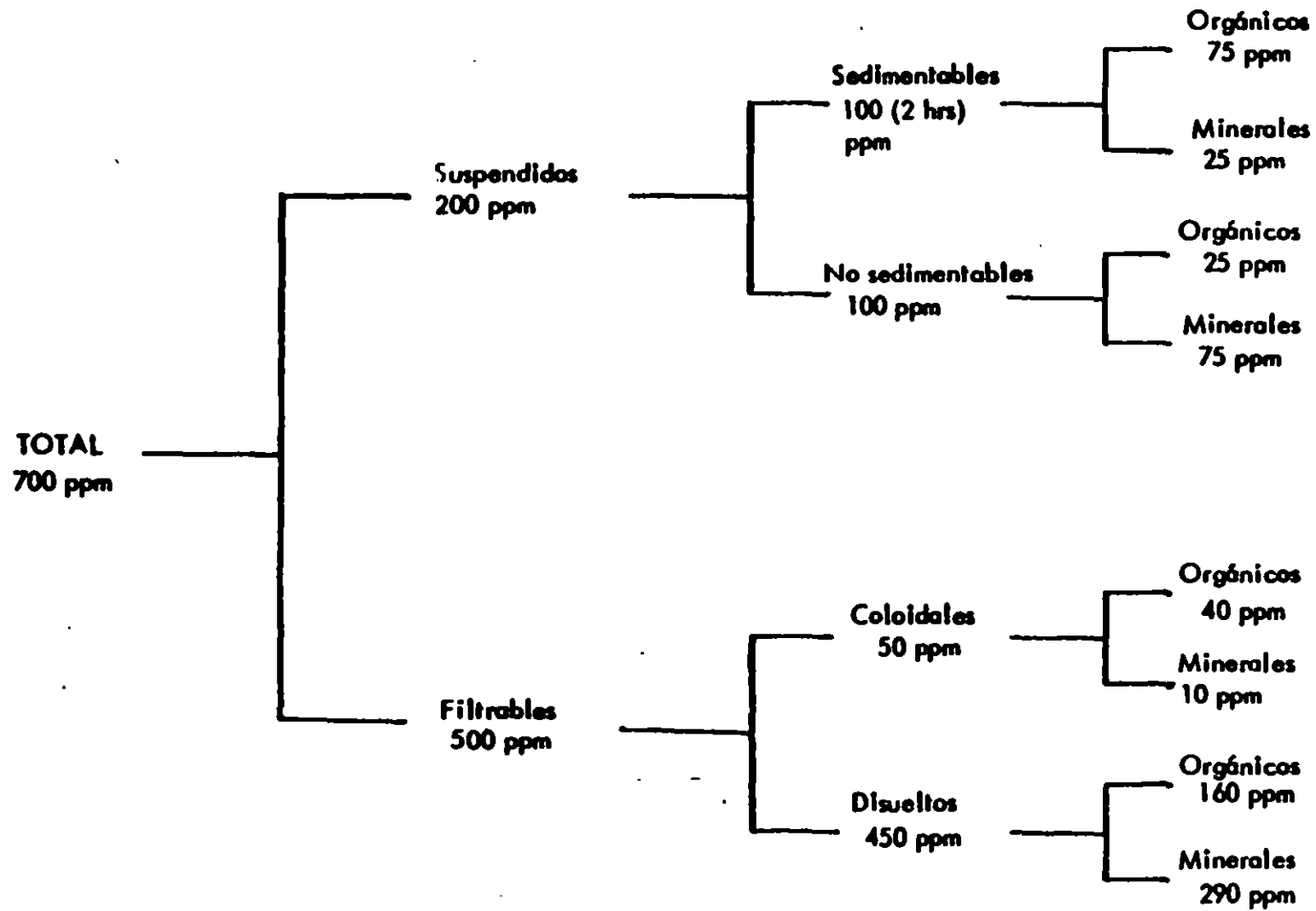


Fig. 2. Clasificación de sólidos en aguas residuales de concentración media

no se afecten la calidad del agua, la navegación; otros usos permitidos y los derechos de terceros, no requerirán de concesión

CAPITULO V

Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones

ARTICULO 83.- "La Comisión", en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, podrá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

"La Comisión", en los términos del reglamento, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

ARTICULO 84.- "La Comisión" determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

TITULO SEPTIMO

PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS

Capítulo Unico

ARTICULO 85.- Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley.

ARTICULO 86.- "La Comisión" tendrá a su cargo:

- I. Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga, en los términos de ley;
- II. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua;
- III. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;
- IV. Autorizar, en su caso, el vertido de aguas residuales en el mar, y en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas;

LEY DE AGÜAS NACIONALES

pendan las actividades o se considere superada la gravedad de la descarga.

Los gastos que dicha intervención ocasione serán con cargo al titular o titulares del permiso de descarga.

En caso de no cubrirse dentro de los quince días hábiles siguientes a su requerimiento por "La Comisión", los gastos tendrán el carácter de crédito fiscal para su cobro.

ARTICULO 95.- "La Comisión", en el ámbito de la competencia federal, realizará la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la ley. Los resultados de dicha fiscalización o inspección se harán constar en acta circunstanciada, producirán todos los efectos legales y podrán servir de base para que "La Comisión" y las demás dependencias de la Administración Pública Federal competentes, puedan aplicar las sanciones respectivas previstas en la ley.

ARTICULO 96.- En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y su reglamento.

"La Comisión" promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca o acuífero.

TITULO OCTAVO

INVERSION EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTICULO 97.- Los usuarios de las aguas nacionales podrán realizar, por sí o por terceros, cualesquiera obra de infraestructura hidráulica que se requiera para su explotación, uso o aprovechamiento.

La administración y operación de estas obras serán responsabilidad de los usuarios o de las asociaciones que formen al efecto, independientemente de la explotación, uso o aprovechamiento que se efectúe de las aguas nacionales

ARTICULO 98.- Cuando con motivo de dichas obras se pudiera afectar el régimen hidráulico e hidrológico de los cauces o vasos propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, y en los casos de perforación de pozos en zonas reglamentadas o de veda se requerirá del permiso en los términos de los artículos 23 y 42 de esta ley y su reglamento.

En estos casos, "La Comisión" podrá expedir las normas oficiales mexicanas que se requieran o las que le soliciten los usuarios. Igualmente, supervisará la construcción de las obras, y podrá en cualquier momento adoptar las medidas correctivas que sea necesario ejecutar para garantizar el cumplimiento del permiso y de dichas normas.

ARTICULO 99.- "La Comisión" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación.

"La Comisión" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosos-

tenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios.

ARTICULO 100.- "La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o pongan en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes.

ARTICULO 101.- "La Comisión" realizará por sí o por terceros las obras públicas federales de infraestructura hidráulica que se desprendan de los programas de inversión a su cargo, conforme a la ley y disposiciones reglamentarias. Igualmente, podrá ejecutar las obras que se le soliciten y que se financien total o parcialmente con recursos distintos de los federales.

En caso de que la inversión se realice total o parcialmente con recursos federales, o que la infraestructura se construya mediante créditos avalados por el Gobierno Federal, "La Comisión" en el ámbito de su competencia establecerá las normas, características y requisitos para su ejecución y supervisión, salvo que por ley correspondan a otra dependencia o entidad.

CAPITULO II

Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales

ARTICULO 102.- Se considera de interés público la promoción y fomento de la participación de los particulares en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos.

Para tal efecto, "La Comisión" podrá:

- I. Celebrar con particulares contratos de obra pública y servicios con la modalidad de inversión recuperable, para la cons-

trucción, equipamiento y operación de infraestructura hidráulica federal, pudiendo quedar a cargo de una empresa la responsabilidad integral de la obra y su operación, en los términos del Reglamento;

- II. Otorgar concesión total o parcial para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal y la prestación de los servicios respectivos; y
- III. Otorgar concesión total o parcial para construir, equipar y operar la infraestructura hidráulica federal y para prestar el servicio respectivo.

Para el trámite, duración, regulación y terminación de la concesión a la que se refiere la fracción II, se aplicará en lo conducente lo dispuesto en esta ley para las concesiones de explotación, uso o aprovechamiento de agua y lo que disponga el reglamento. Los usuarios de dicha infraestructura tendrán preferencia en el otorgamiento de dichas concesiones.

ARTICULO 103.- Las concesiones a que se refiere la fracción III del artículo anterior, se sujetarán a lo dispuesto en el presente capítulo y al reglamento.

"La Comisión" fijará las bases mínimas para la participación en el concurso para obtener las concesiones a que se refiere este capítulo, en los términos de esta ley y su reglamento. La selección entre las empresas participantes en el concurso se hará en base a las tarifas mínimas que respondan a los criterios de seriedad, confiabilidad y calidad establecidas en las bases que para cada caso expida "La Comisión".

Los derechos y obligaciones de los concesionarios, se establecerán, en su caso, en el reglamento o en el título respectivo.

ARTICULO 104.- Las tarifas mínimas a que se refiere el artículo anterior, conforme a las bases que emita "La Comisión" deberán:

- I. Propiciar el uso eficiente del agua, la racionalización de los patrones de consumo y, en su caso, inhibir actividades que impongan una demanda excesiva;

REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES

Miércoles 12 de enero de 1994

DIARIO OFICIAL

(Segunda Sección) 19

agua, en los términos del artículo 80 de la "Ley", cuando sea para generación de energía hidroeléctrica en pequeña escala, entendida como tal aquella que realizan personas físicas o morales aprovechando las corrientes de ríos y canales, sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad, y cuya capacidad de generación no exceda de 0.5 Megavatios

Sin perjuicio de lo anterior, las personas físicas o morales a que se refiere este precepto deberán cumplir, en todo caso, con lo dispuesto en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.

ARTICULO 121.- "La Comisión" podrá aprovechar las aguas nacionales y la infraestructura hidráulica federal para generar energía eléctrica destinada a la prestación de los servicios hidráulicos federales a su cargo, y disponer de los excedentes, en los términos que señale la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento, conforme a lo dispuesto en el artículo 79 de la "Ley"

ARTICULO 122.- "La Comisión" otorgará a la Comisión Federal de Electricidad sin mayor trámite, la asignación de aguas nacionales para la generación de energía eléctrica con base en la programación hidráulica a que se refiere el Título Tercero de la "Ley" y a las reservas decretadas para tal uso conforme al Título Quinto de la misma.

ARTICULO 123.- La coordinación en los estudios y programación que realicen la Comisión Federal de Electricidad y "La Comisión", en los términos del artículo 78 de la "Ley", se realizará en el seno de su respectivo órgano de gobierno y consejo.

Capítulo IV

Uso en Otras Actividades Productivas

ARTICULO 124.- Para la extracción, explotación, uso o aprovechamiento de las aguas en zonas de veda o reglamentadas, distintas a las provenientes del laboreo de las minas, así como respecto de las aguas superficiales comprendidas dentro del lote que ampare una concesión minera, se estará a lo establecido por los artículos 42, 43 y 82 de la "Ley".

Se entiende por aguas provenientes del laboreo de las minas, aquellas del subsuelo que necesariamente deban extraerse para permitir la realización de obras y trabajos de exploración y explotación

Los titulares de concesiones mineras o sus causahabientes, que aprovechen las aguas a que se refiere el párrafo anterior, estarán obligados a:

- I. Obtener el permiso de descarga de aguas residuales en cuerpos receptores que sean bienes nacionales;
- II. Cumplir con las normas oficiales mexicanas para presas de jales, y
- III. Poner a disposición de "La Comisión" el agua sobrante o disponible después del uso o aprovechamiento que se realice, con base en los derechos que confieren tales concesiones.

ARTICULO 125.- "La Comisión" establecerá la coordinación necesaria con la Secretaría de Pesca, a fin de facilitar la resolución simultánea de las concesiones que en el ámbito de sus respectivas competencias tengan que expedir en materia de agua y acuacultura.

ARTICULO 126.- El uso de agua en estado de vapor para la generación de energía eléctrica y el uso de agua para enfriamiento, se considerará uso industrial.

Capítulo V

Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones

ARTICULO 127.- "La Comisión" fomentará el establecimiento de programas integrales de control

de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran. Dentro de la programación hidráulica se fomentará el desarrollo de proyectos de infraestructura para usos múltiples, en los cuales se considere el control de avenidas y la protección contra inundaciones

Conforme a lo anterior, "La Comisión" podrá prestar la asesoría y apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de zonas federales. El comportamiento y operación de las obras que no diseñe o construya directamente "La Comisión" será responsabilidad de quien las realice.

ARTICULO 128.- "La Comisión" establecerá un sistema de pronóstico y alerta contra inundaciones y organizará la formulación de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundación e implantar las medidas de emergencia conducentes.

ARTICULO 129.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia y en coordinación con las demás autoridades competentes y con las personas responsables, promoverá la integración y actualización de un inventario del estado de las obras hidráulicas públicas, privadas o sociales, con la finalidad de identificar medidas necesarias para la protección de la infraestructura hidráulica

Conforme a lo anterior, la ejecución de las medidas identificadas será responsabilidad de los titulares de las obras y en su caso de los administradores o concesionarios que tengan a su cargo su operación y conservación, sin perjuicio de la responsabilidad que corresponda a los primeros.

ARTICULO 130.- "La Comisión", conforme a los lineamientos que acuerde su Consejo Técnico, promoverá el establecimiento y aplicación de fondos de contingencia, integrados con aportaciones de la Federación, de los gobiernos de las entidades federativas y de las personas interesadas, para lograr la disminución de daños y prevenir la solución de problemas

ARTICULO 131.- Para efectos de los artículos 83 y 98 de la "Ley", "La Comisión", en el ámbito de su competencia, otorgará el permiso para la construcción de obras públicas de protección contra inundaciones o promoverá su construcción y operación, según sea el caso, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con las personas físicas o morales interesadas

No quedan comprendidas en lo dispuesto en este artículo, las obras públicas de drenaje pluvial en los centros de población, las cuales están a cargo y bajo la responsabilidad de las autoridades locales.

ARTICULO 132.- "La Comisión" promoverá y, en su caso, realizará los estudios necesarios que permitan clasificar las zonas inundables asociadas a eventos con diferente probabilidad de ocurrencia, en atención a los riesgos que presentan a corto y largo plazos. Asimismo promoverá, dentro de la programación hidráulica, el establecimiento de las zonas restringidas y de normas para el uso de dichas zonas, que establezcan las características de las construcciones con objeto de evitar pérdidas de vidas y daños.

TITULO SEPTIMO PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS Capítulo Único

ARTICULO 133.- Para los efectos de las fracciones IV, V y VII, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" ejercerá las facultades que corresponden a la autoridad federal en materia de prevención y control de la contaminación del agua.

conforme a lo establecido en la propia "Ley" y en este "Reglamento", así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, excepto aquéllas que conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y otras disposiciones legales, estén atribuidas a otra dependencia.

ARTICULO 134.- Las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas, bajo su responsabilidad y en los términos de ley, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

ARTICULO 135.- Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley", deberán:

- I. Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión", o en su caso, presentar el aviso respectivo a que se refiere la "Ley" y este Reglamento;
- II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando esto sea necesario para cumplir con las obligaciones establecidas en el permiso de descarga correspondiente;
- III. Cubrir, cuando proceda, el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales;
- IV. Instalar y mantener en buen estado, los dispositivos de aforo y los accesos para muestreo que permitan verificar los volúmenes de descarga y las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga;
- V. Informar a "La Comisión" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente;
- VI. Hacer del conocimiento de "La Comisión", los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que vienen operando, y que no estuvieran considerados originalmente en las condiciones particulares de descarga que se les hubieran fijado;
- VII. Operar y mantener por sí o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, así como para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores;
- VIII. Sujetarse a la vigilancia y fiscalización que para el control y prevención de la calidad del agua establezca "La Comisión", de conformidad con lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento";
- IX. Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descarguen o infiltren en los términos de ley y demás disposiciones reglamentarias;
- X. Conservar al menos durante tres años el registro de la información sobre el monitoreo que realicen, en los términos de las disposiciones jurídicas, normas,

condiciones y especificaciones técnicas aplicables, y

- XI. Las demás que señalen las leyes y disposiciones reglamentarias.

Las descargas de aguas residuales de uso doméstico que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado, se podrán llevar a cabo con sujeción a las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan y mediante un simple aviso.

ARTICULO 136.- En los permisos de descargas de las aguas residuales de los sistemas públicos de alcantarillado y drenaje, además de lo dispuesto en el artículo anterior, se deberá señalar la forma conforme a lo dispuesto en la ley para efectuar:

- I. El registro, monitoreo continuo y control de las descargas de aguas residuales que se viertan a las redes públicas de alcantarillado;
- II. La verificación del estado de conservación de las redes públicas de alcantarillado con el fin de detectar y corregir, en su caso, las posibles fugas que incidan en la calidad de las aguas subterráneas subyacentes y en la eventual contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua, y
- III. El monitoreo de la calidad del agua que se vierte a las redes públicas de alcantarillado, con objeto de detectar la existencia de materiales o residuos peligrosos que por su corrosividad, toxicidad, explosividad, reactividad o inflamabilidad puedan representar grave riesgo al ambiente, a las personas o sus bienes.

Las personas que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas expedidas para el pretratamiento y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el Municipio o que se emitan conforme al artículo 119, fracción I, inciso f) de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

ARTICULO 137.- Es responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto de la "Ley", incluidas las unidades y los distritos de riego, cumplir con las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

"La Comisión" promoverá y realizará, en su caso, las acciones y medidas necesarias, y se coordinará con las autoridades competentes para la expedición de las normas oficiales mexicanas que se requieran para hacer compatible el uso del suelo con los objetivos de prevención y control de la contaminación de las aguas y bienes nacionales. En la fijación de normas oficiales mexicanas para el uso del suelo, que puedan afectar aguas nacionales, se deberá recabar la opinión técnica de "La Comisión".

ARTICULO 138.- Las solicitudes de permiso de descarga de aguas residuales que se presenten a "La Comisión", deberán contener:

- I. Nombre, domicilio y giro o actividad de la persona física o moral que realice la descarga;
- II. Relación de insumos utilizados en los procesos que generan las descargas de aguas residuales y de otros insumos que generen desechos que se descarguen en los cuerpos receptores;

- III. Croquis y descripción de los procesos que dan lugar a las descargas de aguas residuales;
- IV. Volumen y régimen de los distintos puntos de descarga, así como la caracterización físico-química y bacteriológica de la descarga;
- V. Nombre y ubicación del cuerpo o cuerpos receptores;
- VI. Croquis de localización de la descarga o descargas, así como en su caso de las estructuras e instalaciones para su manejo y control, y
- VII. Descripción, en su caso, de los sistemas y procesos para el tratamiento de aguas residuales para satisfacer las condiciones particulares de descarga que establezca "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento".

La solicitud deberá acompañarse de la memoria técnica que fundamente la información a que se refiere el presente artículo y, en especial, a la forma en que el solicitante cumplirá con las normas, condiciones y especificaciones técnicas establecidas.

ARTICULO 139.- Los permisos de descarga de aguas residuales contendrán:

- I. Ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad;
- II. Los parámetros, así como las concentraciones y cargas máximas correspondientes, que determinan las condiciones particulares de descarga del permisionario;
- III. Obligaciones generales y específicas a las que se sujetará el permisionario para prevenir y controlar la contaminación del agua, incluidas:
 - a) Forma y procedimientos para la toma de muestras y la determinación de las cargas contaminantes, y
 - b) Forma en que se presentará a "La Comisión" la información que les solicite, sobre el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga.
- IV. Forma y, en su caso, plazos en que se ajustará a lo dispuesto en las condiciones y especificaciones técnicas que señale "La Comisión", para los puntos de descarga autorizados, incluida la construcción de las obras e instalaciones para la recirculación de las aguas y para el manejo y tratamiento de las aguas residuales, y
- V. Duración del permiso.

ARTICULO 140.- Para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los parámetros y límites máximos permisibles contenidos en las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes en materia de descargas de aguas residuales y para el tratamiento de agua para uso o consumo humano, así como los parámetros y límites máximos que deriven de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales que se publiquen en los términos del artículo 87 de la "Ley".

Asimismo, para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los derechos de terceros para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales del cuerpo receptor de que se trate, las restricciones que imponga la programación hidráulica aprobada en los términos de la "Ley" y el "Reglamento" y las demás consideraciones de interés público o de salubridad general que, debidamente fundadas y motivadas, emitan las autoridades competentes y que establezcan restricciones adicionales para la

descarga de aguas residuales en los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley".

ARTICULO 141.- "La Comisión", conforme a las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes, las metas y plazos establecidos en la programación hidráulica y las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, podrá modificar las condiciones particulares de descarga, señalando a los permisionarios el plazo para que sus descargas se ajusten a las mismas.

Las condiciones particulares de descarga no podrán ser modificadas sino después de transcurridos cinco años, contados a partir de su expedición o modificación, salvo situaciones comprobadas de emergencia para evitar graves daños a la salud, a un ecosistema o a terceros.

ARTICULO 142.- Para efectos de la fracción III, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" podrá publicar en el Diario Oficial de la Federación los parámetros y concentraciones máximas que por lo menos deberán observar las condiciones particulares de descarga de aguas residuales.

ARTICULO 143.- "La Comisión" establecerá las condiciones particulares que deberán cumplir las descargas de aguas residuales previo a su posterior explotación, uso o aprovechamiento; asimismo, fijará las que deberán cumplir en el caso de su infiltración a un acuífero.

"La Comisión" podrá otorgar el permiso para recargar acuíferos con aguas depuradas, en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento".

ARTICULO 144.- En la observancia de lo dispuesto en la "Ley" y en relación con el artículo 139, fracción III, de este "Reglamento", la toma de muestras y el análisis de las mismas, deberán ajustarse a los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y en su caso a lo que establezcan las condiciones particulares y los permisos que al efecto emita "La Comisión".

ARTICULO 145.- El diseño, construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones de captación, conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de aguas residuales deberá sujetarse a las normas oficiales mexicanas que expida "La Comisión".

Los permisionarios quedarán obligados a cumplir con todas y cada una de las condiciones del permiso de descarga correspondiente y, en su caso, a mantener las obras e instalaciones del sistema de tratamiento en condiciones satisfactorias de operación.

ARTICULO 146.- Cuando para el cumplimiento de la obligación legal de tratar aguas residuales, se contraten o utilicen los servicios de empresas que realicen dicha actividad, estas últimas serán las que soliciten el permiso de descarga de aguas residuales y cumplirán con lo dispuesto en este Capítulo, siempre que utilicen bienes nacionales como cuerpos receptores de las descargas de las plantas de tratamiento respectivas.

En el caso del párrafo anterior, las personas físicas o morales que contraten o utilicen los servicios mencionados, serán, conforme a la ley, solidariamente responsables con las empresas que traten aguas residuales del cumplimiento de lo dispuesto en la "Ley" y el presente "Reglamento" en materia de control y prevención de la calidad de las aguas.

Independientemente de lo anterior, si antes de llegar a la planta de tratamiento, se descargan aguas residuales a corrientes o depósitos de aguas nacionales, se deberá contar con el permiso de descarga respectivo.

ARTICULO 147.- Si llegara a suspenderse la operación del sistema del tratamiento, aunque sea en forma temporal, el responsable deberá dar aviso

a "La Comisión". En caso de ser injustificada la suspensión y se puedan ocasionar graves perjuicios a la salud o la seguridad de la población o graves daños al ecosistema, "La Comisión" podrá ordenar la suspensión de los procesos que dan origen a la descarga, conforme al procedimiento establecido en el artículo 153 de este "Reglamento", hasta en tanto sea restablecida la operación del sistema de tratamiento; independientemente de esto, "La Comisión" lo hará del conocimiento, de manera inmediata, a las autoridades competentes.

ARTICULO 148.- Los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales, deberán estabilizarse en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias de la materia.

Los sitios para su estabilización deberán:

- I. Impermeabilizarse con materiales que no permitan el paso de lixiviados, y
- II. Contar con drenes o con estructuras que permitan la recolección de lixiviados.

Cuando los lodos una vez estabilizados y desaguados presenten concentraciones no permisibles de sustancias peligrosas, contraviniendo las normas oficiales mexicanas, deberán enviarse a sitios de confinamiento controlado aprobados por la autoridad competente, conforme a la normatividad aplicable en materia de residuos peligrosos.

Las aguas producto del escurrimiento y de los lixiviados deberán ser tratadas antes de descargarse a cuerpos receptores.

ARTICULO 149.- Cuando se efectúen en forma fortuita una o varias descargas de aguas residuales sobre cuerpos receptores que sean bienes nacionales, los responsables deberán avisar de inmediato a "La Comisión", especificando volumen y características de las descargas, para que se promuevan o adopten las medidas conducentes por parte de los responsables o las que, con cargo a éstos, realizará "La Comisión" y demás autoridades competentes.

Los responsables de las descargas estarán obligados a llevar a cabo las labores de remoción y limpieza del contaminante de los cuerpos receptores afectados por la descarga. En caso de que el responsable no dé aviso, los daños que se ocasionen, serán determinados y cuantificados por "La Comisión" en el ámbito de su competencia, y se notificarán a las personas físicas o morales responsables, para su pago conforme a la ley.

La determinación y cobro del daño causado sobre las aguas y los bienes nacionales a que se refiere este artículo, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley, en cuyo caso, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las dependencias que por sus atribuciones estuvieran involucradas.

La falta del aviso a que se refiere el primer párrafo de este artículo se sancionará conforme a la ley.

ARTICULO 150.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, promoverá las medidas preventivas y de control para evitar la contaminación de las aguas superficiales o las del subsuelo por materiales y residuos peligrosos.

En el caso de que el vertido o infiltración de dichos materiales y residuos peligrosos contaminen las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, o los bienes nacionales a que se refiere la "Ley", "La Comisión" determinará las medidas correctivas que deban llevar a cabo las personas físicas o morales responsables o las que, con cargo a éstas, efectuará "La Comisión".

El daño causado se determinará y cuantificará por "La Comisión", en el ámbito de su competencia,

y se notificará a los responsables la resolución respectiva y se gestionará su cobro conforme a la "Ley".

El pago del daño causado, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley. Para los efectos respectivos, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las autoridades involucradas.

ARTICULO 151.- Se prohíbe depositar, en los cuerpos receptores y zonas federales, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de descarga de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas respectivas.

ARTICULO 152.- Para efectos de la fracción V, del artículo 86 de la "Ley", se incluyen en las aguas para uso y consumo humano, las que se suministren a través de servicios públicos sujetos al cumplimiento de las normas de potabilidad de cualquier tipo y forma.

Los responsables de los sistemas públicos de abastecimiento de agua potable a las poblaciones o a las colonias y fraccionamientos, en los términos de una concesión o asignación expedida por "La Comisión", están obligados a contar con los dispositivos de desinfección conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

ARTICULO 153.- Para efectos del artículo 92 de la "Ley", para poder ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, "La Comisión" seguirá el siguiente procedimiento:

- I. Se realizará visita de inspección a las instalaciones de la persona, cuando considere que les son aplicables la "Ley" y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, de conformidad con lo que señalan las mismas;
- II. Se levantará acta circunstanciada de la visita de inspección, aplicando en lo conducente lo dispuesto en el artículo 122 de la "Ley" y en los artículos 184 y 185 de este "Reglamento", precisando las actividades que den origen a la descarga;
- III. En el caso de infracción a las fracciones II, III y IV, del artículo 92 de la "Ley", se otorgará un plazo de quince días hábiles para corregir su situación, que se podrá ampliar por la autoridad en casos justificados, bajo el apercibimiento de que en caso de incumplimiento y, previa resolución, se procederá a la suspensión o clausura de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales;
- IV. En el caso de infracción a la fracción I del artículo 92 de la "Ley" o de haber transcurrido el plazo a que se refiere la fracción anterior sin que hubiere corregido la infracción, se procederá a notificar la resolución respectiva y a fijar los sellos de suspensión o clausura de las actividades que den origen a la descarga, y
- V. Se levantará la suspensión o clausura cuando se cumpla o se garantice a "La Comisión" el cumplimiento a lo dispuesto en la "Ley".

La suspensión o clausura de actividades, será independiente de la aplicación de las sanciones que conforme a derecho procedan o el cobro de las contribuciones respectivas.

ARTICULO 154.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, realizará un monitoreo sistemático y permanente de la calidad de las

aguas nacionales continentales, y establecerá y mantendrá actualizado el sistema nacional de información de la calidad del agua a partir de:

- I. Los estudios y el monitoreo de la calidad de las aguas continentales y marinas, que se lleven a cabo en los términos previstos en la "Ley" y el presente "Reglamento";
- II. El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales, y
- III. El inventario nacional de descargas de aguas residuales que llevará "La Comisión".

En los casos de aguas de jurisdicción local, "La Comisión" se coordinará con las autoridades de los estados y municipios.

ARTICULO 155.- Para la preservación de los humedales, que se vean afectados por los regímenes de las corrientes de aguas nacionales, "La Comisión" tendrá las siguientes atribuciones:

- I. Delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquéllos inundados por aguas nacionales, cuando tal característica los convierta en un ecosistema acuático o hidrológico que conforme a la "Ley", requiere de su preservación;
- II. Promover, en los términos de "Ley" y del artículo 78, fracción IV, del presente "Reglamento", las reservas de aguas nacionales o la reserva ecológica conforme a la ley de la materia, que en su caso requiera la preservación de los humedales;
- III. Expedir las condiciones particulares obligatorias para preservar, proteger y, en su caso, restaurar los humedales y no afectar la calidad de las aguas nacionales que los alimenten, ni el ecosistema acuático o hidrológico o los panoramas escénicos, turísticos y recreativos que forman parte de los mismos;
- IV. Promover y, en su caso, realizar las acciones y medidas necesarias para rehabilitar o restaurar los humedales, así como para fijar un entorno natural o perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar las condiciones hidrológicas y el ecosistema, y
- V. Otorgar permisos para desecar terrenos en humedales cuando se trate de aguas y bienes nacionales a cargo de "La Comisión", con fines de protección o para prevenir daños a la salud pública, cuando no competan a otra dependencia.

Para el ejercicio de las atribuciones a que se refiere el presente artículo, "La Comisión" se coordinará con las demás autoridades que deban intervenir o participar en el ámbito de su competencia.

ARTICULO 156.- Con el objeto de apoyar la prevención y control de la contaminación del agua, "La Comisión" podrá:

- I. Promover ante las autoridades educativas, la incorporación de programas educativos para orientar sobre la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional;
- II. Fomentar que las asociaciones, colegios de profesionistas y cámaras de la industria y el comercio, así como otros organismos afines, orienten a sus

miembros sobre el uso de métodos y tecnologías que reduzcan la contaminación del agua y aseguren su aprovechamiento racional, y

- III. Apoyar estudios e investigaciones encaminados a generar conocimientos y tecnologías que permitan la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional.

TITULO OCTAVO

INVERSION EN INFRAESTRUCTURA

HIDRAULICA

Capítulo I

Disposiciones Generales

ARTICULO 157.- Para efectos del artículo 98 de la "Ley", las personas que pretendan realizar obras que impliquen desviación del curso de las aguas nacionales de su cauce o vaso, alteración al régimen hidráulico de las corrientes o afectación de su calidad, al solicitar el permiso respectivo de "La Comisión", deberán acompañar el proyecto y programa de ejecución de las obras que pretendan realizar, y demostrar que no se afecta riesgosamente el flujo de las aguas ni los derechos de terceros aguas abajo.

"La Comisión" resolverá si acepta o rechaza el proyecto y, en su caso, dará a conocer a los interesados las modificaciones que deban de hacer a éste para evitar que cualquier afectación al régimen hidrológico de las corrientes no imponga riesgos en la seguridad de las personas y sus bienes, no altere la calidad del agua ni los derechos de terceros.

En el permiso respectivo, "La Comisión" fijará los plazos aproximados para que los solicitantes realicen los estudios y formulen los proyectos definitivos, inicien las obras y las terminen.

El procedimiento a que se refiere este artículo se aplicará a las obras o trabajos que se realicen para dragar, desecar y en general, modificar el régimen hidráulico de los cauces, vasos, lagos, lagunas y demás depósitos de agua de propiedad nacional.

ARTICULO 158.- "La Comisión" promoverá y, a solicitud de las correspondientes autoridades estatales y municipales, proporcionará con los recursos disponibles al efecto, la asistencia técnica para la elaboración de los estudios y los proyectos de las obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

"La Comisión" a solicitud de las dependencias y entidades de la administración pública federal, de las correspondientes autoridades estatales o municipales o sus entidades paraestatales, de los representantes de organizaciones de usuarios y de los particulares, proporcionará, con los recursos disponibles al efecto, asistencia técnica para la realización de proyectos, así como para la construcción, operación y conservación de obras e instalaciones, con objeto de propiciar el adecuado desarrollo hidráulico, el uso eficiente del agua y la conservación de su calidad.

Capítulo II

Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales

ARTICULO 159.- Para que "La Comisión" pueda celebrar con particulares, contratos de obras públicas con la modalidad de inversión recuperable, en los términos de la fracción I, del artículo 102 de la "Ley", será menester que se lleven a cabo los procedimientos de adjudicación y formalización de

IV. Las aguas residuales de origen urbano deben de recibir tratamiento previo a su descarga en rios, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo, y

V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

ARTICULO 118.—Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

I. El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública;

II. La formulación de las normas técnicas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano;

III. Los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deban instalarse;

IV. La restricción o suspensión de explotaciones y aprovechamientos que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, o para proteger los servicios de agua potable;

V. Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios, y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en los terrenos, o para

descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones; y

VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y alveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneas

ARTICULO 119 —Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponderá:

I. A la Secretaría:

a) Expedir, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos;

b) Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que deban satisfacerse para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los ecosistemas o a sus componentes, y en su caso, en coordinación con la Secretaría de Salud, cuando se ponga en peligro la salud pública;

c) Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales, con la intervención que en su caso compete a otras dependencias,

d) Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados;

e) Fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional;

f) Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas de propiedad nacional, sin observar las normas técnicas ecológicas o, en su caso, las condiciones particulares de descarga que hubiese fijado la Secretaría;

g) Promover el reuso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales;

h) Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales, considerando los criterios sanitarios que en materia de salud pública emita la Secretaría de Salud, en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor, que serán incorporados en los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para la entrega de agua en bloque a sistemas usuarios o a usuarios, conforme a la Ley Federal de Aguas;

i) Resolver sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas, cuando dichas descargas contaminantes provengan de dos o más obras, instalaciones o industrias de jurisdicción federal, tomando en consideración los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud. Esta autorización únicamente podrá otorgarse cuando los efectos en las cuencas de aguas nacionales lo permitan, conforme a los usos determinados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y

j) Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes de los centros de población, así como la instalación de plantas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas

II. A la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salud:

a) Expedir las normas técnicas ecológicas para el uso o aprovechamiento de aguas residuales;

b) Emitir opinión a la que deberá sujetarse la programación y construcción de nuevas industrias que puedan producir descargas contaminantes de aguas residuales, así como de las obras e instalaciones conducentes a purificar las aguas residuales de procedencia industrial en los casos de jurisdicción federal; y

c) Expedir las normas técnicas ecológicas que deberán observarse para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura. Para el ejercicio de esta atribución, dichas dependencias tomarán como base los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes.

III. A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, resolver sobre las solicitudes de concesión, permiso o autorización que se formulen para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, considerando los criterios y lineamientos, para la preservación del equilibrio ecológico.

IV. A la Secretaría expedir normas técnicas sobre la ejecución de obras relacionadas con el alejamiento, tratamiento y destino de las aguas residuales conducidas o no, por sistemas de alcantarillado, considerando

los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud, y

V A los estados y municipios:

a) El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado;

b) Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las normas técnicas ecológicas que se expidan, la instalación de sistemas de tratamiento;

c) Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar, y

d) Llevar y actualizar el registro de las descargas a las redes de drenaje y alcantarillado que administren, el que será integrado al registro nacional de descargas a cargo de la Secretaría.

ARTICULO 120.—Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

I. Las descargas de origen industrial,

II Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas:

III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;

IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables,

V. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;

VI Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos, y

VII El vertimiento de residuos sólidos en cuerpos y corrientes de agua

ARTICULO 121.—No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

ARTICULO 122.—Las aguas residuales provenientes de usos municipales, públicos o domésticos y las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes, de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y, en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

I Contaminación de los cuerpos receptores;

II Interferencias en lo procesos de depuración de las aguas; y

III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado

ARTICULO 123.—Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los de-

rrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

Cuando dichas descargas, derrames o infiltraciones contengan materiales o residuos peligrosos, deberán contar con la autorización previa de la Secretaría

ARTICULO 124.—Cuando las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua, la Secretaría lo comunicará a la Secretaría de Salud y promoverá ante la autoridad competente la negativa del permiso o autorización correspondiente, o su inmediata revocación, y en su caso, la suspensión del suministro.

ARTICULO 125.—La Secretaría, considerando los criterios sanitarios que en materia de salubridad general establezca la Secretaría de Salud, así como los usos de las cuencas de aguas nacionales determinados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, determinará las condiciones particulares de descarga y los sistemas de tratamiento que deberán instalar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para descargar aguas residuales.

ARTICULO 126.—Los equipos de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades estatales, o el Departamento del Distrito Federal, deberán cumplir con las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan.

ARTICULO 127.—La Secretaría y las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, emiti-

rán opinión, con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes, para la programación y construcción de obras e instalaciones de purificación de aguas residuales de procedencia industrial

ARTICULO 128.—Las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera al tratamiento que cumpla con las normas técnicas emitidas por la Secretaría, en coordinación con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud.

En los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las prácticas de riego.

ARTICULO 129.—El otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionado al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se produzcan

ARTICULO 130.—La Secretaría resolverá sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales, sustancias o cualquier otro tipo de residuos en aguas marinas, fijando en cada caso las normas técnicas ecológicas, condiciones y tratamiento de las aguas y residuos, de acuerdo al reglamento correspondiente. Cuando el origen de las descargas provenga de fuentes móviles o de plataformas fijas en el mar territorial y la zona económica exclusiva, la Secretaría se coordinará con la Secretaría de Marina para la expedición de las autorizaciones correspondientes

ARTICULO 131.—Para la protección del medio marino, el Ejecutivo Federal emitirá los criterios para la explotación, conservación y administración de los re-

T A A No. 2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD*

Clase	Usos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		pH	Temperatura (°C)	O.D. (mg/l)	Bacterias Coliformes NMP (Organismos/100 ml)	Aceites y Grasas (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Turbiedad (U.T.J.)	Color (Escala Platino Cobalto)	Olor y Sabor	Nutrientes: Nitrógeno Fósforo	Materia Flotante	Substancias Tóxicas
				Límite Mínimo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
DA	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	0.76	No mayor de 1000	10	20	Ausentes	(c)	Ausente	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	1000 fecales (e)	1.0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	10.000 coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20.000 (h)	Ausencia de película visible.	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C.N.	(c)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	3.2	1000 (j) y libre para los demás cultivos.	Ausencia de película visible.	(i)	C.N.	C.N. más 10		(c)	Ausente	(d)
DIV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).	5.0 a 9.5		3.2									(d)

pH = Potencial hidrógeno
 O.D. = Oxígeno disuelto
 N.M.P. = Número más probable

U.T.J. = Unidades de turbiedad Jackson
 mg/l = miligramos por litro

C.N. = Condiciones naturales
 °C = Grados centígrados

11. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

11.1 Esta norma oficial mexicana coincide parcialmente con la norma Plastics Synthetic Materials (Materiales plásticos sintéticos) Synthetic Polymers (Polímeros sintéticos)-EPA 440/1-74/036 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América

12. VIGENCIA

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación

12.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-005/88, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de agosto de 1988

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres - El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Luján - Rúbrica

NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-006-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de fabricación de harinas.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Desarrollo Social

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 50 fracciones VIII y XV, 80 fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 38 fracción I, 42 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, 65 de las fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 115 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales, Primero y Segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología respectivamente y

CONSIDERANDO

Que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de la industria de fabricación de harinas, provocan efectos adversos en los ecosistemas, por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles que deban satisfacer dichas descargas

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-006/93, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes

de la industria de fabricación de harinas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1993, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 10 de julio de 1993 la sustitución de la clave NOM-PA-CCA-006/93, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave NOM-CCA-006-ECOL/1993, que en lo subsecuente la identificará

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V número especial de octubre de 1993

Que mediante oficio de fecha 13 de octubre de 1993, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua, expresó su conformidad con el contenido y expedición de la presente norma oficial mexicana

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de septiembre de año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-006-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE FABRICACION DE HARINAS

PREFACIO

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
Instituto Nacional de Ecología
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- SECRETARIA DE MARINA
Dirección General de Oceanografía Naval
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL
Subsecretaría de Minas e Industria Extractiva
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
Comisión Nacional del Agua
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
- SECRETARIA DE SALUD
Dirección General de Salud Ambiental
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
Dirección de Ecología
- GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
Secretaría de Ecología
- PETROLEOS MEXICANOS
Gerencia de Protección Ambiental
- CONFEDERACION PATRONAL DE LA INDUSTRIA DE HARINAS
- REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)

CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN) CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de fabricación de harinas

2. CAMPO DE APLICACION

La presente norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los procesos de la industria de fabricación de harinas

3. REFERENCIAS

- NMX-AA-3 Aguas Residuales-Muestreo
- NMX-AA-4 Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales-Método del cono imhoff
- NMX-AA-8 Determinación de, pH-Método potenciométrico
- NMX-AA-28 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno-Método de incubación por diluciones
- NMX-AA-34 Determinación de sólidos en agua-Método gravimétrico

NMX-AA-42 Análisis de aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales Método de tubos múltiples de fermentación

4. DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se asumen las definiciones que se mencionan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, además de las siguientes

4.1 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar varias muestras simples

4.2 Muestra simple

La que se tome ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.

4.3 Parámetro

Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una manera simple las características principales de un contaminante

5. ESPECIFICACIONES

5.1 Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de harinas deben cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 1

Tabla 1

PARAMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	150	180
Sólidos sedimentables (mL)	10	12
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	150	180

5.1.1 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible promedio diario los valores rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de esta industria

5.1.2 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible instantáneo los valores rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de esta industria

5.1.3 En el caso de que el agua de abastecimiento contenga alguno de los parámetros que se encuentran regulados en esta norma, no será imputable al responsable de la descarga, y éste tendrá el derecho a que la autoridad competente le fije, previa solicitud, condiciones particulares de descarga que tomen en consideración lo anterior

5.2 - Los límites máximos permisibles de coliformes totales medidos como número más probable por cada 100 ml en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de harinas, considerando las aguas de servicios son:

5.2.1 1 000 como límite promedio diario y 1,000 como límite instantáneo en las aguas residuales de los procesos industriales

5.2.2 10,000 como límite promedio diario y 20,000 como límite instantáneo cuando se permita el escurrimiento libre de las aguas residuales de servicios o su descarga a un cuerpo receptor, mezcladas con las aguas residuales del proceso industrial

5.2.3 Sin límite en el caso de que las aguas residuales de servicios se descarguen separadamente y el proceso para su depuración prevea su infiltración en terreno, de manera que no se cause un efecto adverso en los cuerpos receptores.

5.3 Condiciones particulares de descarga

En el caso de que se identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Comisión Nacional del Agua, fijará condiciones particulares de descarga para señalar límites máximos permisibles más estrictos de los parámetros de la tabla 1, además, podrá establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los siguientes parámetros:
Conductividad eléctrica

Nitrógeno total
Sólidos disueltos totales
Temperatura

6. MUESTREO

6.1 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales provenientes de la

industria de fabricación de harinas a cuerpos receptores se obtendrán del análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal, medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la tabla 2.

Tabla 2

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
HASTA 8	4	1	2
MAS DE 8 Y HASTA 12	4	2	3
MAS DE 12 Y HASTA 18	6	2	3
MAS DE 18 Y HASTA 24	6	3	4

6.2 En el caso que durante el periodo de operación del proceso generador de la descarga, esta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente, la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los parámetros contaminantes

6.3 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los formatos que establezca la autoridad competente.

7. METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 1, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las normas mexicanas referidas en el punto 3

8. VIGILANCIA

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por conducto de la Comisión Nacional del Agua es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana coordinándose con la Secretaría de Marina cuando las descargas sean al mar y con la Secretaría de Salud cuando se trate de saneamiento ambiental

9. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables

10. BIBLIOGRAFIA

10.1 APHA AWWA WPCF 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales) 18a Edición E.U.A.

10.2 Code of Federal Regulations 40 Protection of Environmental 1992 (Codigo de Normas Federales 40 Protección al Ambiente) E.U.A.

10.3 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales 1988 Gordon M. Fair, John Ch. Garey Limusa Mexico

10.4 Industrial Water Pollution Control, 1989 (Control de la Contaminación Industrial del Agua)

Eckenfelder W.W. Jr. 2a Edición McGraw-Hill International Editions E.U.A.

10.5 Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988 Sheppard T. Powell Ediciones Ciencia y Técnica, S.A 1a Edición Volúmenes 1 al 4 México

10.8 Manual del Agua, 1989 Frank N. Kemmer John McCallion Ed. McGraw-Hill Volúmenes 1 al 3 México

10.7 USEPA Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la USEPA para Guías de Límites de Efluentes y Estándares de Evaluación de Nuevas Fuentes para 1974).

10.8 Water Treatment Chemicals An Industrial Guide, 1991 (Tratamiento Químico del Agua Una Guía Industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications E.U.A.

10.9 Water Treatment Handbook 1991 (Manual de Tratamiento de Agua) Degremont 6a Edición Vol. I y II E.U.A.

10.10 Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse 1991 (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso) Metcalf and Eddy, McGraw-Hill International Editions 3a edición E.U.A.

11. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

11.1 Esta norma oficial mexicana no coincide con ninguna norma internacional

12. VIGENCIA

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación

12.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-006/88 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 1988

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres. El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Luján - Rúbrica

NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-007-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Desarrollo Social

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 5a fracciones VIII y XV, 8a fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 38 fracción II 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, 85 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales, Primero y Segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas manas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de la industria de la cerveza y de la malta, provocan efectos adversos en los ecosistemas por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles que deberán satisfacer dichas descargas

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-007/93, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la cerveza y de la malta, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1993 con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 10 de julio de 1993, la sustitución de la clave NOM-PA-CCA-007/93, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave NOM-CCA-007-ECOL/1993, que en lo subsecuente se aplicará

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V número especial de octubre de 1993

Que mediante oficio de fecha 13 de octubre de 1993, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua, expresó su conformidad con el contenido y expedición de la presente norma oficial mexicana.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-007-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE LA CERVEZA Y DE LA MALTA.

PREFACIO

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
- Instituto Nacional de Ecología
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- SECRETARIA DE MARINA
- Dirección General de Oceanografía Naval
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL
- Subsecretaria de Minas e Industria Básica
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
- Comisión Nacional del Agua
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- SECRETARIA DE SALUD
- Dirección General de Salud Ambiental
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
- Dirección de Ecología
- GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
- Secretaría de Ecología
- PETROLEOS MEXICANOS
- Gerencia de Protección Ambiental
- CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)
- CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN)
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la cerveza y de la malta

2. CAMPO DE APLICACION

La presente norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de

NORMA Oficial Mexicana - NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Desarrollo Social

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 5o fracciones VIII y XV, 8o fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales, Primero y Segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología respectivamente y

CONSIDERANDO

Que las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a las redes colectoras, nos cuencas, cauces, vasos, aguas manjadas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales provocan efectos adversos en los ecosistemas por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles que deberán satisfacer dichas

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-031/93 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1993 con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 1o de julio de 1993 la sustitución de la clave NOM-PA-CCA-031/93 con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave NOM-CCA-031-ECOL/1993, que en lo subsecuente identificará

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, el análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico estuvieron a disposición del público para su consulta

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizando las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V número especial de octubre de 1993

Que mediante oficio de fecha 13 de octubre de 1993 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional

de Agua, expresó su conformidad con el contenido y expedición de la presente norma oficial mexicana

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-031-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA, ACTIVIDADES AGROINDUSTRIALES, DE SERVICIOS Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.

PREFACIO

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL

Instituto Nacional de Ecología

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

SECRETARIA DE MARINA

Dirección General de Oceanografía Naval

SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL

Subsecretaría de Minas e Industria Básica

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

Comisión Nacional del Agua

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

SECRETARIA DE SALUD

Dirección General de Salud Ambiental

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Dirección de Ecología

GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO

Secretaría de Ecología

PETROLEOS MEXICANOS

Gerencia de Protección Ambiental

CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)

CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN)

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal

2. CAMPO DE APLICACION

La presente norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal

3. REFERENCIAS

- NMX-AA-3 Aguas Residuales-Muestreo
- NMX-AA-4 Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales-Método del cono imhoff
- NMX-AA-5 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción Soxhlet
- NMX-AA-7 Aguas-Determinación de la temperatura-Método visual con termómetro
- NMX-AA-8 Aguas-Determinación de pH-Método potenciométrico

competencia, identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que estas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor, podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en la tabla 1 y, en su caso, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideren aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros los siguientes

- Color
- Fosforo total
- Sulfuros
- Nitrógeno total
- Alcalinidad/acidez
- Sólidos disueltos totales
- Tóxicos orgánicos
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Sólidos suspendidos totales
- Metales pesados que no se incluyen en la tabla 1
- Hidrocarburos que no se incluyen en Toxicos organicos

5.3.1 Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se considerarán los incluidos en el Anexo A de la norma oficial mexicana NOM-CCA-001-ECOL/1993 referida en el punto 3

5.4 Los responsables de las descargas tendrán las siguientes obligaciones y derechos

5.4.1 Tendrán la obligación de realizar una vez al año los análisis del total de los parámetros comprendidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana

5.4.2 Tendrán el derecho de ser eximidos de punto anterior y de presentar futuros resultados de mediciones, respecto de aquellos parámetros que comprueben técnicamente que no se pueden generar en sus procesos productivos, ni derivar de sus matenas primas, mediante un reporte técnico acompañado de un análisis representativo del efluente que comprenda todos los parámetros de la Tabla 1

5.4.3 Cuando el responsable de la descarga lleve a cabo cambios sustanciales en el proceso, que tenga como consecuencia una modificación de las características de las descargas deberá reportarlo inmediatamente a la autoridad acompañado de un análisis de sus efluentes

5.5 Los responsables de las descargas deberán incluir en los reportes de la calidad de las aguas residuales a que se refiere la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, los valores de los parámetros que resulten procedentes de conformidad con lo previsto en los puntos 5.2, 5.3, y 5.4 de esta norma oficial mexicana

5.6 En el caso de que el responsable de la descarga, aún con un tratamiento secundario compruebe que no existe una tecnología accesible para cumplir con alguno de los parámetros fijados en la Tabla 1, tendrá el derecho de solicitar a la autoridad competente se le fijen condiciones particulares de descarga para este parámetro

6. MUESTREO

6.1 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal provenientes de la industria, actividades agroindustriales servicios y el tratamiento de aguas residuales a que se refiere esta norma oficial mexicana, se obtendrán del análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de muestras simples tomadas estas en volumen proporcional al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo de acuerdo con la tabla 2

Tabla 2

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
HASTA 8	4	1	2
MAS DE 8 Y HASTA 12	4	2	3
MAS DE 12 Y HASTA 18	6	2	3
MAS DE 18 Y HASTA 24	6	3	4

6.2 En el caso de que en el periodo de operación del proceso generador de la descarga, esta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los parámetros contaminantes

6.3 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

7. METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 1, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las normas mexicanas referidas en el punto 3

En caso de fuerza mayor, el responsable de la descarga puede solicitar la aprobación del método alternativo para determinar cianuros, a la autoridad competente

8. VIGILANCIA

El Departamento del Distrito Federal, las Autoridades Estatales y Municipales correspondientes, en el ámbito de su competencia, son los encargados de vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana

9. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables

10. BIBLIOGRAFIA

- 10.1 APHA, AWWA WPCF 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales) 18a Edición E U A
- 10.2 Code of Federal Regulations 40 Protection of Environmental 1992 (Código de Normas Federales 40 Protección al Ambiente) E U A
- 10.3 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, 1988 Gordon M. Fair, John Ch Gerey, Limusa México
- 10.4 Industrial Water Pollution Control, 1989 (Control de la Contaminación Industrial del

Agua). Eckenfelder WW Jr 2a. Edición McGraw-Hill International Editions E.U.A.

10.5 Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988 Sheppard T Powell Ediciones Ciencia y Técnica, S.A 1a Edición. Volúmenes 1 al 4 México

10.6 Manual del Agua, 1989 Frank N Kemmer John McCallion Ed McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3 México

10.7 U S E P A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la U S E P A para Guías de Límites de Efluentes y Estándares de Evaluación de Nuevas Fuentes para 1974)

10.8 Water Treatment Chemicals An Industrial Guide, 1991 (Tratamiento Químico del Agua Una Guía Industrial) Fick, Ernest W. Noyes Publications E U A

10.9 Water Treatment Handbook, 1991, (Manual de Tratamiento de Agua) Degremont 6a Edición Vol 1 y II E.U.A.

10.10 Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 1991 (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso). Metcalf and Eddy, McGraw-Hill International Editions 3a edición E U A

11. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

11.1. Esta norma oficial mexicana no coincide con ninguna norma internacional

12. VIGENCIA

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación y queda a juicio de la autoridad competente, el plazo para el cumplimiento total o parcial de los límites máximos permisibles de los parámetros señalados en esta norma.

12.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-031/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1991.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres - El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Lujan.- Rúbrica.

- NMX-AA-39 Aguas-Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes)-Método colorimétrico del azul de metileno
- NMX-AA-44 Determinación de cromo hexavalente en agua-Método colorimétrico de la difenil carbazida
- NMX-AA-50 Determinación de fenoles en agua-Método espectrofotométrico bipirina de la 4-aminoantipirina
- NMX-AA-51 Análisis de agua-Determinación de metales-Método espectrofotométrico de absorción atómica
- NMX-AA-58 Análisis de agua-Determinación de cianuros-Método colorimétrico y titulométrico
- NMX-AA-77 Análisis de agua-Determinación de fluoruros-Método colorimétrico del SPADNS
- NMX-AA-78 Análisis de agua-Determinación del zinc-Métodos colorimétricos de la ditzona I, la ditzona II y espectrofotometría de absorción atómica
- NMX-AA-93 Protección al ambiente-Contaminación del agua-Determinación de la conductividad eléctrica
- NOM-CCA-001-ECOL Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales

4. DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se asumen las definiciones que se mencionan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas además de las siguientes:

- 4.1 Aguas residuales de actividades industriales

Las que provienen de las actividades de elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera, porcícola, avícola y establos

4.2 Aguas residuales de los servicios

Las que provienen de los servicios de reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, lavanderías, baños públicos, hospitales, hoteles, restaurantes, revelado de fotografía, etc

4.3 Aguas residuales Industriales

Las que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias.

4.4 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar varias muestras simples.

4.5 Muestra simple

La que se tome ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales medido en el sitio y en el momento del muestreo.

4.6 Sistema de alcantarillado

Es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde hay una zona industrial poblada o comunidad en general

4.7 Parámetro

Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una manera simple las características principales de un contaminante

5. ESPECIFICACIONES

5.1 Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento

de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal a que se refiere

esta norma debe cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 1

Tabla 1

PARAMETROS	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura (°C)	-	40°C (313° K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10
Grasas y aceites (mg/L)	60	100
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	5,000	8,000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5	10
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0
Cromo total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3	6
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4	8
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	1.0	2.0
Zinc (mg/L)	6	12
Fenoles (mg/L)	5	10
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30	60

5.1.1 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible promedio diario los valores rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales

5.1.2 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible instantáneo los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas, de las aguas residuales

5.1.3 En el caso de que el agua de alcantarillado contenga alguno de los parámetros que se encuentran regulados en esta norma, no será imputable al responsable de la descarga, y tendrá el derecho a que la autoridad

competente le fije, previa solicitud, condiciones particulares de descarga que tomen en consideración lo anterior

5.2 No se deberán descargar o depositar en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, sustancias o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas correspondientes, sustancias sólidas o pastosas que puedan causar obstrucciones al flujo en dichos sistemas, así como los que puedan solidificarse, precipitarse o aumentar su viscosidad a temperaturas de entre 5°C (278°K) a 40°C (313°K) o lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales

5.3 Condiciones particulares de descarga

Cuando las autoridades del Distrito Federal, estado o municipales en el ámbito de su

competencia, identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que estas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor, podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en la tabla 1 y, en su caso, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideren aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros los siguientes

- Color
- Fosforo total
- Sulfuros
- Nitrógeno total
- Alcalinidad/acidez
- Sólidos disueltos totales
- Tóxicos orgánicos
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Sólidos suspendidos totales
- Metales pesados que no se incluyen en la tabla 1
- Hidrocarburos que no se incluyen en Tóxicos orgánicos

5.3.1 Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se consideraran los incluidos en el Anexo A de la norma oficial mexicana NOM-CCA-001-ECOU/1993 referida en el punto 3

5.4 Los responsables de las descargas tendrán las siguientes obligaciones y derechos

5.4.1 Tendrán la obligación de realizar una vez al año los análisis del total de los parámetros comprendidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana

Tabla 2

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
HASTA 8	4	1	2
MAS DE 8 Y HASTA 12	4	2	3
MAS DE 12 Y HASTA 18	6	2	3
MAS DE 18 Y HASTA 24	6	3	4

5.4.2 Tendrán el derecho de ser eximidos del punto anterior y de presentar futuros resultados de mediciones, respecto de aquellos parámetros que comprueben técnicamente que no se pueden generar en sus procesos productivos, ni derivar de sus materias primas, mediante un reporte técnico acompañado de un análisis representativo del efluente que comprenda todos los parámetros de la Tabla 1

5.4.3 Cuando el responsable de la descarga lleve a cabo cambios sustanciales en el proceso, que tenga como consecuencia una modificación de las características de las descargas, deberá reportarlo inmediatamente a la autoridad acompañado de un análisis de sus efluentes

5.5 Los responsables de las descargas deberán incluir en los reportes de la calidad de las aguas residuales a que se refiere la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, los valores de los parámetros que resulten procedentes de conformidad con lo previsto en los puntos 5.2, 5.3, y 5.4 de esta norma oficial mexicana

5.6 En el caso de que el responsable de la descarga, aún con un tratamiento secundario compruebe que no existe una tecnología accesible para cumplir con alguno de los parámetros fijados en la Tabla 1, tendrá el derecho de solicitar a la autoridad competente se le fijen condiciones particulares de descarga para este parámetro

6. MUESTREO

6.1 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal provenientes de la industria, actividades agroindustriales, servicios y el tratamiento de aguas residuales a que se refiere esta norma oficial mexicana, se obtendrán del análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de muestras simples tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo de acuerdo con la tabla 2

6.2 En el caso de que en el período de operación del proceso generador de la descarga, esta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los parámetros contaminantes

6.3 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente

7. METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 1, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las normas mexicanas referidas en el punto 3

En caso de fuerza mayor, el responsable de la descarga puede solicitar la aprobación del método alternativo para determinar cianuros, a la autoridad competente

8. VIGILANCIA

El Departamento del Distrito Federal, las Autoridades Estatales y Municipales correspondientes, en el ámbito de su competencia, son los encargados de vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana

9. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables

10. BIBLIOGRAFIA

- 10.1 APHA AWWA WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales) 18a Edición E.U.A
- 10.2 Code of Federal Regulations 40 Protection of Environmental 1992 (Código de Normas Federales 40 Protección al Ambiente) E.U.A
- 10.3 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, 1988 Gordon M. Fair, John Ch. Gerey, Limusa México
- 10.4 Industrial Water Pollution Control, 1989 (Control de la Contaminación Industrial del

Agua) Eckenfelder WW Jr 2a Edición McGraw-Hill International Editions E.U.A.

10.5 Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988 Sheppard T. Powell Ediciones Ciencia y Técnica, S.A 1a Edición. Volúmenes 1 al 4. México

10.6 Manual del Agua, 1989 Frank N. Kemmer, John McCallion Ed McGraw-Hill Volúmenes 1 al 3 México

10.7 USEPA. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la USEPA para Guías de Límites de Efluentes y Estándares de Evaluación de Nuevas Fuentes para 1974)

10.8 Water Treatment Chemicals An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento Químico del Agua Una Guía Industrial) Flick, Ernest W Noyes Publications E.U.A.

10.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de Tratamiento de Agua) Degremont 6a Edición Vol 1 y II E.U.A.

10.10 Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 1991 (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso) Metcalf and Eddy, McGraw-Hill International Editions 3a edición E.U.A.

11. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

11.1 Esta norma oficial mexicana no coincide con ninguna norma internacional.

12. VIGENCIA

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación y queda a juicio de la autoridad competente, el plazo para el cumplimiento total o parcial de los límites máximos permisibles de los parámetros señalados en esta norma

12.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-031/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1991.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres - El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Lujan - Rúbrica.

NORMA Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal:

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.

GABRIEL QUADRI DE LA TORRE, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 50, fracciones VIII y XV; 80, fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 85, 86 fracciones I, III y VI, 92 fracciones II y IV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales; primero y segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las Normas Oficiales Mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal, provocan efectos adversos en los ecosistemas, por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles de contaminantes que deberán satisfacer dichas descargas.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de junio de 1994, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica Volumen VI, número especial de diciembre de 1994.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 10 de noviembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES PROVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO O DRENAJE MUNICIPAL.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron:

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
Instituto Nacional de Ecología
- SECRETARIA DE MARINA
Dirección General de Oceanografía Naval

- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL
 - . Subsecretaría de Minas e Industria Básica
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
 - . Comisión Nacional del Agua
 - . Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- SECRETARIA DE PESCA
 - . Dirección General de Acuacultura
- PETROLEOS MEXICANOS
 - . Gerencia de Protección Ambiental
- CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)
- CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN)
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)
- ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ)
- BECTON DICKINSON DE MEXICO
- EMPRESA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA EN LA ZONA DE CIVAC
- F. J. SALCEDO Y CIA.

1. Objeto

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

2. Campo de aplicación

La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

3. Referencias

- NMX-AA-3 Aguas Residuales-Muestreo
- NMX-AA-4 Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales-Método del cono imhoff
- NMX-AA-5 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción soxhlet
- NMX-AA-8 Aguas-Determinación de pH-Método potenciométrico
- NMX-AA-28 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno-Método de incubación por diluciones
- NMX-AA-30 Análisis de aguas-Demanda química de oxígeno-Método de reflujo del dicromato
- NMX-AA-34 Determinación de sólidos en agua-Método gravimétrico
- NMX-AA-39 Agua-Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes)-Método colorimétrico del azul de metileno
- NOM-CCA-001-ECOL Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las Centrales Termoelectricas Convencionales

4. Definiciones

Para efectos de esta norma se asumen las definiciones que se mencionan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, además de las siguientes:

4.1 Límite máximo permisible promedio diario

Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

4.2 Límite máximo permisible instantáneo

Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

4.3 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar varias muestras simples.

4.4 Muestra simple o instantánea

La que se tome ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.

4.5 Parámetro

Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una manera simple las características principales de un contaminante.

5. Especificaciones

5.1 Las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal deben cumplir con las especificaciones que se indican en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1
Para centros de poblaciones hasta de 80,000 habitantes

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100	150
Grasas y aceites (mg/L)	20	30
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	2.0
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100	150
Demanda química de oxígeno (mg/L)	200	250
Substancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	5	8

Tabla 2
Para centros de poblaciones mayores de 80,000 habitantes.

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	80
Grasas y aceites (mg/L)	10	20
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	1.2
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	50	80
Demanda química de oxígeno (mg/L)	100	160
Substancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	5	8

5.2 Condiciones particulares de descarga

En el caso de que se identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la autoridad competente, fijará condiciones particulares de descarga, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideren aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros:

- Coliformes totales
- Color
- Conductividad eléctrica
- Fósforo total
- Hidrocarburos que no se incluyen en, tóxicos orgánicos
- Materia flotante
- Metales pesados
- Nitrogeno total
- Sólidos disueltos totales
- Turbiedad
- Tóxicos orgánicos

5.2.1 Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se considerarán los incluidos en el Anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-001-ECOL referida en el punto 3.

5.2.2 En el caso en que las descargas sean en terrenos o a zonas marinas, y tomando en consideración su capacidad de recepción, dilución y dispersión, el responsable de la descarga tendrá la opción de solicitar a la autoridad competente, le establezca disposiciones diferentes a las consignadas en esta norma.

6. Muestreo

6.1 Los valores de los parámetros de los contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de drenaje o alcantarillado municipal a cuerpos receptores se obtendrán del análisis de muestras compuestas, de acuerdo con la Tabla 3.

Tabla 3

PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
CONTINUO	4 - 6	2	4

6.2 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

7. Métodos de prueba

Para determinar los valores de los parámetros señalados en las Tablas 1 y 2 se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las Normas Mexicanas referidas en el punto 3.

8. Vigilancia

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y en coordinación con la Secretaría de Marina cuando las descargas sean al mar, vigilará el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

9. Sanciones

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

10. Bibliografía

10.1 APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition. U.S.A. (APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales. 18ava. Edición. E.U.A.).

10.2 Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. U.S.A. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente 1992. E.U.A.).

10.3 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, 1988 Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.

10.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. Eckenfelder W.W. Jr. 2nd Edition McGraw-Hill International Editions. U.S.A. (Control de la Contaminación Industrial del Agua, 1989. 2a. Edición McGraw-Hill Ediciones Internacionales E.U.A.).

10.5 Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1a. Edición. Volúmenes I al IV. México.

10.6 Manual del Agua, 1989. Frank N. Kemmer John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes I al III. México.

10.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la U.S.E.P.A. para Guías de Límites de Efluentes y Estándares de Evaluación de Nuevas Fuentes para 1974).

10.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. U.S.A. Flick, Ernest W. Noyes Publications, U.S.A. (Tratamiento Químico del Agua. Una Guía Industrial 1991. E.U.A.).

10.9 Water Treatment Handbook, 1991. Degremont U.S.A. 6th Edition. Vol. I y II. (Manual de Tratamiento de Agua, 1991 Degremont. E.U.A. 6a. Edición. Volúmenes I y II.).

10.10 Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 1991. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3rd edition. U.S.A. (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso, 1991. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill Ediciones Internacionales 3a. edición. E.U.A.).

11. Concordancia con normas internacionales

11.1. Esta Norma Oficial Mexicana no coincide con ninguna norma internacional.

12. Vigencia

12.1 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor el día 1o. de enero de 1997.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los quince días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y cuatro.- El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Gabriel Quadri de la Torre.- Rúbrica.

NORMA Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Desarrollo Social.

GABRIEL QUADRI DE LA TORRE, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones VIII y XV; 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y

173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales; primero y segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las Normas Oficiales Mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, provocan efectos adversos en los ecosistemas, por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles de contaminantes que deberán satisfacer dichas descargas.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de junio de 1994, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica Volumen VI, número especial de diciembre de 1994.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 10 de noviembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-068-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron:

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
Instituto Nacional de Ecología
- SECRETARIA DE MARINA
Dirección General de Oceanografía Naval
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL
Subsecretaría de Minas e Industria Básica
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
Comisión Nacional del Agua
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- SECRETARIA DE PESCA
Dirección General de Acuicultura

- PETROLEOS MEXICANOS
Gerencia de Protección Ambiental
- CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)
- CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN)
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)
- ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ)
- BECTON DICKINSON DE MEXICO
- EMPRESA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA EN LA ZONA DE CIVAC
- F. J. SALCEDO Y CIA.

1. Objeto

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.

2. Campo de aplicación

La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los procesos de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.

3. Referencias

- NMX-AA-3 Aguas Residuales-Muestreo
- NMX-AA-4 Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales-Método del cono imhoff
- NMX-AA-5 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción soxhlet
- NMX-AA-8 Aguas-Determinación de pH-Método potenciométrico
- NMX-AA-30 Análisis de aguas-Demanda química de oxígeno-Método de reflujo del dicromato
- NMX-AA-34 Determinación de sólidos en agua-Método gravimétrico
- NMX-AA-42 Análisis de aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales-Método de tubos múltiples de fermentación
- NMX-AA-93 Protección al ambiente-Contaminación del agua-Determinación de la conductividad eléctrica
- NOM-CCA-001-ECOL Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las Centrales Termoeléctricas Convencionales

4. Definiciones

Para efectos de esta norma se asumen las definiciones que se mencionan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, además de las siguientes:

4.1 Aguas residuales de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.

Son las que provienen de los procesos de extracción por prensado y/o solventes, refinación (desgomado, neutralizado, blanqueado, deodorizado, desencerado y/o invernado), fraccionación, acidulación e hidrogenación

4.2 Límite máximo permisible promedio diario

Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales provenientes de esta industria.

4.3 Límite máximo permisible instantáneo

Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales provenientes de esta industria.

4.4 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar varias muestras simples.

4.5 Muestra simple o instantánea

La que se tome ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.

4.6 Parámetro

Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una manera simple las características principales de un contaminante.

5. Especificaciones

5.1 Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de grasas y aceites comestibles de origen animal y vegetal deben cumplir con las especificaciones que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

PARAMETROS	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Demanda química de oxígeno (mg/L)	290	360
Grasas y aceites (mg/L)	50	80
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	2.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	130	160

5.1.1 En el caso de que el agua de abastecimiento contenga alguno de los parámetros que se encuentran regulados en esta norma, no será imputable al responsable de la descarga, y éste podrá solicitar a la autoridad competente, le fije condiciones particulares de descarga.

5.2 Los límites máximos permisibles de coliformes totales medidos como número más probable por cada 100 ml en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal son:

5.2.1 1,000 como límite promedio diario y 1,000 como límite instantáneo en las aguas residuales de los procesos industriales.

5.2.2 10,000 como límite promedio diario y 20,000 como límite instantáneo cuando se permita el escurrimiento libre de las aguas residuales de servicios o su descarga a un cuerpo receptor, mezcladas con las aguas residuales del proceso industrial.

5.2.3 Sin límite, en el caso de que las aguas residuales de servicios se descarguen separadamente y el proceso para su depuración prevea su infiltración en terreno, de manera que no se cause un efecto adverso en los cuerpos receptores.

5.3 Condiciones particulares de descarga

En el caso de que se identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la autoridad competente, fijará condiciones particulares de descarga, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideren aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros:

- Conductividad eléctrica
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Fósforo total
- Hidrocarburos que no se incluyen en tóxicos orgánicos
- Metales pesados
- Sólidos disueltos totales
- Sustancias activas al azul de metileno
- Temperatura
- Tóxicos orgánicos

5.3.1 Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se considerarán los incluidos en el Anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-001-ECOL referida en el punto 3.

5.3.2 En el caso en que las descargas sean en terrenos o a zonas marinas, y tomando en consideración su capacidad de recepción, dilución y dispersión, el responsable de la descarga tendrá la opción de solicitar a la autoridad competente, le establezca disposiciones diferentes a las consignadas en esta norma

6. Muestreo

6.1 Los valores de los parámetros de los contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de grasas y aceites comestibles de origen animal y vegetal a cuerpos receptores se obtendrán del análisis de muestras compuestas, de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
HASTA 8	4	1	2
MAS DE 8 Y HASTA 12	4	2	3
MAS DE 12 Y HASTA 18	6	2	3
MAS DE 18 Y HASTA 24	6	3	4

6.2 En el caso que durante el periodo de operación del proceso generador de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente, la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los parámetros contaminantes.

6.3 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales, obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

7. Métodos de prueba

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la Tabla 1, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las Normas Mexicanas referidas en el punto 3.

8. Vigilancia

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y en coordinación con la Secretaría de Marina cuando las descargas sean al mar, vigilará el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

9. Sanciones

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

10. Bibliografía

10.1 APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. U.S.A. (APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales. 18ava. Edición. E.U.A.).

10.2 Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. U.S.A. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente 1992. E.U.A.).

10.3 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, 1988 Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.

10.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. Eckenfelder W.W. Jr. 2nd Edition McGraw-Hill International Editions U.S.A. (Control de la Contaminación Industrial del Agua, 1989. 2a. Edición McGraw-Hill Ediciones Internacionales E.U.A.).

10.5 Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1a Edición. Volúmenes I al IV. México.

10.6 Manual del Agua, 1989. Frank N. Kemmer John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes I al III. México.

10.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la U.S.E.P.A. para Guías de Límites de Efluentes y Estandares de Evaluación de Nuevas Fuentes para 1974).

10.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. U.S.A. Flick, Ernest W. Noyes Publications. U.S.A. (Tratamiento Químico del Agua. Una Guía Industrial 1991. E.U.A.).

10.9 Water Treatment Handbook, 1991. Degremont U.S.A. 6th. Edition. Vol. I y II. (Manual de Tratamiento de Agua, 1991 Degremont. E.U.A. 6a. Edición. Volúmenes I y II.).

10.10 Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 1991. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3rd edition. U.S.A. (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso, 1991. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill Ediciones Internacionales 3a. edición. E.U.A.).

11. Concordancia con normas internacionales

11.1. Esta Norma Oficial Mexicana no coincide con ninguna norma internacional.

12. Vigencia

12.1 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor el día 1o. de mayo de 1995.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los quince días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y cuatro - El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Gabriel Quadri de la Torre.- Rúbrica.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T
Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***
Aguas Residuales: Indicadores, Parámetros de
Calidad y Efectos en el Medio Ambiente

Autor:
Dr. Pedro Martínez Pereda

Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz.

INDICADORES Y PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA

1. INTRODUCCION

Todas las naciones del mundo están luchando por elevar el nivel de vida de los ciudadanos. En general lo consiguen mediante una mayor industrialización y el desarrollo de los recursos naturales en minería, silvicultura, piscicultura y agricultura. Estos adelantos traen consigo la necesidad de generar energía, lo que tiene un efecto perjudicial en el ambiente. El agua limpia, en particular, se está convirtiendo en un elemento escaso. Aunque un tratamiento adecuado puede volver utilizable el agua de ríos y otros cuerpos contaminados, desde luego es más razonable impedir que éstos se contaminen. De esta manera se protege un valioso recurso natural capaz de proveer aguas limpias para recreo y para múltiples aplicaciones industriales y agrícolas. El costo de protegerlas es comparable con el del tratamiento para depurarlas. Por tanto, se necesita un plan para mantener "pura" el agua de cualquier país.

Para lograr una comprensión clara de los diferentes procedimientos aplicables en el tratamiento de las aguas residuales, es necesario conocer de antemano ciertas características cualitativas tanto de las aguas residuales como de aquellas en las que éstas se vierten. Por lo tanto, esta presentación tiene por objeto describir, en forma general, los principales parámetros que se utilizan en Ingeniería Sanitaria para indicar la calidad de las aguas desde el punto de vista de su polución.

2. CARACTERISTICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Hasta hace unas dos décadas el hombre se conformaba con caracterizaciones más bien

de tipo general sobre la calidad del agua. Si se apreciaba limpia y transparente al sentido de la vista, se consideraba buena. Naturalmente, había excepciones importantes en el área de la salud pública, una vez que se conocían las relaciones entre el agua y las enfermedades. No obstante, la preocupación por la calidad podía resolverse por otras alternativas distintas a la de su administración, como por ejemplo, recurrir a fuentes más distantes.

El conocimiento de la naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales es esencial en el diseño y operación de los sistemas de captación, tratamiento y disposición, así como para la administración de la calidad del ambiente.

En la Tabla 1 se indican los principales parámetros que se utilizan comunmente para caracterizar las aguas residuales, y en la Tabla 2 se presenta la composición de las aguas residuales domésticas. Las determinaciones analíticas varían desde los análisis químicos cuantitativos hasta los físicos y biológicos, de carácter más bien cualitativo. Muchos de estos parámetros están interrelacionados. Por ejemplo, la temperatura, que es un parámetro físico, afecta tanto la actividad biológica como la cantidad de gases disueltos en las aguas, parámetros estos biológico y químico respectivamente. Los métodos analíticos para determinar estos parámetros se encuentran explicados detalladamente en los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales (1). Otra referencia recomendable es el libro Chemistry for Sanitary Engineers (2).

Nota: Los números entre paréntesis se refieren a la bibliografía al final de este trabajo.

TABLA I CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

2a

PARAMETROS	FUENTE
F I S I C A S	
Sólidos	Municipal e Industrial
Temperatura	Municipales e Industriales
Color	Municipales e Industriales
Olor	Alcantarillado, industriales
Q U I M I C A S	
Orgánicos:	
Proteínas	Municipales y comerciales
Carbohidratos	Municipales y comerciales
Grasas y aceites	Municipales, comerciales e industriales
Detergentes	Municipales e industriales
Fenoles	Industriales
Insecticidas	Agrícolas
Inorgánicos :	
pH	Industriales
Cloruros	Municipales, infiltración
Alcalinidad	Municipales e infiltración
Nitrógeno	Municipales y agrícolas
Fósforo	Municipales, industriales y naturales
Azufre	Industriales
Compuestos tóxicos	Industriales e infiltración
Metales pesados	Industriales
Gases :	
Oxígeno	Infiltración superficial
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de desechos municipales
Metano	Descomposición de desechos municipales

B I O L O G I C O S

2b

Protista	Municipales, plantas de tratamiento
Virus	Municipales
Plantas	Cuerpos de agua, plantas de tratamiento
Animales	Cuerpos de agua, plantas de tratamiento

T A B L A 2

2 c

COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
(Valores en mg/l a menos que se especifique otro)

INDICADORES	CONCENTRACION		
	MAXIMA	MEDIA	MINIMA
Sólidos totales	1,200	700	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml/l)	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días, 20°C)	300	200	100
Carbón orgánico total (COT)	300	200	100
Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	1,000	500	250
Nitrógeno total (N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como Ca CO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

2.1 CARACTERISTICAS FISICAS.

Las más importantes en las aguas residuales son: contenido total de sólidos (material flotante, materia en suspensión y materia coloidal), temperatura, color y olor.

Sólidos Totales.

Proviene del agua de abastecimiento y del uso doméstico e industrial principalmente.

Definición: Materia que queda como residuo después de evaporar y secar una muestra de agua a 103-105 °C.

La materia que tiene una presión de vapor significativa a esta temperatura evidentemente se evaporará y, por tanto, no se considerará como sólido. La determinación es sencilla y se emplean métodos gravimétricos. Los sólidos totales pueden clasificarse como suspendidos o filtrables pasando un volumen conocido a través de un filtro.

El filtro se selecciona de manera que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea de aproximadamente una micra. Los sólidos suspendidos incluyen la fracción que se asentará en el fondo de un recipiente en forma de cono (cono Imhoff), sólidos sedimentables en un período de 60 minutos. Estos sólidos son una estimación de la cantidad de lodos que se podría remover por medio de una sedimentación.

Los sólidos filtrables se dividen en coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste de aquellas partículas con un diámetro aproximado de 1 μ a 1 μ . Los sólidos disueltos consisten de moléculas orgánicas e inorgánicas y de iones que están presentes en verdadera solución en el agua. Para remover estas partículas se requiere en general la oxidación biológica o la coagulación, seguida de sedi-

mentación. En la Figura 1 se indica una clasificación de las partículas encontradas en el agua en función de su tamaño.

Cada una de las categorías de sólidos descritas anteriormente pueden clasificarse a su vez en base a su volatilidad a 600 °C. A esta temperatura, la fracción orgánica se evaporará en forma de gas, y la fracción inorgánica permanecerá en forma de ceniza, de aquí los términos sólidos suspendidos: volátiles y fijos. Los análisis de sólidos volátiles se aplican comúnmente a los lodos de las aguas residuales municipales para determinar su grado de estabilidad biológica. En la Figura 2 se indica la clasificación de los sólidos para aguas residuales domésticas de concentración media.

Temperatura.

La temperatura del agua es un parámetro importante debido a su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y en las tasas de reacción, así como en los usos benéficos del agua. El incremento en la temperatura puede causar el cambio de las especies piscícolas de un lugar, por ejemplo.

Por otra parte, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El incremento en las tasas de las reacciones bioquímicas cuando la temperatura aumenta, aunado a la disminución en el oxígeno disuelto puede causar disminuciones peligrosas en el contenido de oxígeno disuelto en las aguas. Un cambio súbito en la temperatura puede resultar en una tasa elevada de mortandad en la vida acuática.

Color.

Historicamente, se utilizaba el término "condición" para describir el estado de

las aguas residuales domésticas. El término se refiere a la edad de las aguas residuales. Se determina cualitativamente por su color y olor. Las aguas residuales son generalmente grises; conforme los compuestos orgánicos se simplifican por la acción de las bacterias, el contenido de oxígeno disuelto disminuye hasta cero y el color cambia a negro. En estas condiciones se dice que las aguas residuales están en estado séptico. Muchos desechos industriales tienen color y al combinarse con las aguas domésticas hacen que estas cambien de color.

Olor.

Se debe, en general, a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales domésticas iniciales tienen un olor característico ligeramente desagradable pero mucho menos que el de las aguas sépticas. Estas despiden un olor a sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos al reducir los sulfatos o sulfuros. Las aguas residuales industriales muchas veces contienen compuestos olorosos o compuestos que producen olores en los procesos de tratamiento.

Turbiedad.

La turbiedad puede ser causada por una amplia variedad de materiales suspendidos, con un ámbito de tamaño desde el coloidal hasta las partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos es debida a dispersiones normales.

Significado Sanitario.

La turbiedad es de importancia en las aguas de abastecimiento público por tres razones principales:

Antiestético: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.

Filtrabilidad.- La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.

Desinfección.- La desinfección en las aguas de abastecimiento es usualmente por cloro u ozono. Para ser efectiva deberán estar en contacto el agente y los organismos a eliminar.

Unidad Patrón de Turbiedad.

La unidad patrón de turbiedad, fué definida como la obstrucción óptica de la luz, causada por una ppm de sílice insoluble en agua destilada, de donde,

$$1 \text{ ppm de SiO}_2 = 1 \text{ unidad de turbiedad.}$$

2.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS.

Materia orgánica.

En las aguas residuales de concentración media, aproximadamente el 75 por ciento de los sólidos suspendidos y el 40 por ciento de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica.

Los compuestos orgánicos estan formados normalmente de una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno. También estan presentes nitrógeno, azufre, fósforo y hierro. Los grupos principales de compuestos orgánicos que se encuentran en las aguas residuales municipales son (3):

Proteinas	40 - 60 %
Carbohidratos	25 - 50 %
Grasas y aceites	10 %

La urea es otro compuesto orgánico importante en las aguas residuales. Este compuesto sólo se encuentra en desechos muy recientes.

Además de los compuestos indicados, las aguas residuales contienen cantidades pequeñas de moléculas orgánicas sintéticas, que varían desde estructuras simples a muy complejas como son: fenoles, detergentes, insecticidas, etc. La presencia de estas sustancias en cantidades cada vez mayores, en los últimos años, ha complicado el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas se degradan muy lentamente por medios biológicos, o simplemente no se degradan.

Proteínas. Son los constituyentes principales del organismo animal. Todos los alimentos crudos, animales o vegetales contienen proteínas. Su estructura química es compleja e inestable, y esta sujeta a muchas formas de descomposición. Algunas son solubles en agua. La química de la formación de proteínas involucra la combinación de un gran número de aminoácidos. Su peso molecular es muy grande (20,000 a 20 millones).

Todas las proteínas contienen carbón, oxígeno e hidrógeno. Además, como característica distintiva, contienen una proporción elevada y aproximadamente constante de nitrógeno, 16 por ciento. En muchos casos están presentes también azufre, fósforo y hierro. Las proteínas junto con la urea, son las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales municipales.

Carbohidratos. Incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibras de madera. Todos estos compuestos se encuentran en las aguas residuales municipales. Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Los carbohidratos comunes contienen seis o un múltiplo de seis átomos de carbón en su molécula, y oxígeno o hidrógeno en las proporciones que estos elementos se hayan en el agua. Algunos carbohidratos, como los azúcares, son solubles en el agua; otros como el almidón no lo son.

Grasas y aceites. Constituyen el tercer componente principal de los alimentos. - El término "grasas" se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas (hidrocarburos, ceras, aceites, aceites minerales, etc) que son extraídos de soluciones acuosas o suspensiones por medio de hexano (la grasa es soluble en el hexano). Los sebos y los aceites son compuestos de alcohol con ácidos grasos. Los glicéridos de los ácidos grasos que son líquidos a temperaturas ordinarias se llaman -- aceites y las que son sólidos, grasas.

Las grasas y aceites de las aguas residuales municipales provienen principalmente de la mantequilla, la manteca de cerdo, los rastros, las áreas de germinación de los cereales, de las semillas, de las nueces, etc.

Las grasas son compuestos sumamente estables y de difícil descomposición por las bacterias. Los ácidos minerales las atacan para formar glicerina y ácidos grasos. En presencia de alcalis (NaOH), la glicerina se libera para formar sales alcalinas de los ácidos grasos, que se conocen como jabones.

La querosina y los aceites lubricantes son derivados del petróleo y del alquitrán de hulla. Contienen esencialmente carbono e hidrógeno. Llegan a los drenajes en volúmenes considerables provenientes de garajes, talleres mecánicos y de las calles. La mayor parte flotan sobre las aguas residuales, aunque una parte se arrastra con los sólidos sedimentables. Tienden a cubrir la superficie del agua. Interfieren con la acción biológica y causan problemas de mantenimiento.

Si las grasas no son removidas antes de verterlas en las aguas receptoras, pueden interferir con la actividad biológica de las aguas superficiales y crear cúmulos de material flotante y forman películas de aspecto desagradable. Algunas normas de control demandan concentraciones inferiores a 15 a 20 mg/l de grasas y aceites en -

aguas residuales que se descargan en aguas naturales y la ausencia de películas iridescentes de aceites.

Detergentes. Son agentes tenso activos que consisten de grandes moléculas orgánicas que son ligeramente solubles en el agua y causan la formación de espuma en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las aguas superficiales en las que se vierten sus efluentes. Tienden a acumularse en la fase aire-agua.

Antes de 1965, en la fabricación de detergentes se utilizaba el sulfonato de alquil-benceno (ABS), sumamente resistente a la degradación biológica. En algunos países el ABS, ha sido reemplazado en los detergentes por sulfonatos lineales de alquilo (LAS), que son biodegradables.

La determinación de sustancias tenso-activas se logra midiendo el cambio en el color de una solución estándar de azul de metileno.

Fenoles. Causan olor y sabor en el agua para bebida, en particular cuando se clora el agua. También imparten sabor a mariscos y pescado en general, aún en cantidades menores. Llegan a las aguas superficiales a través de las aguas residuales industriales. Pueden ser oxidados biológicamente en concentraciones hasta de 500 mg/l.

Insecticidas. Rastros de compuestos orgánicos como insecticidas, herbicidas y otros químicos agrícolas, son tóxicas para la mayoría de las formas de vida acuática. Proviene principalmente de escurrimientos de zonas agrícolas y parques.

La concentración de estos contaminantes se mide por el método de extracción carbono-cloroformo. Se separan los contaminantes del agua, pasando una muestra de agua a través de una columna de carbón activado y extrayendo el contaminante del carbón utilizando cloroformo. Se evapora posteriormente el cloroformo y se separan los contaminantes.

Determinación del contenido orgánico.

Los métodos de aplicación común para determinar el contenido de materia orgánica en las aguas residuales son los siguientes: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbón orgánico total (COT). Recientemente se ha desarrollado otra prueba, la demanda total de oxígeno (DTO). La demanda teórica de oxígeno (DTeO) complementa estas pruebas. que se determina a partir de la fórmula química de la materia orgánica.

D.B.O. Es el parámetro de calidad del agua más ampliamente utilizado para describir la contaminación orgánica. Se aplica tanto a las aguas residuales como a las superficiales.

Definición: Cantidad de oxígeno requerida para estabilizar la materia orgánica biodegradable de un agua residual, por una población heterógena de microorganismos, principalmente bacterias, en condiciones aeróbicas.

La prueba estándar implica la siembra con aguas residuales domésticas, agua de río o agua de descargas industriales; y, su incubación a 20 °C durante un período de 5 días.

Esta determinación involucra la medición del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos durante la oxidación biológica de la materia orgánica. La medición de la DBO es de especial significado en el tratamiento de las aguas residuales y en la administración de la calidad del agua, ya que se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos de DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y para medir la eficiencia de ciertos procesos. También sirve para calcular la tasa a la que se deberá de suministrar oxígeno.

La curva de demanda de oxígeno.

Si se colocan en una incubadora a temperatura controlada, un número suficiente de muestras de agua que contenga materia orgánica biodegradable, y se diluyen con agua que contenga el oxígeno adecuado para mantener condiciones aerobias a lo largo del proceso de degradación; y si además, cada día se analiza un número estadísticamente significativo para determinar la disminución en el contenido de oxígeno disuelto, la gráfica resultante sería parecida a la que se muestra en la Figura 3 y 3a. El análisis de esta curva típica de demanda de oxígeno indica que la DBO se ejerce en dos etapas.

- a. Una curva típica de reacción unimolecular durante el período en el que se obtiene energía de la oxidación de los carbohidratos fácilmente disponibles, y la división de proteínas y otras moléculas con liberación de amonio.
- b. Una línea casi recta durante la etapa de "nitrificación", cuando el amonio se oxida a nitritos y nitratos.

Únicamente la primera de estas dos etapas se ha explorado bien tanto desde el punto de vista experimental como del matemático, debido a que:

- a. La tasa de demanda de oxígeno durante la primera etapa (10 a 20 días) es elevada, y por lo tanto crítica en las aguas receptoras.
- b. La demanda de oxígeno durante la segunda etapa (3 a 6 meses) es menor que el proceso normal de reareación en la naturaleza.

Para asegurarse de obtener resultados significativos, la muestra debe diluirse con un agua especialmente preparada, que se llama agua de dilución, de tal mane-

ra que estén disponibles los nutrientes adecuados y el oxígeno que se requiera durante el período de incubación. Normalmente se preparan varias diluciones a fin de cubrir amplio ámbito de posibles valores de DBO. En la Tabla 3 se indican los ámbitos de DBO que pueden medirse con varias diluciones en base a porcentajes de mezcla y a pipeteo directo de la muestra en la botella.

El agua de dilución debe contener los microorganismos necesarios (siembra) para oxidar la materia orgánica de la muestra.

El período de incubación usualmente es de 5 días a 20°C, pero es posible utilizar otros períodos de tiempo y otras temperaturas. Durante la prueba la temperatura debe mantenerse constante. Después de la incubación, se mide el oxígeno disuelto de la muestra y se calcula la DBO:

a. Para porcentajes de mezcla

$$\text{DBO (mg/l)} = \left[(\text{OD}_t - \text{OD}_i) \frac{100}{\%} \right] - (\text{OD}_t - \text{OD}_s)$$

b. Para pipeteo directo a la botella

$$\text{DBO (mg/l)} = \left[(\text{OD}_t - \text{OD}_i) \frac{\text{Vol. botella}}{\text{ml. muestra}} \right] - (\text{OD}_t - \text{OD}_s)$$

donde,

OD_t = Oxígeno disuelto en el testigo al final del período de incubación.

OD_i = Oxígeno disuelto en la muestra al final del período de incubación.

OD_s = Oxígeno disuelto originalmente presente en la muestra sin diluir.

Formulación de la curva de DBO.

La tasa de oxidación de muchas sustancias químicas inestables puede estimarse

Tabla 3 AMBITO DE VALORES DE "DBO" CUANTIFICABLES PARA VARIAS DILUCIONES

12a

DE MUESTRA (*)

A. Utilizando porcentaje de mezcla		B. Mediante pipeteo directo - en botellas de 300 ml.	
% de mezcla	Ambito de DBO	ml.	Ambito de DBO
0.01	20,000 - 70,000	0.02	30,000 - 105,000
0.02	10,000 - 35,000	0.05	12,000 - 42,000
0.05	4,000 - 14,000	0.10	6,000 - 21,000
0.1	2,000 - 7,000	0.20	3,000 - 10,500
0.2	1,000 - 3,500	0.50	1,200 - 4,200
0.5	400 - 1,400	1.0	600 - 2,100
1.0	200 - 700	2.0	300 - 1,050
2.0	100 - 350	5.0	120 - 420
5.0	40 - 140	10.0	60 - 210
10.0	20 - 70	20.0	30 - 105
20.0	10 - 35	50.0	12 - 42
50.0	4 - 14	100	6 - 21
100	0 - 7	300	0 - 7

(*) Cálculos basados en muestras que producen una disminución de por lo menos 2 mg/l y tienen, por lo menos, 0.5 mg/l de oxígeno disuelto al final del período de incubación.

a partir de una reacción de primer orden. Una reacción de primer orden es aquella que está caracterizada por una tasa o velocidad directamente proporcional a la concentración de la sustancia que reacciona. En el caso de aguas residuales municipales e industriales parece ser que una reacción de primer orden define -- razonablemente bien la oxidación de la materia orgánica de la primera etapa. La ecuación puede expresarse como sigue

$$\frac{dL}{dt} = -k_1' L \quad (1)$$

donde,

L = concentración de la sustancia que reacciona (materia orgánica).

k_1' = constante de reacción.

Integrando la ecuación (1) se obtiene:

$$\ln \frac{L_t}{L_0} = -k_1' t \quad (2)$$

$$\log_{10} \frac{L_t}{L_0} = -k_1 t$$

donde,

L_0 = Concentración inicial de materia orgánica o demanda última de oxígeno.

L_t = Concentración de materia orgánica después de un tiempo t

k_1' = Coeficiente (tasa) de reacción en base e .

k_1 = Coeficiente (tasa) de reacción en base 10.

t = Tiempo transcurrido.

Las ecuaciones anteriores se refieren a la materia orgánica medida en términos de oxígeno remanente al final de un período de tiempo. La materia orgánica oxidada, o el oxígeno utilizado es:

$$y = L_0 - L_t \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 2 y haciendo los arreglos necesarios :

$$y = L_0 (1 - 10^{-k_1 t}) \quad (1)$$

donde,

y = DBO ejercida en el tiempo (t)

La interpretación gráfica de estas ecuaciones puede observarse en la Fig 4. Como la DBO es en realidad la suma de dos tasas diferentes (síntesis y respiración endógena), la ecuación monomolecular es sólo una aproximación.

Determinación de k y L_0

Debido a que tanto k , como L_0 son desconocidos, es necesario emplear el cálculo indirecto. Se han desarrollado varios procedimientos para estos cálculos. Tres de ellos se presentan en forma resumida a continuación:

Método de momentos (5)

Partiendo de una curva continua a través de los datos experimentales de laboratorio (Prueba DBO) se tabulan t , y , así como, ty para una cierta secuencia de días (por ejemplo 1, 2 y 3 días). De las gráficas de las Figuras 5, 5a y 5b, se obtiene k_1 , a partir de la relación $\Sigma y / \Sigma ty$, y L_0 partiendo de $\Sigma y / L_0$.

En este método, los datos se ajustan a una curva de primer orden que tiene sus dos primeros momentos Σy , y , Σty iguales a los de los puntos experimentales.

Método de las diferencias logarítmicas.

Partiendo de la ecuación de la DBO:

$$y = L_0 (1 - 10^{-k_1 t})$$

Diferenciando la ecuación anterior tenemos:

$$\frac{dy}{dt} = r = L_0 k_1 10^{-k_1 t}$$

donde;

r = tasa de consumo de oxígeno.

Esta ecuación es una gráfica semilogarítmica de la forma,

$$\ln r = \ln L_0 k_1 - k_1 t$$

Partiendo de los valores corregidos de y , se calculan y tabulan las diferencias para días consecutivos y se grafican en papel semilogarítmico. De la gráfica que se presenta en la Figura 6 se calculan k_1 y L_0 .

Método gráfico

Se hace una gráfica de valores de $(ty)^{1/3}$ como ordenadas, contra t , como abscisa. De esta gráfica, que presenta la Figura 7, se obtiene:

$$k_1 = 2.61 \frac{b}{a} \quad ; \quad L_0 = \frac{1}{2.3} k_1 a^3$$

donde,

a = intercepción con el eje de las ordenadas

b = pendiente de la línea

En el apéndice A se presentan ejemplos de aplicación.

Factores que afectan a la DBO.

La reacción de la DBO en muchas ocasiones se ve afectada por diferentes factores. Enseguida se presentan los principales factores que es necesario tomar en consideración al realizar el cálculo de la DBO.

Temperatura.

La constante de rapidez de reacción de la DBO, k , es afectada directamente por la temperatura. La relación derivada de la ley de Vant Hoff-Arrhenius es como sigue:

$$k_t = k_{20} \Theta^{(t-20)}$$

$\Theta = 1.047$ (Phelps) inexacta a bajas temperaturas.

$\Theta = 1.056$ (20-30°C) Schroepfer,

$\Theta = 1.135$ (4-20°C)

En la Figura 8 se ilustra el efecto de la k sobre la DBO.

Siembra (inóculo).

Los microorganismos aclimatados aguas abajo de las descargas industriales o municipales, proporcionan una buena fuente de siembra para la prueba de DBO. La siembra tomada de las aguas receptoras proporciona los mayores valores.

Para aguas residuales municipales y desechos similares pueden utilizarse las aguas residuales municipales almacenadas durante 24 horas a 20°C. En ocasiones se necesita desarrollar artificialmente un cultivo microbiano que oxide el desecho industrial. Esto se logra, generalmente, con aguas residuales domésticas sedimentadas que contengan una gran variedad de microorganismos, en celdas semejantes a las de la Figura 9. A éstas aguas se les agrega, periódicamente, el efluente industrial. La cantidad de desecho agregado se incrementa hasta que se desarrolla un cultivo adaptado al desecho. La mezcla de aguas residuales domésticas e industriales se aerea burbujeando aire continuamente en el líquido. El incremento notable de la turbiedad de la mezcla bajo aireación indica, en general, un cultivo aclimatado. En la Figura 10 se indica el efecto de la aclimatación.

La cantidad de siembra que se requiere para producir una tasa normal de oxidación debe determinarse experimentalmente. En la figura 11 se muestra el efecto de la concentración de siembra en la DBO.

Toxicidad.

Varios compuestos químicos y algunos metales pesados son tóxicos para los microorganismos, y en concentraciones subletales se reduce su actividad. En la Figura

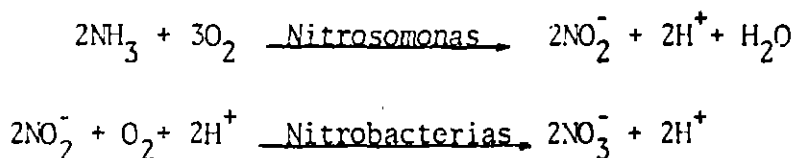
12 se ilustra el efecto de los metales pesados en la DBO.

Nitrificación.

El proceso de oxidación descrito por la ecuación de la DBO representa la oxidación de la materia orgánica carbonosa:



La oxidación de la materia nitrogenada se puede indicar como:



La constante de reacción generalmente es menor que en el caso de la materia carbonosa. Normalmente la nitrificación comenzará cuando la demanda carbonosa haya sido satisfecha parcialmente como indica la curva de la Figura 3 .

La ecuación puede quedar:

$$Y = L_o (1 - 10^{-k_1 t}) + L_n (1 - 10^{-k_2 t})$$

donde;

L_o = demanda carbonosa última.

L_n = demanda nitrogenada última

k_1 = constante de reacción para la demanda carbonosa

k_2 = constante de reacción para la demanda nitrogenada

La nitrificación representa una demanda de los recursos de oxígeno de las aguas receptoras, por lo tanto, debe incluirse como parte de la demanda total de desecho.

La nitrificación se puede eliminar por medio de una pasteurización con resiembra o agregando azul de metileno.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Esta prueba se usa extensamente para determinar la capacidad de polución de las aguas negras residuales municipales y, sobre todo, de los desechos industriales. Se basa en el hecho de que prácticamente todos los compuestos orgánicos se oxidan para producir CO_2 y H_2O por la acción de oxidantes fuertes, bajo condiciones ácidas.

Se ha encontrado que el dicromato de potasio es el agente más efectivo en la oxidación de la materia orgánica. La solución tiene que ser altamente ácida y la prueba debe efectuarse a elevada temperatura para que la oxidación sea completa. Deben usarse condensadores de reflujo para evitar pérdida de materia orgánica volátil. Algunos compuestos orgánicos, entre ellos, el ácido acético y los ácidos grasos, se oxidan por el dicromato sólo en presencia de un catalizador (iones de plata). Los compuestos aromáticos y la piridina no se oxidan en ninguna circunstancia.

La prueba de DQO es también utilizada para medir el contenido orgánico en aguas residuales industriales que contienen compuestos tóxicos para la vida biológica. En general la DQO es mayor que la DBO, debido a que hay un número mayor de compuestos que pueden ser químicamente oxidados que los que pueden ser oxidados biológicamente. Para muchos tipos de desechos, es posible correlacionar la DQO con la DBO. Esto puede ser muy útil puesto que la DQO puede determinarse en tres horas, mientras que la DBO requiere cinco días. Una vez que se ha establecido la correlación, puede utilizarse la DQO para fines de operación y control en plantas de tratamiento.

Carbón orgánico total (COT).

Esta prueba para determinar la materia orgánica es especialmente aplicable a concentraciones pequeñas. Hay varios métodos para determinar el contenido del carbón orgánico en una muestra acuosa. Estas pruebas implican la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono y agua, y la medición por medio de una titulación del gas generado y atrapado en una solución cáustica estandar.

Recientemente se ha desarrollado el analizador del carbono, que utiliza el concepto de la combustión de toda la materia orgánica a dióxido de carbono y el vapor generados en el tubo de combustión, se transportan, por medio de una corriente de gas a través de un condensador que remueve el vapor, y el CO_2 pasa por un analizador infrarojo sensibilizado para detectar dióxido de carbono. Como la cantidad de dióxido de carbono es proporcional a la concentración inicial en la muestra, la respuesta puede compararse a una curva de calibración para determinar el carbono orgánico total. El carbono inorgánico debe removerse acidulando antes de proceder al análisis.

La remoción de carbonatos y bicarbonatos por acidulación y purgado con nitrógeno gaseoso, puede producir pérdida de sustancias orgánicas muy volátiles. Otra pérdida importante puede ocurrir por la dificultad que presentan las partículas grandes de la muestra, que contienen carbón, para entrar a la aguja hipodérmica usada para la inyección.

Las muestras deben colectarse y almacenarse en frascos de vidrio, de preferencia de color ámbar. Se recomienda un muestreador del tipo Kemmerer o similar para la colección de muestras de una profundidad mayor de 5 pies. Las muestras que no pueden analizarse inmediatamente, deben protegerse de la descomposición u oxidación manteniéndolas a bajas temperaturas y no exponiendo a la luz y a la atmósfera, o bien, acidulando con ácido clorhídrico a pH no mayor de 2.

22

En la Figura 13 se muestra el diagrama de un analizador de carbono. La prueba

se realiza inyectando un volumen conocido de muestra en el tubo de combustión catalítica, el cual se mantiene a una temperatura de 900 a 1000°C. La muestra se vaporiza y el material carbonoso se oxida completamente en presencia de un catalizador de cobalto y de oxígeno puro, que es el gas que transporta la muestra. Ciertos compuestos orgánicos resistentes pueden no ser oxidados y en ese caso el valor de COT registrado será ligeramente menor que la cantidad presente en la muestra.

Relación entre DBO, DQO y COT.

Quando se trata de programas de investigación y de control rutinario, la DBO no es una prueba muy útil debido al tiempo que toma su determinación. Es importante por lo tanto desarrollar correlaciones entre DBO y DQO. Por ejemplo, si consideramos una sustancia completamente biodegradable como la glucosa, la DBO_u medirá aproximadamente el 90% de la demanda teórica de oxígeno. La DQO medirá la demanda teórica de oxígeno: por lo tanto, para este sustrato tendremos

$$(DQO) \times 0.9 = DBO_u$$

En la Figura 14 se puede observar gráficamente la relación existente entre la DBO y la DQO. Para aguas residuales domésticas típicas, las relaciones DBO/DQO y DBO/COT varían de 0.4 a 0.8 y de 0.8 a 1.0 respectivamente.

Oxígeno disuelto total (ODT).

Esta prueba es de reciente desarrollo. Las sustancias orgánicas y en cierta medida las inorgánicas, se transforman a productos finales estables en una cámara de combustión que contiene un catalizador de platino. El ODT se determina registrando el contenido de oxígeno en el gas transportador que es el nitrógeno.

Materia inorgánica.

Debido a que algunos constituyentes inorgánicos pueden afectar el uso benéfico de

las aguas, es aconsejable examinar la naturaleza de algunos de sus constituyentes, particularmente aquellos que se adicionan al agua por la vía del ciclo de su uso.

Concentración de iones hidrógeno (pH).

Es un parámetro de calidad importante tanto en las aguas naturales como en las residuales. El ámbito de concentración para la existencia de la mayoría de la vida acuática es bastante reducido y crítico.

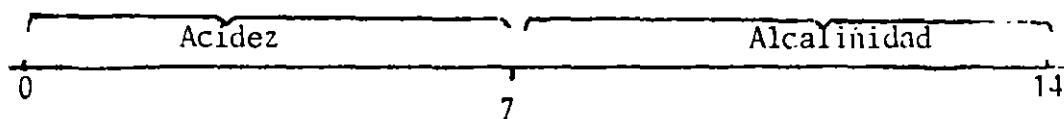
El término pH es usado universalmente para expresar la condición ácida o alcalina de una solución. Es una forma de expresar la concentración, en moles por litro, del ion hidrógeno $[H^+]$, o mejor dicho la actividad del ion hidrógeno.

definición:
$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

De modo que a mayor concentración de H^+ se tendrá un valor bajo del pH que nos indicará un medio ácido.

Se denomina "acidez" de una solución acuosa a su capacidad para ceder $[H^+]$; al concepto inverso, es decir, a la capacidad de una solución para aceptar $[H^+]$ se le denomina "alcalinidad o basicidad".

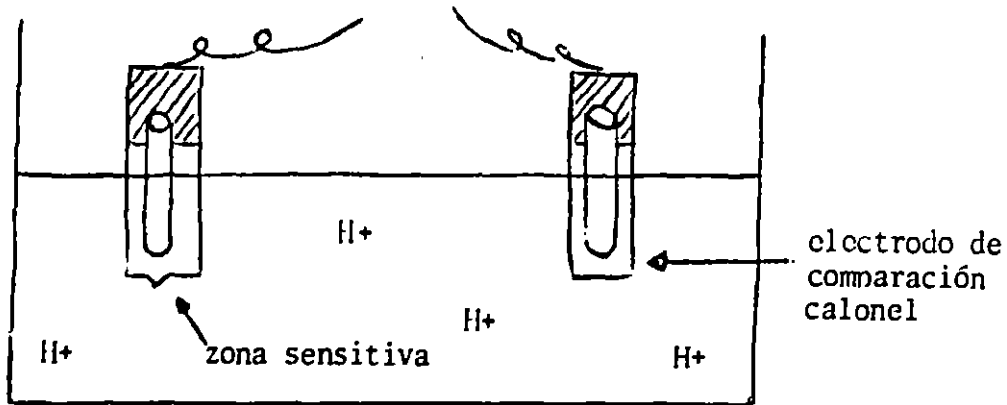
Usualmente el pH tiene un ámbito de medida de 0 a 14. En este ámbito el pH 7 representa una neutralidad absoluta.



Escala de pH

La medida de pH puede hacerse con un amplia variedad de materiales, así el electrodo de hidrógeno es ampliamente usado. También existe una gran variedad de indicadores que pueden ser utilizados. Sin embargo, el electrodo de vidrio se usa casi universalmente.

Se usa con éxito en soluciones altamente coloidales, en medios oxidantes o reductores, y en sistemas coloidales en donde otros electrodos no resultan adecuados.



Sistema de electrodo para medición de pH

Los valores de pH, son interpretados en términos de concentraciones de iones hidrógeno, lo cual, por supuesto, es una medida de la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas. Para propósitos prácticas la conversión es muy simple:

a pH 2	$[H^+]$	$= 10^{-2}$
a pH 10	$[H^+]$	$= 10^{-10}$
a pH 4.5	$[H^+]$	$= 10^{-4.5}$

En algunas ocasiones el pOH, o Concentración de ión hidroxilo es de un mayor interés. El cálculo del pOH se efectúa de acuerdo a los valores de pH, por medio de la siguiente ecuación:

$$pH + pOH = 14$$

$$\therefore pOH = 14 - pH$$

Como los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales no remueven los cloruros, cuando se registran concentraciones mayores a las usuales, puede indicar que el cuerpo de agua está siendo utilizado para disponer las aguas residuales.

Alcalinidad.

Se debe a la presencia de hidróxido, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o bien, a la presencia de amonio. La concentración de la alcalinidad en las aguas residuales es importante cuando se desea emplear tratamiento químico

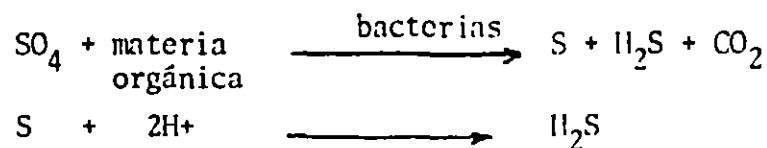
Nitrógeno y fósforo.

Estos elementos son esenciales para el crecimiento de microorganismos y se conocen como bioestimulantes. Por lo tanto es importante conocer las concentraciones presentes en las aguas residuales para evaluar su tratabilidad. Si el contenido es insuficiente, se requerirá la adición de estos elementos para que las aguas sean tratables por procedimientos biológicos.

El nitrógeno de nitratos es la forma más oxidada de este elemento que se encuentra en las aguas residuales municipales. Su concentración varía entre 15 y 20 mg/ℓ. El contenido de fósforo varía entre 6 y 20 mg/ℓ.

Azufre.

El ión sulfato se presenta en forma natural en la mayoría de los abastecimientos de agua y, consecuentemente también está presente en las aguas residuales. El azufre se requiere en las síntesis de las proteínas, liberándose cuando estas se degradan. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno (H_2S) por medio de bacterias en condiciones anaerobias.



El H_2S puede entonces oxidarse biológicamente a ácido sulfúrico que es corrosivo para los drenajes.

Compuestos Tóxicos.

El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro, son tóxicos para los microorganismos y por lo tanto deben tomarse en cuenta al diseñar una planta de tratamiento biológico.

Metales Pesados.

Rastros de níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio son componentes naturales de la mayoría de las aguas. Algunos de estos metales son esenciales para el crecimiento de la vida biológica y la ausencia de cantidades suficientes de ellos limitaría su crecimiento. Por otra parte, cantidades excesivas interferirían con el uso benéfico de las aguas debido a su toxicidad; por lo tanto, es importante medir y controlar la concentración de estas sustancias.

GASES

Los gases que se encuentran comúnmente en las aguas residuales municipales son: nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amonio y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encontrarán en todas las aguas expuestas al aire. Los tres últimos resultan de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Oxígeno disuelto

La prueba del Oxígeno Disuelto (OD) determina si los cambios biológicos en aguas naturales y residuales se llevan a cabo por organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los primeros usan oxígeno libre para oxidar la materia orgánica e inorgánica, mientras que los segundos logran la oxidación mediante la reducción de ciertas

sales inorgánicas como sulfatos y los productos finales muchas veces ocasionan olores ofensivos. Como los dos tipos de organismos existen en la naturaleza es muy importante mantener las condiciones favorables a los organismos aeróbios para evitar las condiciones indeseables provocadas por los organismos anaeróbios.

Todo organismo vivo depende de oxígeno en una forma u otra para mantener los procesos metabólicos que producen energía para su crecimiento y reproducción. Debido a esto la determinación de Oxígeno Disuelto (OD) es una prueba frecuentemente usada, para controlar la contaminación de los cuerpos de agua, ya que es deseable mantener condiciones favorables, para el crecimiento y reproducción de la población normal de peces y otros organismos acuáticos. La prueba del (OD), sirve también, como base para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) una de las determinaciones más importantes para evaluar la capacidad contaminante de las aguas residuales.

El oxígeno es un factor importante en la corrosión del hierro y acero, particularmente en los sistemas de distribución y en calderas. La remoción de oxígeno del agua de calderas se efectúa por medio de tratamientos físicos y químicos. En estos casos la determinación de OD, es usada comúnmente como prueba de control.

La velocidad de dispersión del oxígeno en agua, depende de la velocidad de:

- a) difusión molecular.
- b) difusión turbulenta por convección, y
- c) difusión turbulenta por agitación.

En estos conceptos se encuentra implícito el hecho de que el gas no reacciona químicamente con el agua. Es el caso de los gases que existen en la atmósfera terrestre: oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono y los gases raros.

De acuerdo con la ley de Dalton, de las presiones parciales: en una mezcla gaseosa, las moléculas de cada gas, ejercen la misma presión que ejercerían si se encontraran solas; y la suma de estas presiones parciales es igual a la presión total. Matemáticamente esto queda expresado como sigue:

$$PV = \sum P$$

donde

V = volumen.

P = presión.

además, de acuerdo con la ley de Henry, la concentración de saturación de un gas en un líquido, como el agua, es directamente proporcional a la concentración, o presión parcial del gas en la atmósfera que se encuentra en contacto con el líquido; es decir:

$$C_S = K_S P$$

donde

C_S = concentración de saturación del gas en el agua.

P = presión parcial del gas en la fase gaseosa.

K_S = constante de proporcionalidad o coeficiente de absorción.

En la Tabla 4 se indican las solubilidades de algunos gases importantes en la Ingeniería Sanitaria.

La ley de Henry se puede utilizar para calcular las concentraciones de saturación

Tabla 4. Coeficientes de absorción de los gases comunes en el agua.

(Mililitros de gas, reducidos a 0°C y 760 mm Hg., por litro de agua, cuando la presión parcial del gas es 760 mm Hg)

Gas	Peso Mol.	Peso a 10°C y 760 mm Hg. g/1	Coeficientes de Absorción				Punto de Ebullición °C
			0°C	10°C	20°C	30°C	
Hidrógeno, H ₂	2.016	0.08988	21.4	19.6	18.2	17.0	-253
Metano, CH ₄	16.014	0.7168	55.6	41.8	33.1	27.6	-162
Nitrógeno, N ₂	28.01	1.251	23.0	18.5	15.5	13.6	-196
Oxígeno, O ₂	32.00	1.429	49.3	38.4	31.4	26.7	-183
Amoníaco, NH ₃ *	17.03	0.7710	1,300	910	711	...	-33.4
Acido sulfhídrico							
H ₂ S*	34.08	1.539	4,690	3,520	2,670	...	-61.8
Bióxido de							
carbono, CO ₂ *	44.01	1.977	1,710	1,190	878	665	-78.5
Ozono, O ₃	48.00	2.144	641	520	368	233	-112
Bióxido de azufre,							
SO ₂ *	64.07	2.927	79,800	56,600	39,700	27,200	-10.0
Cloro, Cl ₂ *	70.91	3.214	4,610	3,100	2,260	1,770	-34.6
Aire †	...	1.2928	28.8	22.6	18.7	16.1	...

* Solubilidad total.

† Al nivel del mar, el aire contiene 78.08 % de N₂, 20.95 % de O₂, 0.93% de A, 0.33% de CO₂ y 0.01 % de otros gases en volumen. Para propósitos comunes, se supone que está compuesto de 79% N₂ y 21% de O₂

Tabla 5 Valores de saturación del oxígeno en agua dulce y marina expuestos a una atmósfera conteniendo 20.9 % de oxígeno bajo una presión de 750 mm -- de mercurio

Temperatura C	Oxígeno disuelto (mg/l) para concentraciones establecidas de cloruro (mg/l)					Diferencia por 1,000 mg/l de cloruro
	0	5,000	10,000	15,000	20,000	
0	14.7	13.8	13.0	12.1	11.3	0.165
1	14.3	13.5	12.7	11.9	11.1	0.160
2	13.9	13.1	12.3	11.6	10.8	0.154
3	13.5	12.8	12.0	11.3	10.5	0.149
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3	0.144
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0	0.140
6	12.5	11.8	11.0	10.4	9.8	0.135
7	12.1	11.5	10.8	10.2	9.6	0.130
8	11.8	11.2	10.6	10.0	9.4	0.125
9	11.6	11.0	10.4	9.7	9.1	0.121
10	11.3	10.7	10.1	9.5	8.9	0.118
11	11.0	10.4	9.9	9.3	8.7	0.114
12	10.8	10.2	9.7	9.1	8.6	0.110
13	10.5	10.0	9.4	8.9	8.4	0.107
14	10.3	9.7	9.2	8.7	8.2	0.104
15	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	0.100
16	9.8	9.3	8.8	8.4	7.9	0.098
17	9.6	9.1	8.7	8.2	7.7	0.095
18	9.4	9.0	8.5	8.0	7.6	0.092
19	9.2	8.8	8.3	7.9	7.4	0.089
20	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3	0.088
21	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1	0.086
22	8.7	8.3	7.8	7.4	7.0	0.084
23	8.5	8.1	7.7	7.3	6.8	0.083
24	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	0.083
25	8.2	7.8	7.4	7.0	6.5	0.082
26	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	0.080
27	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	0.079
28	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	0.078
29	7.6	7.2	6.8	6.5	6.1	0.076
30	7.4	7.1	6.7	6.3	6.0	0.075

a cualquier temperatura. La solubilidad depende principalmente de la temperatura y la cantidad de sólidos disueltos en el agua.

Los valores de saturación para el oxígeno en aguas dulces y salobres a diferentes temperaturas, se indican en la Tabla 5. Los valores de saturación del OD, que aparecen en esta Tabla, están calculados a partir de la siguiente ecuación empírica:

$$C_s = 14.652 - 4.1022 \times 10^{-1} T_c + 7.9910 \\ \times 10^{-3} T_c^2 - 7.7774 \times 10^{-5} T_c^3$$

La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce varía de 14.6 mg/l a 0°C hasta 7 mg/l a 35 °C. La baja solubilidad del oxígeno es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales y obliga al tratamiento de los residuos para remover los contaminantes antes de descargar los cuerpos receptores.

En los procesos de tratamiento biológico, la solubilidad limitada del oxígeno cobra gran importancia porque rige la proporción a la cual se absorberá oxígeno y por consiguiente el costo de suministrarlo.

2.3 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

Los más importantes aspectos biológicos que el Ingeniero Sanitario debe conocer son: Los diferentes grupos de Microorganismos usados como indicadores de contaminación, y los principales métodos existentes para evaluar su toxicidad. Enseguida se presentan algunos de ellos.

EL NUMERO MAS PROBABLE DE BACTERIAS "NMP"

RESUMEN

Este trabajo tiene por objeto presentar a los profesionales conectados con el campo de la ingeniería sanitaria, que no tengan conocimientos previos de estadística, el significado y derivación matemática del número más probable de bacterias (NMP), usando para ello exclusivamente algunos conceptos básicos de distribuciones discretas.

1. INTRODUCCION

La importancia del índice "NMP" es manifiesta, ya que constituye el elemento básico para determinar, desde un punto de vista sanitario, la calidad del agua de consumo en relación con su contenido de bacterias.

Debido a que los libros especializados presentan este tema suponiendo el conocimiento de la estadística matemática, y los manuales se limitan meramente a presentar las tablas respectivas, es posible encontrar, entre los técnicos que usan este índice, errores conceptuales que se reflejan necesariamente en la interpretación de los resultados de laboratorio.

2. CONCEPTOS BASICOS DE ESTADISTICA

Se denomina evento a cada uno de los resultados de un experimento estadístico. Por ejemplo, al arrojar un dado una sola vez, puede ocurrir cualquiera de seis eventos: que aparezca el 1, el 2, el 3, el 4, el 5 ó el 6.

El conjunto de todos los eventos posibles en un experimento estadístico constituye el universo del experimento.

Dos eventos cualesquiera A y B son mutuamente exclusivos si, en un experimento, la ocurrencia del evento A excluye la ocurrencia del evento B.

En el ejemplo anterior, al arrojar un dado, el evento A de aparición del 1 excluye la posibilidad de que ocurra el evento B, o sea que aparezca el 2; ambos eventos son mutuamente exclusivos. Por la misma razón, generalizando, los eventos de aparición del 1, 2, 3, 4, 5, 6, son mutuamente exclusivos.

Supongamos que se arrojan al aire simultáneamente dos monedas. Los eventos posibles en este experimento son (llamando A al águila y S al sol): AA, AS, SA, SS, donde por ejemplo, AS significa águila en la primera moneda y sol en la segunda. Obsérvese que el evento de que se presente águila en una moneda y sol en la otra tiene dos formas posibles de ocurrir; consecuentemente, la probabilidad de que esto ocurra es $2/4$.

Si un universo contiene n eventos mutuamente exclusivos e igualmente posibles, y si de estos eventos n_A tienen el atributo A, entonces la probabilidad de A se expresa:

$$p = \frac{n_A}{A} \quad (1)$$

Ahora bien, si se nos preguntara la probabilidad que existe de que al arrojar dos monedas simultáneamente aparecieran "dos águilas" o "un águila y un sol", el resultado sería la suma de las probabilidades de estos dos eventos:

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

Si dos eventos A y B son mutuamente exclusivos, el número de formas en que A o B puede ocurrir es, claramente, el número de formas en que A puede ocurrir n_A , más el número de formas en que B puede ocurrir n_B , y como ambos eventos pertenecen al mismo universo de N eventos:

$$P(A \text{ o } B) = \frac{n_A + n_B}{N} = P_A + P_B$$

Consecuentemente si P_1, P_2, \dots, P_n , son las probabilidades del total de eventos A_1, A_2, \dots, A_n mutuamente exclusivos de un universo, la probabilidad de ocurrencia de A_1 ó A_2, \dots o A_n será

$$P(A_1 \text{ o } A_2 \dots \text{ o } A_n) = P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1 \quad (2)$$

De lo anotado arriba, se desprende que si un evento cualquiera tiene una probabilidad P de ocurrir, la probabilidad de no ocurrencia del evento será $q = 1 - P$.

Dos eventos cualquiera A y B son independientes si la ocurrencia de A no es influida por la de B . Por ejemplo: si un dado se arroja dos veces seguidas, el resultado que se obtiene al arrojarlo la primera vez no influye en el que se obtiene en la segunda tirada.

En todo lo que sigue se tratará solamente con eventos independientes.

Si un evento A puede ocurrir de n_A maneras distintas y otro evento B de n_B maneras distintas, entonces el evento A y B puede ocurrir de $n_A n_B$ maneras distintas. Por ejemplo: si en el guardarropa de un individuo existen tres corbatas diferentes y cuatro trajes distintos, el evento de sacar al azar un traje (evento A) y una corbata (evento B), podrá realizarse de $4 \times 3 = 12$ maneras distintas.

Igualmente, si el evento A pertenece a un experimento cuyo universo contiene N_A eventos, y el evento B a otro cuyo universo contiene N_B elementos, entonces el total de resultados posibles al efectuar ambos experimentos simultáneamente o en sucesión será $N_A N_B$. Consecuentemente, la probabilidad de que ocurran A y B simultáneamente será dada por

$$P(A, B) = \frac{n_A n_B}{N_A N_B} = P_A P_B$$

Resultado que se generaliza escribiendo: si las probabilidades de que una serie de eventos independientes ocurran son $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, la probabilidad de que todos estos eventos ocurran simultáneamente es:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (3)$$

Un problema interesante es el que se presenta cuando se desea conocer la probabilidad de ocurrencia de un evento en n intentos independientes, cuando se conoce la probabilidad de ocurrencia en un solo intento. Sea P la probabilidad de que un evento ocurra en un solo intento, y $q = 1 - P$ la probabilidad de que el evento no ocurra. Si se hacen n intentos y de ellos los x primeros tienen éxito y los $(n-x)$ restantes fallan, la probabilidad de que el evento suceda será, de acuerdo con la ec. 3.

$$P_1 P_2 \dots P_x \cdot q_1 \cdot q_2 \dots q_{n-x} = p^x q^{n-x}$$

puesto que todas las P son iguales.

Como la probabilidad de tener x éxitos y $(n-x)$ fallas es igual si se considera otro orden de ocurrencia, para obtener la probabilidad de x éxitos presentados en cualquier orden, habrá que sumar $p^x q^{n-x}$ consigo mismo tantas veces como maneras distintas de colocar las P y las q sean posibles. El número de sumandos es dado desde luego por el número de combinaciones que se pueden realizar con n objetos tomados de x en x :

$$C_x^n = \frac{n!}{(n-x)!x!}$$

Por lo tanto, la probabilidad de obtener exactamente x éxitos en n intentos es

$$P_x = \frac{n!}{(n-x)!x!} p^x q^{n-x} \quad (4)$$

expresión que se conoce con el nombre de distribución binomial.

3. CALCULO DEL NMP

Supongamos que un volumen V ml de agua contiene un número grande N de bacterias, y que estas se encuentran distribuidas en el líquido de cualquier forma, es decir, al azar. Si se tomara un mililitro de líquido para ser examinado en el microscopio, en él podrían encontrarse x bacterias, siendo $x = 0, 1, 2, \dots, N$. Como una bacteria determinada puede encontrarse en cualquiera de los V mililitros de agua, la probabilidad de que se encuentre en el mililitro examinado será $P = 1/V$, por lo tanto, la probabilidad de que x bacterias se encuentren en el mililitro de agua examinado será, de acuerdo con la ec. 4.

$$P_x = \frac{N!}{(N-x)!x!} \left(\frac{1}{V}\right)^x \left(1 - \frac{1}{V}\right)^{N-x} \quad (5)$$

expresión que puede escribirse en la forma:

$$P_x = \frac{N(N-1)(N-2) \dots (N-x+1)}{x!N^x} \times \left(\frac{N}{V}\right)^x \left(1 - \frac{1}{V}\right)^{N-x}$$

o sea

$$P_x = \left(1 - \frac{1}{N}\right) \left(1 - \frac{2}{N}\right) \dots \left(1 - \frac{x-1}{N}\right) \left(\frac{N}{V}\right)^x \left(1 - \frac{1}{V}\right)^{N-x}$$

Como N y V son números grandes

$$\left(1 - \frac{1}{N}\right) \left(1 - \frac{2}{N}\right) \dots \left(1 - \frac{x-1}{N}\right) \doteq 1$$

Por otro lado

$$\left(1 - \frac{1}{V}\right)^{N-x} \doteq \left(1 - \frac{1}{V}\right)^N = \left(1 - \frac{1}{V}\right)^{\left[N/(-N/V)\right]^{-N/V}}$$

o sea

$$\left(1 - \frac{1}{V}\right)^{N-x} = \left[\left(1 - \frac{1}{V}\right)^{-V}\right]^{-N/V} = e^{-N/V}$$

por lo que la ec. 5 puede escribirse

$$P_x = \frac{(N/V)^x e^{-N/V}}{x!}$$

expresión que se conoce con el nombre de distribución de Poisson, y en la que N/V es el promedio de bacterias por mililitro.

Si en la fórmula anterior hacemos $x = 0$, obtendremos la probabilidad de que no exista una sola bacteria en el mililitro de agua examinado, es decir la probabilidad de que este mililitro sea negativo

$$P_0 = e^{-L}$$

donde $L = \frac{N}{V}$

Si en lugar de examinar un solo mililitro de agua se examinan n mililitros, la probabilidad de obtener resultados negativos en cada uno de ellos será:

$$P_0 = e^{-L} \cdot e^{-L} \dots = e^{-nL} \quad (7)$$

De donde se deduce que la probabilidad de obtener un resultado positivo al examinar n mililitros será:

$$q = (1 - e^{-nL}) \quad 37 \quad (8)$$

Supongamos ahora que al examinar una serie de cinco porciones de líquido, de 10 ml cada una, se encontró una porción positiva y cuatro negativas; la posibilidad de que estos resultados ocurran simultáneamente será, de acuerdo con las ecs. 4, 7 y 9

$$P = \frac{5!}{4!1!} (e^{-10L})^4 (1 - e^{-10L})^{5-4}$$

$$P = 5(e^{-40L})(1 - e^{-10L})$$

En la ecuación anterior, L puede tener desde luego cualquier valor comprendido entre cero e infinito; si $L = \frac{n \text{ bact}}{100 \text{ ml}}$

queda

$$P = 5(e^{-0.4n} - e^{-0.5n})$$

El valor de n que hace máxima a P se obtiene más fácilmente, en la mayoría de los casos, asignando a n una serie de valores, y calculando los valores de P; una gráfica o una tabla de P contra n muestra inmediatamente el valor buscado de P. En este ejemplo tendríamos:

n	0.5n	$e^{-0.5n}$	0.4n	$e^{-0.4n}$	$e^{-0.4n} - e^{-0.5n}$	P
0	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1	0.500	0.606	0.040	0.670	0.064	0.320
2	1.000	0.368	0.030	0.447	0.080	0.400
3	1.500	0.224	1.200	0.302	0.078	0.390
4	2.000	0.135	1.600	0.202	0.067	0.340
5	2.500	0.082	2.000	0.135	0.053	0.265
10	5.000	0.0067	4.000	0.018	0.0115	0.0575
Inf.	inf.	0	inf.	0	0.000	0.000
2.2	1.100	0.3329	0.880	0.4148	0.0819	0.4095

El valor de n que maximiza P se puede obtener también derivando P con respecto a n, e igualando a cero

$$\frac{dP}{dn} = 5(-0.40 e^{-0.4n} + 0.5 e^{-0.5n}) = 0$$

$$\therefore \frac{0.5}{0.4} = \frac{e^{-0.4n}}{e^{-0.5n}} = e^{-0.1n} \quad 38$$

$$n = \frac{\log 1.25}{(0.1) \log e} = \frac{0.096}{0.0434} = 2.2 \text{ bacterias}$$

En este caso, el número más probable de bacterias por cada 100 ml es 2.2.

Un problema semejante se presenta cuando se analizan porciones de diferentes volúmenes. Supóngase que se examinan porciones de 100, 10, 1, 0.1 y 0.01 ml y que los resultados son positivos para las dos primeras y negativos para las restantes; entonces la probabilidad de tener estos resultados simultáneamente será

$$P = (1 - e^{-100L})(1 - e^{-10L}) e^{-L} e^{-0.1L} e^{-0.1L}$$

Considerando que $L = \frac{n}{100}$ y realizando operaciones

$$P = -e^{-0.111n} - e^{-0.1111n} - e^{-1.0111n} + e^{-1.1111n}$$

de donde, derivando, se obtiene el valor máximo de P

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dn} = 0.0111 e^{-0.0111n} + 0.1111 e^{-0.1111n} + \\ + 1.0111 e^{-1.0111n} - 1.1111 e^{-1.1111n} = 0 \end{aligned}$$

ecuación que se satisface cuando $n = 23$. Consecuentemente, en este caso, NMP = 23 bacterias por cada 100 mililitros.

Finalmente, el problema más complicado se encuentra cuando se analizan simultáneamente series de porciones de volúmenes distintos. Por ejemplo, supongamos que de un grupo de 3 porciones de 10 ml cada una, 2 resultaron positivas, y de otra serie de 4 porciones de 5 ml, 2 resultaron positivas. La probabilidad de obtener estos resultados simultáneamente sería

$$\begin{aligned} P = \frac{3}{2! 1!} (e^{-0.1n})^1 (1 - e^{-0.1n})^2 \times \\ \times \frac{4}{2! 2!} (e^{-0.05n})^2 (1 - e^{-0.05n})^2 \end{aligned}$$

$$P = 18 (e^{-0.1n} - e^{-0.15n} - e^{-0.2n} + e^{-0.25n})^2$$

Esta expresión alcanza su valor máximo cuando $n = 14.2$. Consecuentemente, en este caso el NMP = 14.2 bacterias/100 ml.

Cualquier otro tipo de problemas referentes a la cantidad de bacterias existentes en el agua de consumo puede abordarse de manera semejante a las expuestas.

36

B I B L I O G R A F I A

1. A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F., "Standard Methods For the Analysis of Water and Wastewater", (1966).
2. Sawyer C.N., Perry L., "Chemistry for Sanitary Engineers", 1967.
3. Metcalf & Eddy., "Wastewater Engineering", Mc. Graw-Hill, 1972.
4. Thomas, H.A., "Graphical Determination of BOD curve constants" water and sewage works, P. 123 (1950).
5. Moore, E.W. y colaboradores "Simplified Method for Analysis of BOD data", -- Sewage and industrial wastes, P. 1343 (1950)
6. Eckenfelder W.W. Ford D.L. "Water Pollution Control" P. 1 a 8 (1968)
7. Eckenfelder, W.W. Ford D.L. "Water Quality Engineering" P. 10-29 (1970).
8. Fair, G., Geyer, J., Okun, D., "Purificación de aguas y tratamiento y Remoción de Aguas Residuales ", (1973).

CLASIFICACION DE PARTICULAS

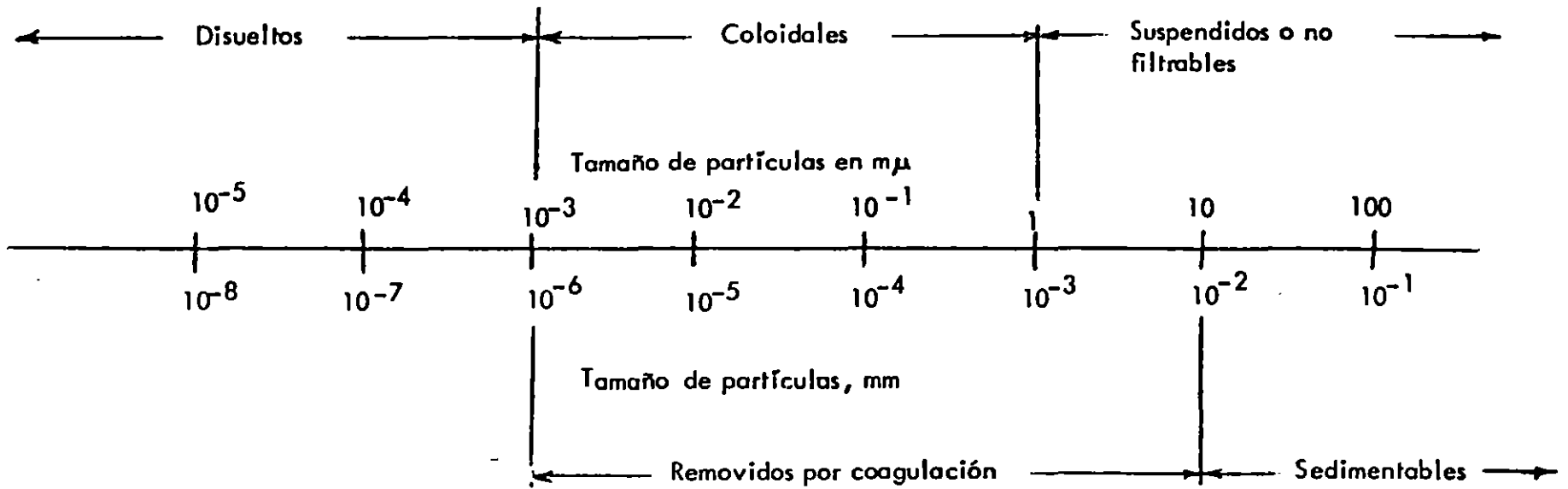


Fig.1 Clasificación y ámbito de tamaño de las partículas en el agua.

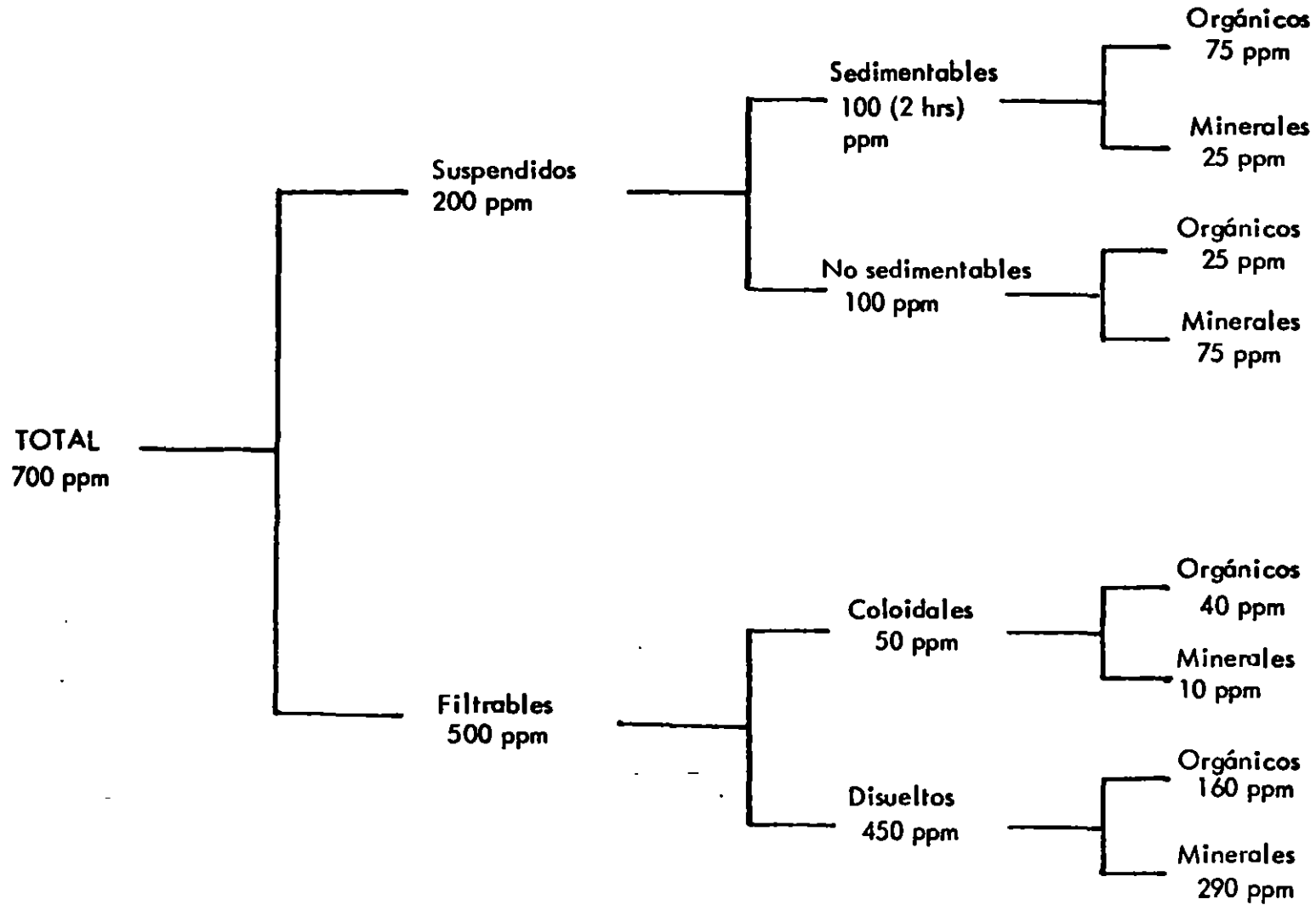


Fig. 2 Clasificación de sólidos en aguas residuales de concentración media

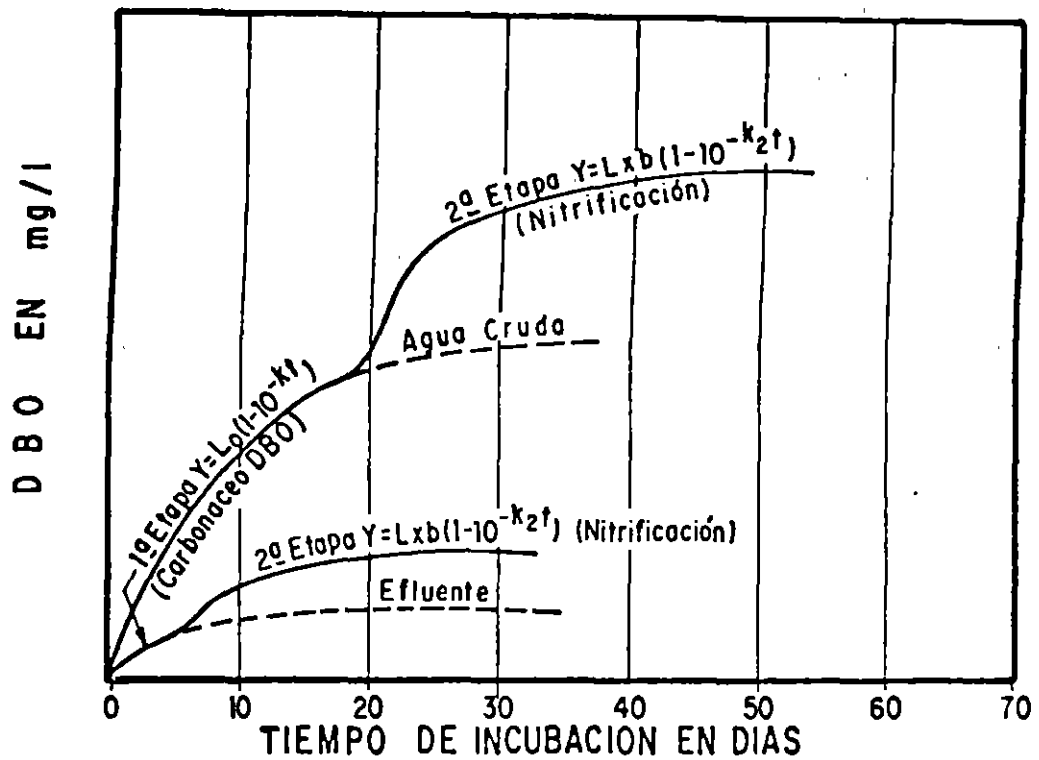


FIGURA 3 - PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS DE LA DBO EN AGUAS RESIDUALES CRUDAS Y TRATADAS

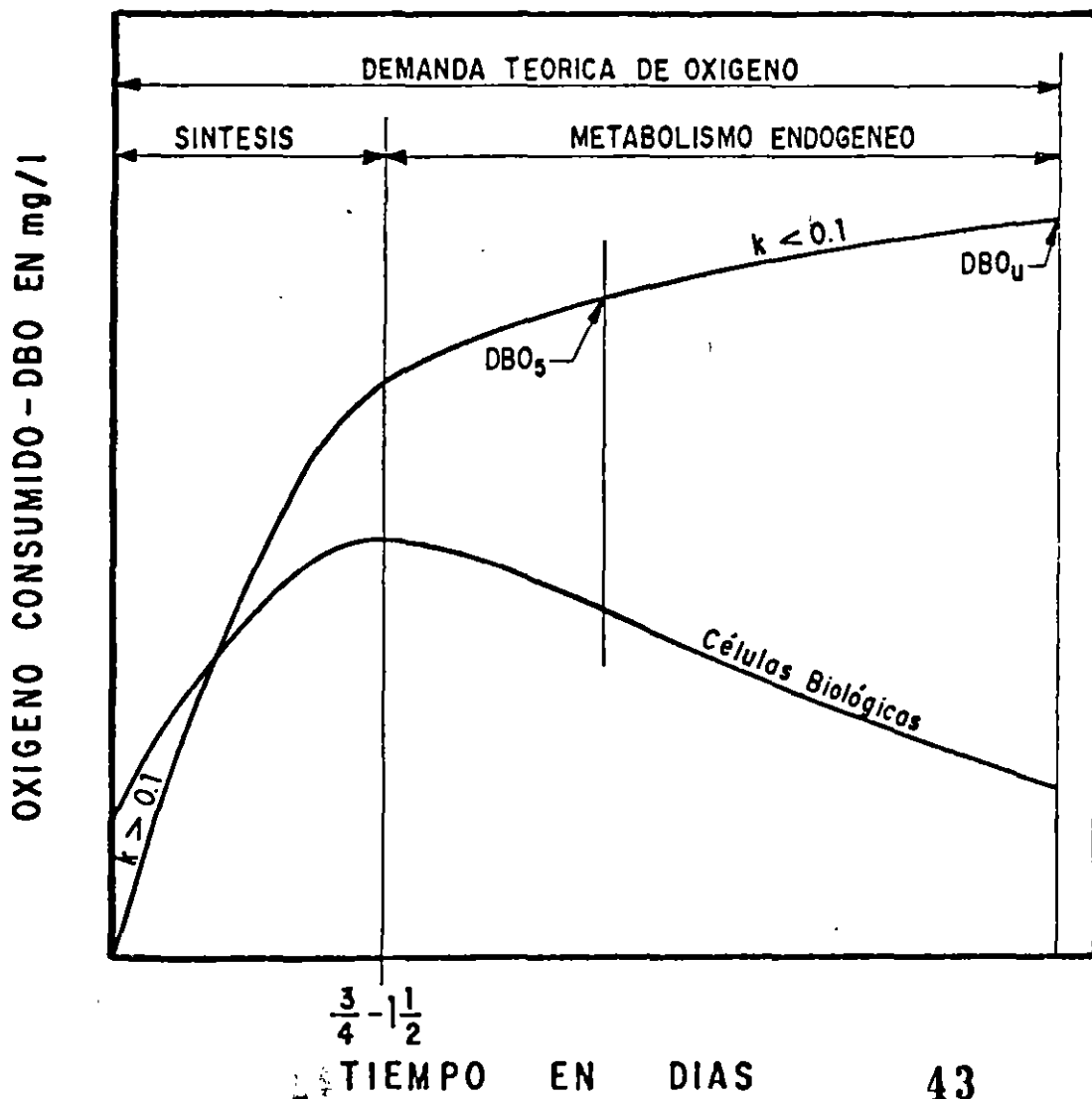


FIGURA 3a - REACCIONES QUE OCURREN EN LA BOTELLA DE DBO

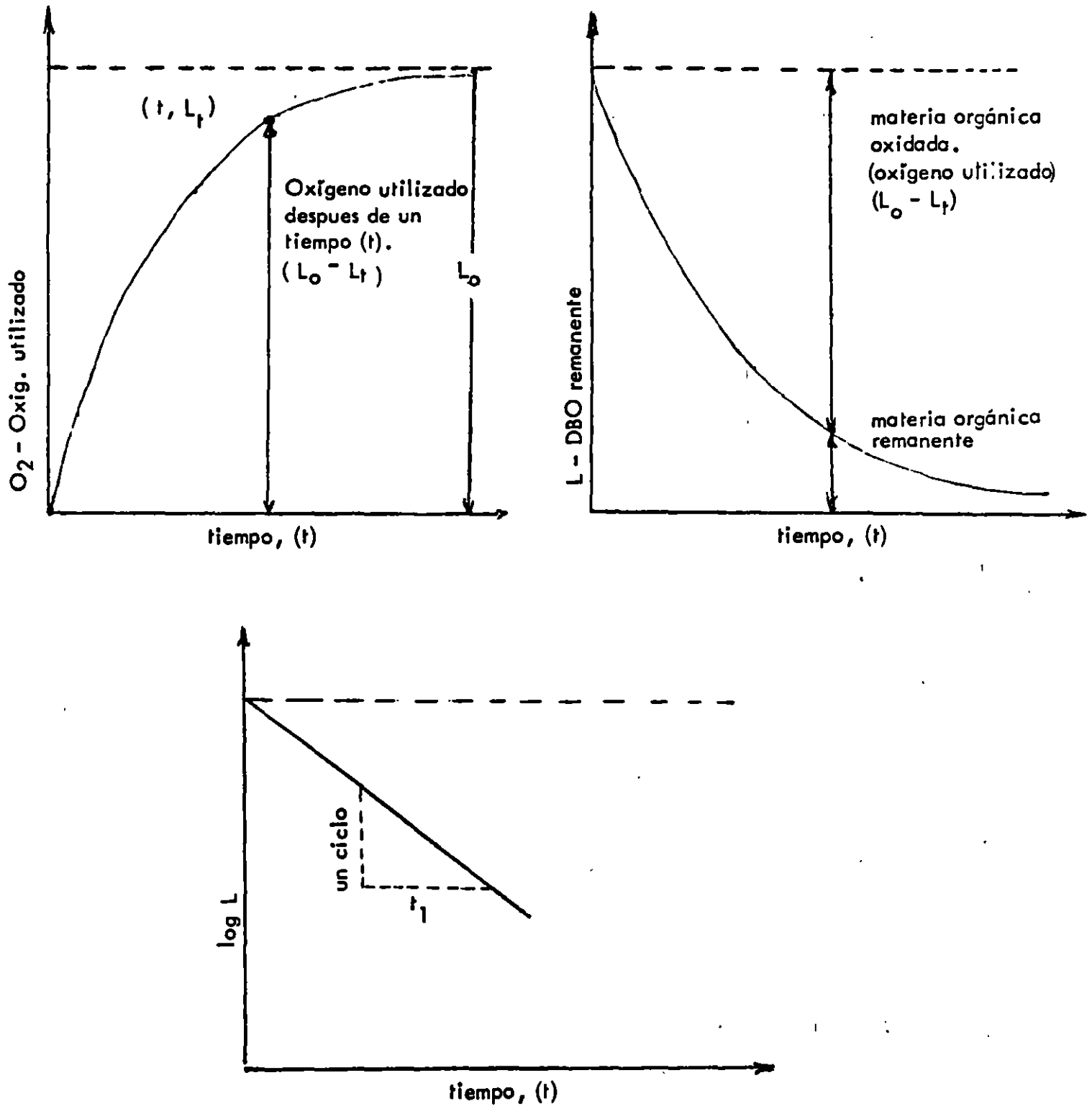


FIG. 4 REPRESENTACION GRAFICA DE LA ECUACION DE LA DBO

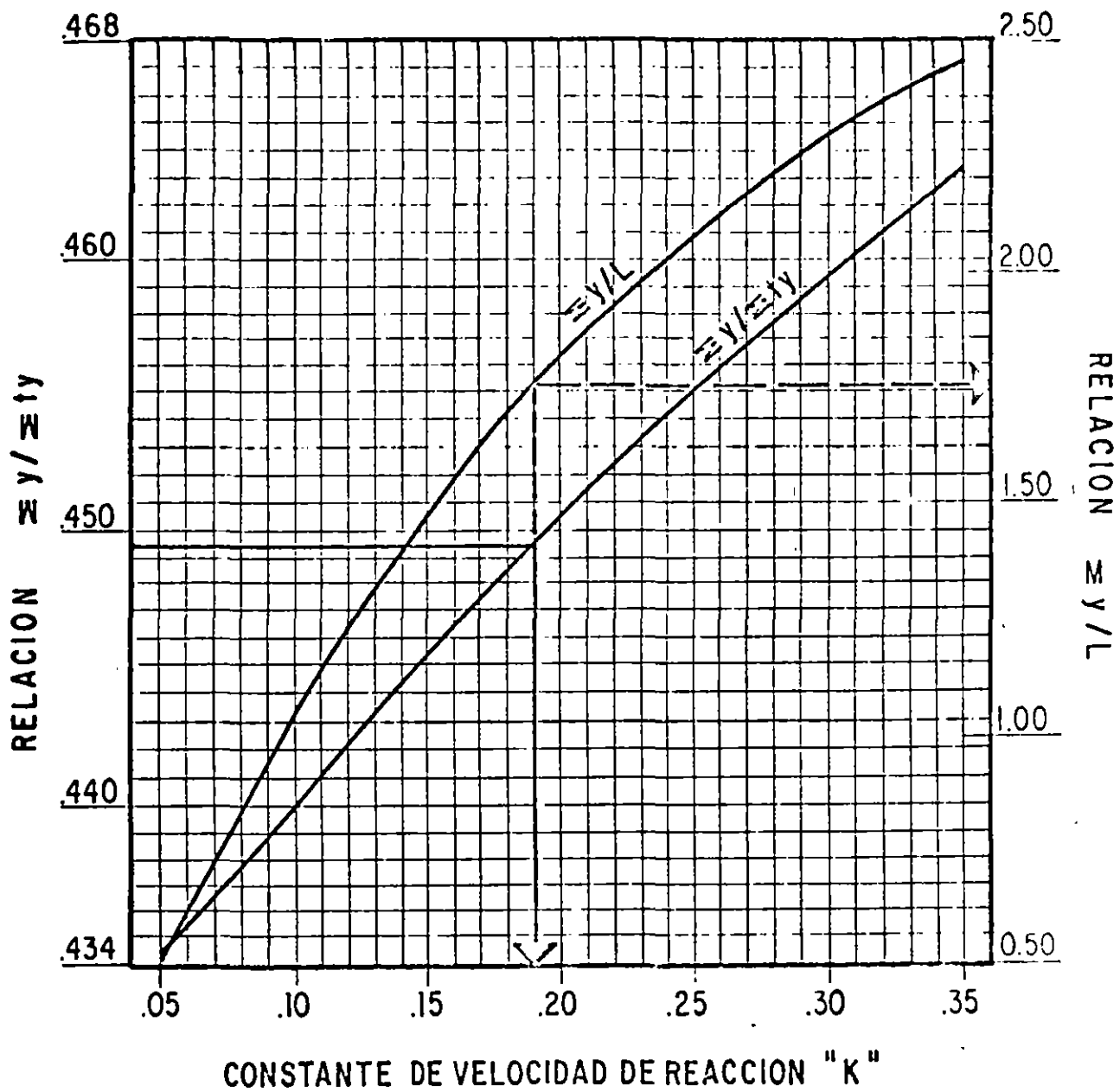


FIGURA 5.-VALORES DE "K" Y DE LA DBO ULTIMA PARA SERIES DE PRUEBAS DE LA DBO POR 1,2 Y 3 DIAS (Según MOORE, THOMAS y SNOW)

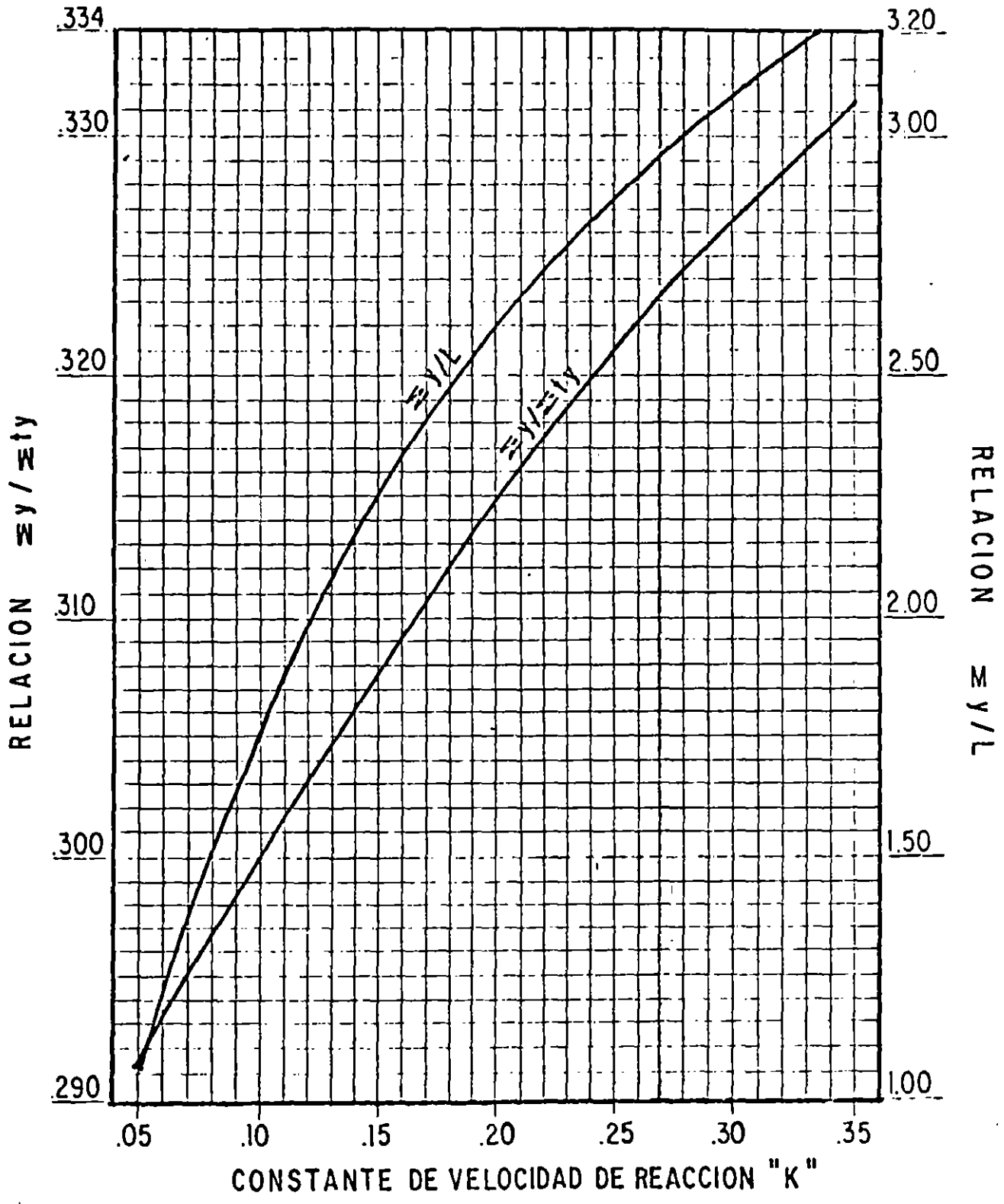


FIGURA 5a .—VALORES DE "K" Y DE LA DBO ULTIMA PARA SERIES DE PRUEBAS DE LA DBO POR 1,2,3 Y 5 DIAS (Según MOORE, THOMAS Y SNOW)

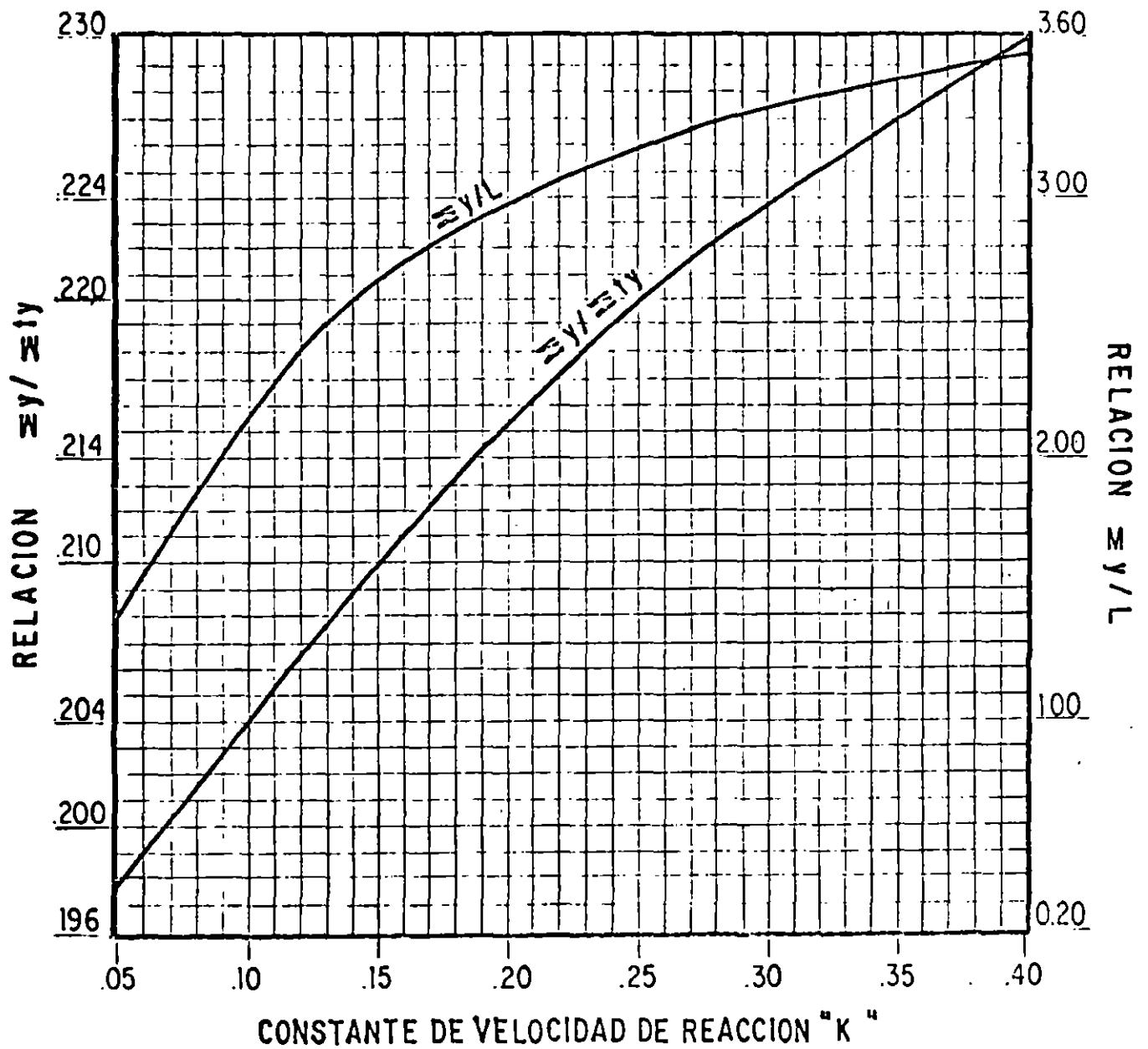


FIGURA _{5b} — VALORES DE "k" Y DE LA DBO ULTIMA PARA SERIES DE PRUEBAS DE LA DBO POR 1,3,5 Y 7 DIAS (Según MOORE, THOMAS y SNOW)

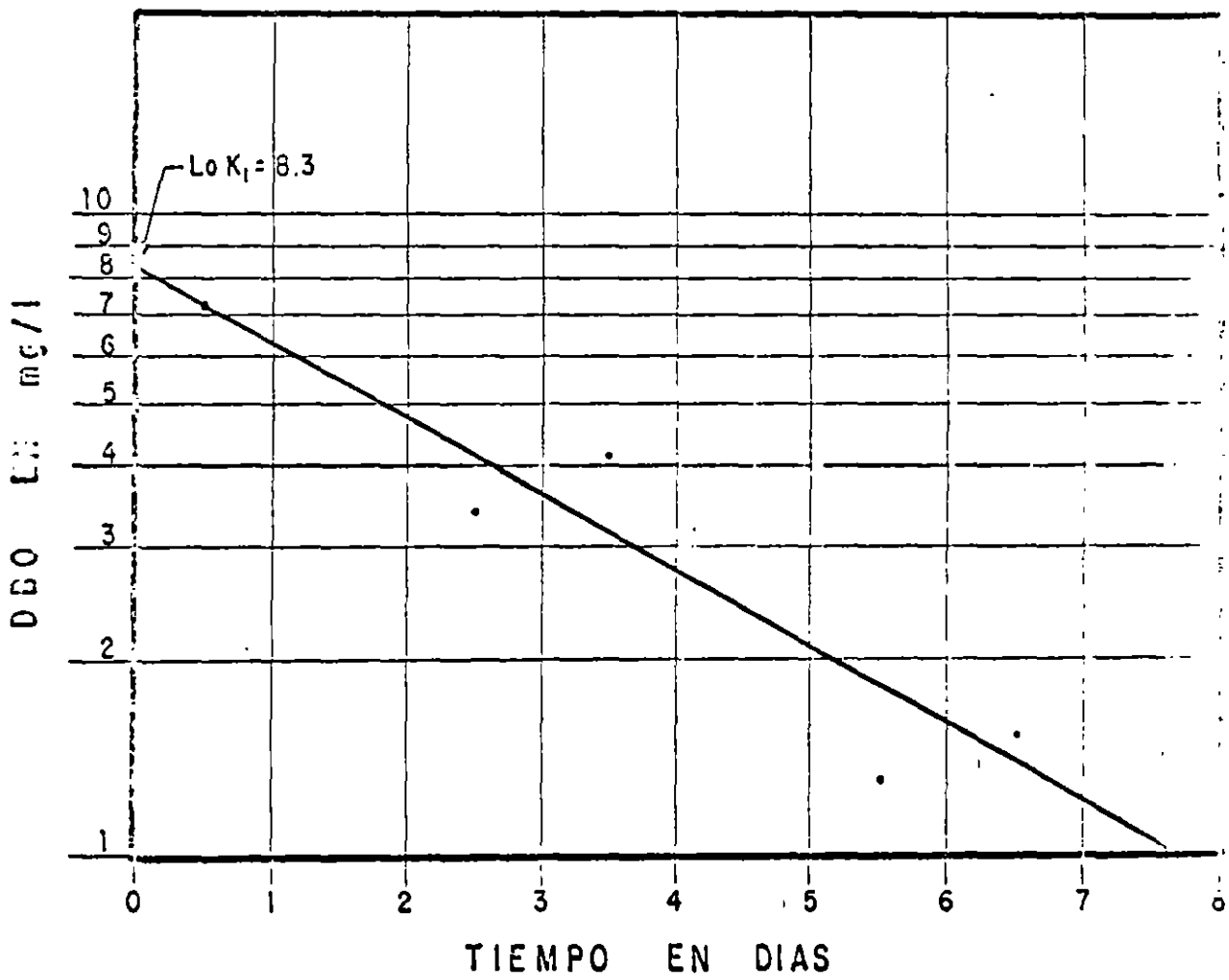


FIGURA 6 .— DETERMINACION DE K₁ Y L₀
(METODO DE LAS DIFERENCIAS LOGARITMICAS)

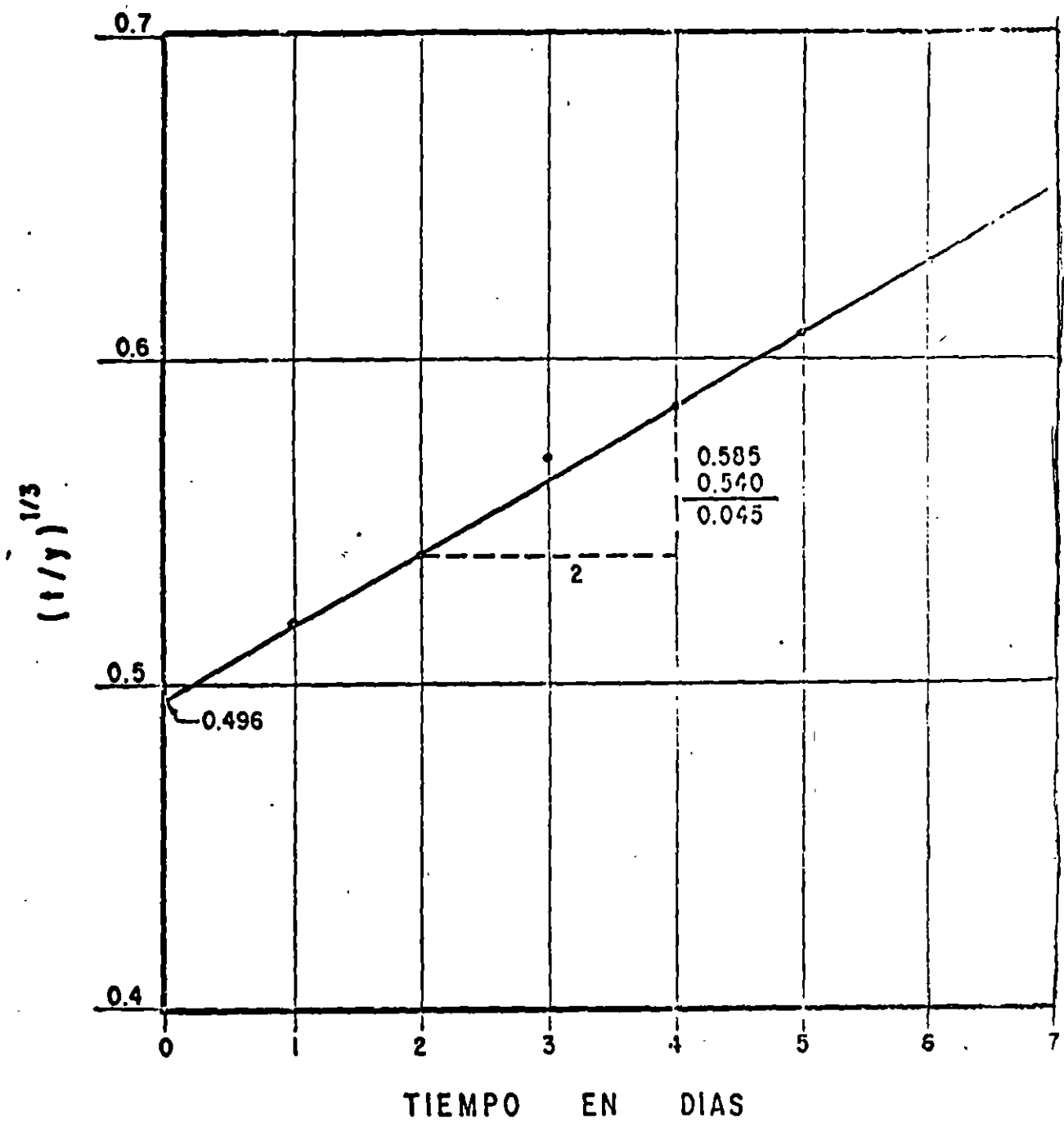


FIGURA 7 .— DETERMINACION DE K_1 Y L_0
(METODO GRAFICO)

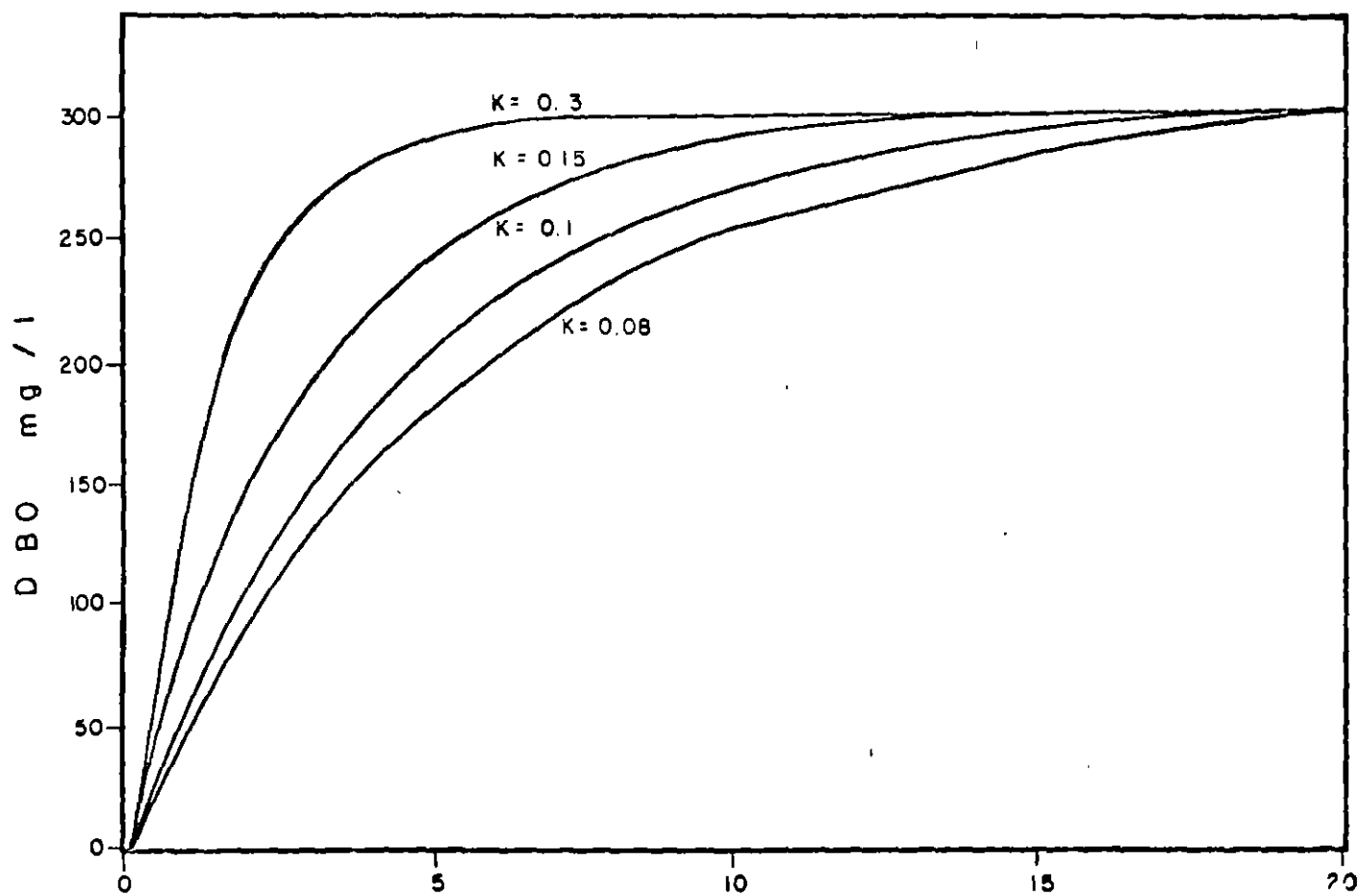


FIG. 8 Efecto de k sobre la DBO para una L dada.

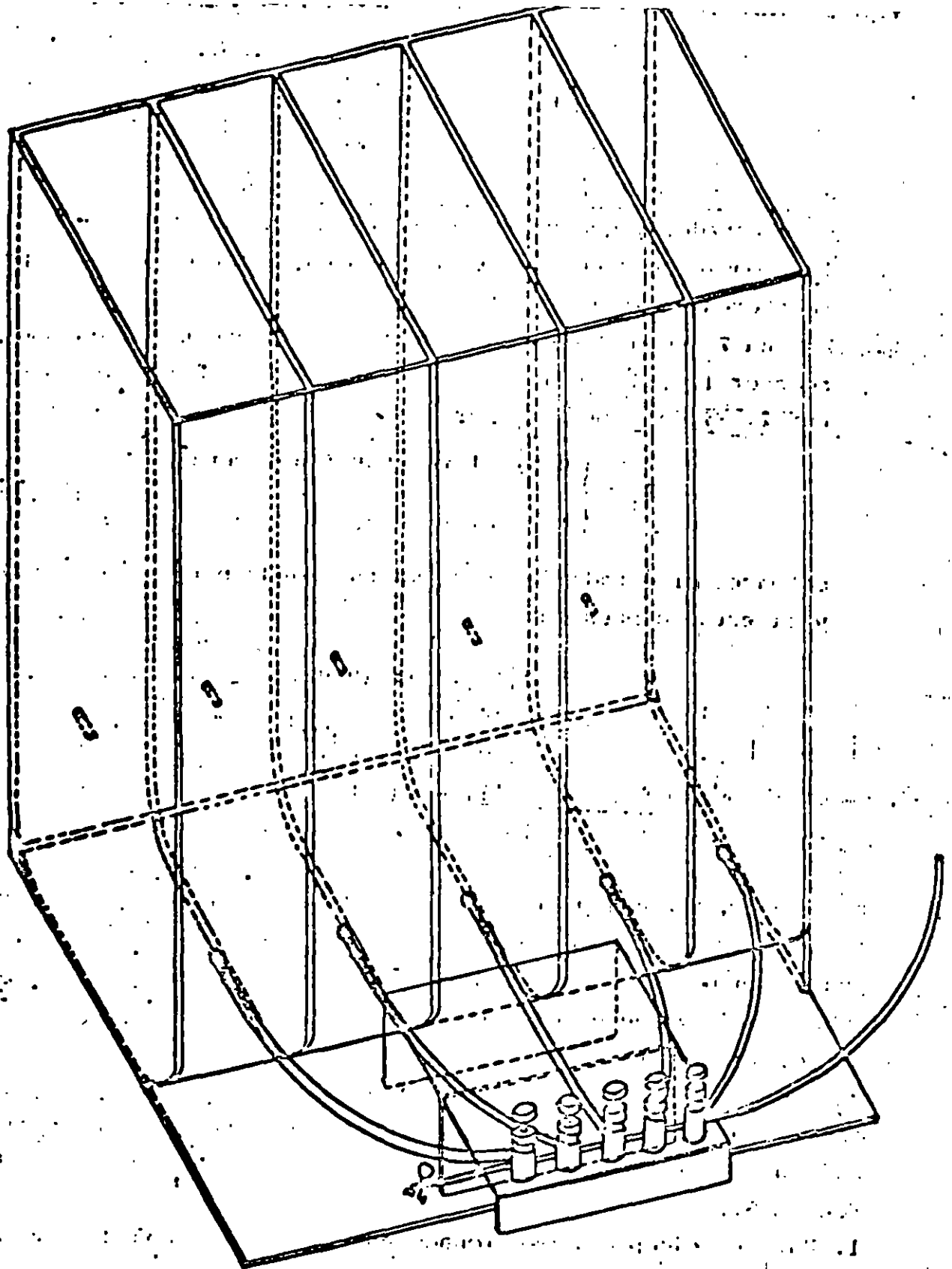


FIG. 9 CELDA PARA ACLIMATACION DE MICROORGANISMOS

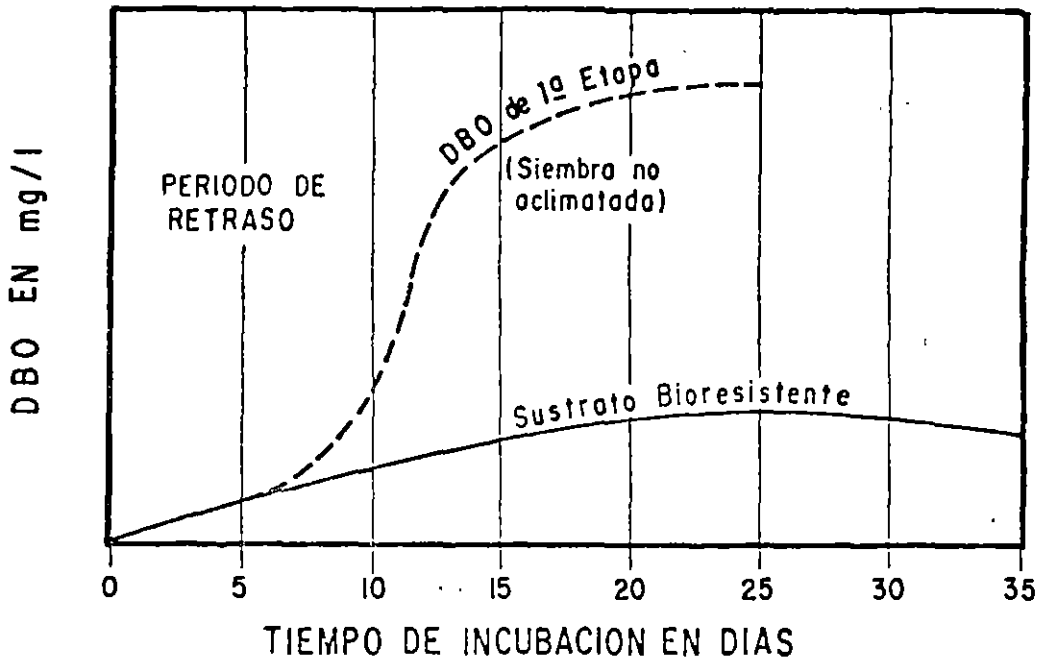


FIGURA 10 .- EFECTOS DE LA ACLIMATACION EN LA DBO

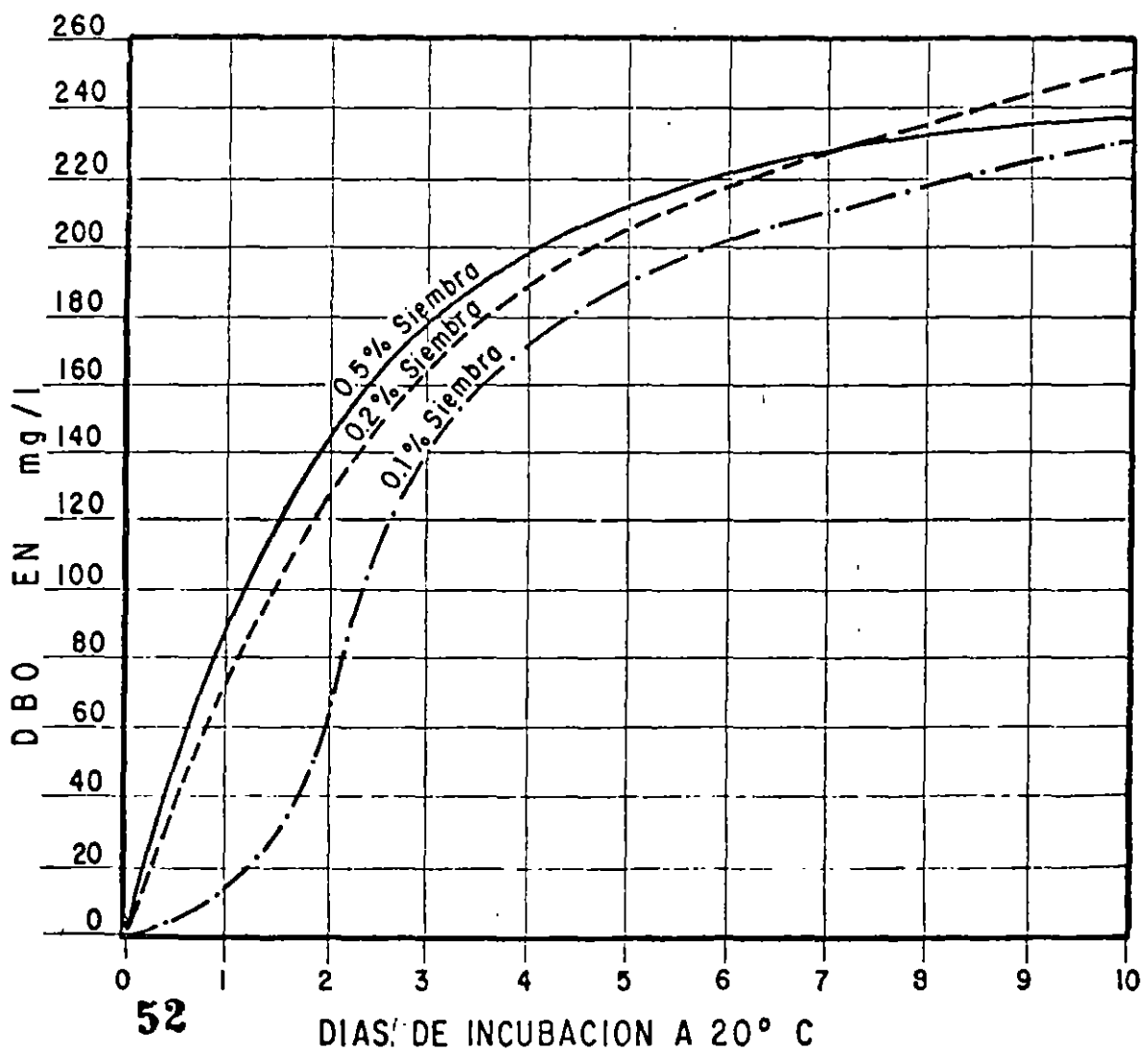


FIGURA 11.- EFECTO DE LA CONCENTRACION DE LA SIEMBRA EN LA DBO

1. METODO DE LOS MOMENTOS

y	t	ty
7.3	1	7.3
12.8	2	25.6
16.0	3	48.0
20.1	4	80.0
22.5	5	112.5
23.8	6	142.8
25.3	7	177.1
Σ 127.7		593.3

$$\frac{\Sigma y}{\Sigma ty} = \frac{127.7}{593.3} = 0.2152$$

De la gráfica de (Moore, Thomas, Snow) para series de pruebas de la D.B.O. para 1,2,3,4,5,6,7, hacemos el siguiente calculo:

Para $\frac{\Sigma y}{\Sigma ty} = 0.2152$, obtenemos $k_1 = 0.118/\text{día}$.

En la obtención de L_0 se usa:

$$\frac{\Sigma y}{L_0}$$

Esto lo hacemos usando $k_1 = 0.118/\text{día}$ y así tenemos: $\frac{\Sigma y}{L_0} = 4.23$

$$\therefore \frac{\Sigma y}{L_0} = 4.23 ; L_0 = \frac{127.7}{4.23} = 30.1$$

$$\therefore L_0 = 30.1 \text{ mg/l}$$

2. METODO DE LAS DIFERENCIAS LOGARITMICAS.

t	y	Diferencia
0	0	—
1	7.3	7.3
2	12.8	5.5
3	16.0	3.4
4	20.1	4.1
5	22.5	2.4
6	23.8	1.3
7	25.3	1.5

Obtención de k_1

$$k_1 = \frac{\log \frac{Lo}{r}}{t} ; \quad Lo \ k_1 = 8.3 \quad (\text{Ver gráfica en la siguiente hoja}).$$

r, se obtuvo de la siguiente manera

$$\log r = \frac{0.8633 - 0.3802}{4} = 0.1207$$

$$r = 1.3$$

$$k_1 = \frac{\log \frac{8.3}{1.3}}{7} = \frac{\log 6.3846}{7} = \frac{0.8051}{7} = 0.115$$

$$k_1 = 0.115/\text{día}$$

Obtención de Lo

$$2.3 \quad Lo \ K_1 = 8.3$$

$$Lo = \frac{8.3}{2.3 (0.115)} = \frac{8.3}{0.264} = 31.4 \text{ mg/l}$$

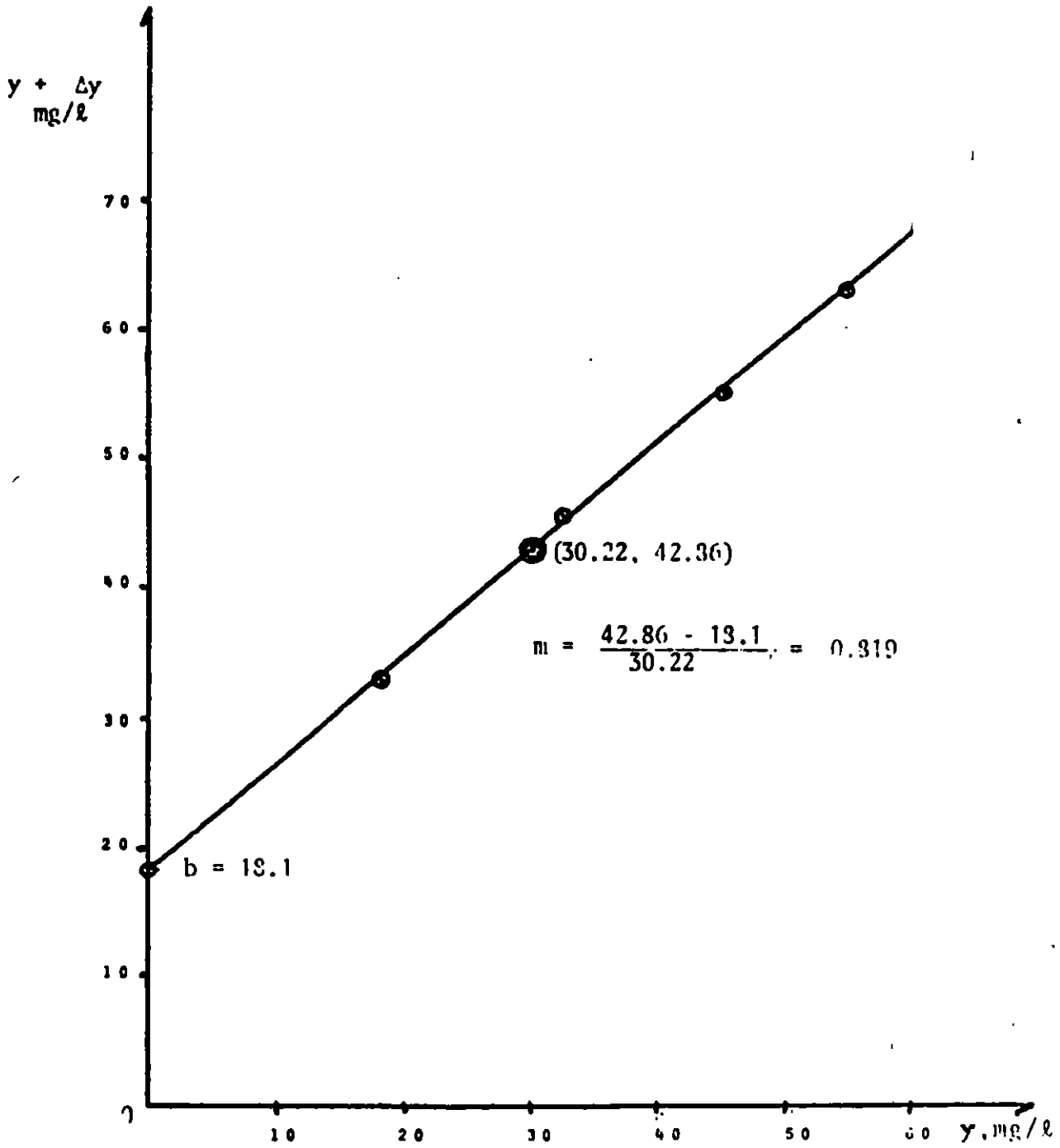


FIG. 1. CÁLCULO DE LOS VALORES DE k y l , $At = 1$

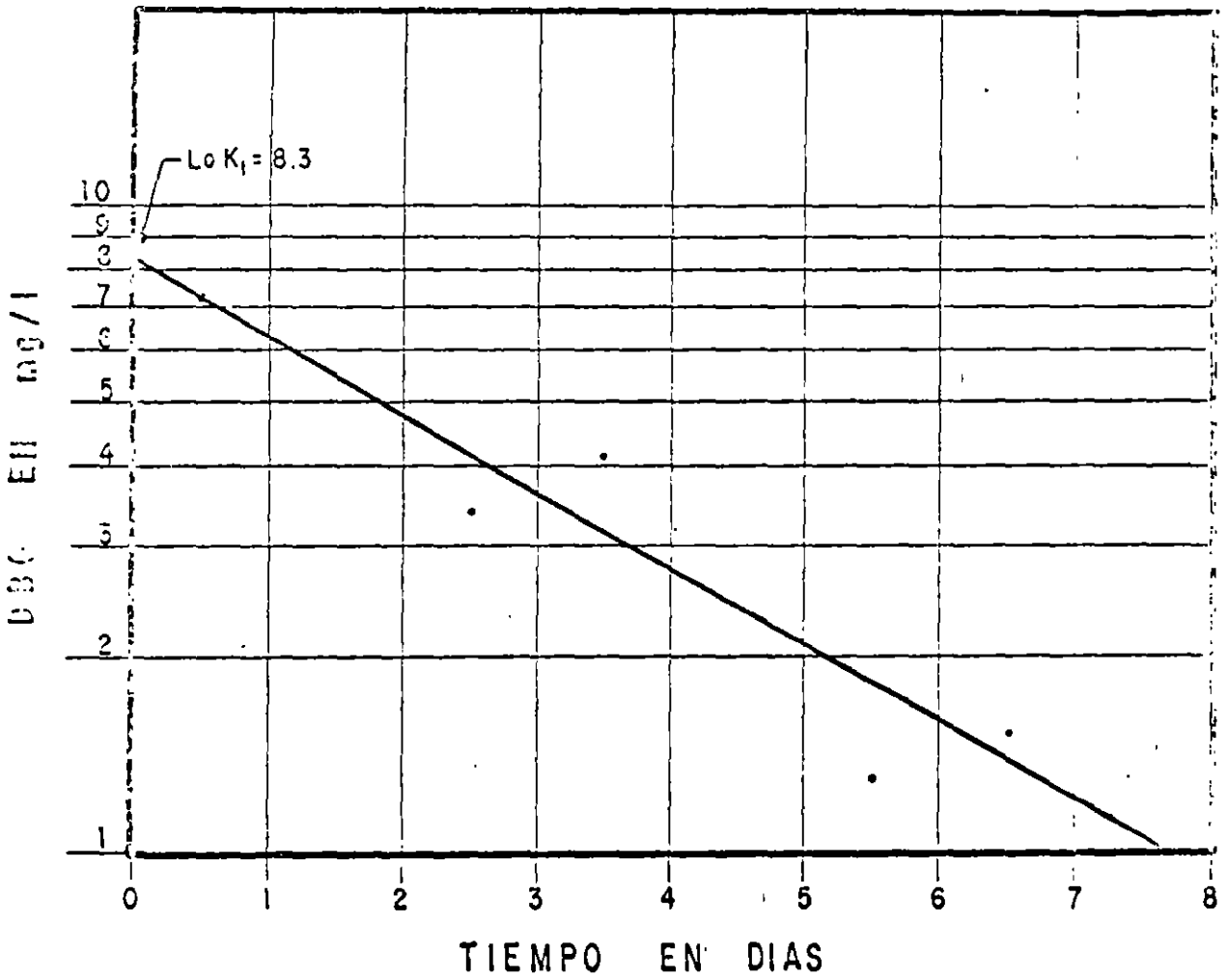


FIGURA .— DETERMINACION DE K_1 Y L_0
(METODO DE LAS DIFERENCIAS LOGARITMICAS)

3. METODO GRAFICO

t	y	t/y	(t/y) ^{1/3}
1	7.3	0.137	0.518
2	12.8	0.156	0.540
3	16.0	0.187	0.570
4	20.1	0.200	0.585
5	22.5	0.222	0.608
6	23.8	0.252	0.631
7	25.3	0.275	0.650

La gráfica se encuentra en la siguiente hoja

$$b = \frac{0.045}{2} = 0.0225$$

$$a = 0.496$$

Obtención de k_1 :

$$k_1 = 2.61 \frac{b}{a} = 2.61 \frac{0.0255}{0.496} = \frac{0.0587}{0.496}$$

$$k_1 = 0.118/\text{día}$$

Obtención de Lo :

$$Lo = \frac{1}{2.3 k_1 a^3} = \frac{1}{(2.3) (0.118) (0.496)^3}$$

$$Lo = \frac{1}{0.0331} = 30.2 \text{ mg/l}$$

$$Lo = 30.2 \text{ mg/l}$$

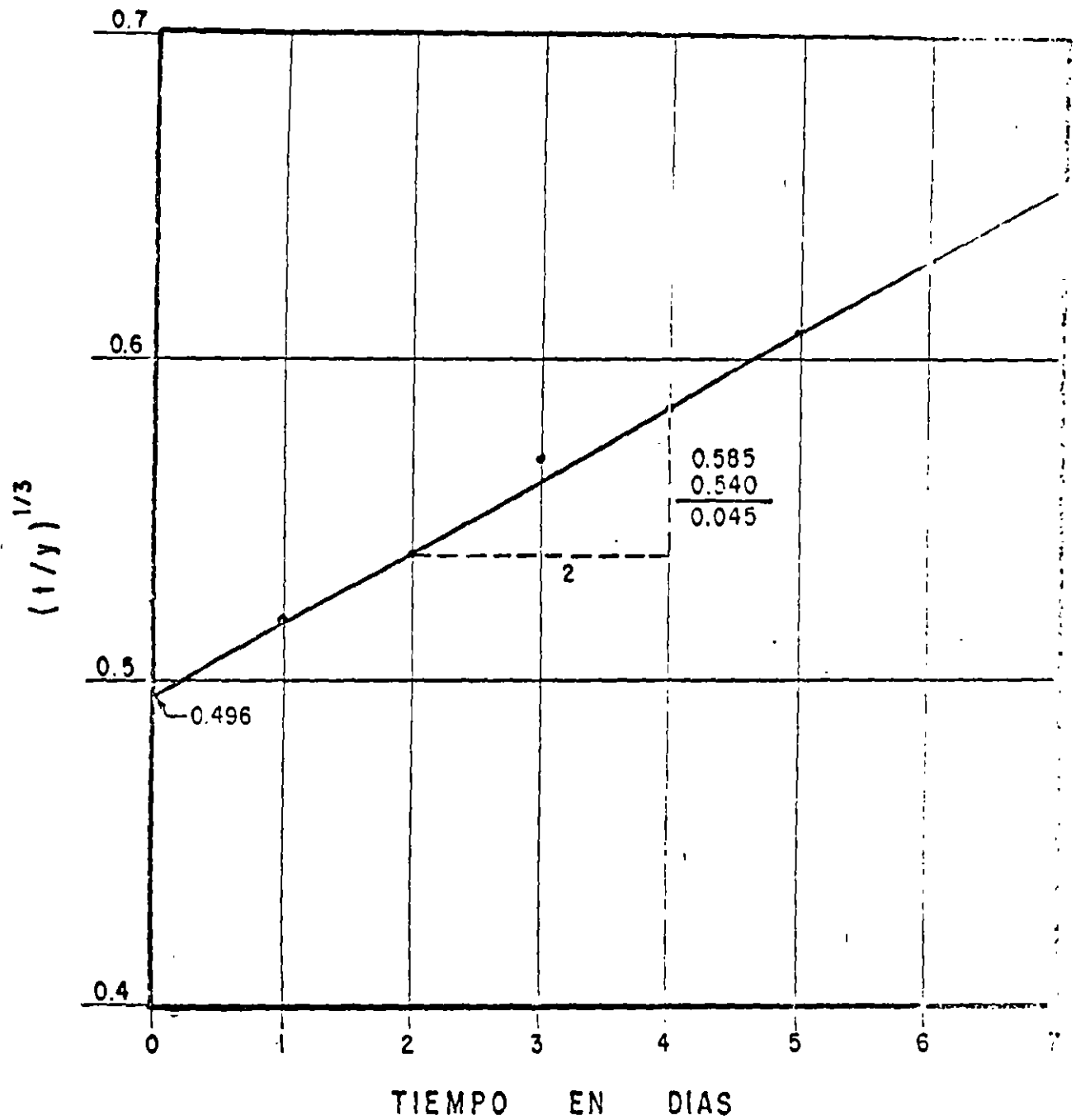


FIGURA — DETERMINACION DE K_1 Y L_0
(METODO GRAFICO)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T
Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***
Selección de Procesos de Tratamiento

Autor:

M. en I. Arnulfo Paz Sánchez

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz.

4.- CRITERIO Y RECOMENDACIONES PARA DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

4.1. INFORMACION BASICA DE PROYECTO

4.1.1. Datos de proyecto

En los proyectos de aguas negras los datos básicos de diseño son:

- a) población actual y de diseño
- b) Dotación o preferentemente aportación
- c) Calidad del agua cruda
- d) Calidad del agua tratada
- e) Climatología
- f) Temperatura del agua y del aire
- g) Altura sobre el nivel del mar
- h) Destino o reuso del agua tratada
- i) Terreno disponible superficie, topografía, altura del nivel freático, tipo y capacidad de carga del terreno e idoneidad del mismo para construcción de bordos.

4.1.2. CAPACIDAD DE LA PLANTA

La planta debe diseñarse para tratar el gasto medio diario aunque algunas unidades se diseñarán para tratar el gasto máximo diario, como es el caso de rejillas, desarenadores y tanques de contacto de cloro.

4.1.3. MODULACION

Dependerá del tamaño de la instalación, de la curva de crecimiento de gastos y de las dimensiones máximas recomendadas para algunos equipos. En general las plantas mayores de -- 100 lt/seg tendrán por lo menos dos unidades de igual capacidad.

4.1.4 CARACTERIZACION DE LAS AGUAS NEGRAS

Es importante señalar que los criterios y recomendaciones que adelante se transcriben, son aplicables al tratamiento de aguas negras municipales con baja o ninguna aportación industrial. Si se presentare algún caso de inclusión de aguas residuales industriales, sus características deberán ser compatibles con las ~~aguas~~ de las aguas municipales de carácter eminentemente doméstico, para efectuar un tratamiento conjunto.

4.1.4.1 MUESTREOS Y ANALISIS

En las descargas o sitios de vertido de las aguas negras se implementará un programa de muestreos y análisis para caracterizar las aguas por tratar.

El programa mínimo de análisis consistirá en tomar muestras cada hora, durante una semana, para integrar siete muestras combinadas que se llevarán al laboratorio.

El volumen de cada muestra horaria que integrará el volumen de la muestra combinada, deberá ser preferentemente proporcional al gasto de escurrimiento al momento de tomar la muestra.

Las muestras se preservarán adecuadamente siguiendo las recomendaciones que se señalan en el ANEXO

4.1

Si se tiene un número mayor de análisis que permita una evaluación estadística de las características de las aguas negras, se hará un estudio para conocer la posibilidad de presentación de los valores determinados. Generalmente el diseño de las unidades de proceso se realiza en función de los valores del 50 - percentil, aunque pueden seleccionarse valores mayores con el fin de obtener un efluente de alta calidad consistentemente.

Las determinaciones que se realizaron en el laboratorio son las siguientes:

Sólidos Totales

Disueltos totales, fijos y volátiles

Suspendidos totales, fijos y volátiles

Sedimentables

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO a 5 días y 20°C)

Demanda química de oxígeno (DQO)

Nitrógeno Total

Orgánico

Amoniacal

Fósforo Total

Orgánico

Inorgánico

Cloruros

Alcalinidad

Grasas

Substancias Activas al azul de metileno (SAAM) para medir detergentes (ABS)

En campo, durante la toma de muestras se determinarán pH y temperatura.

En caso de amplia variación de los datos obtenidos o pocos análisis, pueden emplearse para efluentes de aguas negras de carácter eminentemente doméstico, - los valores per cápita que se transcriben a continuación.

CARACTERISTICAS DE AGUAS NEGRAS DOMESTICAS

DETERMINACION	RANGO DE VALORES gr/capita x día
DBO ₅	45 - 54
DQC	1.6 a 1.9 x DBO ₅
Sólidos Totales	170 - 220
Sólidos Suspendidos	70 - 145
Sólidos Disueltos	50 - 150
Grasas	10 - 30
Alcalinidad	20 - 30
Cloruros	4 - 8
Nitrógeno total (N)	5 - 12
Orgánico	~ 0.4 x N total
Amoniacal	~ 0.6 x N total
Fósforo total (P)	0.8 - 4.0
Orgánico	~ 0.3 x P total
Inorgánico	~ 0.7 x P total

4.1.5 CALIDAD DEL EFLUENTE

La calidad del efluente en cada caso particular es - fijada por la DIRECCION GENERAL DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL de la SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.

En general, los requisitos de control de calidad para una planta de tratamiento son pre-establecidos - para el proyecto y son de dos tipos.

- a) Calidad del efluente, donde se fijan los valores límites de los parámetros que lo normen.
- b) Criterios de calidad de las aguas receptoras.

Frecuentemente se utiliza una combinación de los dos criterios.

4.2 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO

Los principales objetivos del tratamiento de aguas - residuales son:

- a) Remoción de sólidos suspendidos y flotantes.
- b) Tratamiento de material orgánico biodegradable.
- c) Eliminación de organismos patógenos.

4.3 SELECCION DE OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO

Una vez establecidos los objetivos del tratamiento - para un proyecto específico, el grado de tratamiento puede determinarse comparando las características de las aguas negras crudas con los requisitos de la -

calidad del efluente.

Para lograr el tratamiento deseado, pueden obtenerse alternativas con combinaciones de procesos, que debe rán evaluarse en sus aspectos constructivos, de adqui sición de equipos, costos de inversión, operación y mantenimiento, simpleza operativa, disponibilidad de - personal capacitado y área; topografía y caracterís- ticas geológicas del terreno destinado a la construc- ción de la Planta, para seleccionar la mejor alter- nativa que sirva para desarrollar el proyecto ejecu- tivo.

Los contaminantes de las aguas negras se remueven por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales comunmente se clasifican como operacio- nes unitarias físicas y procesos unitarios químicos y biológicos.

Las operaciones unitarias físicas comprenden:

Desbastado (cribado)

Mezcla

Floculación

Sedimentación

Flotación y

Filtración

Los procesos químicos son

Precipitación

Transferencia de gases

Adsorción y

Desinfección

Los procesos biológicos emplean actividades biológicas para la remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.

En tratamiento de aguas negras, al empleo de operaciones unitarias físicas se le denomina TRATAMIENTO PRIMARIO; si se incluye la mezcla y floculación se le llama PRIMARIO AVANZADO y a la utilización de procesos químicos o biológicos se les refiere como TRATAMIENTO SECUNDARIO.

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS UTILIZADOS PARA REMOVER CONTAMINANTES

C O N T A M I N A N T E S	OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS
Sólidos suspendidos y floculantes	Sedimentación
	Cribado y desmenuzado
	Flotación
	Filtración
	Mezcla
	Floculación

C O N T A M I N A N T E S

OPERACIONES Y PROCESOS
'UNITARIOS

Orgánicos biodegradables

Lodos activados

Filtros rociadores

Discos biológicos

Lagunas de estabilización

Lagunas aeradas

Tanques sépticos

Filtros anaerobios

Tratamientos en el terreno

Organismos patógenos

Cloración

Hipocloración

4.3.1 Las operaciones y procesos mencionados arriba se uti-
lizan para el tratamiento del llamado TREN DEL AGUA,
que a su vez genera lodos con alto contenido orgáni-
co, los cuales deben tratarse en el denominado TREN
DE LODOS, para convertirlos en productos inocuos.
Los métodos recomendados para el tratamiento de lo-
dos y su disposición son:

F U N C I O N

OPERACIONES DE PROCESOS
UNITARIOS Y METODOS DE
TRATAMIENTO

ESPEZAMIENTO	ESPEZADO POR GRAVEDAD
ESTABILIZACION	CON CAL
	DIGESTION ANAEROBIA
	DIGESTION AEROBICA
ACONDICIONAMIENTO	COAGULACION QUIMICA
SECADO	FILTROS DE VACIO
	FILTROS DE BANDA HORIZONTAL
	Y RODILLOS A PRESION
	LECHOS DE SECADO
DISPOSICION	RELLENOS
	ACONDICIONAMIENTO DE
	TERRENOS

4.4 TRABAJOS PRELIMINARES

Antes de proceder a la evaluación de las alternativas deben elaborarse:

- a) DIAGRAMAS DE FLUJO para los trenes del agua y de lodos usando las combinaciones apropiadas seleccionadas de las TABLAS 4.1 y 4.2, dependiendo del contaminante a ser removido.
- b) Determinación del tamaño de las facilidades físicas necesarias, usando los criterios que adelante se de-

tallan para los datos del PROYECTO, gastos, cargas - orgánicas, etc.

c) Balance hidráulico y de sólidos.

Donde se indiquen los volúmenes de agua y sólidos que entran y salen de cada operación o proceso unitario.

d) Perfil hidráulico.

De particular importancia es la determinación del perfil hidráulico, en atención a las pérdidas y selección de los puntos de control.

Los perfiles permitirán

d1) Asegurar que el gradiente hidráulico es adecuado para que el gasto máximo de aguas negras fluya por gravedad, sin originar desbordamiento o generación de tirantes inconvenientes.

d2) Establecer requisitos de carga para las bombas, donde sea necesario su empleo.

e) Planta General

Se elaborará el arreglo de las unidades de tratamiento en Planta, tanto de construcción inmediata como futuras, incluyendo los edificios de control y administrativos, subestación eléctrica, almacenes, etc. Para ello se deberán considerar los siguientes factores:

- e1) Geometría y topografía del terreno.
- e2) Mecánica del suelo.
Nivel freático y recomendaciones para las cimentaciones.
- e3) Localización del influente y sitio de vertido.
- e4) Accesos al terreno.
- e5) Tipos de procesos seleccionados.
- e6) Efecto de la longitud de tuberías en el tratamiento.
- e7) Eficiencias y funcionamiento de la planta.
- e8) Confiabilidad y economía en la operación.
- e9) Estética y funcionalismo.
- e10) Control ambiental.
- e11) Areas adicionales para expansiones futuras.

4.5 EVALUACION DE ALTERNATIVAS

4.5.1 Costo de la Planta

Para la evaluación de alternativas se requerirá además de la estimación de la obra civil, la elaboración de especificaciones preliminares de los equipos de proceso, bombeo y medición, para obtener un estimado de costo, la cuantificación y costo e instalación de la fontanería, los requisitos de energía para determinar el tamaño y costo de la subestación y centro de control de motores, así como el costo de sistemas de fuerza, tierras y alumbrado tanto interior como exterior.

Se hará también la estimación de las obras accesorias como son guarniciones, banquetas, calzadas, ornamentación y delimitación perimetral.

4.5.2 Costo O.M.R.

Para completar la evaluación de alternativas se hará el análisis de los costos de operación, mantenimiento y reemplazos menores, con precios actualizados de consumo de energía, productos químicos y sueldos del personal de operación.

4.5.3 COSTO DEL TRATAMIENTO

Con base en el costo de la Planta, los costos O.M.R. y la amortización de la inversión, se hará el análisis del costo del tratamiento, que deberá presentarse en $\$/m^3$ para la capacidad de diseño de la planta, - costo en $\$/hab \times año$ y en $\$/kg$ de DBO_5 removida.

ANEXO 4.1

PRESERVACION DE MUESTRAS

P R E S E R V A T I V O	A C C I O N	A P L I C A B L E A:
Hg Cl ₂	INHIBIDOR BACTERIAL	NITROGENO Y FOSFORO ENTODAS SUS FORMAS
ACIDO NITRICO (HNO ₃)	SOLVENTE DE METALES PREVIENE LA PRECIPITACION	METALES
ACIDO SULFURICO (H ₂ SO ₄)	INHIBIDOR BACTERIAL	MUESTRAS ORGANICAS (DQO, GRASAS Y ACEITES, CARBON ORGANICO), NITROGENO Y FOSFORO EN TODAS SUS FORMAS
	FORMACION DE SALES CON BASES ORGANICAS	AMONIACO Y AMINAS
ALCALI (Na OH)	FORMACION DE SALES CON COMPUESTOS VOLATILES	CIANURO, ACIDOS ORGANICOS
REFRIGERACION	INHIBIDOR BACTERIAL, RETARDADOR DE LAS REACCIONES QUIMICAS	ACIDEZ, ALCALINIDAD MATERIALES ORGANICOS DBO, COLOR, OLOR FOSFORO ORGANICO, NITROGENO ORGANICO, CARBON ETC., ORGANISMOS BIOLOGICOS (COLIFORMES ETC).

EN GENERAL, LA REFRIGERACION A TEMPERATURAS CERCANAS AL CONGELAMIENTO (0°C), ES LA TECNICA MAS USUAL PARA PRESERVACION, PERO NO ES APLICABLE A TODOS LOS TIPOS DE MUESTRAS.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.

28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
Medición de Caudales y Muestreo de Aguas Residuales**

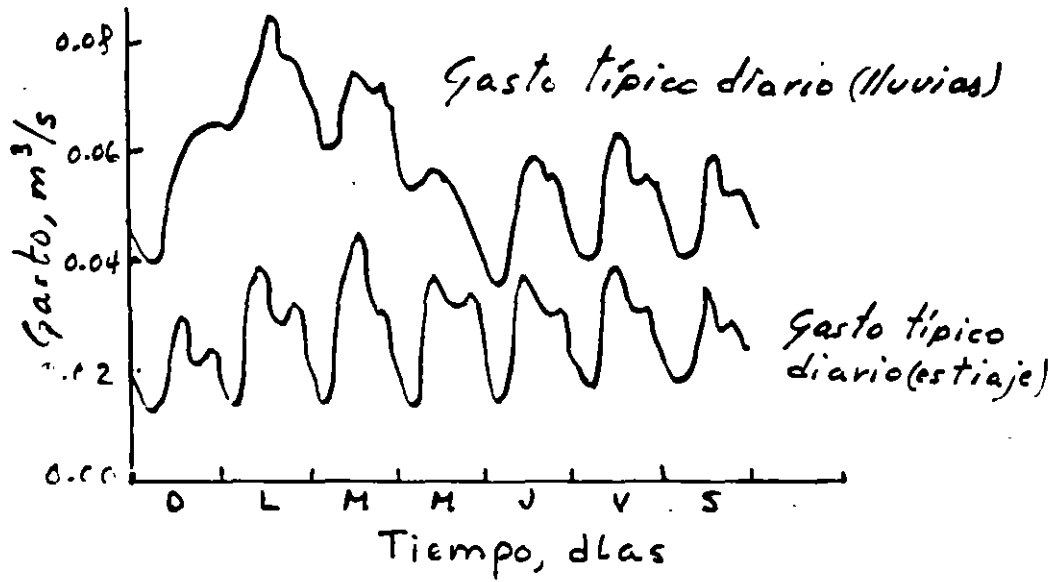
Autor:

Dr. Pedro Martínez Pereda

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

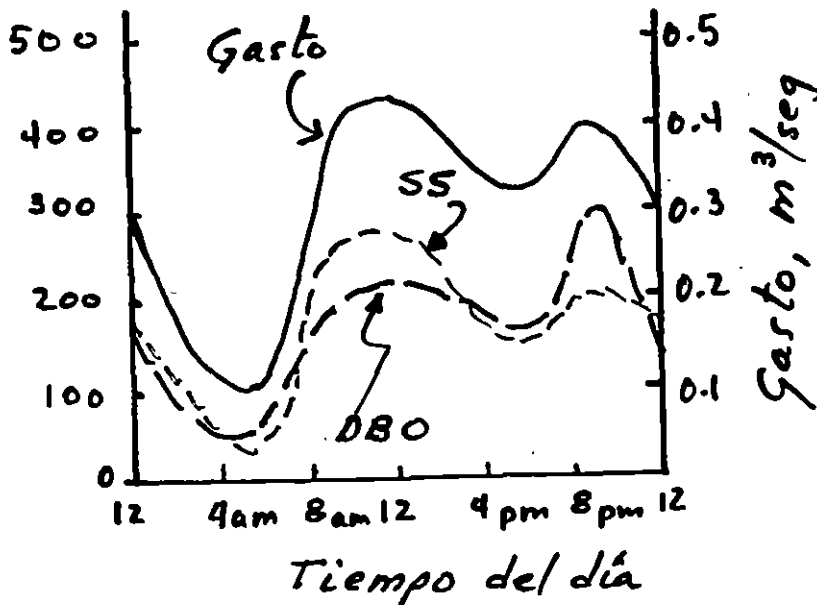
GENERACION DE AGUAS RESIDUALES. VARIACIONES



Variaciones típicas diarias y semanales en el caudal de aguas residuales domésticas

Variación típica horaria del gasto y la concn. de aguas residuales domésticas

DBO y sólidos suspendidos



MEDICION DE CAUDALES

Recipiente aforado y cronómetro

Se requiere conocer el volumen del recipiente aforado y el tiempo que se requiere para llenarlo

Flujo en tubos de extremo abierto

a) El eje X deberá ser paralelo a la línea de drenaje y el eje Y perpendicular

$$Q = \frac{1800 AX}{\sqrt{Y}}$$

$$Y = c + b$$

A = Area transversal húmeda, pies²

b = Dist. del fondo del tubo a la sup. de líquido.

X = Dist. entre extremo del tubo y la escala vertical, pies

Y = Dist. vertical desde la superficie del agua en el extremo de descarga y la intersección de la superficie del agua con la regla vertical, pies

b) Método California

$$Q = TW \text{ (gal./min)}$$

$$T = 3900 \left(1 - \frac{a}{d}\right) 1.88$$

$$W = d^{2.48} \text{ (d, en pies)}$$

COLORANTES O RASTREADORES (Rodamina, Fluoresceína)

FLUTADORES (corcho, plástico)

VERTEDEROS

RECTANGULARES (Fórmula de Francis)

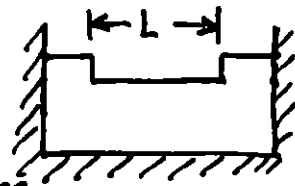
$$Q = 1.84 (L - 0.1nh) h^{3/2}$$

$$Q = \text{Gasto (L/seg)}$$

L = Longitud de la cresta, m

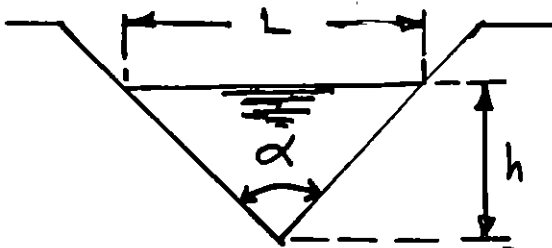
n = No. de contracciones laterales (0, 1 ó 2)

h = Carga sobre el vertedor, m



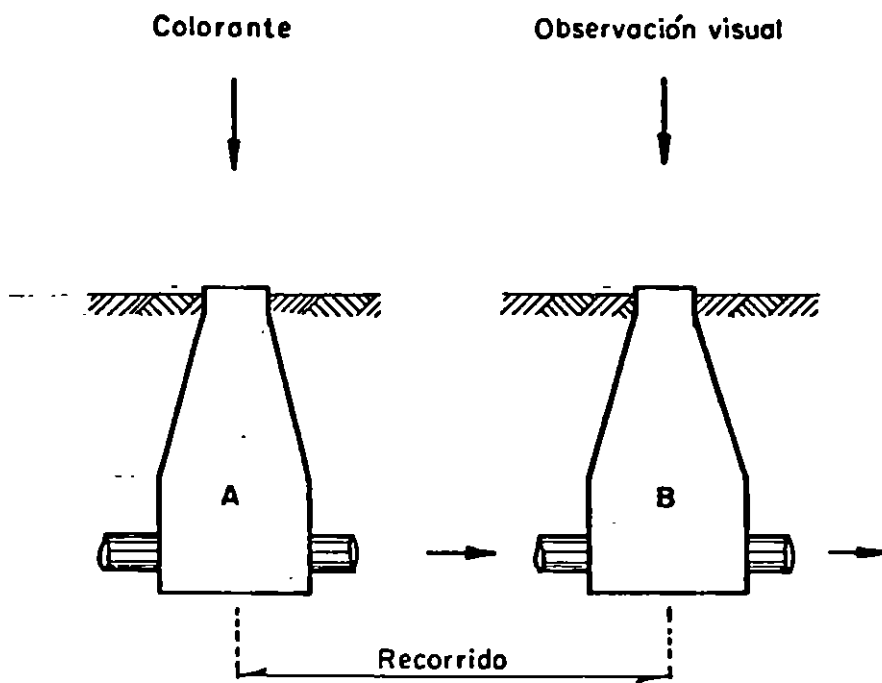
TRIANGULARES

La escotadura $\alpha = 90^\circ$ generalmente



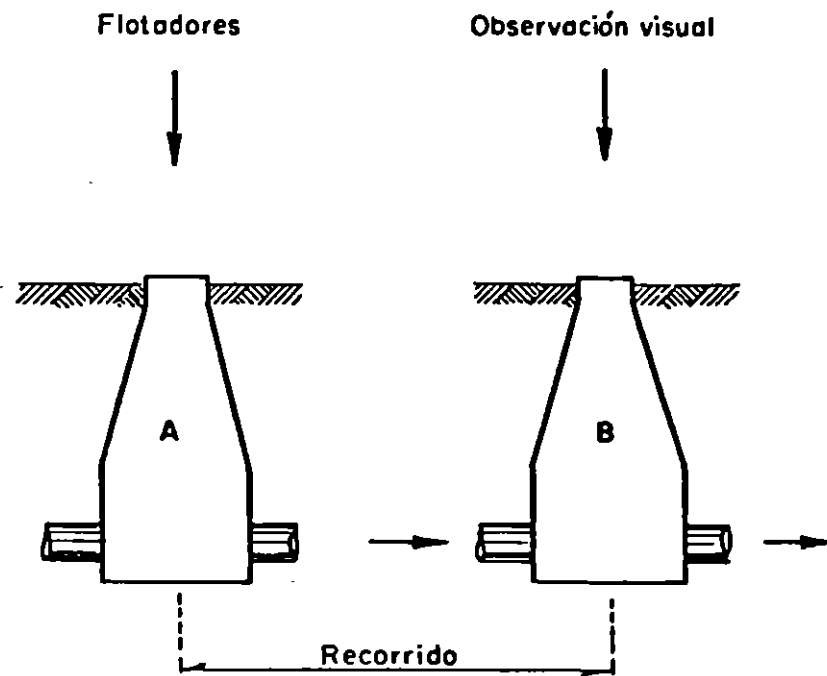
$$Q = 1.40 h^{5/2}$$

$$Q = \text{m}^3/\text{seg}$$



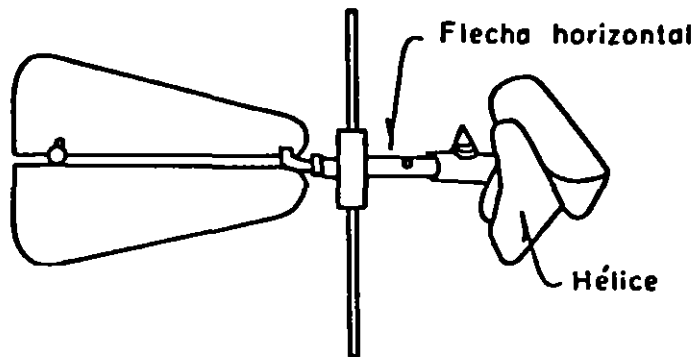
- A - Pozo de visita Nº 1
- B - Pozo de visita Nº 2 ...

Gráfica No. 4

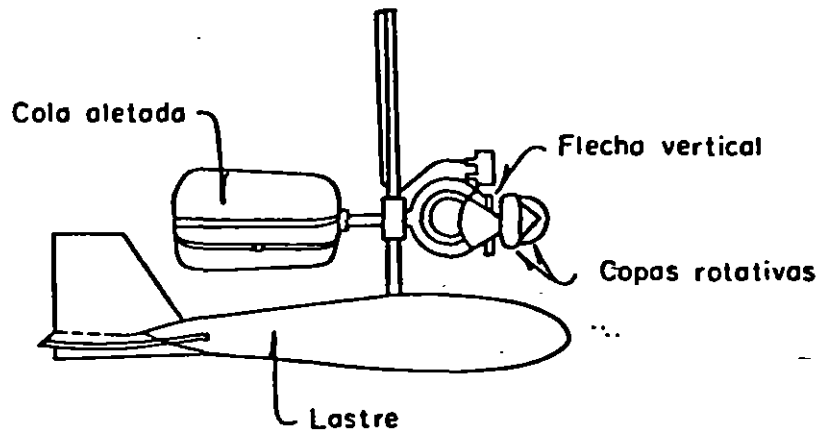


A - Pozo de visita Nº 1
B - Pozo de visita Nº 2

Gráfica No. 5



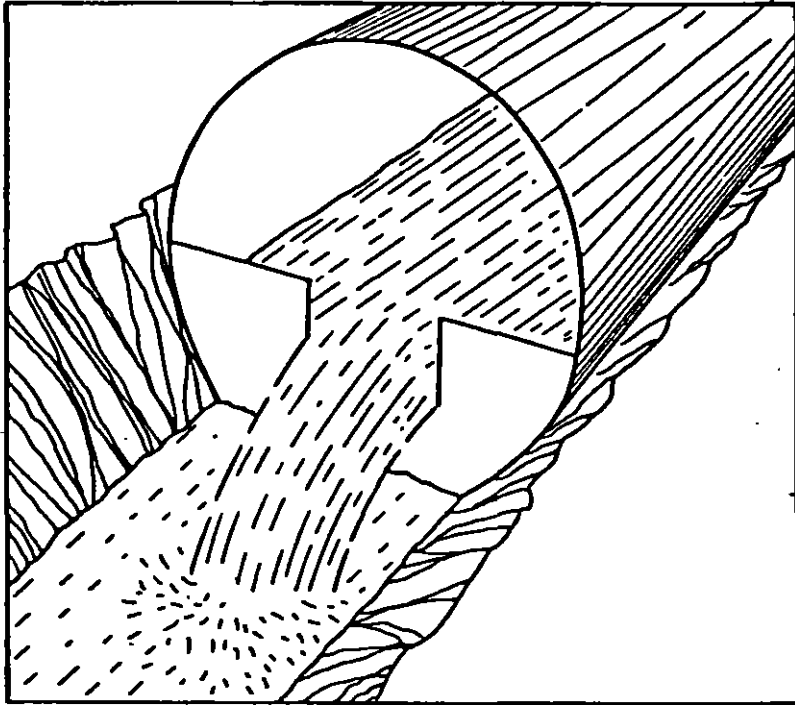
MEDIDOR DE CORRIENTE DE HELICE



MEDIDOR DE CORRIENTE TIPO PRICE

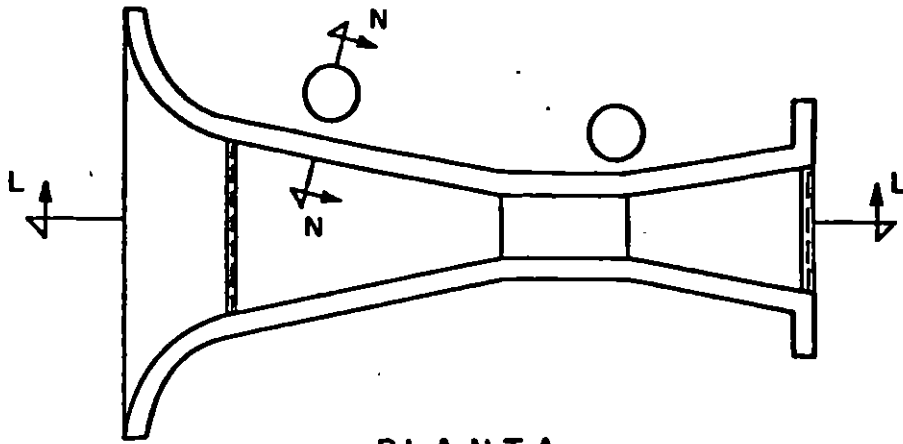
MEDIDORES DE VELOCIDAD (Molinetes)

10/14

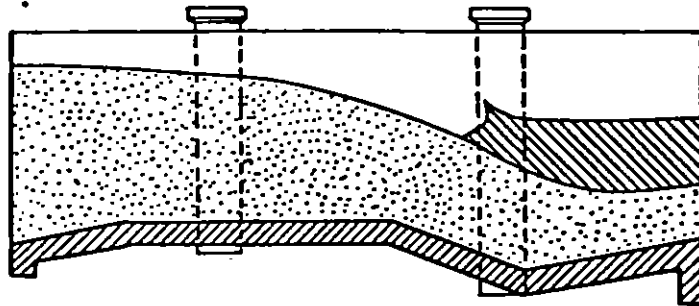


Los vertedores pueden instalarse en bocas de descarga de tuberías, en pozos de visitas o en canales abiertos para medir caudales de efluentes.

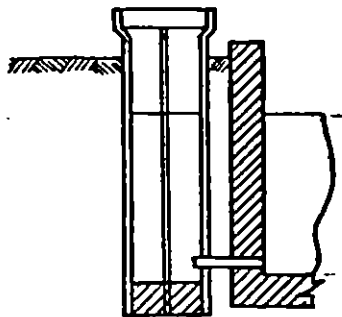
Gráfica No. 8



PLANTA



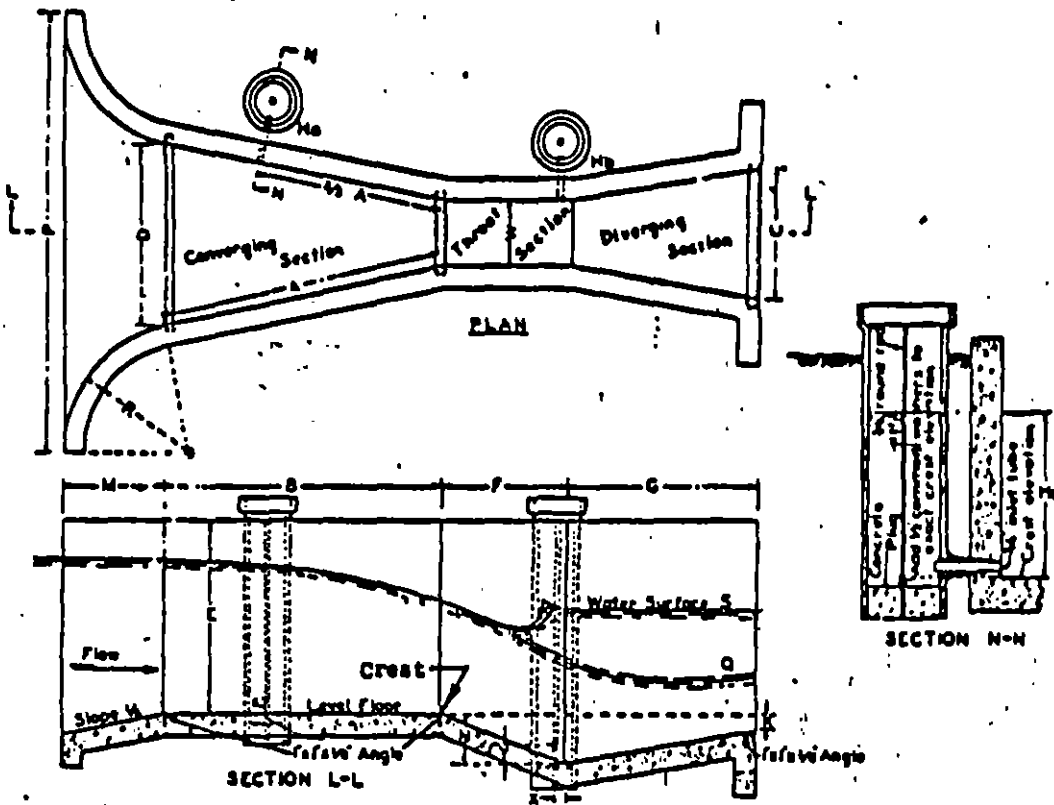
SECCION L-L



Pozo para medición de nivel

SECCION N-N

CANAL MEDIDOR PARSHALL



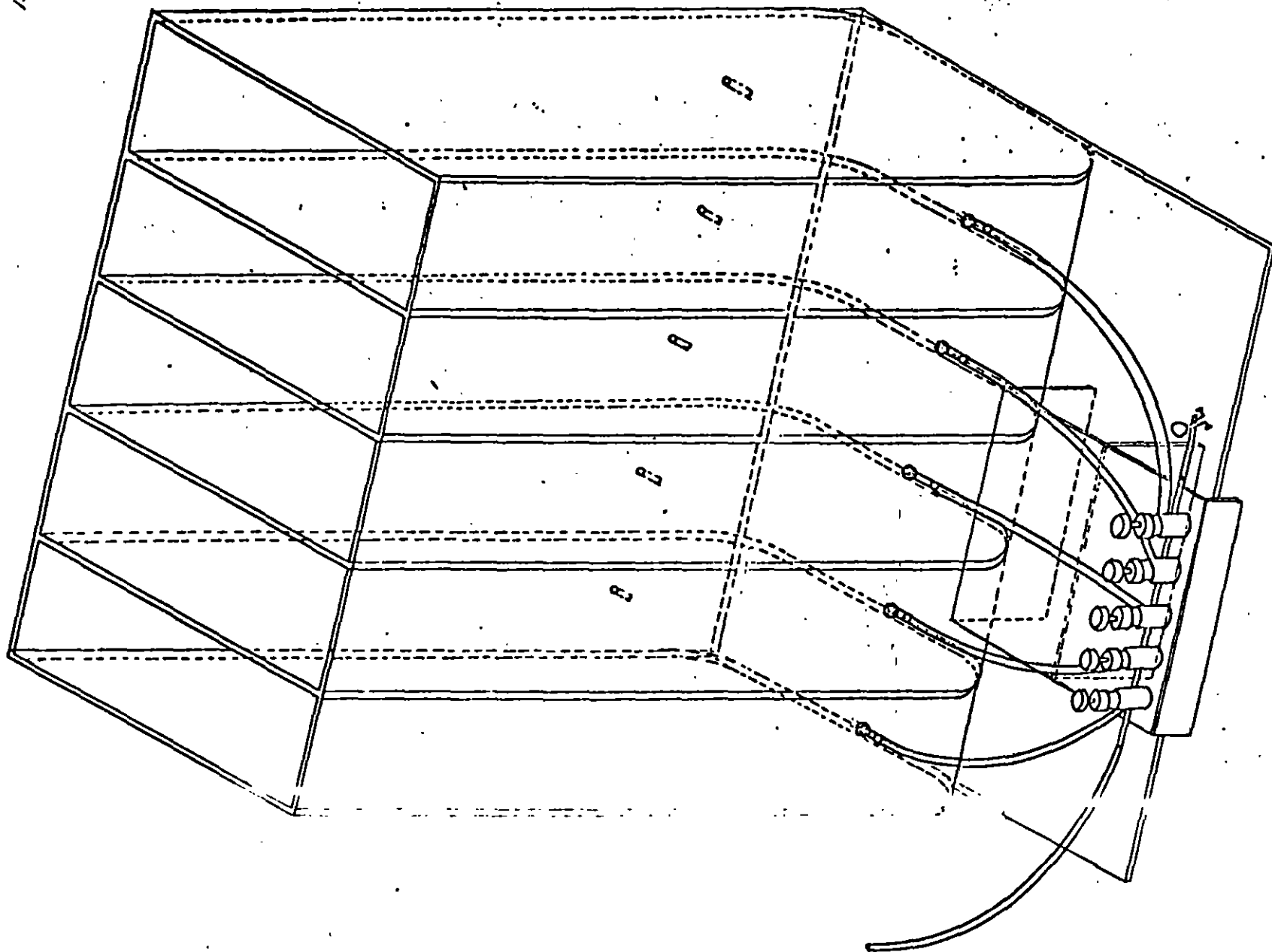
LEGEND

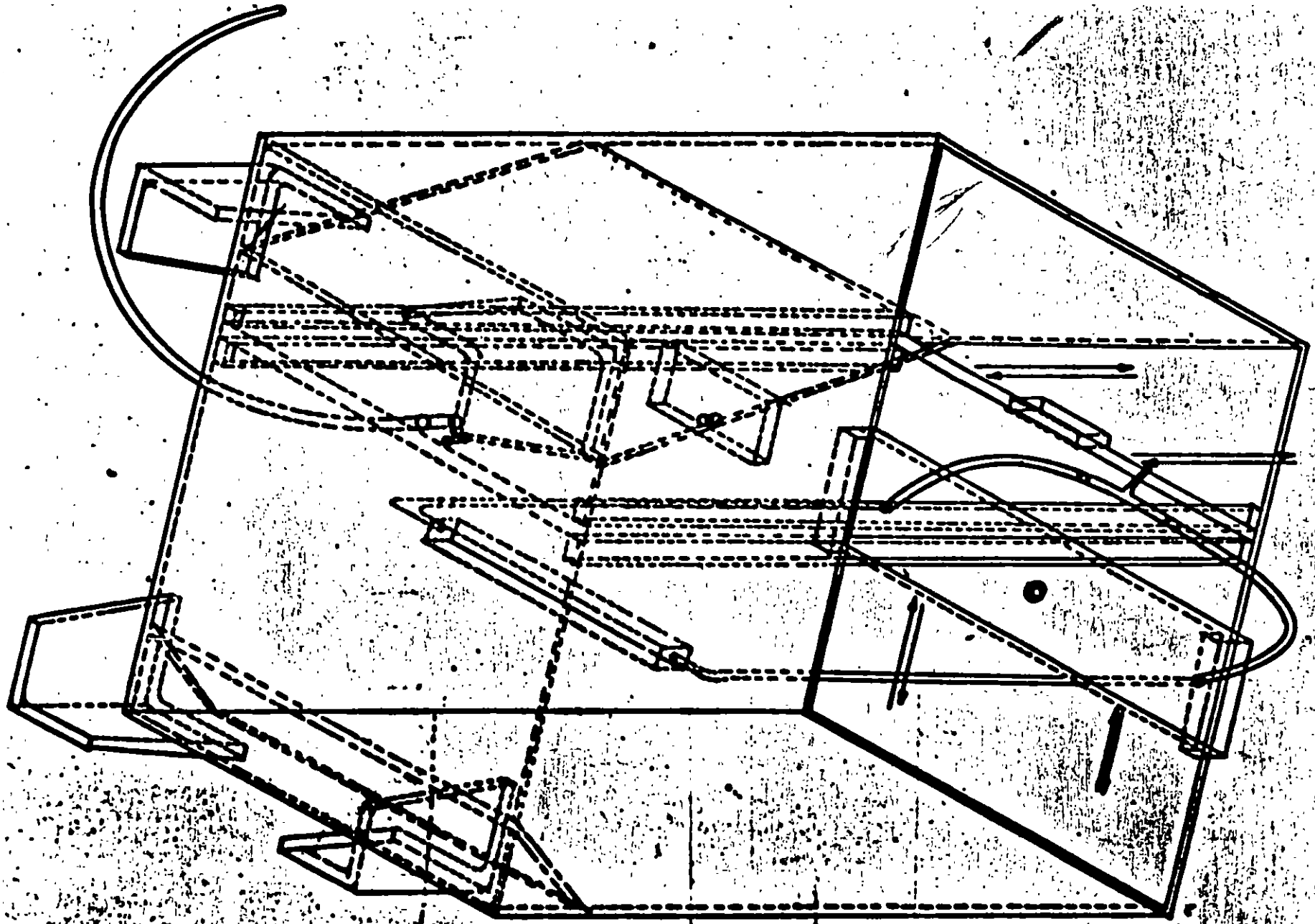
- W . Size of flume, in inches or feet.
- A Length of side wall of converging section.
- 2/3 A Distance back from end of crest to gage point.
- B Axial length of converging section.
- C Width of downstream end of flume.
- D Width of upstream end of flume.
- E Depth of flume.
- F Length of throat.
- G Length of diverging section.
- K Difference in elevation between lower end of flume and crest.
- M Length of approach floor.
- N Depth of depression in throat below crest.
- P Width between ends of curved wing walls.
- R Radius of curved wing wall.
- X Horizontal distance to Hb gage point from low point in throat.
- Y Vertical distance to Hb gage point from low point in throat.

Dimensions and capacities of the Parshall measuring flume, for various throat widths, W

W	A	2/3 A	B	C	D	K	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Free-flow capacity		
																Minimum	Maximum	
1/2	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2	0 7/8	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1/8	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	0.03	1.0
3/4	2 1/4	1 3/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4	1 1/8	2 1/4	2 1/4	2 1/4	1/8	2 1/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4	.05	2.0
1	3 1/2	2 3/4	3 1/2	3 1/2	3 1/2	1 1/4	3 1/2	3 1/2	3 1/2	1/8	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	.08	5.0
1 1/4	4 3/4	3 3/4	4 3/4	4 3/4	4 3/4	1 1/2	4 3/4	4 3/4	4 3/4	1/8	4 3/4	4 3/4	4 3/4	4 3/4	4 3/4	4 3/4	.11	16.1
1 1/2	5 1/4	4 1/4	5 1/4	5 1/4	5 1/4	1 3/8	5 1/4	5 1/4	5 1/4	1/8	5 1/4	5 1/4	5 1/4	5 1/4	5 1/4	5 1/4	.15	24.6
2	7 1/4	5 1/4	7 1/4	7 1/4	7 1/4	1 1/2	7 1/4	7 1/4	7 1/4	1/8	7 1/4	7 1/4	7 1/4	7 1/4	7 1/4	7 1/4	.22	33.1
2 1/2	8 3/4	6 1/4	8 3/4	8 3/4	8 3/4	1 3/4	8 3/4	8 3/4	8 3/4	1/8	8 3/4	8 3/4	8 3/4	8 3/4	8 3/4	8 3/4	.31	42.4
3	10 1/4	7 1/4	10 1/4	10 1/4	10 1/4	1 7/8	10 1/4	10 1/4	10 1/4	1/8	10 1/4	10 1/4	10 1/4	10 1/4	10 1/4	10 1/4	.42	57.8
3 1/2	11 3/4	8 1/4	11 3/4	11 3/4	11 3/4	2 1/8	11 3/4	11 3/4	11 3/4	1/8	11 3/4	11 3/4	11 3/4	11 3/4	11 3/4	11 3/4	.61	82.4
4	13 1/4	9 1/4	13 1/4	13 1/4	13 1/4	2 1/4	13 1/4	13 1/4	13 1/4	1/8	13 1/4	13 1/4	13 1/4	13 1/4	13 1/4	13 1/4	.83	112.4
5	15 1/4	10 1/4	15 1/4	15 1/4	15 1/4	2 3/8	15 1/4	15 1/4	15 1/4	1/8	15 1/4	15 1/4	15 1/4	15 1/4	15 1/4	15 1/4	1.0	148.8
6	17 1/4	11 1/4	17 1/4	17 1/4	17 1/4	2 7/8	17 1/4	17 1/4	17 1/4	1/8	17 1/4	17 1/4	17 1/4	17 1/4	17 1/4	17 1/4	1.3	207.8
7	19 1/4	12 1/4	19 1/4	19 1/4	19 1/4	3 1/8	19 1/4	19 1/4	19 1/4	1/8	19 1/4	19 1/4	19 1/4	19 1/4	19 1/4	19 1/4	1.6	282.8
8	21 1/4	13 1/4	21 1/4	21 1/4	21 1/4	3 1/4	21 1/4	21 1/4	21 1/4	1/8	21 1/4	21 1/4	21 1/4	21 1/4	21 1/4	21 1/4	2.0	371.8
9	23 1/4	14 1/4	23 1/4	23 1/4	23 1/4	3 3/8	23 1/4	23 1/4	23 1/4	1/8	23 1/4	23 1/4	23 1/4	23 1/4	23 1/4	23 1/4	2.5	491.8
10	25 1/4	15 1/4	25 1/4	25 1/4	25 1/4	3 7/8	25 1/4	25 1/4	25 1/4	1/8	25 1/4	25 1/4	25 1/4	25 1/4	25 1/4	25 1/4	3.0	631.8

13/14





Dos tipos de muestras: SIMPLE y COMPUESTA

MUESTRA SIMPLE

DA LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN EL MOMENTO EN QUE LA MUESTRA ES TOMADA.

Se usa cuando:

- 1) El caudal de agua residual y su composición es relativamente constante;
- 2) El flujo de agua residual es intermitente;
- 3) Las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas en las aguas residuales (pH y Temp.)

Volumen mínimo de una muestra entre 1 y 2 litros

MUESTRAS COMPUESTAS

Son aquellas formadas por mezcla de muestras individuales tomadas en diferentes momentos.

La cantidad de cada muestra individual que se añade a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada.

Supongase: V = Vol. total de la muestra que hay que tomar

V_i = Vol. de cada muestra individual de la muestra compuesta

Q_m = Caudal medio

Q_i = Caudal instantáneo en el momento en que la muestra es tomada

n = Número de muestras que deben ser mezcladas

$$\frac{V}{n Q_m} = \frac{V_i}{Q_i}$$

$$V_i = \left(\frac{V}{n Q_m} \right) Q_i$$

VOLUMEN DE MUESTRA REQUERIDA POR UNIDAD DE CAUDAL

$$\frac{V_i}{Q_i} = \frac{V}{n Q_m}$$

Para pequeñas variaciones las muestras sólo hace falta que se tomen a intervalos entre 2 y 24 h.

Las muestras individuales de la compuesta deben tener entre 25 y 100 ml., y el volumen compuesto debe tener entre 2 y 4 litros.

Ex. Las muestras siguientes se recogieron dentro de un vertido de aguas residuales

No. de muestra	Caudal (m ³ /h)
1	250
2	215
3	190
4	165
5	155
6	205
7	290
8	330
9	420
10	510
Σ 2730	

$$Q_m = \frac{2730}{10} = 273$$

Si se requiere una muestra compuesta de 3 litros, ¿cuántos ml de cada muestra deben tomarse?

① Determinar el Vol. de muestra necesario por cada unidad de caudal

$$\frac{V_i}{Q_i} = \frac{V}{n Q_m} = \frac{3000}{(10)(273)} = 1.1 \text{ ml}$$

② Calcular el número de ml para cada muestra

No. de muestra ml. de cada muestra
 $V_i = (V/n Q_m) Q_i$ (ml)

1	$1.1 \times 250 = 275$
2	$1.1 \times 215 = 236$
3	$1.1 \times 190 = 209$
4	$1.1 \times 165 = 181$
5	$1.1 \times 155 = 170$
6	$1.1 \times 205 = 226$
7	$1.1 \times 290 = 319$
8	$1.1 \times 330 = 363$
9	$1.1 \times 420 = 462$
10	$1.1 \times 510 = 561$
$\Sigma = 3002$ (≈ 3000)	

TOXICIDAD

Se utiliza el "LÍMITE DE TOLERANCIA MEDIO" TLM

Concentración de aguas residuales en la cual el 50% de los animales de ensayo son capaces de sobrevivir durante un determinado tiempo de exposición: 24, 48 y 96 horas.

Debe distinguirse entre muerte debido a falta de oxígeno de la debida a tóxicidad. Por lo tanto, deben mantenerse niveles adecuados de OD durante los ensayos.

Especies seleccionadas normalmente:

pez mosquito (*Gambusia affinis*)

carpas

truchas

peje-sol (genero *leponis*)

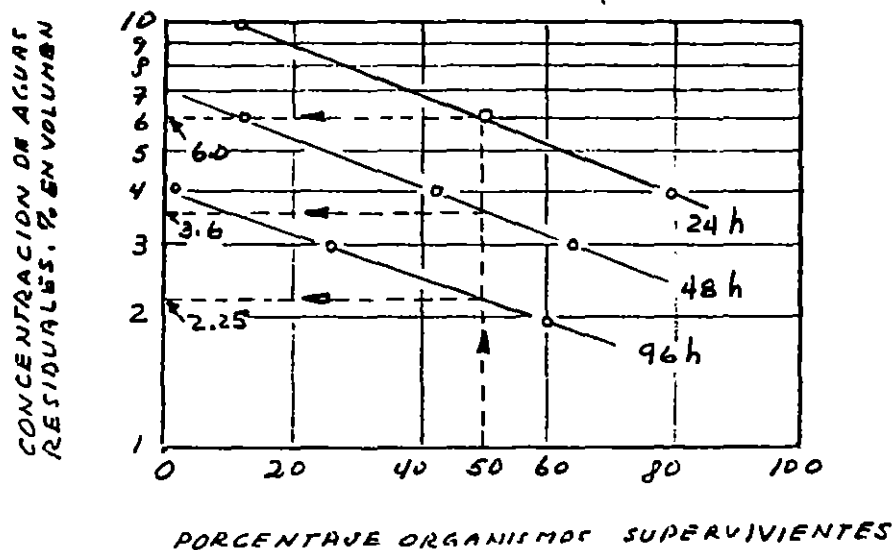
otras especies de peces

Ej: LOS ENSAYOS PARA EVALUACION DEL LTM DURANTE 24, 48 Y 96 HRS. DE EXPOSICION INDICARON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

Concn. en agua residual (% en volumen)	Porcentaje de organismos supervivientes		
	Despues de 24 h	Despues de 48h	Despues de 72h.
2	100	95	60
3	100	64	26
4	80	42	1
6	50	12	0
10	12	0	0

Determinar los valores LTM en porcentaje y volumen para 24, 48 y 96 horas.

1er Paso. Llevar a papel semilogaritmico las concentraciones de las aguas residuales en % del volumen en función del % de organismos sobrevivientes



PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA DETERMINACION DEL LTM

RESULTADOS:

LTM A 50% DE SUPERVIVENCIA

PARA $t = 24 h$	6%
PARA $t = 48 h$	3.6%
PARA $t = 96 h$	2.25%

UTILIZAR $1/10$ A $1/100$ DEL LTM PARA 96 HORAS DE EXPOSICION

NATIONAL TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE ON WATER QUALITY CRITERIA
DE E.U.A.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
I g u a l a c i ó n**

Autor:

M. en I. Baltazar Lucero Ramírez

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

IGUALACION

Las plantas de tratamiento son diseñadas considerando que tanto el gasto como las concentraciones de contaminantes son constantes. Sin embargo, existen variaciones en estos parámetros que influyen negativamente en las eficiencias de los diversos procesos. La uniformización del flujo (igualación o regularización) y de las concentraciones (homogenización), se usa para corregir estas variaciones.

La utilización de tanques de igualación después del tratamiento preliminar (cribado y remoción de arenas) permite la amortiguación de las variaciones de flujo y proporciona un caudal relativamente constante a los procesos y operaciones subsecuentes del sistema mejorando el grado de tratamiento.

Cabe mencionar que la igualación, no solamente amortigua las variaciones diarias de flujo sino también la variación en las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos durante el día. Además, puede mejorar significativamente el funcionamiento de las plantas existentes y cuando se trate de diseñar una nuevo sistema se reducirá el tamaño de las unidades de tratamiento aguas abajo a ese punto.

Esta operación, se puede utilizar durante la época de secas cuando existen sistemas de recolección de aguas residuales separados o bien en época de lluvias (períodos de tormentas) cuando existen sistemas de recolección combinados.

LOCALIZACION

Los tanques de igualación pueden localizarse ya sea en la línea del tratamiento (in line) o en paralelo, fuera de ella (side line). En la Figura 1 se presentan ambos tipos de localización.

En el primer caso, el tanque recibe el total del gasto de entrada y se bombea mediante un caudal constante a las demás unidades de tratamiento. En los tanques construidos fuera de la línea de tratamiento, el flujo excedente al caudal promedio diario, se canaliza a éste tanque a través de una estructura derivadora. Cuando el caudal del influente es menor al promedio diario se tendrá que bombear agua desde este punto a las unidades de tratamiento subsecuentes.

El sistema colocado en línea, generalmente proporciona mayor amortiguamiento respecto a las concentraciones de DBO y SS que el sistema colocado en paralelo.

El tanque de igualación tendrá fluctuación en el nivel de agua por lo que será necesario instalar equipos mecánicos de aeración para mantener mezclados los sólidos en suspensión y preservarlos en condiciones aerobias.

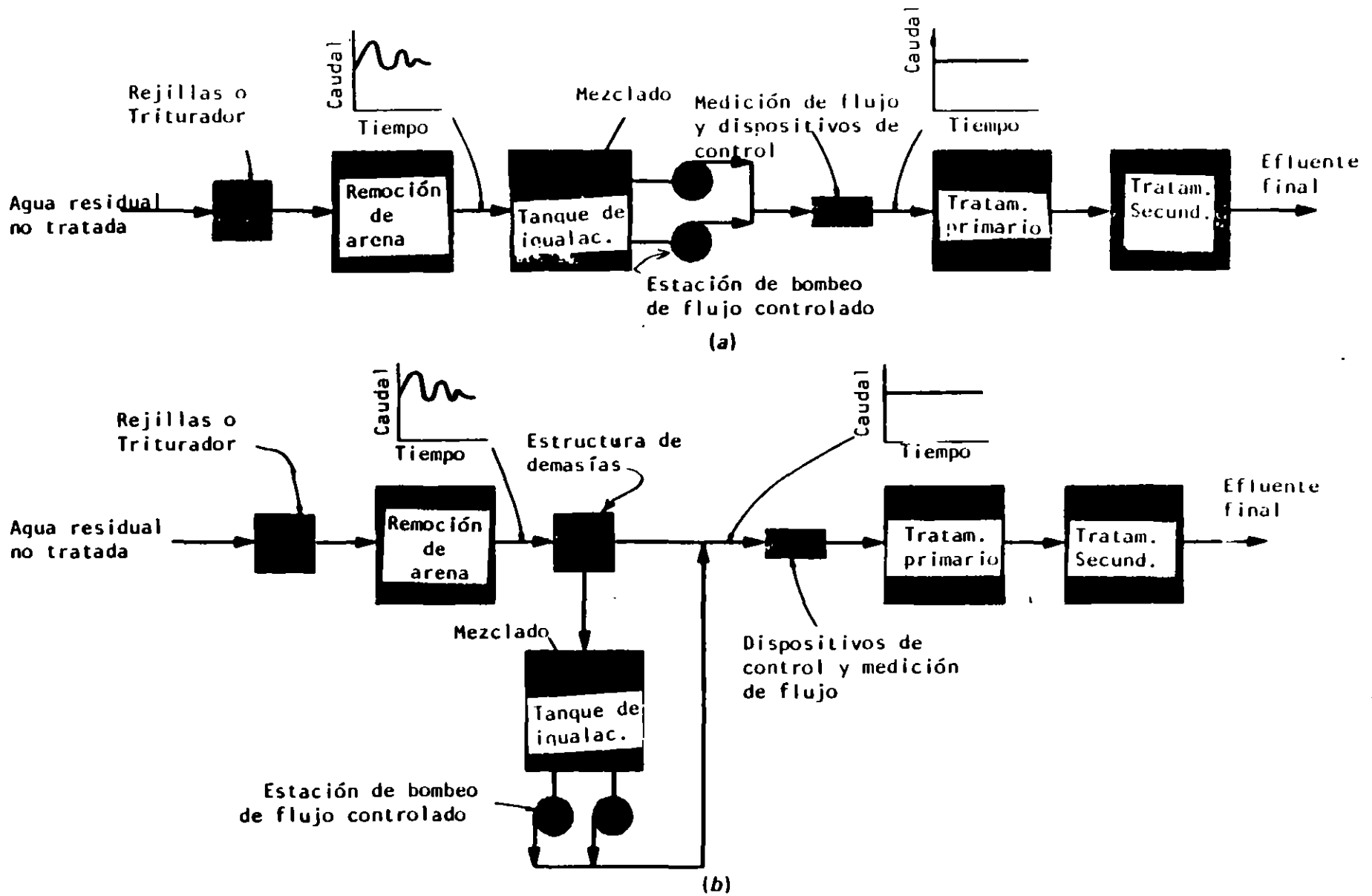


Figura 1 Diagrama típico de una planta de tratamiento de aguas residuales con igualación de flujo (a) en línea, (b) fuera de la línea .

VOLUMEN

El volumen requerido para la igualación del caudal se determina mediante la utilización de una curva de masas, en la cual, se grafica el volumen acumulado del caudal del influente respecto a las diferentes horas del día. En la Figura 2 aparecen curvas de masa para la determinación del volumen de igualación requerido para dos patrones típicos de flujo.

Para determinar el volumen, se traza una línea tangente a la curva de masas del influente en forma paralela a la línea que representa el flujo promedio diario. Por tanto, el volumen requerido es igual a la distancia vertical desde el punto de tangencia a la línea recta que representa el flujo promedio diario. En caso de que la curva de masas vaya por arriba de la línea del flujo promedio se deberán trazar dos líneas paralelas a la línea del flujo promedio y tangentes a los extremos de la curva de masas del influente. Ver Figura 2 (b). En este caso, el volumen requerido es igual a la distancia vertical entre las dos líneas.

En la práctica, el volumen del tanque de igualación se incrementa de un 10 a un 20 por ciento respecto al calculado en la teoría para prever incrementos de flujo, espacio libre en los bordes, etc.

EJEMPLO

Utilizando los datos que aparecen en la Tabla 1, determine: 1) el volumen de almacenamiento requerido para la igualación del caudal, y 2) el efecto de la igualación en la carga de la DBO.

1. Determinar el volumen requerido del tanque de igualación

a) La primera etapa consiste en desarrollar la curva acumulada de masas del caudal de aguas residuales. Esto se realiza convirtiendo el caudal promedio durante cada intervalo de una hora a volumen en metros cúbicos, utilizando la siguiente expresión y posteriormente sumando en forma acumulada los volúmenes de cada hora.

$$\text{Volumen, m}^3 = \left(q_1, \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left(3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) (1.0 \text{ h})$$

Por ejemplo, para los tres primeros intervalos mostrados en la Tabla 1, los volúmenes horarios correspondientes son:

$$\begin{aligned} V_{m-1} &= (0.275 \text{ m}^3/\text{s})(3600 \text{ s/h})(1.0 \text{ h}) \\ &= 990 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para el intervalo 1 - 2:

$$\begin{aligned} V_{1-2} &= (0.220 \text{ m}^3/\text{s})(3600 \text{ s/h})(1.0 \text{ h}) \\ &= 792 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El flujo acumulado, expresado en metros cúbicos al final de cada intervalo se determina como sigue:

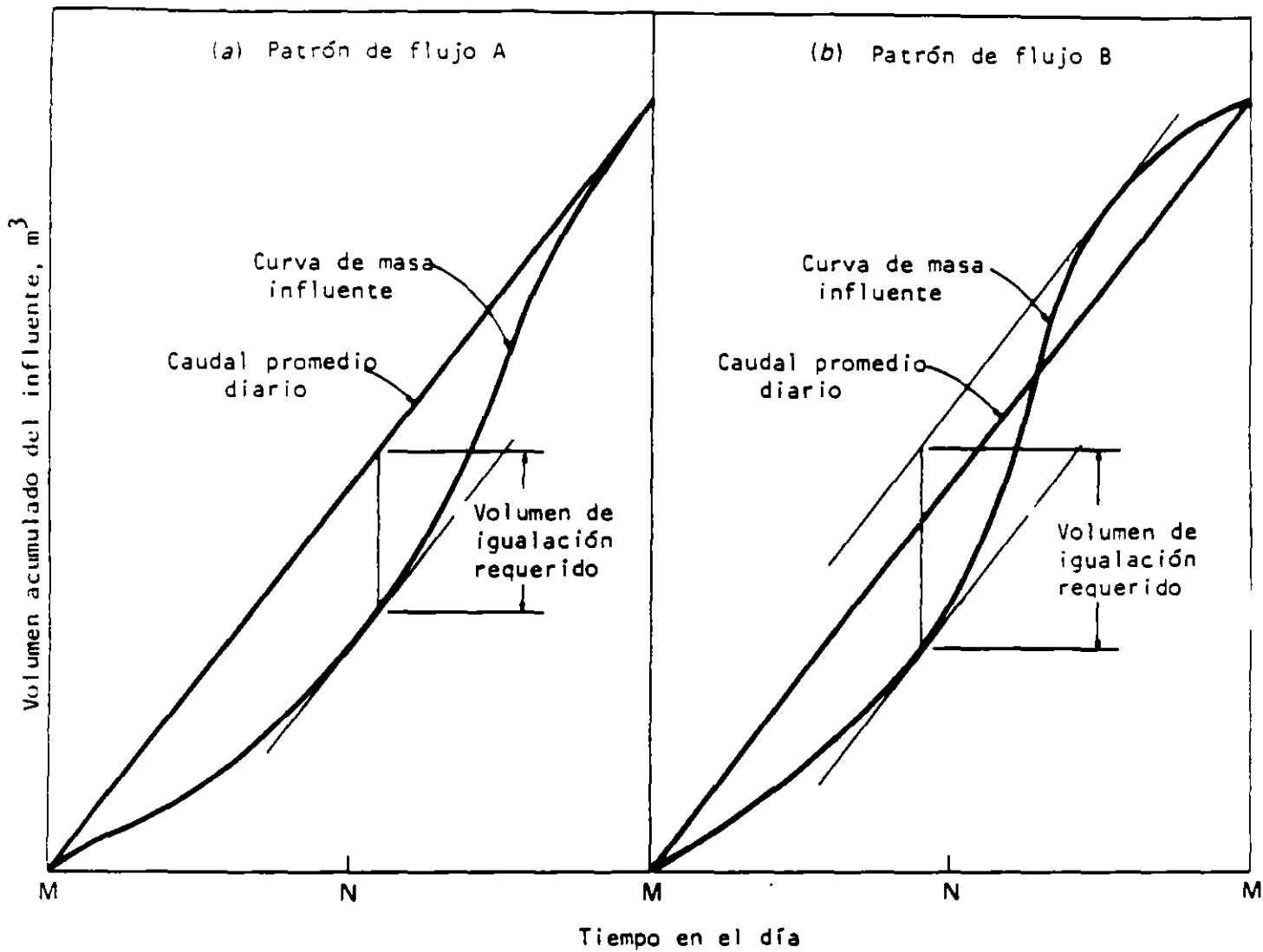


Figura 2 Curvas de masa para la determinación del volumen de igualación requerido para dos patrones típicos de flujo

Intervalo	Caudal promedio durante el intervalo, m ³ /s	Concentración promedio de DBO en el interv. mg/L	Volumen acumulado de flujo al final del int. m ³	Carga de DBO durante el intervalo, kg/h
M-1	0.275	150	990	149
1-2	0.220	115	1.782	91
2-3	0.165	75	2.376	45
3-4	0.130	50	2.844	23
4-5	0.105	45	3.222	17
5-6	0.100	60	3.582	22
6-7	0.120	90	4.014	39
7-8	0.205	130	4.752	96
8-9	0.355	175	6.030	223
9-10	0.410	200	7.506	295
10-11	0.425	215	9.036	329
11-N	0.430	220	10.584	341
N-1	0.425	220	12.114	337
1-2	0.405	210	13.572	306
2-3	0.385	200	14.958	277
3-4	0.350	190	16.218	239
4-5	0.325	180	17.388	211
5-6	0.325	170	18.558	199
6-7	0.330	175	19.746	208
7-8	0.365	210	21.060	276
8-9	0.400	280	22.500	403
9-10	0.400	305	23.940	439
10-11	0.380	245	25.308	335
11-M	0.345	180	26.550	224
Promedio	0.307			213

Tabla 1 Datos de caudal y Demanda Bioquímica de Oxígeno para determinar los efectos de la igualación del flujo del ejemplo

Al final del primer intervalo M-1:

$$V_1 = 990 \text{ m}^3$$

Al final del segundo intervalo 1-2:

$$V_2 = 990 + 792 = 1782 \text{ m}^3$$

El flujo acumulado para cada uno de los intervalos horarios se calcula de manera similar y se reporta en la Tabla 1.

b) La segunda etapa consiste en preparar una gráfica de los volúmenes acumulados del caudal. En la Figura 3, se puede observar que la pendiente de la línea trazada del origen al punto final de la curva representa el valor del caudal promedio diario que en este caso es igual a 0.307 m³/s.

c) La tercera etapa consiste en determinar el volumen de almacenamiento requerido. Esto se realiza trazando una línea tangente a la curva de masas en forma paralela a la línea que representa el caudal promedio diario. El volumen requerido se representa mediante la distancia vertical existente entre el punto de tangencia y la recta que representa el caudal promedio diario. En nuestro caso, este valor es:

$$\text{Volumen del tanque de igualación, } V = 4110 \text{ m}^3$$

2. Determinar el efecto del tanque de igualación en la carga de DBO. Existen varios métodos para hacer esto, sin embargo, posiblemente el más simple es el que consiste en hacer los cálculos necesarios iniciando con el intervalo horario en que el tanque de igualación se encuentra vacío. En nuestro caso, esto sucede a las 8:30 AM. (Ver Figura 4). Por lo tanto, los cálculos necesarios se desarrollarán iniciando con el intervalo de las 8 a las 9 AM.

a) El primer paso es calcular el volumen del agua en el tanque de igualación al final de cada intervalo de una hora. Esto se realiza restando el caudal horario regularizado del caudal del influente. El volumen correspondiente al caudal igualado o regularizado mostrado en la Figura 3 para un intervalo de una hora es de 1106 m³, es decir, $(26550 \text{ m}^3/\text{d})(1.0 \text{ h})/(24 \text{ h}/\text{d})$. Utilizando este valor, se calcula el volumen en almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc}$$

Donde:

V_{sc} = Volumen del tanque de igualación al final del intervalo en estudio

V_{sp} = Volumen del tanque de igualación al final del intervalo previo

V_{ic} = Volumen del influente durante el intervalo en estudio

V_{oc} = Volumen del efluente durante el intervalo en estudio

Es decir, utilizando los datos de la Tabla 1, el volu n de

igualación para el intervalo de las 8 a la 9 es:

$$V_{sc} = 0 + 1278 - 1106 = 172 \text{ m}^3$$

Para el período de las 9 a las 10 es:

$$V_{sc} = 172 + 1476 - 1106 = 542 \text{ m}^3$$

El volumen de almacenamiento para cada intervalo horario se ha calculado de manera similar y se reporta en la Tabla 2.

b) El segundo paso consiste en calcular la concentración promedio de DBO que sale del tanque de almacenamiento. Esto se realiza mediante la expresión que se presenta a continuación, la cual, se basa en suponer que el contenido del tanque de igualación está completamente mezclado:

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic})(X_{ic}) + (V_{sp})(X_{sp})}{V_{ic} + V_{sp}}$$

Donde:

X_{oc} = Concentración promedio de DBO en la salida (efluente) del tanque de almacenamiento durante el intervalo en estudio, mg/L.

V_{ic} = Volumen de agua residual del influente durante el intervalo analizado, m³

X_{ic} = Concentración promedio de DBO en el volumen de agua residual del influente, mg/L

V_{sp} = Volumen del agua residual en el tanque de almacenamiento en el intervalo previo, m³

X_{sp} = Concentración de DBO en el agua residual en el tanque de almacenamiento al final del intervalo previo.

Utilizando los datos proporcionados en la Tabla 2, se calcula la concentración del efluente de la siguiente manera:

Para el período de 8 a 9:

$$X_{oc} = \frac{(1278 \text{ m}^3)(175 \text{ mg/L}) + (0)(0)}{1278 \text{ m}^3} = 175 \text{ mg/L}$$

Para el período de 9 a 10:

$$X_{oc} = \frac{(1476 \text{ m}^3)(200) + (172 \text{ m}^3)(175 \text{ mg/L})}{(1476 + 172) \text{ m}^3} = 197 \text{ mg/L}$$

Todos los valores de concentración se calculan de manera similar. Los resultados se reportan en la Tabla 2.

c) El tercer paso consiste en calcular la carga horaria utilizando

Inter- valo	Volumen del caudal duran- te el inter- valo, m ³	Volumen al- macenado al final del intervalo m ³	Concentración promedio de DBO durante el intervalo mg/L	Concentración de DBO homoge- nizada durante el intervalo mg/l	Carga de DBO homogenizada durante el intervalo kg/h
8-9	1278	172	175	175	193
9-10	1476	542	200	197	218
10-11	1530	966	215	210	232
11-N	1548	1408	220	216	239
N-1	1530	1832	220	218	241
1-2	1458	2184	210	214	237
2-3	1386	2464	200	209	231
3-4	1260	2618	190	203	224
4-5	1170	2680	180	196	217
5-6	1070	2746	170	188	208
6-7	1188	2828	175	184	203
7-8	1314	3036	210	192	212
8-9	1440	3370	280	220	243
9-10	1440	3704	305	245	271
10-11	1368	3966	245	245	271
11-M	1242	4102	180	230	254
M-1	990	3986	150	214	237
1-2	792	3672	115	196	217
2-3	594	3160	75	179	198
3-4	468	2522	50	162	179
4-5	378	1794	45	147	162
5-6	360	1048	60	132	146
6-7	432	374	90	119	132
7-8	738	0	130	126	139
Promedio					213

Tabla 2 Tabla de cálculo para la determinación de los valores de la carga de DBO homogenizada del ejemplo.

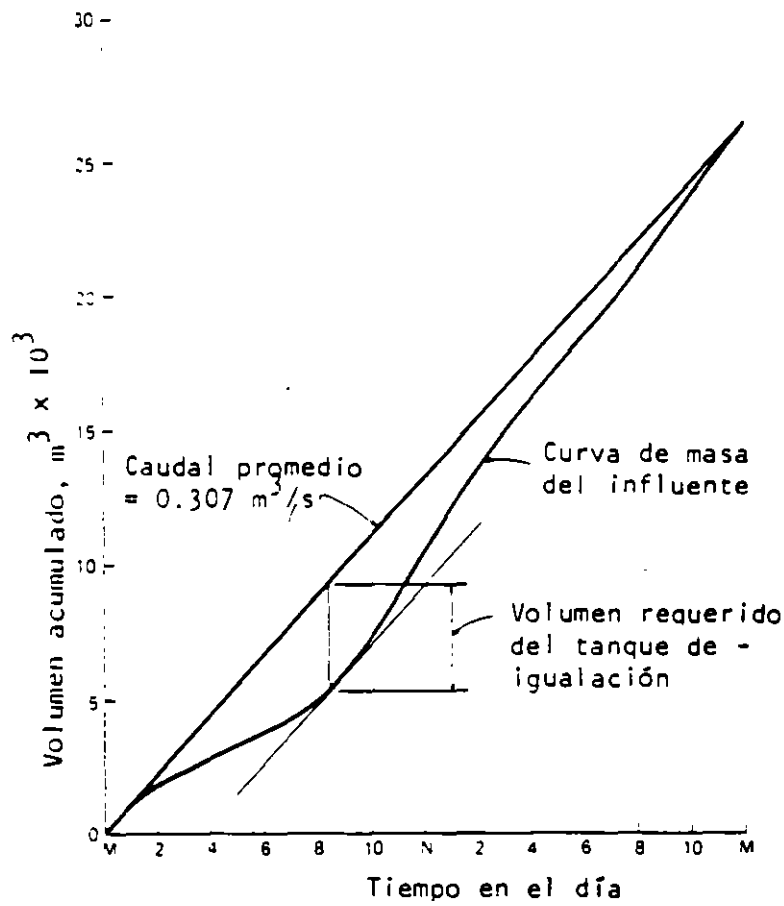


Figura 3 Curva de masas para la determinación del volumen del tanque de igualación del ejemplo

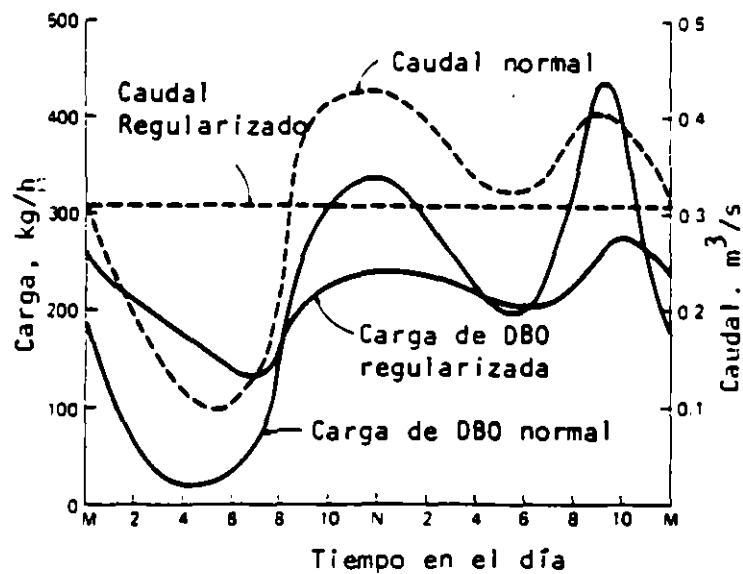


Figura 4 Graficación de los valores de caudal y carga de DBO normales y corregidos por igualación del flujo del ejemplo

la siguiente expresión:

$$\text{Carga, Kg/h} = \frac{(\text{Xoc, g/m}^3)(\text{ql, m}^3/\text{s})(3600 \text{ s/h})}{10000 \text{ g/Kg}}$$

Por ejemplo, para el intervalo de 8 a 9, la carga es de :

$$\frac{(175 \text{ g/m}^3)(0.307 \text{ m}^3/\text{s})(3600 \text{ s/h})}{1000 \text{ g/kg}} = 193 \text{ Kg/h}$$

Los valores para los intervalos restantes se presentan en la Tabla 2 y los valores sin igualación de flujo se reportan en la Tabla 1.

d) El efecto de la igualación del flujo puede mostrarse gráficamente, trazando la curva de carga de DBO con igualación y la curva de carga normal. Ver Figura 4.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.

28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***

Cribado

Igualación

Autores:

**M. en I. Eduardo Vega González
M. en I. Baltazar Lucero Ramírez**

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

CRIBADO

1. INTRODUCCION

La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el cribado o desbaste. El propósito de esta operación es remover sólidos gruesos como papel, trapos, madera, plásticos y otros. Estos sólidos si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo y de concentración de lodos, atorarse sobre los aeradores mecánicos, bloquear tuberías, boquillas, etc. creando serios problemas de operación y mantenimiento.

2. CLASIFICACION DE CRIBAS

Las cribas pueden ser de limpieza manual o mecánica y de acuerdo al tamaño de aberturas se clasifican en gruesas y finas:

Cribas gruesas

Este tipo de cribas representan generalmente el primer paso en el tratamiento de aguas residuales y consisten en rejillas, tamices y trituradores (comminutors).

Cribas finas

Las cribas finas fueron utilizadas inicialmente en los sistemas de tratamiento de agua en la industria. Generalmente tienen aberturas de 2 a 6 mm y en la actualidad se usan ya sea como una etapa de pretratamiento o bien para mejorar los efluentes del tratamiento secundario.

Las cribas finas pueden ser fijas o móviles. Las cribas finas o estáticas se mantienen permanentemente en posición vertical, inclinada u horizontal y deben limpiarse con rastrillos o cepillos. Las cribas móviles se limpian continuamente mientras están operando. Ambos tipos de cribas pueden ser capaces de remover de 20 a 35 porciento de Sólidos Suspendidos y DBO5.

3. REJILLAS

Las rejillas (cribas gruesas) se fabrican con barras de acero u otro material de alta resistencia las cuales van soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal; son comunmente utilizadas en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de tamaño medio y grande y su limpieza puede ser manual o mecánica. Las rejillas de limpieza manual tienen ángulos de inclinación típicos respecto a la horizontal de 30 a 45 grados. En rejillas mecánicas esta inclinación es de 45 a 90 grados con valores típicos de 60°. En la tabla 1 se presenta la información de diseño para rejillas de limpieza manual y mecánica.

Tabla 1 Información típica de diseño para rejillas de limpieza manual y mecánica

Concepto	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Velocidad a través de las rejillas, m/s	0.3-0.6	0.6-1.0
Tamaño de las barras:		
Ancho, mm	4 - 8	8 - 10
Profundidad, mm	25 - 50	50 - 75
Separación libre entre barras, mm	25 - 75	10 - 50
Pendiente con respecto a la horizontal, grados	45 - 60	75 - 85
Pérdida de carga admisible, mm (en rejilla colmatada)		
Admisible, mm	150	150
Máxima, mm	800	800

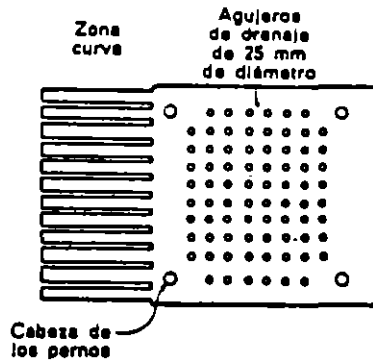
3.1 Rejillas de limpieza manual

Las rejillas de limpieza manual en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se localizan generalmente antes de los sistemas de bombeo para su protección. La tendencia en los últimos años ha sido instalar rejillas de limpieza mecánica o trituradores, no sólo para reducir a un mínimo el trabajo manual de limpiar la rejillas sino también para disminuir los reboses y desbordamientos que se producen por el atascamiento de las mismas.

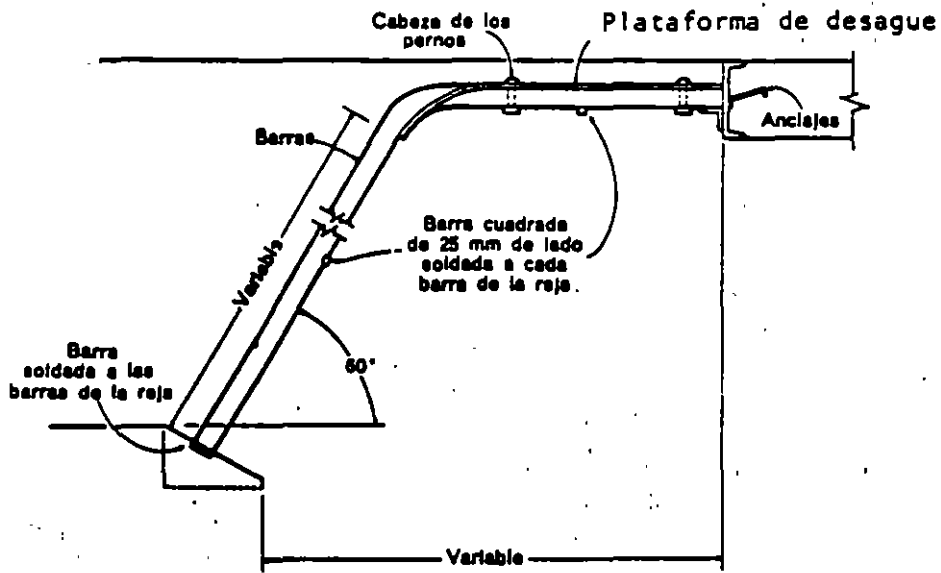
La longitud (profundidad) de la rejilla de limpieza manual no debe exceder de lo que pueda rastrillarse fácilmente a mano. En la parte superior de la rejilla deberá colocarse una placa perforada para que los sólidos removidos puedan almacenarse temporalmente para su desagüe. En la Figura 1 se muestra una rejilla de limpieza manual típica.

El canal donde se ubica la rejilla debe proyectarse de modo que se evite la acumulación de arena y otros materiales pesados antes y después de la reja. De preferencia, el canal deber ser recto, perpendicular a la rejilla para procurar una distribución uniforme de los sólidos en la sección transversal al flujo y sobre la rejilla.

Con objeto de proporcionar suficiente superficie de rejilla para la acumulación de basuras entre las operaciones de limpieza, es esencial que la velocidad de aproximación se limite a 0.45 m/s caudal medio. Conforme se acumulan las basuras, obturan parcialmente la reja, aumenta la pérdida de carga, sumergiendo nuevas zonas a través de las cuales va a pasar el agua. El diseño estructural de la rejilla ha de ser adecuado para evitar su rotura en caso de que llegue a taponarse totalment .



Vista en planta de la plataforma de desagüe



Detalle de una rejilla con barras de aluminio

Figura 1 Rejilla típica de limpieza manual

3.2 Rejillas de limpieza mecánica

Para realizar el proyecto de este tipo de dispositivos, se determina por anticipado el tipo de equipo a utilizar, las dimensiones del canal de la rejilla, el intervalo de variación de la profundidad del flujo en el canal, la separación entre barras y el método de control de la rejilla. Este tipo de rejillas según la empresa fabricante pueden limpiarse, por la cara anterior (frontal) o la posterior. Cada tipo tiene sus ventajas y desventajas. En la Figura 2 se muestra una rejilla mecánica de limpieza frontal.

En el modelo de limpieza frontal, el mecanismo se halla totalmente enfrente de la rejilla, una posible desventaja de este tipo de rejillas es que si se depositan algunos sólidos al pie de ésta, la pueden obstruir, bloqueando el mecanismo y poniendolo fuera de operación.

En el modelo de limpieza por la cara posterior se evita precisamente el atascamiento que pudieran ocasionar los sólidos depositados al pie de la rejilla ya que existen diseños en los cuales los rastrillos entran a la rejillas por la zona posterior, pasan por debajo de ella y rastrillean en la cara frontal arrastrando los sólidos que pudieran quedarse en la base de la rejilla (Figura 3).

4. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE REJILLAS

Los principales factores a considerar en el diseño de rejillas son:

4.1 Canal de rejillas

Consiste en un canal de sección rectangular. El piso del canal es 7 a 15 cm más bajo que la plantilla de la tubería de llegada pudiendo ser plano o con pendiente. El canal se diseña para evitar la acumulación de arenas y otros materiales pesados en el mismo canal. Se debe prever un medio de aproximación recto, perpendicular a las rejillas para asegurar una distribución uniforme de los sólidos gruesos en toda el área a cubrir.

Se deben instalar por lo menos dos rejillas, cada una diseñada para operar con el gasto pico de diseño. Una rejilla se opera mientras la otra se alterna. Para el mantenimiento de rutina se deben considerar medios (compuertas) para detener el flujo y drenar el canal.

La estructura de entrada debe tener una transición suave o divergente con el fin de minimizar las pérdidas de carga a la entrada al pasar las aguas residuales del interceptor al canal y prevenir la sedimentación y acumulación de arenas. En forma semejante, la estructura de salida debe tener convergencia uniforme. El efluente de canales individuales puede combinarse mantenerse separado, según sea necesario. En la Figura 4 se muestran algunos arreglos de canales con rejillas.

En todos los casos se deben tomar en cuenta las pérdidas de carga por entrada, salida, curvas, ampliaciones y contracciones.

4.2 Pérdida de carga

La pérdida de carga a través de las rejillas se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$h_L = \frac{V^2 - v^2}{2g} \left(\frac{1}{0.7} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$h_L = \beta (W/b)^{4/3} hv \cdot \text{sen } \theta \dots \dots \dots (2)$$

$$h_L = \frac{1}{2g} (Q/CA)^2 \dots \dots \dots (3)$$

La ecuación (1) se emplea para calcular la pérdida de carga a través de barras limpias o parcialmente colmatadas, mientras que la ecuación (2) se usa para calcular la pérdida de carga a través de cribas limpias solamente. La ecuación (3) es la fórmula común de orificios y también se usa para calcular la pérdida de carga a través de cribas finas como mallas o tamices.

Simbología:

h_L = Pérdida de carga a través de la rejilla, en m.

V, v = Velocidad a través de la rejilla y en el canal aguas arriba de la rejilla, m/s.

g = Constante de gravedad = 9.81 m/seg²

W = Ancho máximo de la sección transversal de las barras frente a la dirección del flujo (espesor), en m.

b = Espaciamiento libre mínimo de las barras, en m.

θ = Angulo de la rejilla con la horizontal

hv = Carga de velocidad del flujo que se aproxima a las rejillas, en m.

Q = Gasto a través de la rejilla

A = Area abierta efectivamente sumergida, en m²

C = Coeficiente de descarga, igual a 0.60 para rejillas limpias

β = Factor de forma de las barras:

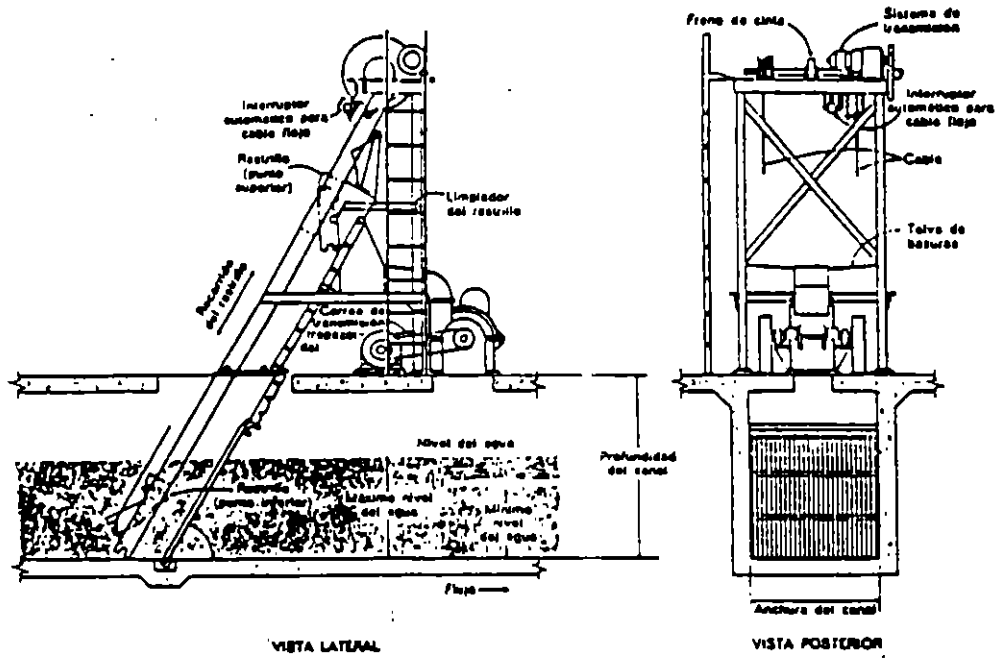
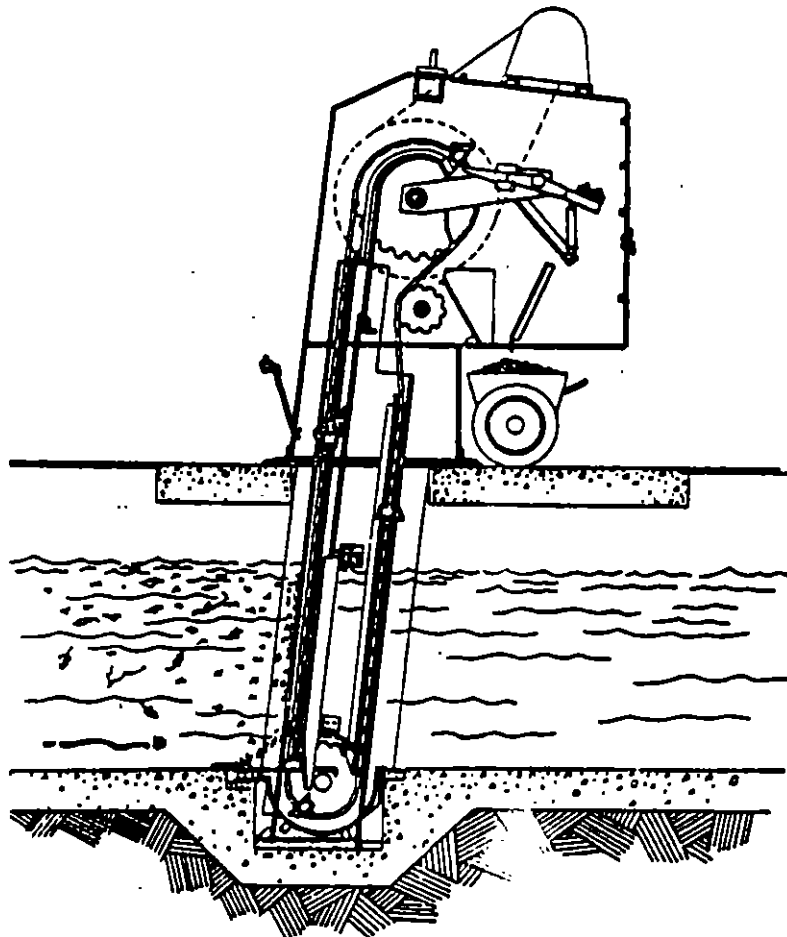


Figura 2 Rejilla mecánica de limpieza frontal



Valores de Kirschmer, β para rejillas limpias

Tipo de barra	β
Rectangular cortes rectos	2.42
Rectangular con cara semicircular aguas arriba	1.83
Circular	1.79
Rectangular con cara semicircular aguas arriba y aguas abajo	1.67

4.3 Remoción de sólidos

Las rejillas que se limpian manualmente tienen barras inclinadas para facilitar el rastrillado. El material se coloca posteriormente sobre una placa perforada para drenarlo y almacenarlo.

Como se ha mencionado, las rejillas que se limpian mecánicamente son del tipo frontal o posterior. En ambos casos el rastrillo viajero mueve el material hacia arriba y lo deja caer en una fosa colectora o en un transportador. El dispositivo de limpieza posterior tiene la ventaja que no se atasca fácilmente debido a obstrucciones en la base de la criba. En ambos tipos, el rastrillo opera continuamente por medio de cadenas sin fin y catarinas. La operación puede hacerse intermitentemente por medio de un reloj o actuarse por una diferencial de pérdida de carga preestablecida a través de la criba.

4.4 Cantidades y composición de los sólidos retenidos

La cantidad de sólidos retenidos depende del tipo de agua residual, localización geográfica, condiciones climatológicas y características de las cribas.

La cantidad de material retenido por rejillas varía de 3.5 a 80 m³ por cada millón de metros cúbicos de aguas residuales con un promedio aproximado de 20 m³ por cada millón de metros cúbicos. En la Figura 5 se presenta una gráfica que muestra las cantidades de sólidos removidos en rejillas de limpieza mecánica. Los sólidos removidos contienen aproximadamente 80 por ciento de humedad y normalmente pesan 960 kg/m³.

El material presenta mal olor y atrae moscas. La eliminación se hace por medio de rellenos sanitarios o incineración. Con frecuencia el material se pasa a través de trituradores y se retorna a la planta de tratamiento.

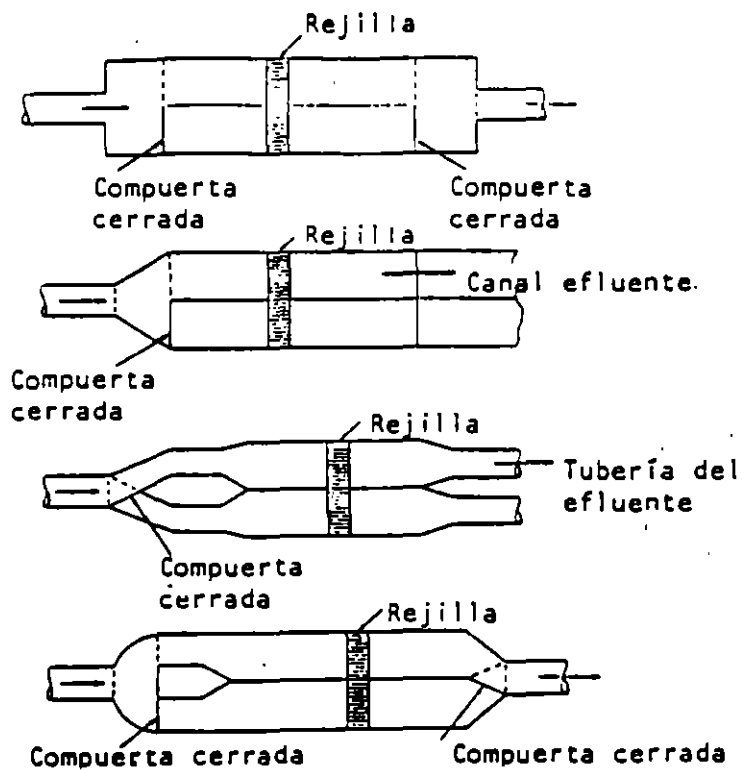


Figura 4 Arreglos de canales dobles con rejilla

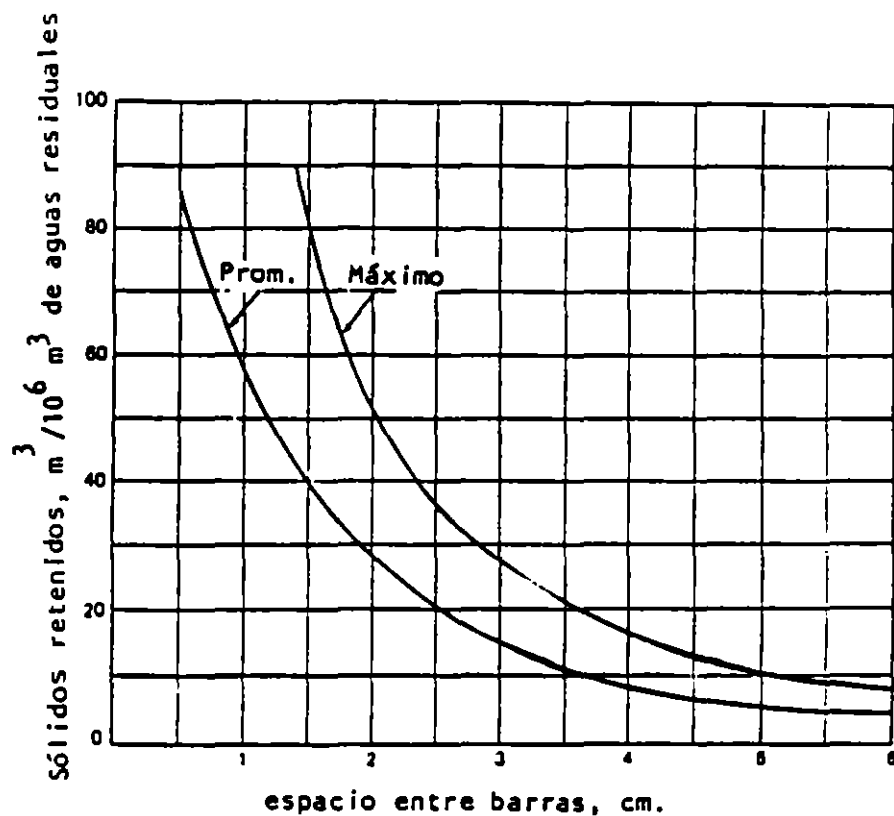


Figura 5 Cantidades de sólidos retenidos por rejillas de limpieza mecánica

5. INFORMACION REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE REJILLAS

- a) Gastos de aguas residuales, incluyendo el flujo pico en época de lluvias y en época de secas y el gasto promedio de diseño.
- b) Datos hidráulicos y de diseño del conducto influente
- c) Criterios de diseño de la planta de tratamiento
- d) Velocidades a través de las barras
- e) Fabricantes de equipo y catálogos para selección
- f) Condiciones de dispositivos existentes si la planta se va a ampliar
- g) Plano del sitio y contornos
- h) Espaciamiento de las barras y restricciones de pérdida de carga a través de las rejillas y de toda la planta
- i) Velocidades a través del canal de cribado.

6. BIBLIOGRAFIA

- a) METCALF Y EDDY, INC., "Tratamiento y depuración de las aguas residuales". Editorial Labor, 1981.
- b) QASIM, S.R., "Wastewater treatment plants: planning design and operation", CBS College Publishing, New York, 1985.
- c) MENDOZA, G.G. Apuntes sobre Cribado, curso "Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y reusos". División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F. 1989



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.

28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
Desarenadores. Teoría y Dimensionamiento**

**Autor: M. en I. Eduardo Vega
González**

**Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz**

DESARENADORES, TEORIA Y DIMENSIONAMIENTO

A en J BALTÁZAR ZUERO RAMÍREZ

1. INTRODUCCION

Los tanques desarenadores forman parte del tratamiento preliminar y se diseñan para eliminar la arena, aquí el termino arena incluye además, cascara de huevo, pedazos de hueso, semillas, residuos de café molido y otros sólidos cuya gravedad específica es mayor que la de las partículas orgánicas putrescibles presentes en las aguas residuales. La necesidad de eliminar estos materiales radica en:

- a) Proteger el equipo mecánico y las bombas de abrasión y de un desgaste excesivo,
- b) Prevenir el taponamiento de tuberías y reducir el depósito de este material en los canales,
- c) Prevenir el efecto de cementación en el fondo de los tanques digestores y de sedimentación primaria y
- d) Reducir el efecto de acumulación en los tanques de aeración y en los digestores de lodos lo cual puede reducir su volumen útil.

II LOCALIZACION

Con el objeto de proporcionar mayor protección al equipo mecánico, se ha vuelto una necesidad la instalación de tanques desarenadores en la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Normalmente, estas unidades se localizan antes del bombeo de las aguas residuales crudas, sin embargo, en algunas ocasiones los colectores de llegada se encuentran a tal profundidad que resulta impráctico y poco económico la instalación de los desarenadores antes del bombeo. En esa situación puede ser preferible bombear las aguas, a un punto de mayor accesibilidad a costa de un mayor mantenimiento en el equipo de bombeo.

III TIPOS DE DESARENADORES

La cantidad y calidad de la arena y el efecto de la misma en las unidades de tratamiento subsecuentes, son factores de gran importancia en la selección del desarenador. Asimismo, su selección puede estar influenciada por la pérdida de carga, los requerimientos de espacio y el tipo de equipo empleado en otras partes de la planta. Existen tres tipos de tanques desarenadores:

- a) de flujo horizontal o velocidad controlada
- b) desarenadores aerados, y
- c) los tanques de sección cuadrada o tanques de detritus.

En los desarenadores de tipo horizontal, el caudal pasa a través del tanque en dirección horizontal y la velocidad de flujo es controlada por las mismas dimensiones de la unidad o mediante el uso de vertedores de sección especial al final del tanque.

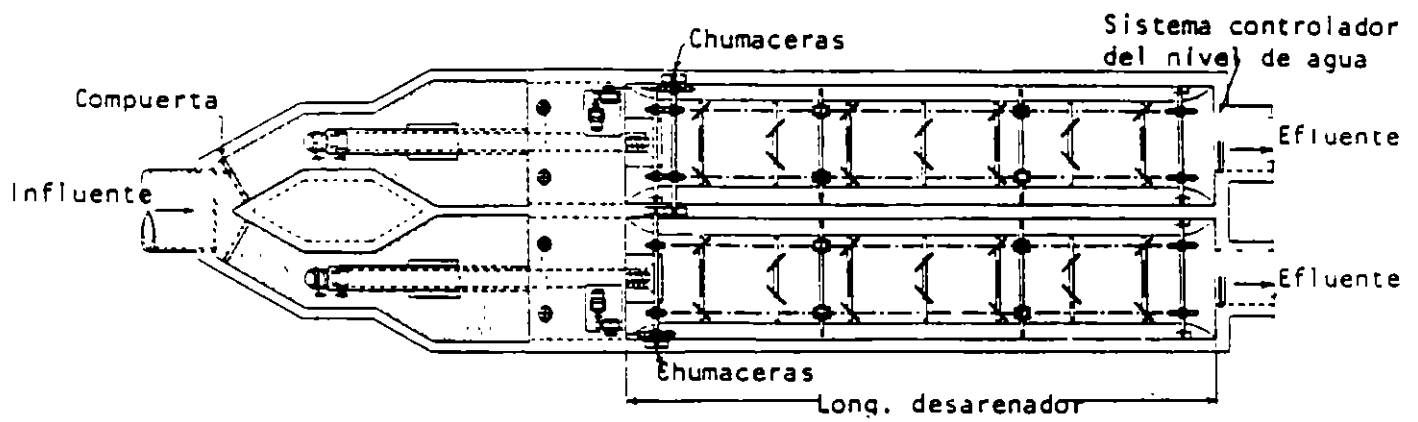
Los desarenadores aerados consisten en tanques sujetos a una aeración del tipo flujo en espiral donde la velocidad es controlada mediante sus dimensiones así como por la cantidad de aire suministrada a esa unidad.

Los desarenadores de sección cuadrada o tanques de detritus son simplemente tanques de sedimentación en los cuales la arena y los sólidos orgánicos sedimentan en forma conjunta; los sólidos orgánicos se separan posteriormente por medios mecánicos.

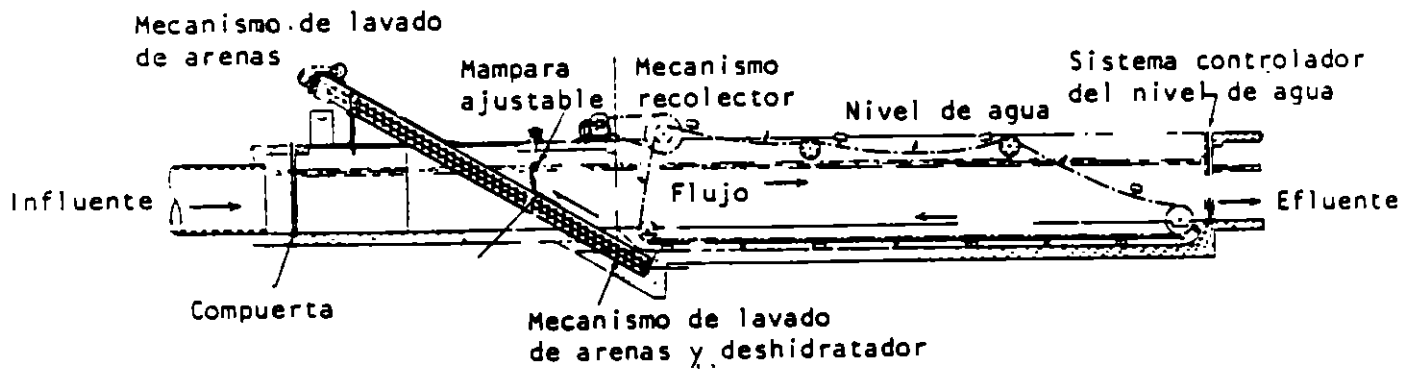
III.I Tanques desarenadores de flujo horizontal o velocidad controlada (Fig. 1).

Actualmente en México, la mayoría de tanques desarenadores son del tipo de flujo horizontal. Estos tanques se diseñan para mantener una velocidad de flujo cercana a 0.30 m/s. Esta velocidad conducirá las partículas orgánicas a través del tanque y tenderá a resuspender a aquellas que se hubieran sedimentado, sin embargo, permitirá la sedimentación de las arenas.

El diseño de este tipo de desarenadores deberá ser tal, que bajo las condiciones más adversas, las partículas de arena más ligeras lleguen al fondo del tanque antes de llegar a la salida del mismo.



(a) Planta



(b) Sección longitudinal

Figura 1. Detalles de un desarenador de flujo horizontal de doble canal y velocidad controlada

Normalmente, los tanques desarenadores son diseñados para eliminar las partículas que fuesen retenidas en la malla # 65, es decir, con un diámetro mayor a 0.21 mm. La longitud del canal estará regida por la profundidad requerida por la velocidad de sedimentación y la sección de control. El área transversal a su vez estará regida por el caudal y el número de canales. Es importante prever cierta longitud adicional para tener en cuenta la turbulencia que se forma en la entrada y en la salida, recomendándose un mínimo de aproximadamente el doble de la profundidad a flujo máximo aunque a veces se puede utilizar una longitud máxima adicional del 50% de la longitud teórica.

En la Tabla 1 se presentan los datos típicos de diseño para este tipo de desarenadores:

TABLA 1. Datos típicos de diseño para desarenadores de flujo horizontal.

Concepto	Valor	
	Rango	Típico
Tiempo de retención, s	45-90	60
Velocidad horizontal, m/s	0.25-0.40	0.30
Velocidades de sedimentación en:		
Material retenido en la malla 65, m/min*	1.0-1.3	1.15
Material retenido en la malla 100, m/min*	0.6-0.9	0.75
Pérdida de carga en la sección de control como porcentaje de la profundidad del canal, %	30-40	36**
Estimación de la longitud adicional por el efecto de turbulencia en la entrada y en la salida	2 Dm ^{***} - 0.5L ^{****}	

* Si la gravedad específica de la arena es significativamente menor que 2.65 se deberán usar velocidades menores

** Uso de medidor Parshall como sección de control

*** Dm = Profundidad máxima en el desarenador

*** L = Longitud teórica del desarenador

III.2 Desarenadores aereados (Fig. 2).

El excesivo desgaste del equipo de manejo de la arena y el descubrimiento de acumulaciones de ese material en los tanques de aereación fueron las causas que fomentaron el uso de los desarenadores aereados. Por lo general, estos tanques se proyectan para proporcionar tiempos de retención de casi tres minutos a

caudal máximo. La sección transversal del tanque es semejante a la proporcionada para la circulación en espiral en los tanques de aereación de lodos activados. En la Tabla 2 se presentan los datos típicos de diseño.

La agitación o velocidad de rotación en el tanque, es el factor que rige el tamaño de las partículas de una gravedad específica determinada que serán eliminadas. Si la velocidad es demasiado grande la arena será arrastrada fuera del tanque y, si fuese demasiado pequeña habrá materia orgánica que se depositará junto con la arena. Afortunadamente, la cantidad de aire se puede ajustar fácilmente. Si se ajusta adecuadamente, se obtendrán porcentajes de eliminación de casi el 100% y la arena quedará bien lavada. El agua residual se desplaza a través del tanque siguiendo una trayectoria helicoidal y pasa dos o tres veces por el fondo del tanque a caudal máximo, e incluso más veces con caudales menores.

El agua residual deberá introducirse en dirección transversal al tanque.

La pérdida de carga en este tipo de tanque es mínima y la limpieza se puede realizar manual, mecánica e hidráulicamente. La limpieza mecánica se realiza a través de cucharones y transportadores y la limpieza hidráulica incluye eyectores hidráulicos o propulsores de alta velocidad.

TABLA 2. Datos típicos para el diseño de desarenadores aereados.

Concepto	Valor	
	Rango	Típico
Dimensiones:		
Profundidad, m	2-5	---
Longitud, m	7.5-20	---
Ancho, m	2.5-7.0	
Relación ancho-profundidad	1:1-5:1	2:1
Tiempo de retención a flujo máximo, min.	2-5	3
Suministro de aire, m ³ /m de longitud por min.	0.15-0.45	0.3
Cantidades de arena, m ³ /1000 m ³	0.004-0.0200	0.015

III.3 Desarenadores de sección cuadrada o tanques de detritus (Fig. 3)

A este tipo de desarenadores se les llama también tanques de detritus y en ellos, tanto la arena como las partículas orgánicas son separadas mecánicamente antes de su remoción. La hidráulica en

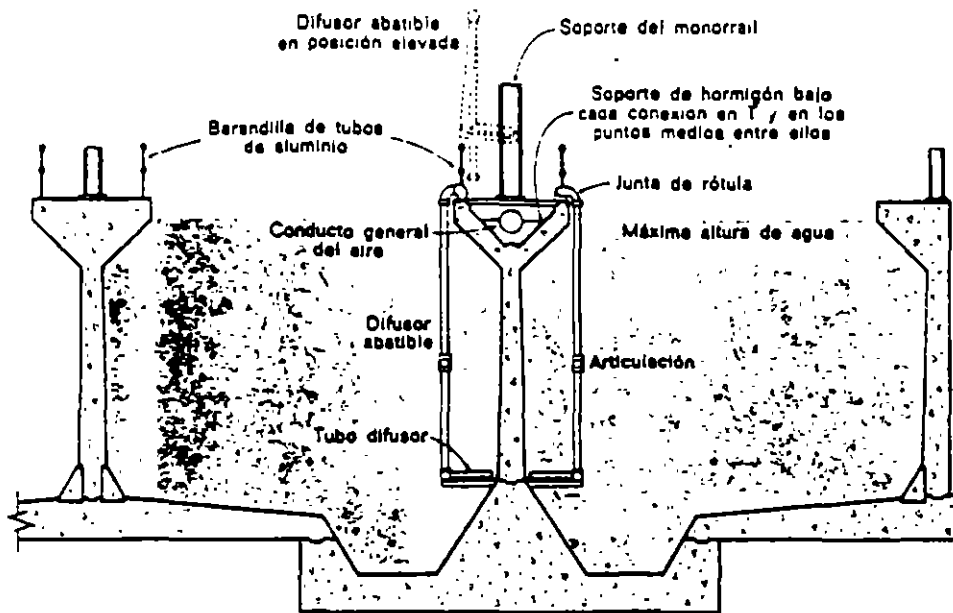


Figura 2. Sección transversal típica de un desarenador aerado

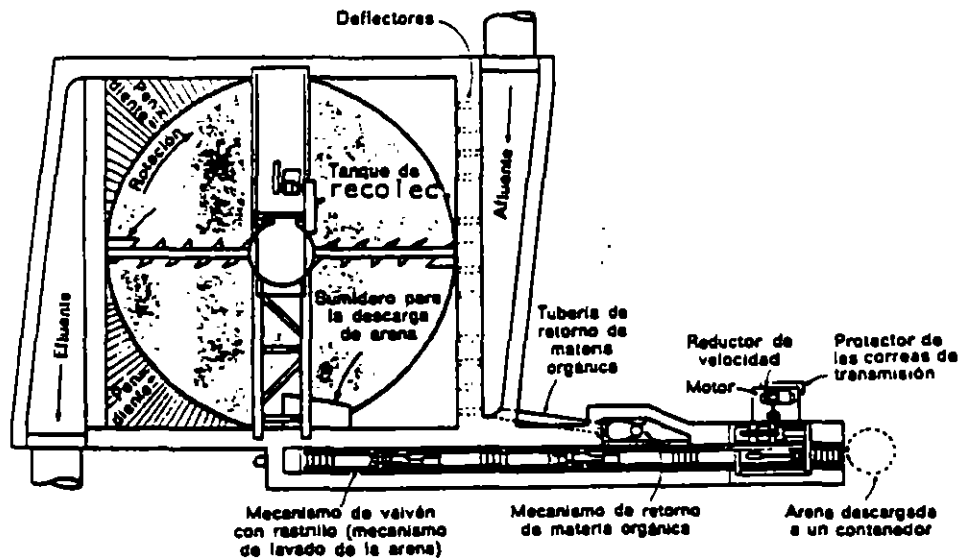


Figura 3. Desarenador de sección cuadrada o tanque de detritus

este tipo de tanques se controla a través de deflectores ajustables localizados en la entrada del mismo, que además aseguran una velocidad relativamente uniforme y una adecuada distribución del material. Igual que en los desarenadores aereados, la pérdida de carga es relativamente pequeña.

Aunque este tipo de desarenación se ha usado en otros países desde hace tiempo, en México, son pocas las plantas de tratamiento que cuentan con este tipo de unidades. A continuación se presentan algunas de sus ventajas.

1. Debido a que se diseñan con base al área, son capaces de eliminar hasta el 95% del material cuyo tamaño es mayor al de diseño. Esto, siempre y cuando el flujo no exceda del máximo de diseño
2. El material que se elimina en esta unidad, saldrá lavado y drenado y, su porcentaje de sólidos orgánicos no excederá del 3% en peso.
3. No existe la necesidad de proveer una velocidad uniforme en este tipo de desarenador cuando se trabaja a flujo variables.
4. El desgaste del equipo por abrasión es mínimo.

Entre sus desventajas están las siguientes:

1. En la práctica, es difícil obtener la distribución uniforme del flujo (caudal) mediante el uso de deflectores.
2. En tanques poco profundos (menos de 0.9m), se puede perder material debido a la agitación provocada por la rastra al pasar frente al vertedor de salida

En este tipo de desarenadores, los sólidos sedimentados son arrastrados a un depósito localizado en un extremo del tanque, desde donde son eliminados a través de un mecanismo rotatorio inclinado (normalmente una bomba de tornillo). En ese proyecto, los sólidos orgánicos son separados de la arena y regresados al tanque. Según Metcalf y Eddy, este tipo de desarenadores se diseñan con base a la carga superficial, la cual, depende del tamaño de las partículas y de su temperatura. En la figura 4 se presentan algunas curvas típicas de diseño.

IV CONTROL DE LA VELOCIDAD .

En los desarenadores no aereados, el control de la velocidad dentro de la longitud efectiva del canal se realiza a través del uso de una sección de control, es decir: un vertedor proporcional, un vertedor Sutro, un medidor Parshall, etc. Estas secciones de control mantienen constante la velocidad dentro del canal en un rango amplio de flujos.

El vertedor proporcional y el tipo Sutro (Fig. 5) son ampliamente utilizados en este tipo de trabajos y al compararlos, la única diferencia es que el vertedor proporcional tiene ambos lados curvados y el vertedor Sutro tiene un lado curvado y un lado recto, es decir, es exactamente la mitad del vertedor proporcional. Para determinar las características del flujo cuando se usa un vertedor tipo Sutro como sección de control se pueden usar las siguientes ecuaciones:

$$x = b (1 - 2/\pi \tan^{-1} \sqrt{y/a}) \quad (1)$$

$$Q = b \sqrt{2ag} (h + 2/3 a) \quad (2)$$

$$Q_1 = 2/3 b \sqrt{2g} [(h + a)^{3/2} - h^{3/2}] \quad (3)$$

Donde:

a.b = Constantes típicas del vertedor

y = Altura del líquido

x = Anchura del vertedor a la superficie líquida

h = Altura total del vertedor

Q = Gasto total del vertedor Sutro

Q₁ = Gasto a través de la porción rectangular del vertedor Sutro.

Como se ha mencionado, las descargas para un vertedor tipo proporcional serían simplemente el doble de las obtenidas por las ecuaciones 2 y 3.

Las fórmulas anteriores se utilizan para determinar la forma de un vertedor para una capacidad específica. Seleccionando dimensiones apropiadas para a ó b y h, la variable remanente que puede ser a ó b puede determinarse sustituyendo en la ecuación apropiada. Una vez determinadas a y b, x puede calcularse para cualquier valor de y.

V. CANTIDAD DE ARENA

Las cantidades de arena pueden variar enormemente de una localidad a otra, dependiendo del tipo del sistema de alcantarillado, características de la zona drenada, el estado en que se encuentran las alcantarillas, el tipo de descargas industriales y la proximidad y uso de playas arenosas. Los valores típicos están reportados en la Tabla 2.

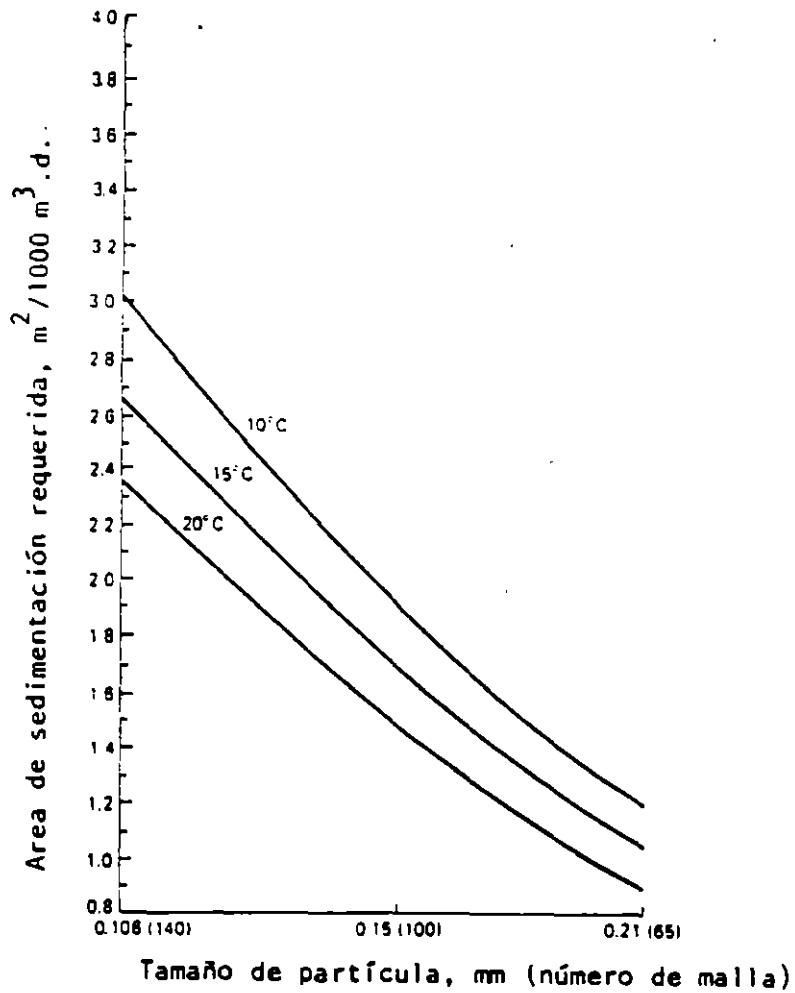


Figura 4. Area requerida por cada 1000 m^3 de aguas residuales para la sedimentación de partículas con gravedad específica = 2.65 a las temperaturas indicadas.

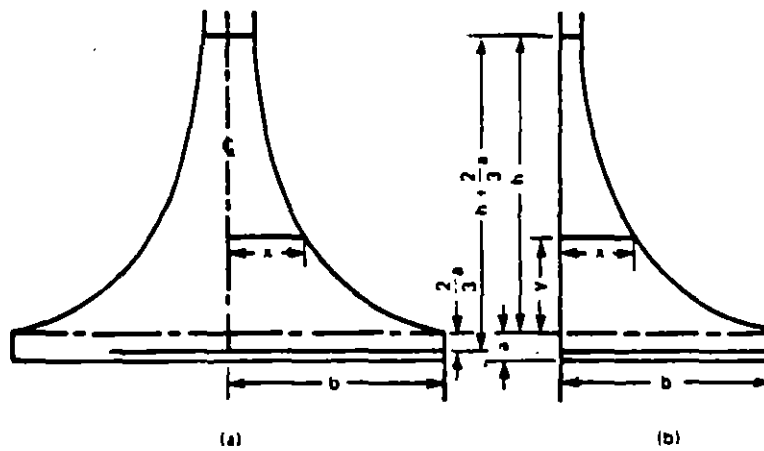


Figura 5. Elementos de un vertedor proporcional (a) y de un vertedor tipo Sutro (b)

VI. DISPOSICION O ELIMINACION DE ARENAS

Posiblemente, el método más común de disposición o eliminación de arenas sea el relleno sanitario para evitar condiciones desagradables. En países desarrollados, las arenas son incineradas junto con los lodos. Es recomendable sin embargo, lavar las arenas antes de su disposición.

VI.1 Lavado

El caracter de la arena normalmente recolectada en los desarenadores de flujo horizontal varía ampliamente desde lo que podría considerarse una arena limpia hasta aquella que contiene gran proporción de materia orgánica putrescible. La arena sin lavar puede contener hasta un 50% o más de materia orgánica. Este material a menos que se elimine rápidamente puede atraer insectos y roedores y tiene además un olor desagradable.

Existen varios tipos de lavadores de arenas. Uno de ellos, se basa en un tornillo o rastra inclinada que proporciona la agitación necesaria para la separación de la arena de la materia orgánica y, al mismo tiempo, eleva la arena lavada hasta un punto de descarga situado por encima del nivel del agua.

VII EJEMPLOS

VII.1 Diseño de un desarenador de flujo horizontal

Datos:

Gasto medio (un solo canal) = $Q_m = 104.54 \text{ l/s}$

Tipo de limpieza: manual

Carga superficial: $C_s = 0.023 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ a 20°C en aguas residuales domésticas.

"Experimental Sewage Treatment", Imhoff y Fair.

Tamaño de partículas a eliminar = 0.20 mm y mayores.

Velocidad de sedimentación de partículas de 0.20 mm de diámetro en agua limpia a 20°C . "Wastewater Treatment". Fair, Geyer y Okun,
 $V_s = 2.54 \text{ cm/s}$

$1 < R < 10$; $R = \text{No. de Reynolds}$

Gravedad específica de las partículas = 2.65

Solución:

1. Area horizontal del canal desarenador:

$$A_h = Q_m / Cs = \frac{101.54 \text{ l/s} \times 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l.}}{0.023 \text{ m}^3 / \text{s.m}^2} = 4.545 \text{ m}^2$$

2. Longitud del canal (suponiendo un ancho = 0.60 m):

$$L = Ah / \text{ancho} = \frac{4.545 \text{ m}^2}{0.60 \text{ m}} = 7.575 \text{ m.}$$

Cuando está lleno el depósito para acumular arena, la velocidad horizontal del flujo a lo largo del canal debe ser: $V_h = 0.35 \text{ m/s}$

Cuando no hay arena, $V_h = 0.30 \text{ m/s}$.

La velocidad de arrastre de las partículas de arena es de aproximadamente:

$$V_a = 0.60 \text{ m/s.}$$

3. Area transversal del canal cuando no contiene arena:

$$A_t = Q / V_h = \frac{0.10454 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.30 \text{ m/s}} = 0.3485 \text{ m}^2$$

$$A_t = Q / V_h = \frac{0.10454 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.35 \text{ m/s}} = 0.2987 \text{ m}^2 \text{ (cuando tiene arena)}$$

4. Tirante si el canal tiene arena:

$$h_{c.a.} = A_t / \text{ancho} = \frac{0.2987 \text{ m}^2}{0.60 \text{ m}} = 0.498 \text{ m.}$$

Tirante si el canal no tiene arena:

$$h_{s.a.} = A_t / \text{ancho} = 0.3485 \text{ m}^2 / 0.60 \text{ m} = 0.581 \text{ m.}$$

Diferencia de tirantes: $0.581 - 0.498 = 0.083 \text{ m.}$

5. Volumen para depósito de arena:

$$V_{arena} = (0.083 \text{ m}) (0.60 \text{ m}) (7.575 \text{ m}) = 0.378 \text{ m}^3$$

6. Producción de arena:

Si las aguas residuales acarrean aproximadamente $0.20 \text{ m}^3 / \text{semana}$ de arena (0.3 toneladas por semana), el tiempo requerido para llenar el espacio disponible será:

Tiempo = Vol. disponible/generación por semana

$$= \frac{0.378 \text{ m}^3}{0.20 \text{ m}^3/\text{sem.}}$$

= 1.9 semanas

Por lo tanto, se debe retirar la arena cada dos semanas (Fig. 6).

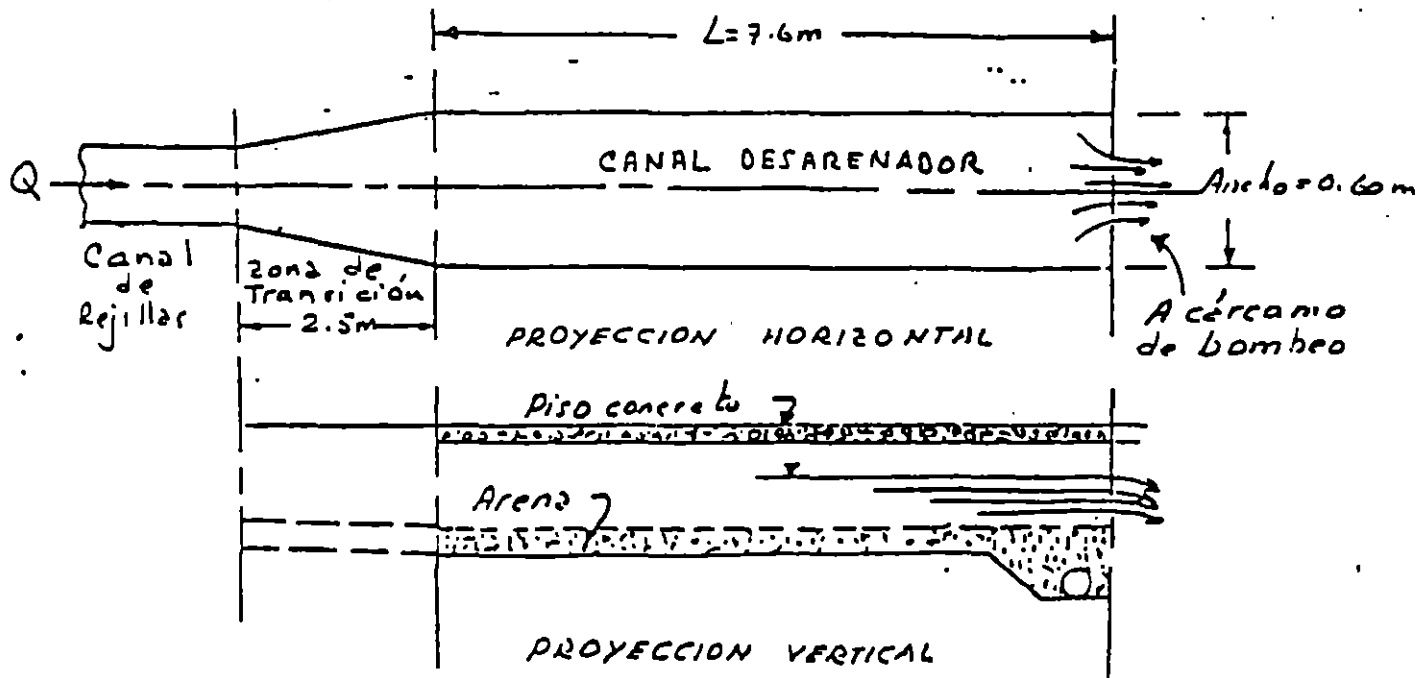


Figura 6 Desarenador del ejemplo VII.1

VII.2 Diseño de un desarenador aerado

Datos

Diseñar un desarenador aerado para el tratamiento de aguas residuales municipales.

El gasto promedio es de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$., y el gasto máximo (pico) = $1.38 \text{ m}^3/\text{s}$.

Solución:

1. Determinar el volumen del desarenador. Debido a que será necesario drenar el tanque periódicamente para mantenimiento rutinario, se usarán dos tanques desarenadores. Suponiendo que el tiempo de retención promedio a gasto máximo es igual a 3 minutos:

$$\begin{aligned}\text{Volumen del desarenador} &= (1/2)(1.38 \text{ m}^3/\text{s}) 3 \text{ min} \times 60 \text{ s/min} \\ &= 124.2 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2. Determinar las dimensiones del desarenador. Usar una relación profundidad/ancho de 1.2:1 y suponer que el ancho = 3.0 m.

a) La profundidad = 1.2 (3 m) = 3.6 m.

b) Longitud = Volumen/ancho por profundidad = $124.2 \text{ m}^3 / 3 \text{ m} \times 3.6 \text{ m}$
= 11.5 m

c) Incrementar la longitud un 15% para tomar en cuenta las condiciones de entrada y salida: Longitud ajustada = 11.5 m
 $\times 1.15 = 13.2 \text{ m}$.

3. Determinar el requerimiento del suministro de aire. Suponer que 0.04 m³/min. m de longitud serán adecuados:

$$\begin{aligned}\text{Requerimiento de aire (en longitud)} &= 13.2 \text{ m} \times 0.04 \text{ m}^3/\text{min. m} \\ &= 0.53 \text{ m}^3/\text{min.}\end{aligned}$$

4. Estimar la cantidad de arena que debe ser manejada. Suponer un valor de 0.050 m³ por cada 1000 m³ de aguas residuales:

$$\begin{aligned}\text{Volumen de arena} &= (1.38 \text{ m}^3/\text{s}) \times 86400 \text{ s/d} \times 0.050 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3 \\ &= 5.96 \text{ m}^3/\text{d}\end{aligned}$$

OBSERVACION: En el diseño de desarenadores aereados es especialmente importante que el tamaño de las unidades para el manejo de la arena este basado en el gasto máximo.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- 1) WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION AND AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, "Water Treatment Plant Design" MOP/8, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1977.

- 2) METCALF AND EDDY, INC., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse", McGraw-Hill, New York, 1979.
- 3) METCALF Y EDDY, INC, "Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales". Editorial Labor, 1981.
- 4) QASIM, S.R., "Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation", CBS Collegue Publishing, New York, 1985.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***
Pruebas de Tratabilidad Físico-Químico

Autor:

Georgina Fernández Villagómez

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES E INDUSTRIALES

Georgina Fernández Villagómez

PRUEBAS DE TRATABILIDAD FISICO-QUIMICA

Introducción

La adición de ciertas sales metálicas solubles a las aguas naturales ligeramente alcalinas, o acondicionadas artificialmente, las cuales contienen materia suspendida y coloidal, provoca una serie de cambios físicos y químicos en el sistema y el desarrollo de sustancias gelatinosas. Inicialmente, cuando se forma el flóculo, se encuentra en un fino grado de subdivisión, pero debido a la estructura y naturaleza de los sólidos suspendidos, otras partículas también quedan aglomeradas o atrapadas y forman cuerpos relativamente mayores. Muchos autores han tratado de describir la estructura de estos flóculos y la han designado como "esponjosa", "red de maya abierta", "gelatinosa", etc. No es fácil de proporcionar una definición exacta, en aspecto y estructura, los flóculos semejan esponjas de intersticios amplios (Fair et al, 1979).

La función fundamental del coagulante, consiste en suministrar iones fuertemente cargados capaces de neutralizar afectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte de la materia coloidal existente en el agua y provocar su precipitación. Adicionalmente, el producto químico coagulante soluble, también sufre reacciones químicas bastante complicadas con varios compuestos presentes o que se adicionan al agua. Estas reacciones producen otros compuestos insolubles en forma de partículas diminutas cargadas eléctricamente. Estos compuestos acarrear la precipitación de una porción adicional de la materia coloidal. De esta manera, este material precipitado, se aglomera para formar los flóculos gelatinosos que se describieron anteriormente (Sheppard, 1979).

El valor del flóculo se debe en gran parte, a las propiedades esponjosa del flóculo, ya que este tipo de estructura posee amplias áreas superficiales a las que se adhieren las partículas coloidales o semicoloidales.

La adición del coagulante al agua cumple dos funciones: acelera el asentamiento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos. Cuando el agua se ha coagulado y asentado, pasa por arena u otros materiales filtrantes; el material coagulante remanente en el agua se retiene en forma de capa gelatinosa sobre la superficie del medio filtrante.

Debido a la estructura esponjosa del flóculo, el agua pasa a través de él, pero el material suspendido queda englobado y retenido. Aún cuando muchos materiales, son capaces de coagular los sólidos contenidos en el agua, los más extensamente probados son las sales de aluminio y hierro.

Teoría básica sobre coagulación-floculación.

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas "floculos". Dicho proceso se utiliza para ayudar a la sedimentación, lograndose eliminar lo siguiente:

- a) Turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b) Color verdadero o aparente.
- c) Bacterias virus y otros organismos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d) Algas y plancton en general.
- e) Sustancias productoras de sabor y olor.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación del agua (Varela, 1986):

A) La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la eliminación de las fuerzas que las mantienen separadas; a este aspecto, los autores suelen llamarle proceso de coagulación.

B) El transporte de las partículas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de floculos porosos, este es el llamado proceso de floculación.

La coagulación comienza en el mismo momento en que se agregan los coagulantes y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Durante la floculación las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar floculos mayores.

En el segundo proceso, debe de distinguirse entre floculación ortocinética y pericinetica. La primera es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias, por ejemplo). La segunda es la promovida dentro del líquido por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquél (movimiento browniano) y por la gravedad o peso de las partículas que al caer tienden a aglomerarse, y se realiza en un tiempo muy corto después de desestabilizada la partícula (Varela, 1986.)

Desestabilización de las partículas coloidales (coagulación).

Dos modelos explican la coagulación: el modelo de la doble capa, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, y el modelo del puente químico, que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides (Black, 1960).

1. Modelo de la doble capa (modelo físico).

El modelo físico explica la coagulación el agua teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas existentes en las partículas, considerandolas rodeadas de una doble capa eléctrica que interacciona con la fase acuosa. Para explicar este concepto, se han presentado sucesivamente tres teorías:

- 1.1. La primera supone que acudirá a la superficie del coloide tantos iones positivos (contraiones) del medio dispersante como sean necesarios para neutralizar su carga (Fig 1.1).

Se formará una capa adherida alrededor de él, en la que caerá todo el potencial ψ . Esta fue la teoría inicialmente propuesta por Helmholtz en 1879 y analizada por Nernst diez años más tarde.

- 1.2. Gouy en 1910 y Chapman en 1913 demostraron que la teoría de Helmholtz-Nernst no era adecuada, pues la agitación térmica del líquido tiende a separar los contraiones de la superficie del coloide y a formar una capa difusa alrededor de ella, en la que el potencial cae lentamente prolongandose hasta una distancia d dentro del líquido que lo rodea (Fig. 1.2).

- 1.3. En 1924, Stern mostró que era necesario aceptar la posibilidad de la coexistencia de ambas teorías, considerando la formación de una capa adherida y una capa difusa alrededor del coloide, (Fig. 1.3). El potencial ψ cae rápidamente en la capa adherida y lentamente en la capa difusa.

A esta última capa, también se le llama *Capa de Gouy* o *Capa de Gouy-Chapman* y su espesor d (teóricamente infinito), puede determinarse prácticamente. A la capa adherida se le llama *Capa de Stern*, la cual, por transportarse junto con la partícula se puede considerar como parte de la capa del coloide. Se debe de hacer notar, que, el espesor del doble lecho en comparación con su diámetro es muy pequeño, es del orden de centésimas de micrones.

Potenciales del coloide.

En un coloide deben de tenerse en cuenta los siguientes potenciales (Fig. 1.4):

- i) El potencial ψ que existe en la superficie interior de la doble capa, donde empieza la parte difusa.
- ii) El potencial zeta que existe en el plano de cizalla que es el más importante en el proceso de coagulación.

Fueron Johnson y Alexander, citados por Arboleda (1975) los que definieron el potencial zeta, como la energía requerida para traer una carga unitaria desde el infinito hasta el plano de la cizalla.

Stern, sin embargo, no definió el potencial zeta de esta manera, sino como el existente al comienzo de la parte difusa, en este caso, $p = z$.

El plano de la cizalla es el que separa del resto de la dispersión la sección de la capa que se mueve junto con la partícula formando parte integral de ella y está situado en algún punto entre la superficie interior y la superficie exterior de la doble capa.

Como no se puede separar el coloide de los contraiones que lo rodean, el único potencial que se puede determinar con más o menos precisión es el potencial zeta, o sea el potencial en la superficie del plano de cizalla.

La teoría de la doble capa no es aún cabalmente comprendida. La simplificación hecha por Helmholtz da, sin embargo, una mayor comprensión del fenómeno.

Helmholtz, según menciona Arboleda (1975), dice que la doble capa es como un condensador de dos cargas iguales y opuestas separadas por un espesor d . Si las cargas son iguales a q , el potencial de dicho condensador es el potencial zeta. DE acuerdo con la electrostática, este potencial varía con la constante dieléctrica D_c y viene expresado por la fórmula:

$$z = 4\pi (qd/D_c) \quad (1)$$

en la que:

z = potencial zeta, en milivoltios
 q = carga de la partícula, en coulombs
 d = distancia efectiva, en cm.
 D_c = constante dieléctrica del medio

despejando qd

$$qd = (zD_c)/\pi \quad (2)$$

Al producto qd , o sea la carga de la partícula por la distancia hasta la cual se le considera efectiva, se le llama el momento eléctrico del coloide y ha sido determinado experimentalmente partiendo del valor de la constante dieléctrica.

Del modelo físico de la coagulación, tal como se ha explicado, se deducen los siguientes principios:

a) Existe una concentración crítica de coagulación (c.c.c.) que debiera alcanzarse cuando los coloides disminuyen su potencial hasta alcanzar el punto isoeléctrico ($z = 0$).

b) La concentración crítica de coagulación (c.c.c.) debe ser independiente de la concentración de la fase dispersa o concentración de sólidos floculables en el agua.

c) El exceso de coagulantes agregados al agua, no puede producir inestabilización de las partículas, debido a que los coloides no absorben más contraiones de lo que su carga primaria lo permite.

Se ha observado, sin embargo, que la c.c.c. se alcanza con valores cercanos al punto isoeléctrico como regla general, pero no necesariamente cuando $z = 0$, lo cual contradice al punto a). Por otro lado a mayor turbiedad, aunque no siempre, se requiere mayor cantidad de coagulante, esto contradice al punto b). Asimismo, si se agrega un exceso de coagulantes, la coagulación no se efectúa, o se lleva a cabo muy pobremente, porque los coloides pueden reestabilizarse, lo que contradice el punto c). El modelo físico por tanto, no puede explicar en su totalidad el fenómeno. Algunos autores han recurrido a un modelo químico para complementarlo.

2. Modelo químico de la coagulación

El modelo químico de la coagulación considera que la doble carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización directa de los grupos químicos presentes en la superficie de ellas, tales como hidróxilos, carboxilos, fosfatos o sulfatos y que la precipitación de los coloides se realiza por reacción de estos grupos con los iones metálicos polivalentes agregados con los coagulantes.

Según esto, el efecto desestabilizante de ciertos iones se interpreta más en términos de adsorción de contraiones en la doble capa, como el modelo físico.

La repulsión electrostática puede disminuir, pero no necesariamente eliminar la adsorción de un ion en la superficie de un electrodo que tiene una carga similar, de donde se deduce que la contribución química de la adsorción de iones, puede ser mayor, a veces, que la contribución electrostática.

Por otra parte, la desestabilización de los coloides, producida por los compuestos poliméricos que se forman en la coagulación o por polímeros como los polielectrolitos, no puede explicarse con el modelo de la doble capa.

La Mer (1963), propuso para este modelo, la teoría del puente químico, que supone la molécula del polímero adherida a la superficie del coloide en uno o más sitios de adsorción, dejando libre, extendida en el agua, el resto de la cadena, la cual puede pegarse de nuevo a otros coloides en sitios de adsorción vacantes. se forma así un puente químico entre las partículas, que permite el incremento del tamaño de estas y promueve su eventual precipitación.

Si T es el número de segmentos por molécula que posee un polímero y B es el número de segmentos adsorbidos por moléculas, la cantidad de segmentos libres será $(T-B)$. La proporción de segmentos adsorbidos será B/T . Por otro lado si C_0 es la concentración de polímero añadido y C la concentración residual del polímero después de realizada la adsorción, (C_0-C) será la concentración adsorbida y $(C_0-C)N$ es el número de moléculas concentradas en la interfase, donde N es el Número de Avogadro.

El número de sitios cubiertos será:

$$B (Co-C)N \quad (3)$$

y la fracción de sitios cubiertos en una superficie dada:

$$R = B (Co - C)N / sSo \quad (4)$$

en donde s es el número de sitios de adsorción por unidad de área y So es el área superficial de los coloides.

La probabilidad de flocular de los coloides es proporcional a la fracción de superficie cubierta (R) por el polímero y a la fracción de superficie no cubierta ($1-R$).

Por lo tanto, la velocidad de formación del flóculo, dNo/dt (velocidad de disminución del número de partículas primarias sin flocular) es igual a:

$$- dNo/dt = K_1 No^2 R(1-R) \quad (5)$$

Donde:

No , es el número de partículas primarias sin flocular.

Partiendo de la ecuación anterior se concluye de acuerdo a la literatura antes mencionada que:

a) Cuando el polímero no se absorbe ($R=0$) el flóculo se desintegra espontáneamente y dNo/dt se aproxima también a cero.

b) Cuando la superficie está totalmente cubierta ($R=1$) no se pueden formar puentes y dNo/dt se aproxima también a cero.

c) En cambio, cuando $R = 0.5$ y la mitad de la superficie de los coloides está cubierta por los segmentos poliméricos, el flóculo tiene la máxima estabilidad ($dNo/dt = \text{máxima}$).

Esto explica el que la coagulación sea pobre o no se produzca, cuando se pone un exceso de polímeros, pues en este caso, todos los sitios de adsorción pueden quedar cubiertos ($R=1$), lo que reestabiliza las partículas sin que tal cosa signifique reversión del potencial zeta.

Por otra parte, dentro de determinadas condiciones, una suspensión desestabilizada puede estabilizarse de nuevo si se somete a una agitación violenta, puesto que las partículas llegan a quedar totalmente cubiertas por el polímero, al doblarse las cadenas poliméricas, sobre sí mismas y ocupar otros sitios en el mismo coloide al cual se han adherido.

El modelo del puente químico, también explica la relación (estequiométrica) que existe entre la cantidad de superficie disponible o cantidad de coloides y la cantidad de coagulantes agregados. Además se puede comprender el hecho de que en muchos casos se obtenga coagulación óptima con polímeros que tienen una carga similar a la de los coloides.

Por último, O'Melia (1969) afirma: " Aunque el modelo del puente químico ignora el efecto de las cargas eléctricas, explica la estequiometría y la sobredosis. Es probable que la desestabilización de las partículas coloidales por sales de Fe (III) y Al (III), no se pueda describir en forma completa por ninguno de los dos modelos: sin embargo, la comprensión del proceso empieza con la comprensión de ambos modelos."

Se debe de tener en cuenta, sin embargo, que estos modelos simplifican el fenómeno para poderlo analizar. En la práctica, adicionalmente a los efectos químicos y electrostáticos, hay que considerar los aspectos peri y ortocinéticos capaces de crear segregación del coagulante dentro de la masa de agua, haciendo que su concentración no sea uniforme y que, en consecuencia, las reacciones tengan diferentes características en los diferentes puntos de líquido.

Esto quizá pueda explicar por qué ninguno de los dos modelos describe la totalidad del proceso.

Algunos tipos de coagulantes

Compuestos de aluminio.

El sulfato de aluminio (alumbre), se usa extensamente en tratamiento de agua más que cualquier otro coagulante hasta ahora conocido. Cuando se agrega una solución de sulfato de aluminio al agua a tratar, puede ocurrir una o más reacciones químicas. Se ha demostrado que la floculación, por medio de la solución de sulfato de aluminio puede o no puede dar como resultado la formación de hidróxido de aluminio. La composición de la sustancia floculante dependerá de la alcalinidad o acidez relativa del agua (Sheppard, 1966).

El aluminato de sodio se emplea ahora con regularidad como coagulante. Este material se vende en forma líquida o como polvo. Sus soluciones contienen varias cantidades de sólidos y agua. Los sólidos presentes en este producto son aluminato de sodio, sosa cáustica y materia orgánica. A causa de la presencia de compuestos sódicos, se produce un ablandamiento cuando se emplea con aguas duras (Fair et al, 1979).

Compuestos de hierro.

Los compuestos de hierro usados en tratamiento de agua incluyen varias sales ferrosas y férricas solubles. Como en el caso de los compuestos de aluminio, estas sales intervienen en reacciones químicas y físicas e el agua para formar compuestos insolubles. La más simple de las reacciones que experimentan tanto los coagulantes ferrosos como los férricos, muestran que en cada caso, el compuesto insoluble en última instancia es el hidróxido férrico (Fair et al, 1979).

Una ventaja que poseen los coagulantes de hierro sobre el alumbre, es el amplio margen de valores de pH dentro de los cuales se precipitan los compuestos de hierro (Fair et al, 1979).

El sulfato ferroso se empleó originalmente para clarificar aguas muy turbias ya que este compuesto, reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar flóculos. Sin embargo, el flóculo inicialmente constituido, es un compuesto relativamente soluble, hidróxido ferroso, el cual se oxida relativamente rápido en presencia del oxígeno disuelto en el agua (Fair et al, 1979).

Recientemente también se ha utilizado el sulfato férrico para el tratamiento de todo tipo de aguas. Ha reemplazado al sulfato ferroso en muchos casos. Este coagulante reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar hidróxido férrico insoluble y por lo tanto, no requiere la adición de cal hidratada para completar la reacción. Uno de los inconvenientes de el uso de estas sales, es que son corrosivas y requieren equipo resistente al ácido para su disolución y aplicación al agua. Se emplean tanques y equipos recubiertos con hule o plomo, o construidos con acero inoxidable. El sulfato de aluminio se puede aplicar utilizando alimentadores en seco y en esta forma el producto no es corrosivo (Fair et al, 1979).

Compuestos naturales

Se han hecho algunos esfuerzos para desarrollar coagulantes de origen vegetal y animal, y los resultados han sido alentadores para algunos compuestos, sobre todo cuando el coagulate que se emplea, se ensaya sobre aguas residuales con alto contenido protéico, en donde el sólido sedimentado, se recupera para evaluarle su contenido alimenticio, este es el caso de los estudios realizados con quitosanas provenientes de crustáceos, (Maldonado, 1989). Así como los estudios hechos por Varela (1986), con ayuda coagulantes naturales, partiendo de almidón sustraído de la cañagria, planta silvestre distribuida en los estados de Sonora y Chihuahua. En su recopilación bibliográfica, Varela (1986), presenta resultados de experimentos hechos con polímeros naturales efectuados en diversos países.

Efecto de la temperatura y el mezclado sobre la coagulación

La velocidad de formación de flóculos y la efectividad de la floculación están influenciadas por el efecto de la temperatura y que conforme disminuye la temperatura del agua, debe aumentarse la dosis de productos químicos (González, 1985).

La mezcla rápida y completa de los productos químicos y el agua seguida de la floculación lenta, es otro de los requisitos importantes para una buena coagulación y sedimentación de los sólidos suspendidos, ya que se debe de asegurar la incorporación total de los productos químicos y una vez afectuada la mezcla, los flóculos finamente divididos deberán dejarse desarrollar para formar partículas grandes que aseguren máximas velocidades de asentamiento (González, 1985).

Pruebas de tratabilidad en el laboratorio.

Una vez que la muestra de agua a sido tomada siguiendo el procedimiento adecuado de muestreo en el sitio de interés se recomienda mantener en refrigeración hasta el momento en que se realicen los ensayos. Si existe el laboratorio dentro de la planta que está descargando el agua residual, entonces las pruebas se pueden realizar inmediatamente.

Si la muestra ya ha sido caracterizada y ya se ha definido el parámetro adecuado para determinar la eficiencia del proceso, se continúa con el siguiente procedimiento (Fernández, 1990):

- a) Medir volúmenes de agua residual de un litro y colocarlos en vasos de precipitado de 2 litros de capacidad.
- b) Variar el pH abarcando el intervalo ácido, el neutro y el alcalino. Es recomendable utilizar un ácido y una base fuerte. Una vez que se hace la primera corrida, se puede ya considerar un intervalo menos amplio de pH.
- c) Colocar los recipientes en el probador de jarras (que no es más que un agitador de seis plazas), procurando que las paletas de agitación no toquen las paredes de los vasos y cuidando que el nivel de todas ellas sea el mismo.
- d) Agregar la sustancia coagulante mediante jeringas, a todos los recipientes, al mismo tiempo. En esta parte, se mantiene constante la cantidad de coagulante. Inmediatamente después se inicia el proceso de mezclado.
- e) El proceso de mezclado tiene la siguiente secuencia:
 - durante un minuto, a 100 rpm
 - durante 5 minutos, a 30 rpm
 - durante 10 minutos, a 20 rpm
- f) Transcurridos los tiempos de mezclado, se suspende la agitación y después de 10 minutos, en que se lleva a cabo una sedimentación, se toma una muestra para evaluar la remoción del parámetro de interés.
- g) Ya que se ha encontrado el pH óptimo, se prosigue a variar la dosis del coagulante.
- h) Es conveniente por cuestiones de costos, hacer las pruebas de tratabilidad con el pH original de la muestra, ya que a veces la remoción óptima de la sustancia en estudio, se lleva a cabo mejor al pH natural del agua a tratar.

En muchas ocasiones, lo que interesa es el agua clarificada y el parámetro mas recomendable para medir es la turbiedad, además de que es una medición rápida (Maldonado, 1989).

LITERATURA CONSULTADA

Arboleda, J., (1975). Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Serie Técnica 13, Lima, Perú. pp 35-45.

Black, A. P. (1960). Basic Mechanismn of Coagulation. J. AWWA, 52: pp 492-497.

Fair, G.M., J.C. Geyer, y D.A. Okun, (1979). Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Tomo II, Ed. LIMUSA, Colombia, pp 187-216.

Fernández V. G. (1990). Manual del Laboratorio de Química del Agua, División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

Gonzalez, L. M. E., (1985). Tratamiento de aguas residuales en la industria empacadora de frutas y verduras mediante un proceso fisicoquímico. Tesis de Licenciatura. Universidad Iberoamericana. pp 43-53.

La Mer, V.K. y Smellie, R.H. (1963). Adsorption-Flocculation reactions of Macromolecules at the Solid-Liquid Interface. Reviews of Pure and Applied Chemistry, 13, pp 112-116.

Maldonado, V. M. (1989). Obtención y caracterización de quitosanas provenientes de crustáceos. Tesis de Licenciatura. ENEP IZTACALA. U.N.A.M., pp 38.

O'Melia, Ch. R. (1969). The Coagulation Process: Theoretical Concepts Useful in Design. ASCE.

Sheppard, y T. Powell. (1966). Acondicionamiento de Aguas para la Industria, Ed. LIMUSA-WILEY, S.A., México, pp 35-108.

Varela, S. J. (1986). Análisis comparativo de polímeros naturales y sintéticos aplicados al tratamiento de aguas. Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería. U.N.A.M., pp 1-19.

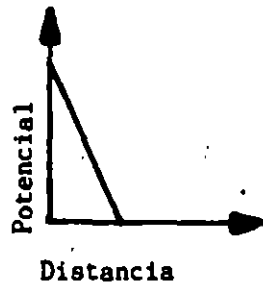
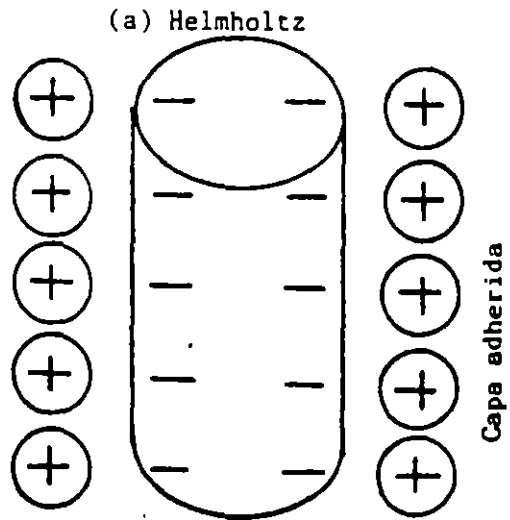


Fig. 1.1. Teoría de la capa adherida.

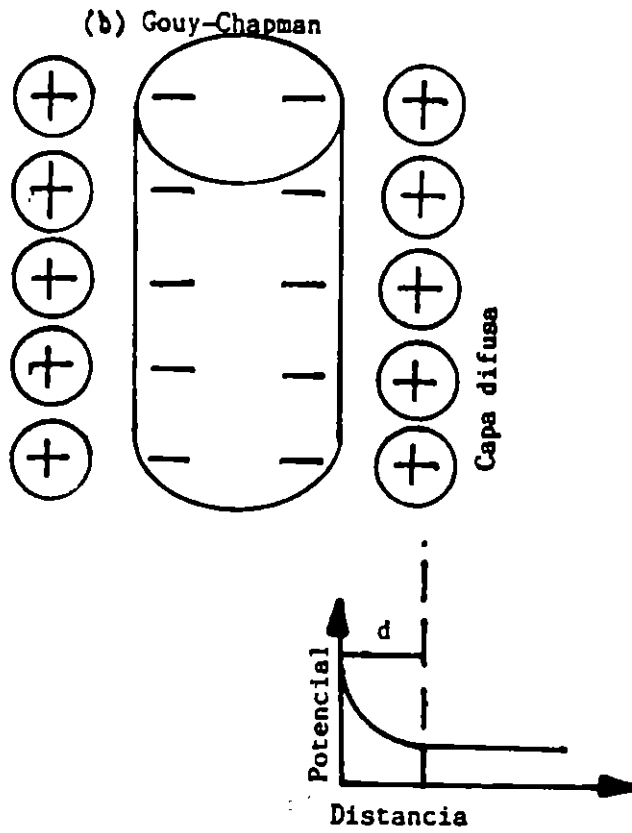


Fig. 1.2. Teoría de la capa difusa.

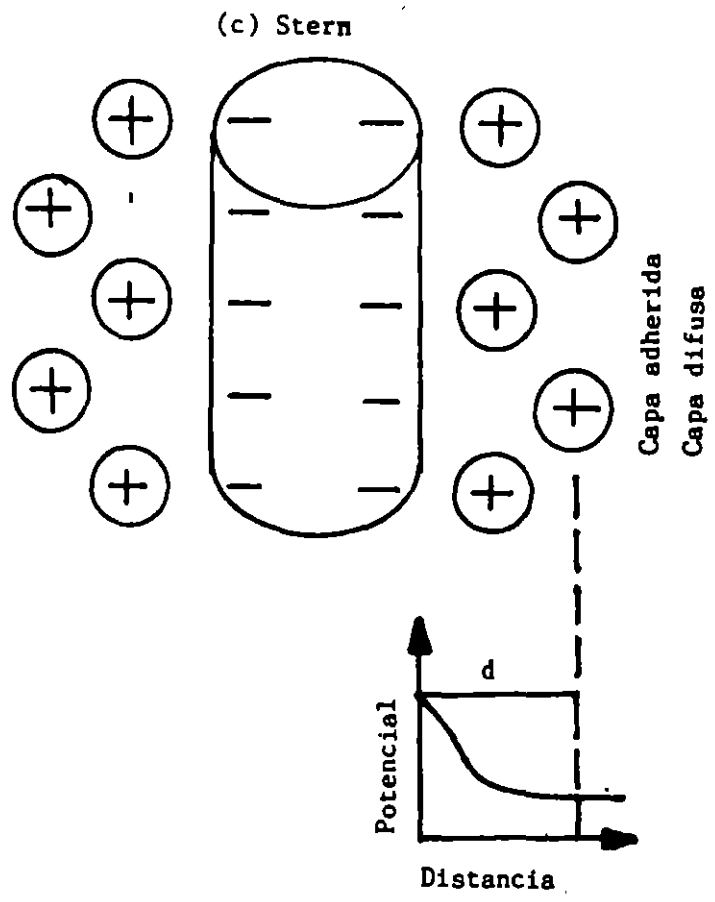


Fig. 1.3. Teoría de las dos capas.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***

**Proceso de Tratamiento Biológico
con Microorganismos en Suspensión**

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO CON MICROORGANISMOS EN SUSPENSIÓN.

DR. VICENTE JONGUITUD FALCON

1. INTRODUCCIÓN.

Los procesos de tratamiento biológico, en función de las condiciones bajo las cuales se estabiliza la materia orgánica, pueden dividirse en tres categorías: aerobios, anaerobios y lagunas de estabilización. Es obvio que como en cualquier clasificación, existen procesos que no pueden ubicarse totalmente en alguna de las clases, sin embargo, en general todos los procesos de tratamiento de desechos líquidos, en especial los que han sobrepasado la etapa experimental, pueden considerarse básicamente en uno de los grupos. El término facultativo se ha excluido conscientemente ya que realmente la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo, aún dentro de un proceso considerado facultativo, en forma aerobia o anaerobia, identificándose los principios bioquímicos del metabolismo. Es conveniente observar, que aún procesos considerados aerobios como el caso de los filtros biológicos, la presencia de condiciones anaerobias pudieran causar confusión al tratar de clasificarlos como facultativos. La tercer categoría en esta clasificación comprende el tratamiento por lagunas de estabilización y trata de corresponder a los sistemas en donde una porción importante de la energía utilizada en el tratamiento de la materia orgánica proviene de la luz a través de la fotosíntesis. Esta división arbitraria de los procesos de tratamiento biológico se presenta esquemáticamente en la Fig. 1.

En la Tabla 1 se presentan los sistemas de tratamiento biológico más comúnmente utilizados en la actualidad. Para algunos de estos procesos se utiliza más de un nombre y es la razón por la cual aparentemente se omite alguno.

En la tabla 2 se presentan los sistemas de tratamiento biológico utilizados en la estabilización de materia orgánica en forma suspendida como la contenida en los lodos de desechos de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.

Proceso Aerobio	Microorganismo en suspensión
	Microorganismos adheridos a un medio fijo
	Combinación
Proceso Anaerobio	Microorganismos en suspensión
	Microorganismos adheridos a un medio fijo.
	Sistemas estratificados.
	Combinación
Lagunas de Estabilización.	

FIGURA. 1. PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO.

Tabla 1. SISTEMAS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

1) SISTEMAS AEROBIOS.

a) Microorganismos en suspensión.

Lodos Activados - Proceso convencional.
Completamente mezclado.
Aereación por etapas
Estabilización por contacto
Aereación extendida
Zanjas de oxidación
Aeración de acuerdo con demanda
Oxígeno puro
Carrousel
Kraus

Lagunas Aereadas.

b) Microorganismos Adheridos a un medio fijo.

Filtros rociadores- Alta tasa
Baja tasa

Biodiscos.

c) Combinación

Medio granular fluidizado
Torres de madera resistente
Lodos activados con medio fijo

2) SISTEMAS ANAEROBIOS.

a) Microorganismos en suspensión.

- Tratamiento por contacto anaerobio
- Lecho fluidizado

b) Microorganismos adheridos a un medio

- Filtro anaerobio

c) Combinación

- Medio granular fluidizado.

Tabla 2 SISTEMAS BIOLÓGICOS DE ESTABILIZACIÓN DE LODOS.

1. SISTEMAS AEROBIOS.

Digestión aerobia

Aire
Oxígeno puro
Autocalentada
Proceso continuo
Proceso intermitente

2. SISTEMAS ANAEROBIOS.

Digestión anaerobia

- Convencional
- Alta eficiencia
- Alta eficiencia con separación de sólidos
- Dos etapas con recirculación de sólidos.

Los procesos de tratamiento aerobios son aquellos en los cuales los microorganismos realizan su actividad en un medio ambiente que contiene oxígeno disuelto, el cual es utilizado en las reacciones metabólicas. El metabolismo (catabolismo) es el proceso bioquímico (series de reacciones de oxidación y reducción) que llevan a cabo los organismos vivientes para producir energía la cual es utilizada posteriormente en síntesis (anabolismo), movimiento, respiración y en general para sobrevivir.

En el metabolismo heterótrofo, que es el que tiene lugar en la generalidad de los procesos de tratamiento aerobio, la materia orgánica es el sustrato utilizado como fuente de energía y como fuente de nutrientes para sintetizar protoplasma biológico. Sin embargo, la mayor parte de la materia orgánica presente en las aguas residuales se encuentra en forma de grandes moléculas complejas que no pueden metabolizar las sustancias de alto peso molecular, debe de ser capaz de hidrolizar los complejos orgánicos a fracciones simples que puedan asimilarse dentro de la célula. Por lo tanto, la primera reacción bioquímica es la hidrólisis de carbohidratos complejos a unidades solubles de azúcares, de proteínas a aminoácidos y de grasas insolubles a ácidos grasos. Bajo condiciones aerobias, los compuestos orgánicos solubles son transformados (oxidados) a bióxido de carbono y agua de acuerdo con la siguiente reacción:

Materia orgánica + O₂ ----> CO₂ + H₂O + energía

De esta forma los compuestos orgánicos complejos son procesados para obtener productos finales estables que puedan ser retornados al medio ambiente sin peligro.

Microorganismos en suspensión.

En los procesos de tratamiento con microorganismos en suspensión, la agitación permite un mejor y más continuo contacto entre los organismos encargados de la estabilización y la materia por estabilizar, permitiendo un procesos más rápido y más eficiente. Si para incrementar la eficiencia, y para ayudar a la hidrólisis de compuestos complejos el sistema se trata de mantener bajo condiciones aerobias, la agitación, aparte de promover el contacto comida-microorganismo, permite la transferencia de oxígeno para ser utilizado en el proceso metabólico. En caso contrario, la agitación solo promueve la oportunidad de contacto entre microorganismos y comida, y se ha observado que ayuda a los procesos de hidrólisis.

Lodos activados.

Los procesos de lodos activados se utilizan tanto para tratamiento secundario como tratamiento completo de las aguas residuales sin sedimentación primaria. En estos procesos los desechos líquidos son alimentados continuamente a un tanque aerado, donde los microorganismos metabolizan y biológicamente flocculan los compuestos orgánicos. Los microorganismos (lodos activados) son sedimentados bajo condiciones estáticas en el sedimentador secundario y retornados al tanque de aeración. El sobrenadante clarificado del sedimentador secundario es el efluente del sistema.

Al contenido del tanque de aeración se le denomina licor mezclado y contiene primordialmente microorganismos en suspensión, parte de los cuales son desechados del sistema parcialmente estabilizados después de períodos variables sujetos a respiración endógena. El tiempo que la masa biológica debe permanecer en el sistema (tiempo de retención celular) depende de varios factores como el nivel de eficiencia deseado, la estabilización requerida de la materia orgánica y a consideraciones relacionadas con la cinética de crecimiento.

En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia ya que esta es responsable de la descomposición de la materia orgánica en el influente. En general las bacterias en el proceso son gram-negativo e incluyen miembros de los géneros Pseudomonas, Zooglea, Achromobacter, Flavobacrium, Nocardia, Bdellovibrio, Mycobacterium y las bacterias nitrificantes Nitrosomonas y Nitrobacter. Adicionalmente, varias formas filamentosas tales como Sphaerotilus, Beggiatoa, Thiothrix, Lecicothrix y Geotrichum pueden también estar presentes. Mientras que las bacterias son los microorganismos que realmente degradan la materia orgánica, las actividades metabólicas de otros organismos son también importantes en el proceso de tratamiento. Por ejemplo, los protozoarios y los rotíferos actúan como pulidores del efluente del sistema. Los protozoarios consumen las bacterias dispersas que no se han floculado y los rotíferos consumen las partículas orgánicas pequeñas que no se han sedimentado.

Además de que lo importante dentro del proceso es que las bacterias consuman la materia orgánica tan rápido como sea posible, es así mismo importante que ellas se agrupen en un flóculo adecuado que pueda sedimentarse fácilmente. Se ha observado que a medida que el tiempo de residencia celular (t_s) se incrementa, la carga superficial de los microorganismos se reduce, y estos comienzan a producir la cápsula que provoca su agrupamiento incrementado su sedimentabilidad. La presencia de los polímeros que forman la cápsula, promueve la formación de flóculos y se ha encontrado que para aguas residuales domésticas, tiempos de residencia celular del orden 3 o 4 días son adecuados.

Mayores tiempos de retención celular que pueden oscilar entre 15 y 20 días son utilizados para generar lodos de desecho prácticamente estabilizados, sin embargo se ha observado que a medida que se incrementa el tiempo de retención celular se incrementa de igual forma el índice volumétrico de lodos como se muestra en la fig. 2, provocando problemas de sedimentabilidad que se refleja en la recirculación de lodos al tanque de aereación.

Estas particularidades del comportamiento de cultivos biológicos y el principal aspecto ingenieril de reducir al máximo los costos de inversión, operación y mantenimiento de los sistemas han generado una gran variedad de modificaciones pero basadas todas ellas en los conceptos fundamentales del tratamiento biológico con microorganismos suspendidos que el de transformar la materia orgánica soluble o coloidal a sólidos suspendidos (microorganismos para poder separarlos posteriormente mediante sedimentación; y lograr la estabilización de la materia orgánica mediante su subsecuente utilización por los microorganismos hasta obtener material inerte.

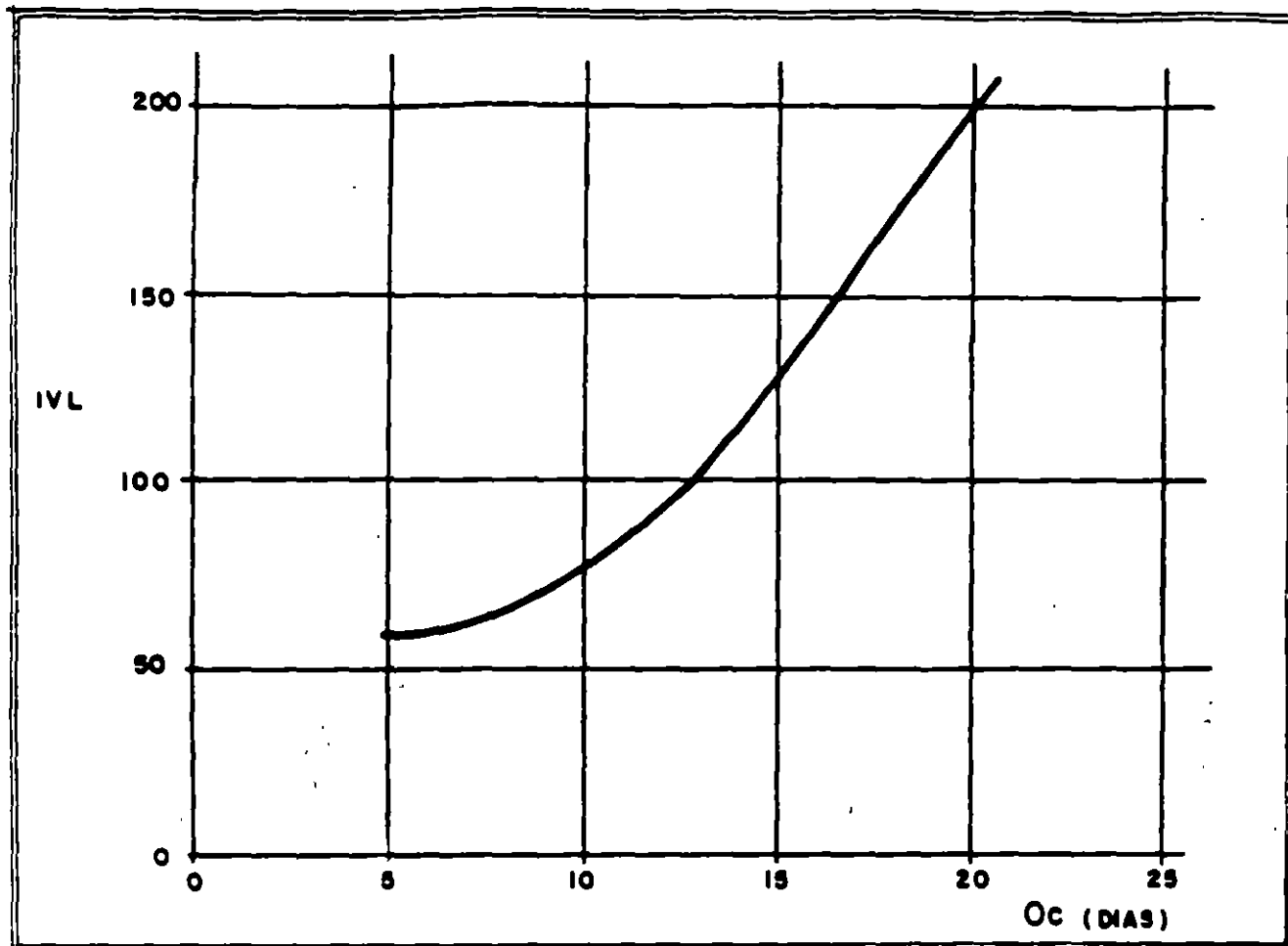


FIG-2 TIEMPO DE RETENCION CELULAR CONTRA INDICE VOLUMETRICO DE LODOS.

Las variantes de los procesos obedecen a problemáticas operativas y a la tendencia a optimizar las condiciones energéticas; sin embargo existen procesos que obedecen a modificaciones tendientes a crear una patente y genere mejores retribuciones económicas. De esta forma sería muy difícil analizar cada una de ellas aunque es conveniente establecer las condiciones básicas de algunas de estas opciones que permitan su selección en casos específicos.

Lodos activados sistema convencional

Denominado convencional por ser el esquema originalmente desarrollado para tratamiento de aguas residuales, este proceso que en forma esquemática se muestra en la fig. 3, está integrado por un reactor biológico de flujo pistón considerando mezcla completa en el sentido transversal al flujo y prácticamente sin mezcla en el sentido longitudinal. Teniendo al metabolismo biológico como una reacción de primer orden se ha podido demostrar matemáticamente que resulta de mayor eficiencia el flujo pistón que un reactor de mezcla completa lo que motivo su aprovechamiento durante mucho años. Cabe destacar que en esta etapa se recurre en forma común a la aereación por medio de difusores que resultan adecuados para conservar el flujo pistón, sin embargo el empleo de aereadores mecánicos de superficie disminuye las posibilidades de conservar este comportamiento hidráulico.

Aunque muy eficiente al sistema convencional se le identifica dos problemas fundamentales el primero relacionado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque como se muestra en la fig. 4 donde se observa que las mayores demandas se presentan al inicio del tanque de aereación disminuyendo sensiblemente hacia el final cuanto se alcanzan las mínimas concentraciones de comida remanente. Esto ocasiona en algunos casos el agotamiento del oxígeno disuelto en parte de los tanques y un desperdicio de energía al final de los mismos. Esta situación da origen al sistema denominado aereación por etapas.

El segundo problema que se identifica en sistemas de tratamiento para el manejo de aguas residuales es en comunidades con influencia industrial; ya que concentraciones de elementos tóxicos entran en contacto con un pequeño volumen de licor mezclado resultando en muchas ocasiones niveles suficientemente altos para provocar la muerte de los microorganismos. En respuesta a esta situación se desarrolló el proceso completamente mezclado.

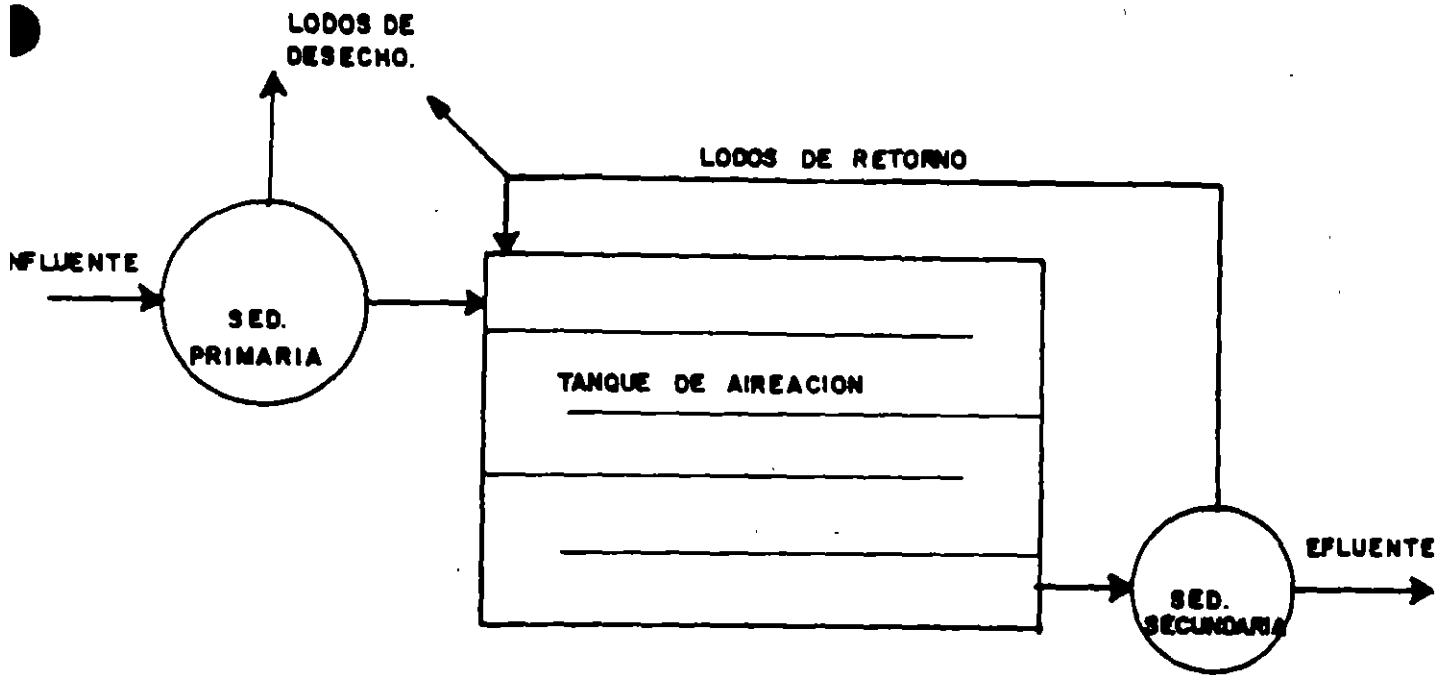


FIG.-3 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL.

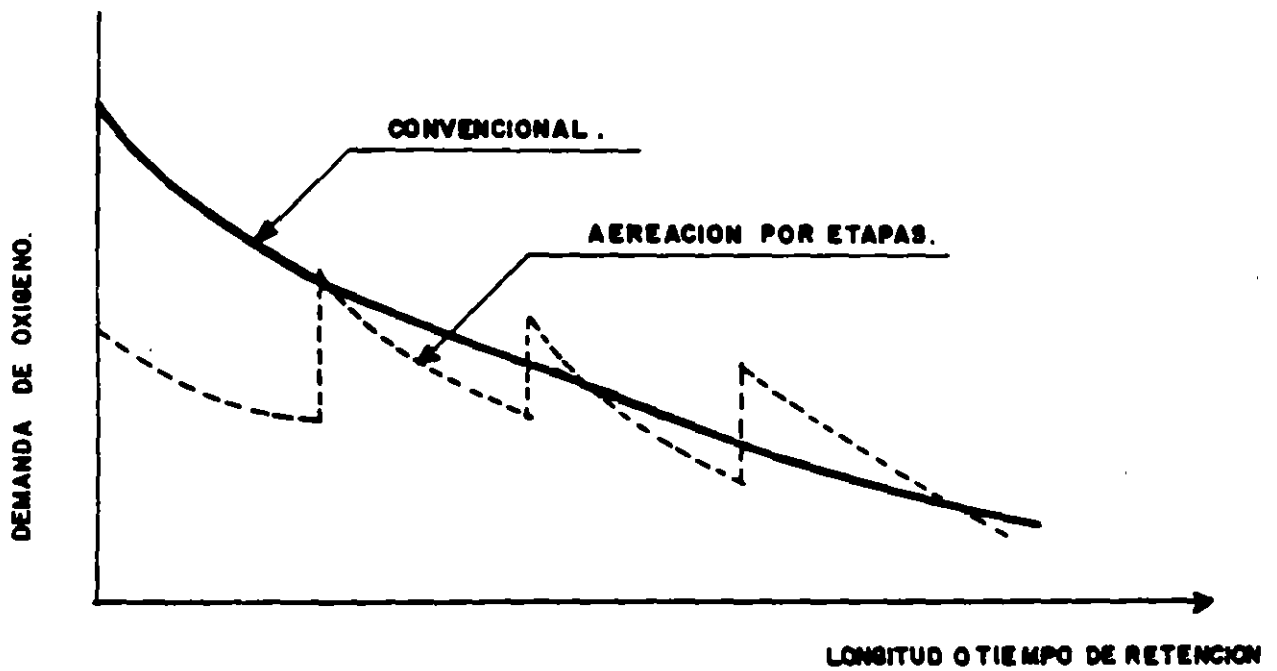


FIG.-4 DEMANDA DE OXIGENO EN EL PROCESO DE LODOS.

Los criterios de diseño para el sistema convencional pueden quedar resumidos como sigue:

- Sedimentador primario con un tiempo de retención entre 2.5 y 3 horas y carga hidráulica alta entre 35 y 40 m²/m³/día. En algunos casos con aguas residuales de origen doméstico o aguas industriales con bajos contenidos de sólidos suspendidos es posible eliminar la sedimentación primaria.

- El tanque de aereación se diseña normalmente con tiempos de retención de 3 a 6 horas dependiendo de la concentración inicial de la materia orgánica y de la eficiencia deseada, aunque se puede tener mayores tiempos de aereación.

- El sistema de aereación es normalmente mediante difusores en forma similar a como se muestra en la fig. 5.

- Las dimensiones del tanque dependen primordialmente de las características del sistema de aereación.

- El tiempo de retención celular se establece entre 3 a 7 días por lo que es necesario una estabilización posterior de los lodos de desecho.

- El sedimentador secundario se diseña con una tasa máxima de 30 a 35 m³/m²/día. Las características de los lodos secundarios normalmente no permiten concentraciones en la recirculación superiores a los 15,00 mg/lt, por lo que es muy poco frecuente operar reactores con una concentración de sólidos suspendidos de licor mezclado superior a los 8,000 a 9,000 mg/lt.

- La eficiencia de la planta normalmente esta asociada a las condiciones de operación las cuales sólo pueden controlarse a nivel de la recirculación por lo que es conveniente establecer un sistema que permita la variación del flujo entre .5 y 1.5 veces el gasto de entrada.

Cabe destacar que los modelos matemáticos desarrollados para evaluar la tratabilidad de la materia orgánica contenida en las aguas residuales están basados en el comportamiento de reactores completamente mezclados, lo que implica que aplicar resultados al diseño de tanques en flujo pistón generará en general mejores respuestas.

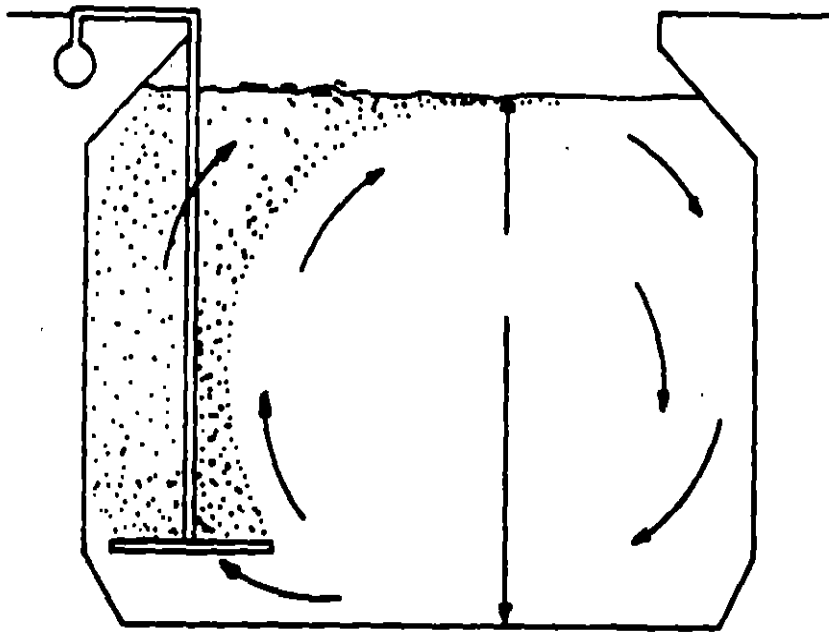


FIG.-5 CORTE TRANSVERSAL DEL REACTOR BIOLÓGICO EN UN PROCESO DE Lodos ACTIVADOS CONVENCIONAL.

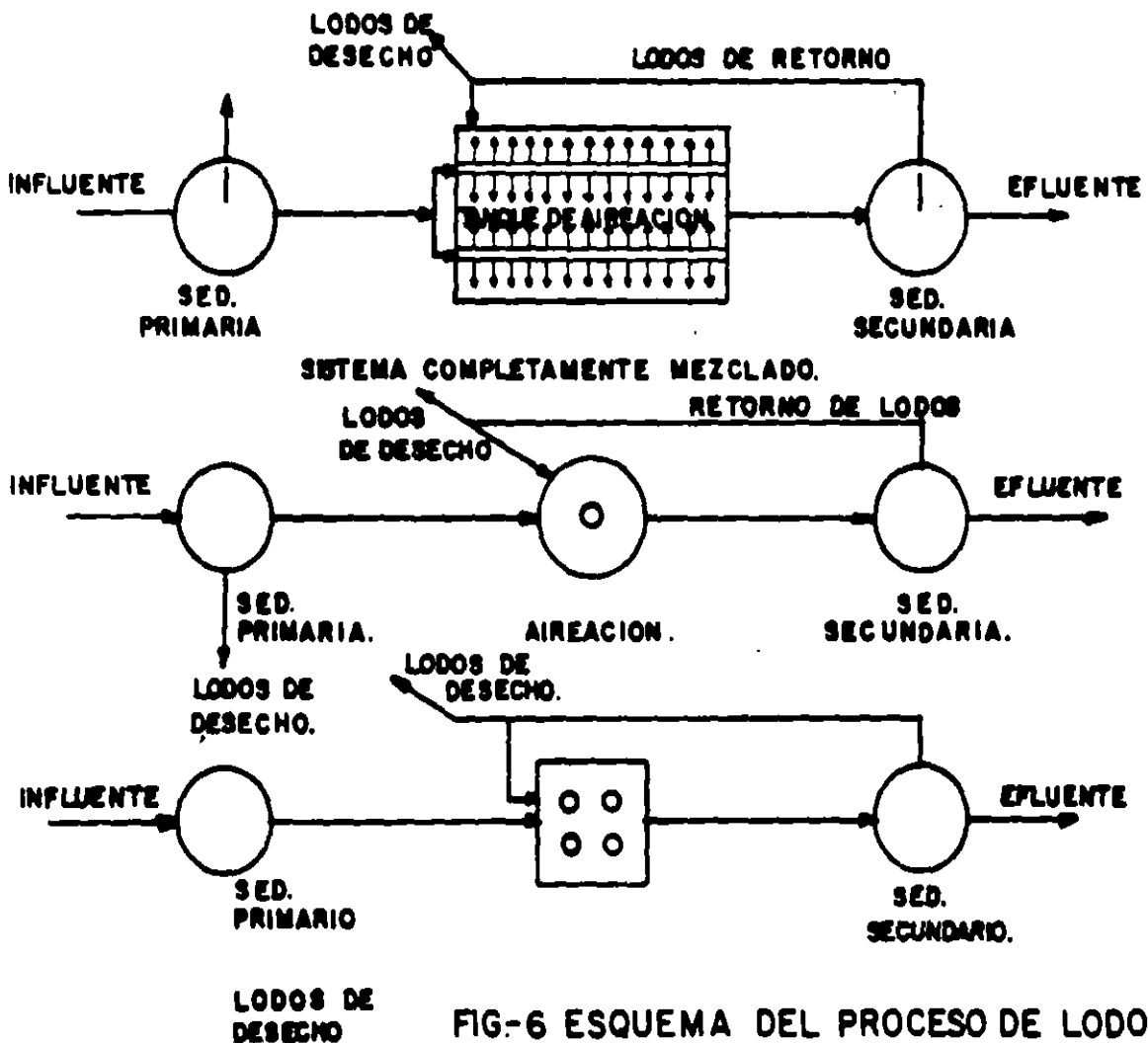


FIG.-6 ESQUEMA DEL PROCESO DE Lodos ACTIVADOS COMPLETAMENTE MEZCLADOS.

Lodos activados completamente mezclados.

Como se mencionó anteriormente el desarrollo del sistema de lodos activados completamente mezclados obedece principalmente a disminuir las cargas puntuales tanto de materiales tóxicos como de cargas orgánicas que pudieran sobrepasar la capacidad de asimilación de un reactor en flujo pistón. El principio fundamental se basa en que toda la masa del reactor existe en todo momento la concentración de todos los materiales, involucrados, esto quiere decir que al llegar una masa de contaminantes al reactor esta se diluye instantáneamente el todo el cuerpo del reactor disminuyendo en forma drástica su concentración.

El empleo de aeradores mecánicos superficiales se adecua mas a estas condiciones de operación, aunque la aereación por difusión es también empleada tratando de provocar las condiciones mas cercanas a mezcla completa. En la fig. 6 se muestran en forma esquemática algunas variantes en la configuración del reactor que tratan de acercarse lo mas posible al régimen hidráulico con que se diseña.

Al sistema completamente mezclado se le ha denominado en ocasiones de alta tasa principalmente por su capacidad de manejar aguas residuales con mayores concentraciones de materia orgánica; sin embargo su comportamiento y por lo tanto sus condiciones de diseño son muy similares a las del proceso convencional.

Sistema de lodos activados con aereación por etapas.

En esta variante de procesos de lodos activados se trata de realizar la aereación del licor mezclado de acuerdo con la demanda de oxígeno lo que motivó dos opciones diferentes, una en donde el influente al tanque de aereación es alimentado al tanque de aereación en diversos puntos como se muestra en la figura 7; y la segunda establece mayor aereación al principio del tanque disminuyéndola mediante espaciamiento de los difusores o de los aeradores mecánicos al final de mismo.

En esencia esta es prácticamente la única variante con respecto al sistema convencional por lo que las condiciones de operación y de diseño son también semejantes.

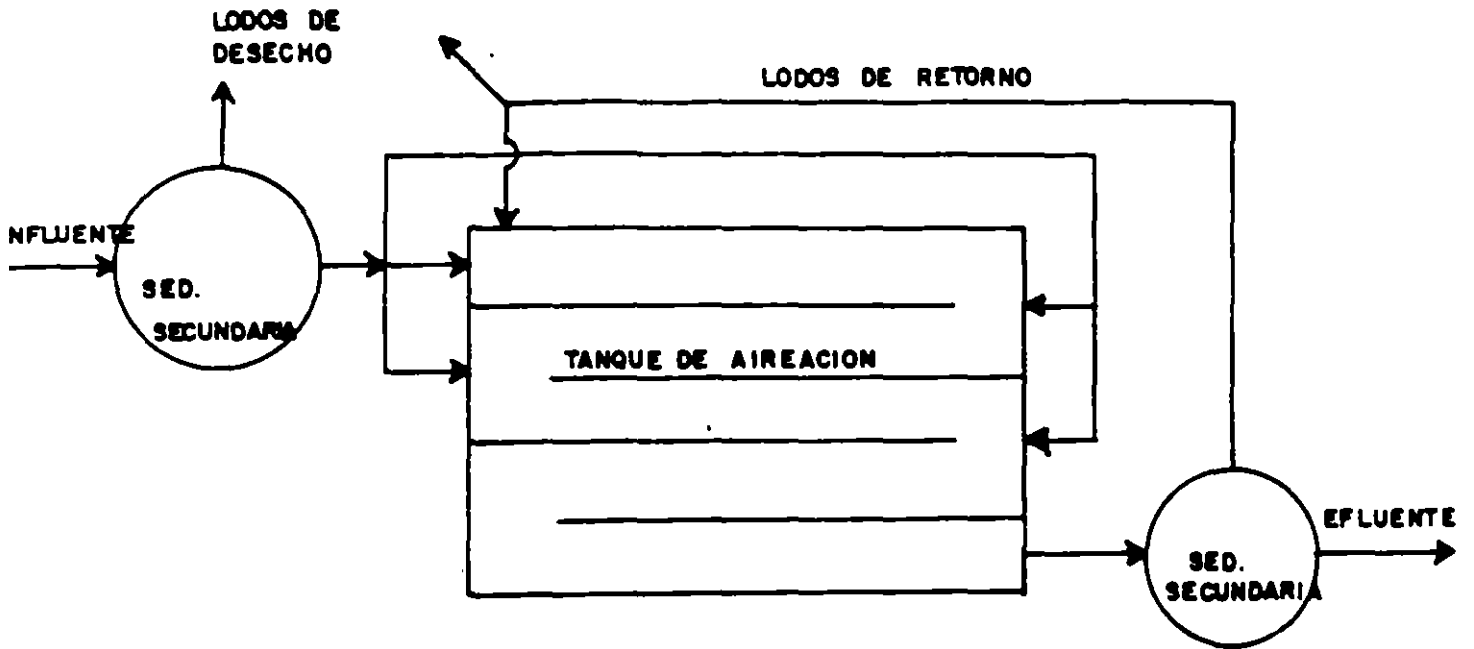


FIG- 7 ESQUEMA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CON DIRECCION POR ETAPAS.

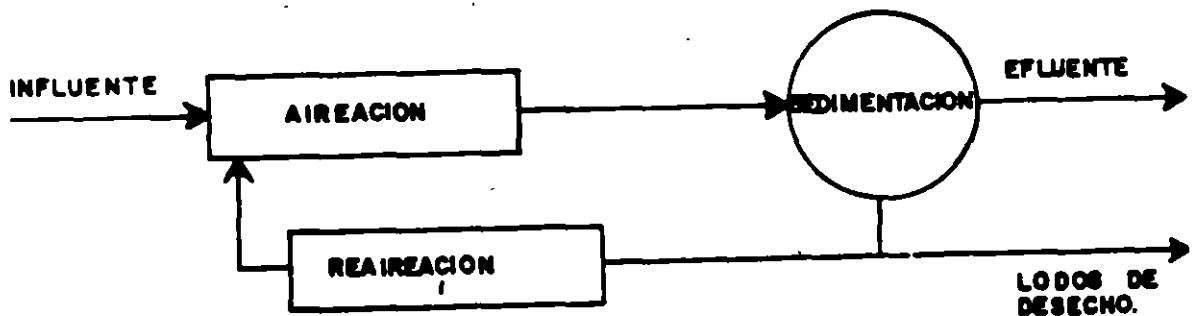


FIG- 8 ESQUEMA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CON ESTABILIZACION POR CONTACTO.

Aereación extendida

El proceso de lodos activados en su modalidad de aereación extendida es posiblemente uno de los sistemas más comunmente empleados y con grandes posibilidades de utilización a futuro tanto para el tratamiento de aguas residuales municipales como de desechos líquidos provenientes de la industria. La principal característica de este sistema es que opera con tiempos de retención celular prolongados, normalmente entre 15 y 20 días lo que provoca que los lodos generados en plantas de este tipo estén prácticamente estabilizados disminuyendo los problemas de disposición final.

Los tiempos de aereación son más prolongados que los empleados en los sistemas convencional y completamente mezclados variando desde ocho horas hasta veinticuatro o más dependiendo de las características dependiendo de los desechos a tratar. La principal razón para esta condición estriba en que los altos tiempos de retención celular implica que la fracción activa de los lodos biológicos en los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) sea muy reducida recurriéndose por lo tanto a mayores tiempos de oportunidad de contacto con un sustrato para alcanzar eficiencias de remoción razonables. Cuando los requerimientos de potencia por mezclado determinan el tamaño de los motores para aereación el tener mayores volúmenes por incremento de tiempos de retención hidráulico, significa mayores demandas de potencia lo que resulta en incosteabilidad de este proceso para su aplicación a gastos altos. En principio su aplicación se restringió a plantas con un máximo de 150 a 200 l/s; sin embargo recientes mejoras en los sistemas de aereación han fomentado su aplicación a gastos mayores. La planta de tratamiento más grande que se planea construir en nuestro país considera la aplicación de aereación extendida a un caudal de 5 m³/s.

Al resolverse prácticamente el problema de estabilización de los lodos secundarios se considero la conveniencia de no generar lodos primarios que obligaran al empleo de digestores para esta corriente de desecho eliminando la sedimentación primaria y alimentando los desechos líquidos crudos al tanque de aereación. Esta condición ha resultado atractiva al reducir los costos de inversión y disminuir la problemática en el manejo de los lodos de desecho; sin embargo en general y con procesos de aereación tradicionales se ha identificado un mayor costo de operación para la operación de los sistemas de transferencia de oxígeno.

Otro problema asociado en este caso con la edad de lodos es la disminución en las propiedades de sedimentación de los flóculos biológicos generados en el sistema ya que como se vio con anterioridad y se presenta en la figura 2 al incrementarse el tiempo de retención celular se incrementa el índice volumétrico de lodos disminuyendo las concentraciones que pueden ser recirculadas al tanque de aereación y para su disposición final. Esta característica ha motivado diversas opciones para recirculación y disposición de los lodos. Es común identificar plantas de tratamiento en donde la recirculación es continua al tanque de aereación mediante el empleo de mamparas que permiten la descarga de efluente sedimentado como se observa en la figura 11. En estos casos se dificulta sensiblemente la obtención del lodo concentrado par su disposición final por lo que se ha optado en algunas caso a descargarlo directamente en el tanque de aereación como una fracción de su volumen. Debido al hecho de que los lodos están en un estado de estabilización pueden ser retornados al medio ambiente esparciéndolos en terrenos de cultivo sin provocar problemas ambientales.

Estas características aunados a una gran variedad de dispositivos y sistemas de disposición han creado una gran diversidad de opciones que en algunos casos han sido patentadas con títulos comerciales con el objeto de obtener regalías de su aplicación.

Lodos activados con estabilización por contacto.

El proceso de lodos activados por estabilización por contacto aprovecha una propiedad natural de los microorganismos que consiste en que para el metabolismo del sustrato primero es absorbido al cuerpo del organismo par posteriormente mediante procesos enzimáticos transformarlo a moléculas que pueden ser transportadas a través de la pared celular para su aprovechamiento en generación de energía o en síntesis de protoplasma biológico. Esto quiere decir que una vez absorbido el sustrato a los microorganismos estos pueden ser removidos del sistema por medio de sedimentación alcanzandose una elevada eficiencia de remoción sin haberse producido estabilización de la materia orgánica. una vez concentrados los microorganismos con el sustrato son transferidos a un tanque de aereación donde se promueve el metabolismo del sustrato en volúmenes menores y con costos energéticos también menores. En la figura 8 se presenta en forma esquemática este tipo de tratamiento. En general esta variante implica la reducción de los volúmenes del reactor en proporción directa al incremento en concentración de los sólidos suspendidos del licor mezclado que en los sistemas de lodos activados convencionales se mantienen entre 2000 y 4000 mg/l y que en el tanque de aereación se pueden alcanzar

concentraciones de hasta 8000 a 12000 mg/l. El posible mayor costo de inversión requerido por la construcción de dos tanques de aereación se compensa tanto por los menores volúmenes y por la disminución de la energía requerida para su mezclado.

Esta variante del proceso de lodos activados puede emplearse como sustitución de cualquier otra variante; sin embargo los mayores beneficios y por lo tanto las aplicaciones más comunes están en relación con la sustitución de aereación extendida implicando largos tiempos de retención celular.

En la práctica se ha encontrado que tiempos de retención para la etapa de contacto de 1 a 3 horas y de estabilización de 3 a 6 horas alcanzando eficiencias de remoción de más del 90 %. Un tanque de contacto de 3 horas de tiempo de retención con un tanque de estabilización de 6 horas operando a 3000 y 8000 mg/l de sólidos suspendidos del licor mezclado respectivamente generarán resultados equivalentes a una aereación convencional de 19 horas de tiempo de retención en un volumen equivalente a 9 horas.

Zanjas de oxidación.

La denominación del sistema de zanjas de oxidación se deriva de la forma del reactor de aereación, que originalmente era la de un canal abierto en que las paredes laterales se diseñaban con un talud que permitiera su estabilidad.

El procesos biológico en sí, es una variante del denominado aereación extendida por lo tanto comparte las principales características de éste como son la de no requerir, en general, sedimentación primaria y la de permitir mediante largos tiempos de retención celular, la estabilización de los lodos los cuales no requieren de procesos de digestión previos a su disposición final.

A parte de estas dos ventajas mencionadas, el sistema de zanjas de oxidación ha presentado otras de gran importancia como con:

- a) Utilización de sistemas de aereación con bajos requerimientos de energía. Aunque, el rotor de paletas comúnmente empleado en las zanjas de oxidación no es mucho más eficiente que otros sistemas en cuanto a transferencia de oxígeno se refiere, este mecanismo ha permitido el desarrollo de otros sistemas que poseen algunas ventajas especiales.

b) Remoción eficiente de nitrógeno. En un análisis comparativo de varios sistemas de tratamiento biológico para un mismo influente y bajo condiciones ideales de operación, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 3.

PARA-METRO (mg/l)	INFLUENTE	E F L U E N T E .						
		Lodos activos C.M.	Aireación extendida.	Lag. aereadas c/sed. sec.	Zanjas de oxidación c/sed. sec.	Lag. Fac sin ai-reacción	Lag. Fac con ai-reacción	Lag anaeróbicas
SST	225	20	20	20	20	120	90	100
DBO5	200	15	15	15	15	40	25	40
DQO	450	90	90	90	90	160	140	140
N-NH3	25	20	2	2	2	1	1	1
P=To+	10	7	7	7	7	4	4	4

TABLA 3. Eficiencias de remoción de contaminantes de varios sistemas de tratamiento biológicos en condiciones ideales de operación.

De esta tabla se puede observar que para un mismo nivel de remoción de materia orgánica, el proceso de zanjas de oxidación es un sistema que promueve eficientemente la remoción de nitrógeno. Esto se basa principalmente en el proceso biológico de nitrificación - denitrificación, el cual puede ser parcialmente incrementado al controlar la transferencia de oxígeno en el reactor. Originalmente los sistemas se diseñaron para que operaran en condiciones aerobias con o sin recirculación de lodos como se muestra esquemáticamente en la fig. 9. Esta condición de aerobiosis aunada a los largos tiempos de retención celular (20 a 25 días) provoca la proliferación de organismos nitrificantes con la consecuente

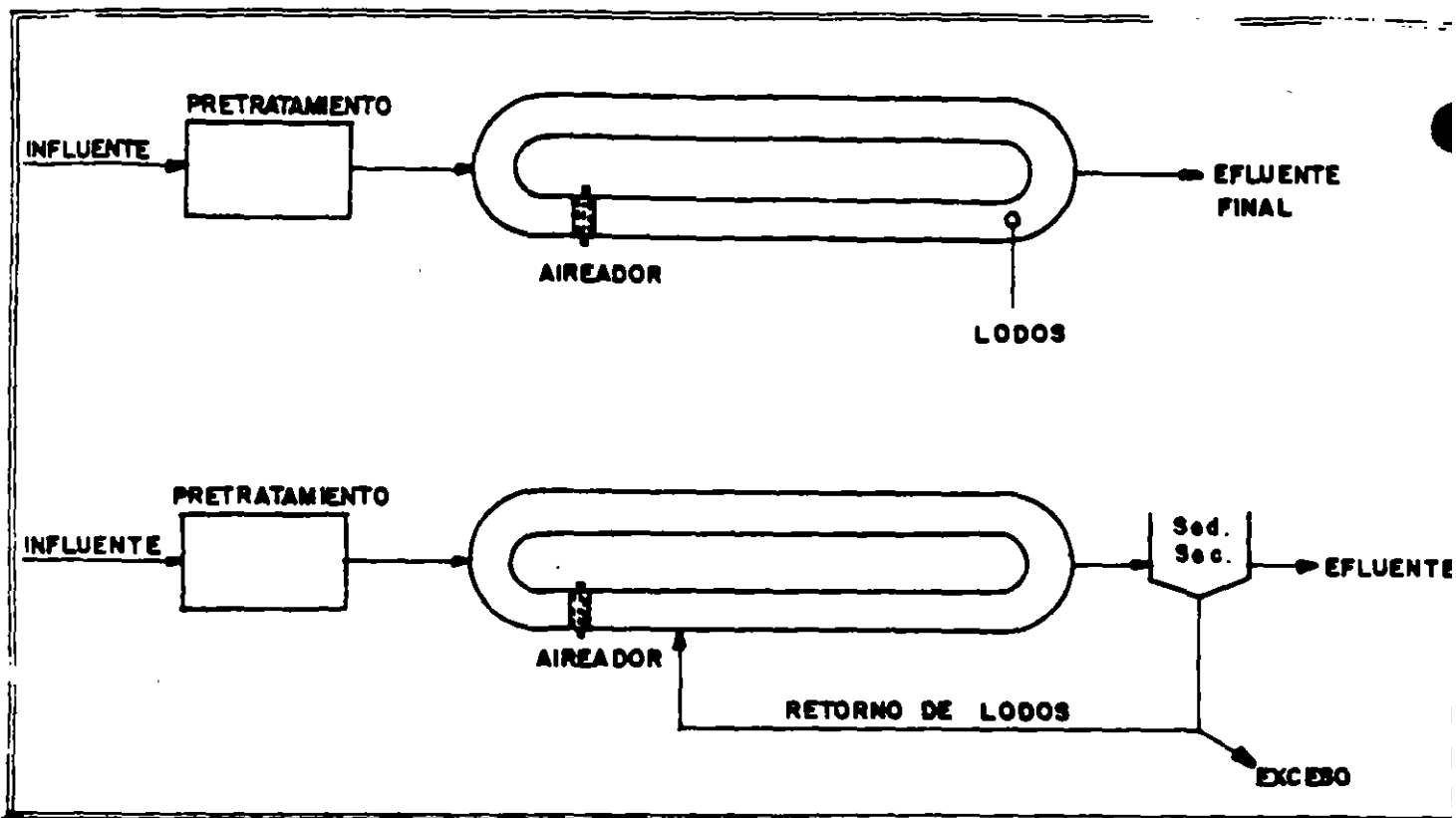


FIG-9 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCESO DE ZANJAS DE OXIDACION.

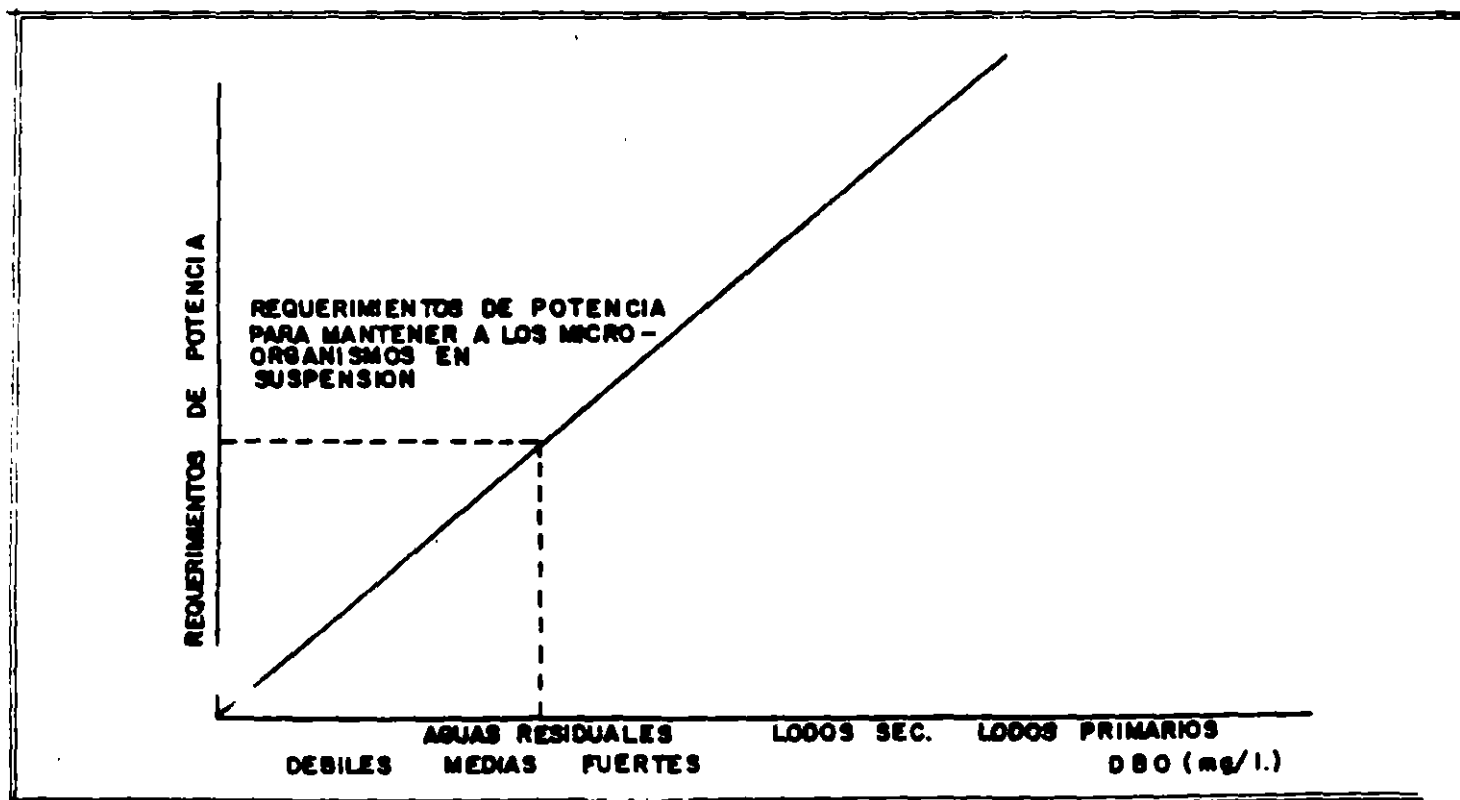


FIG:10 RELACION ENTRE POTENCIA REQUERIDA Y CONCENTRACION DE MATERIA ORGANICA DEGRADABLE EN EL DESECHO.

transformación de nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. A medida que por razones de crecimiento natural de las poblaciones servidas las cargas orgánicas se incrementa, las condiciones aerobias no se conserva en todo el reactor provocando problemas de septicidad que se considera negativos. La respuesta a esta situación es la de incrementar la potencia de los aireadores.

Sin embargo, en algunos casos se observa que la parcial anaerobiosis en el reactor provoca el proceso de denitrificación con el consecuente desprendimiento del gas nitrógeno a la atmósfera. De esta forma el sistema tuvo aceptación como un proceso que estimula la remoción de nitrógeno.

- c) Adecuada utilización de la capacidad de agitación y transferencia de oxígeno de los aireadores mecánicos. Los requerimientos de potencia en un reactor biológico para suministrar oxígeno y para mantener a los microorganismos en suspensión se puede representar esquemáticamente como se muestra en la fig. 10.

De acuerdo con la figura, la potencia requerida para tratamiento de aguas residuales medias o débiles ($DBO_5 < 250 \text{ mg/l}$) está regido por el mezclado, obteniéndose una transferencia de oxígeno superior a la necesaria. Sin embargo, en sistemas en que se promueve la oxidación completa del material orgánico como es el caso de las zanjas de oxidación, los requerimientos de oxígeno se incrementan hasta que en algunos casos llegan a exceder la transferencia, provocando condiciones anaerobias como las que se analizan en el inciso anterior.

Esto puede ser ilustrado fácilmente si consideramos que los requerimientos de oxígeno pueden establecerse de acuerdo con la siguiente ecuación (Ref. 3),

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1.5 (S_o - S_e)}{t} - \frac{1.42 A_x}{t} + \frac{(N - NH_3) 4.57}{t}$$

donde:

$\frac{dO_2}{dt}$ --- = requerimientos de O_2 en mg/l.h.

S_0 = Concentración inicial de sustrato (DBO5) en mg/l

S_e = Concentración final de sustrato (DBO5) en mg/l

ΔX = Incremento de masa microbiana activa en el tiempo t en mg/l

$N-NH_3$ = Concentración inicial de nitrógeno amoniacal en mg/l

t = tiempo de retención hidráulica hrs.

Si el segundo término de la ecuación (1) se reduce, ya que al estimularse la respiración endógena decrece el incremento de microorganismos activos y el tercer término se incrementa al promoverse la nitrificación, los requerimientos de potencia de los aireadores.

La principal desventaja del proceso es la de requerir grandes áreas y por la geometría del reactor su utilización se ha restringido a gastos inferiores a 500 l/s. La empresa Envirex ha tratado de solucionar este problema con un sistema denominado ORBAL en cual funciona, en los aspectos básicos, en forma similar al procesos tradicional de zanjas de oxidación. Las principales modificaciones con la geometría del reactor y el sistema de aereación que consiste en una serie de discos dentados situados en posición vertical, permitiendo así manejar gastos mayores.

La empresa Schriber ha patentado asimismo un procesos de aereación que modifica parcialmente los esquemas tradicionales denominados en contracorriente, que permitiendo la mayor residencia de las burbujas en el medio líquido se incrementa la transferencia de oxígeno incrementando la eficiencia en la transformación de la energía. El proceso es esencialmente el mismo de aereación extendida con economías importantes al disminuir los requerimientos de potencia y de consumo de energía. Este proceso ha sido recomendado para gastos de hasta 5 m³/s.

Otro problema importante que presenta el proceso de zanjas de oxidación estriba en que los lodos biológicos con largos tiempos de retención celular, generalmente presentan problemas de sedimentabilidad. Esta característica ha sido atribuida a la polifерación de crecimiento filamentosos y a una densidad relativamente baja de los flóculos formados. Como se puede observar

de la fig. 2, los flóculos biológicos con tiempo de retención celular inferior a siete días, O_c normal para sistemas de lodos activados convencional, completamente mezclados, etc., tienen las mejores propiedades de compactación. Los flóculos biológicos con O_c superiores a doce días aumentan su índice volumétrico de lodos (IVL) directamente con el incremento de O_c provocando problemas en la sedimentación y en la recirculación. Esta situación ha ocasionado modificaciones que se consideran de gran valor en el proceso de zanjas de oxidación. La primera involucra la utilización del tanque de sedimentación secundario adyacente al reactor de aereación como esquemáticamente se presenta en la fig. 11.

El fondo del tanque tiene una inclinación hacia el reactor provocando la continua recirculación de los lodos, eliminando la necesidad de bombeo, pero se tiene el problema de que el desalajo de los lodos de desecho se realiza directamente del tanque de aereación, a las concentraciones de SSLM de éste, que oscilan entre 3,000 y 5,000 mg/l. Estos lodos deben ser concentrados en un espesador previa su disposición final.

Una modificación similar es presentada por Christopher et al. en este sistema, como se muestra en la fig. 12, el clarificador ocupa una parte en el reactor biológico. El fondo de éste formado por vigas triangulares que permiten el paso del licor mezclado hasta el clarificador enmarcado por tres paredes. Los sólidos se depositan en el fondo retornando al reactor biológico; el agua clarificada que constituye el efluente sale por una serie de tubos perforados. En este caso se elimina el equipo de recirculación pero se tiene el problema de concentrar los lodos previa su disposición final.

En algunos casos la descarga de los lodos de desecho se realiza directamente del tanque de aereación a las concentraciones que en este se manejan y con destino final a terrenos de cultivo ya que por el elevado nivel de estabilización los lodos no presentan peligro potencial en esta aplicación.

La población microbiana en el reactor de la zanja de oxidación es similar a la que presentan las variantes de lodos activados. En los reactores en que se trata de mantener condiciones aerobias, debido a los niveles energéticos bajos abundan los ciliados anclados, suctorias y rotíferos.

Una observación al microscopio presenta generalmente un panorama de menor actividad que el que ofrecen sistemas con O_c reducidos.

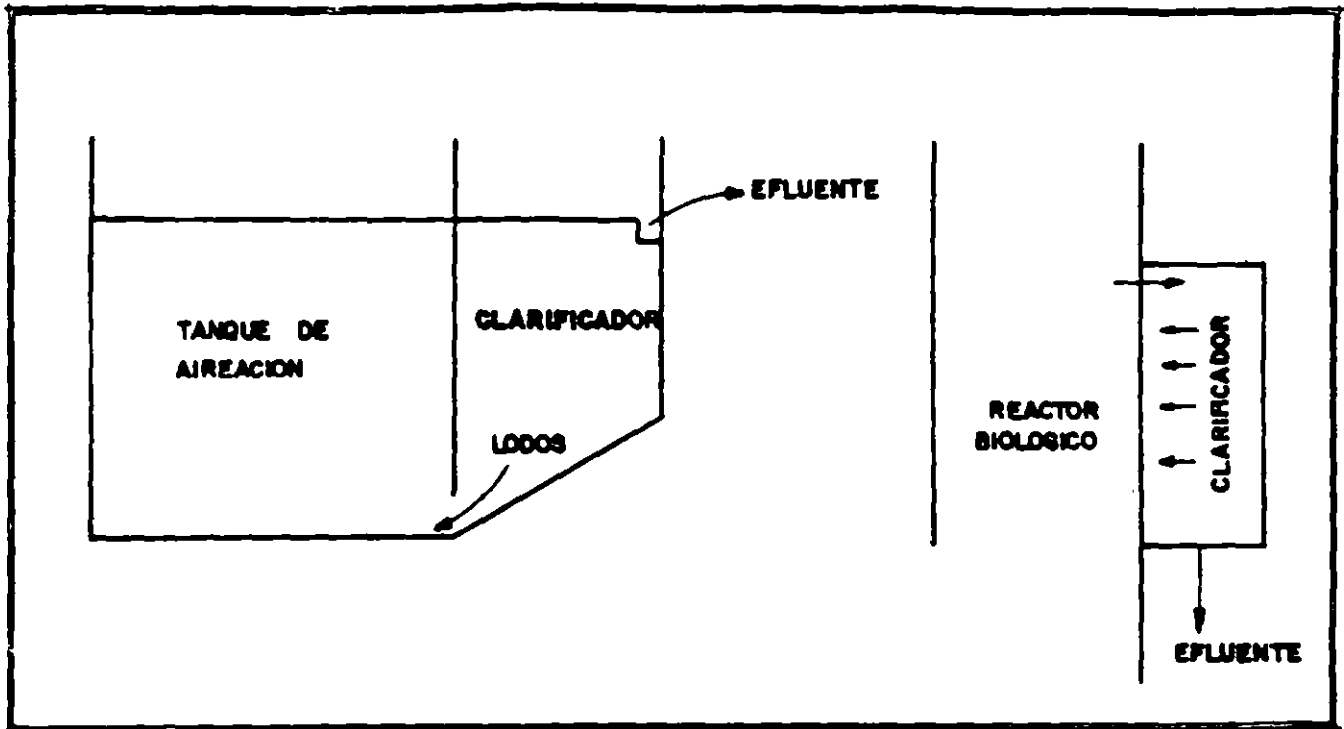
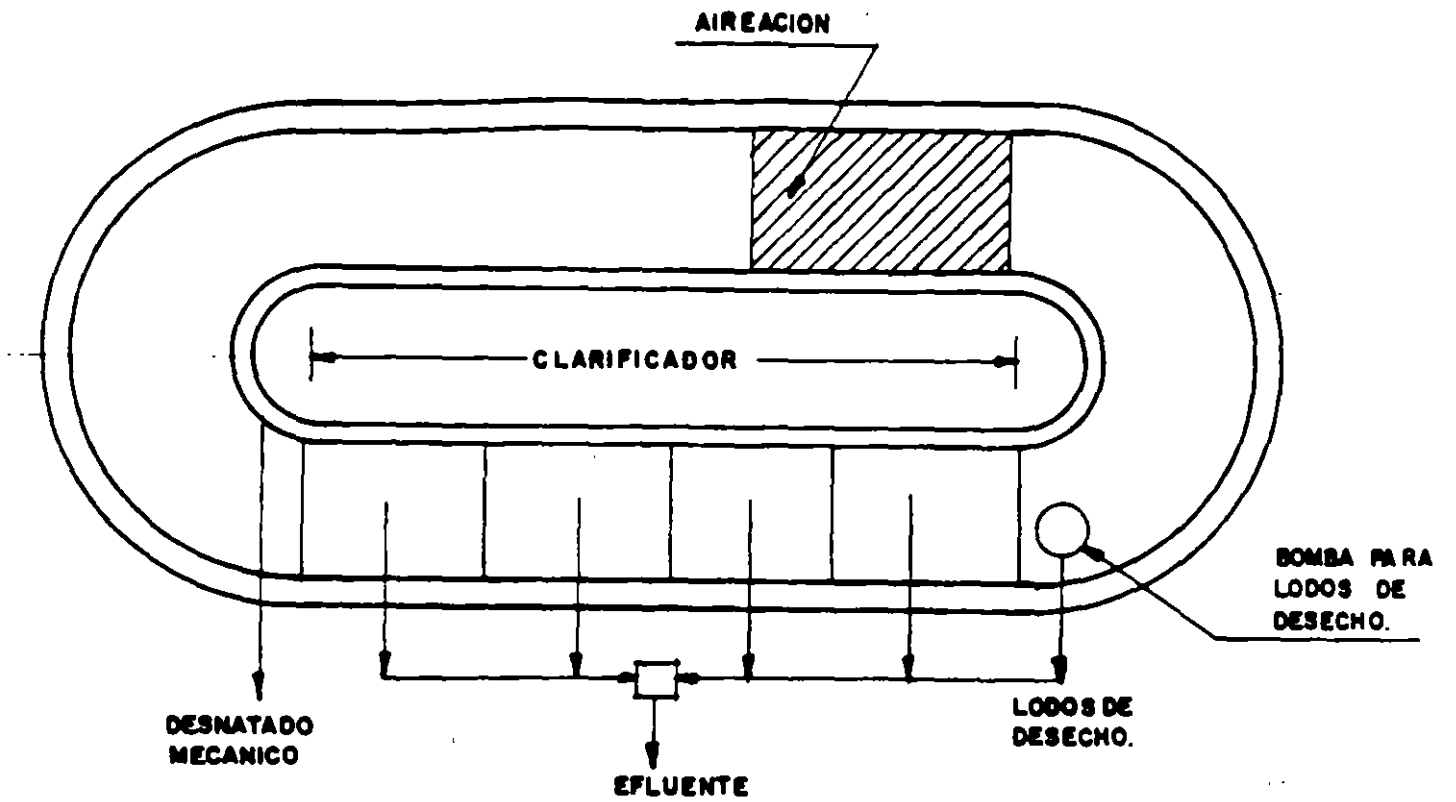
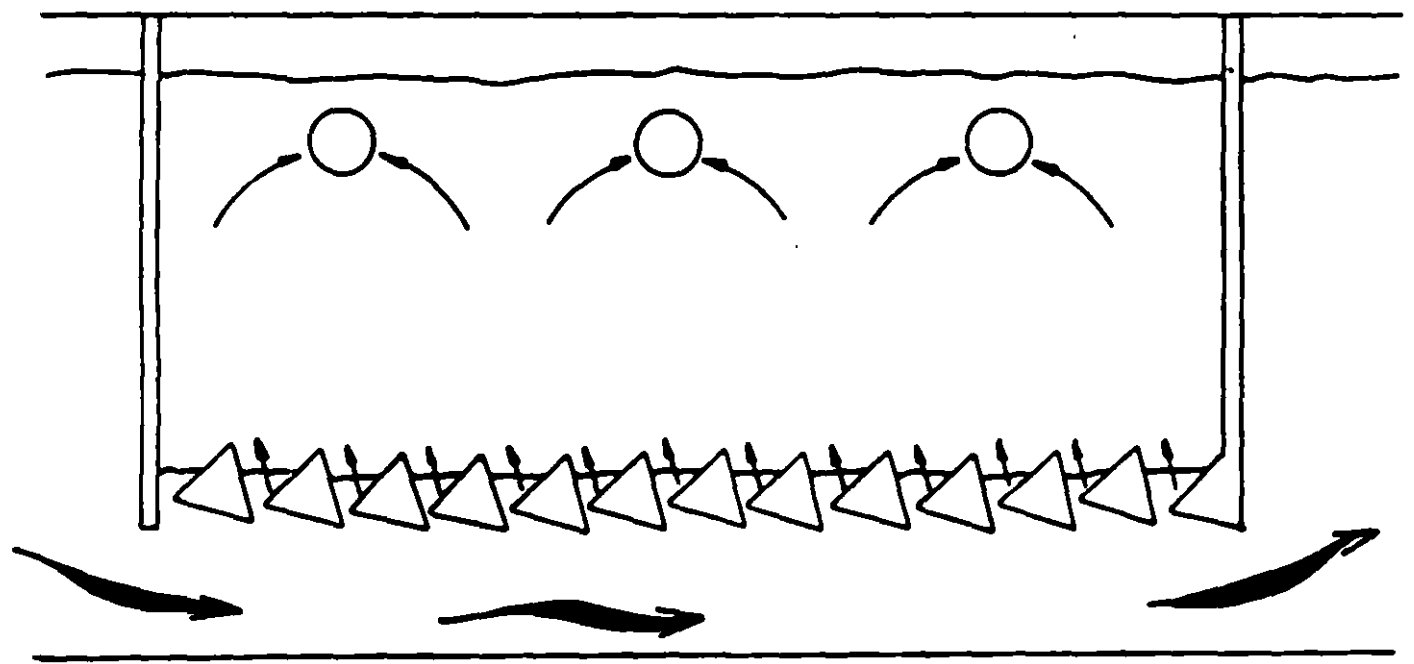


FIG. II REPRESENTACION ESQUEMATICA DE SISTEMA DE ZANJAS DE OXIDACION CON CLARIFICADOR, RETORNADO LOS LODOS DIRCTAMENTE AL REACTOR BIOLÓGICO.



PLANTA.



CLARIFICADOR.

FIG.12 . PROCESO PRESENTADO POR CHRISTOPHER ET AL (REF. 4)

En los casos en que se promueve el desarrollo de condiciones anaerobias para incrementar el procesos de denitrificación, los rotíferos disminuyen en proporción ya que no se adaptan fácilmente a cambios drásticos en la concentración de oxígeno disuelto; por otro lado se desarrolla una gran cantidad de nemátodos que poliferan en condiciones de septicidad, éstos normalmente se localizan en el interior de los flóculos donde la transferencia de oxígeno es muy limitada.

En ambos casos se tiene tendencia a crecimiento filamentoso que produce las deficiencias en sedimentabilidad de los flóculos biológicos. Este desarrollo no se considera asociado con deficiencias de nutrientes, ya que en estos sistemas en que se promueve la digestión de los lodos biológicos se tiene gran oportunidad de recirculación.

El sistema de aereación originalmente utilizado en las zanjas de oxidación consistió en un rotor fijo con paletas que provocaban tanto el movimiento del agua en un sentido determinado, como su esparcimiento a través del aire provocando la oxidación del medio. Este sistema causó gran impacto, ya que como se puede observar en la tabla 4, es altamente eficiente.

TIPO DE AIREADOR	Eficiencia en transferencia de oxígeno (Kg/ O ₂ /HP.hr.
Aireador superficial Flotante	0.82 - 2.0
Rotor aireador flotante	1.6 - 1.9
Aireador superficial - simple	1.4 - 1.9
Rotor aireador fijo	1.4 - 2.3

TABLA 4. Eficiencias de diversos equipos de aereación.

Sin embargo, a pesar de la ventaja obvia de menores requerimientos de energía y generalmente bajos costos de mantenimiento, este sistema presenta dos problemas de importancia.

El primero se refiere a la gran dispersión de agua residual que provoca y que no tiene un control simple; el segundo de poca importancia en nuestro país, es que este sistema resulta inadecuado cuando por reducción de la temperatura ambiente se provoca el congelamiento de la superficie del reactor de aereación.

Tratando de resolver estos problemas se han presentado dos alternativas. La primera, desarrollada por Reid Engineering Co., de Fredericksburg, Va, E.U.A. consiste en hacer pasar todo el flujo de licor mezclado a través de un sifón invertido subterráneo como se muestra en la fig. 13. Al inicio del conducto se coloca un aireador de turbina que consiste en una propela y un difusor de aire a presión. La segunda alternativa presentada por Christopher y denominada aereación de flujo horizontal se presenta esquemáticamente en la fig. 14. El sistema consiste en series de tubos difusores con una propela que provoca el sentido de flujo y el mezclado de la masa microbiana.

Criterios de diseño.

A continuación se presenta un resumen de los criterios de diseño de zanjas de oxidación.

t -	Tiempo de retención hidráulica	- 12 a 96 hrs.
Oc -	Tiempo de retención celular	- 20 a 30 días
SSVLM-	Sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado	- 3000 a 5000 mg/l
HP -	Potencia de aireadores	- 4.7 a 23 HP/1000 m ³
SSLM -	Sólidos suspendidos del licor mezclado.	- 3000 a 8000 mg/l
F/M -	Relación comida-microorganismos	- 0.03 - 0.10

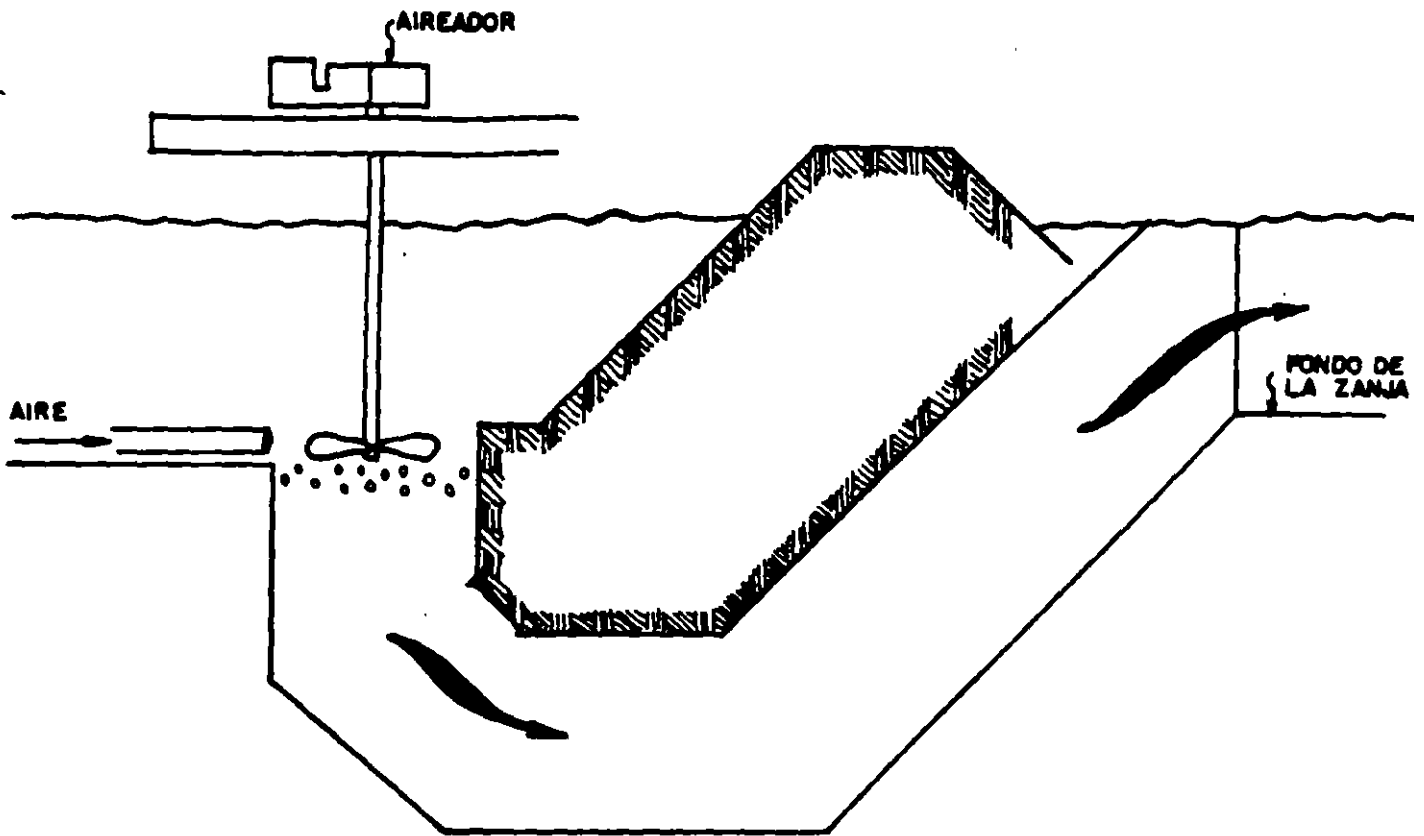


FIG-13 SISTEMA DE AIREACION CON CONDUCTO SUBTERRANEO.

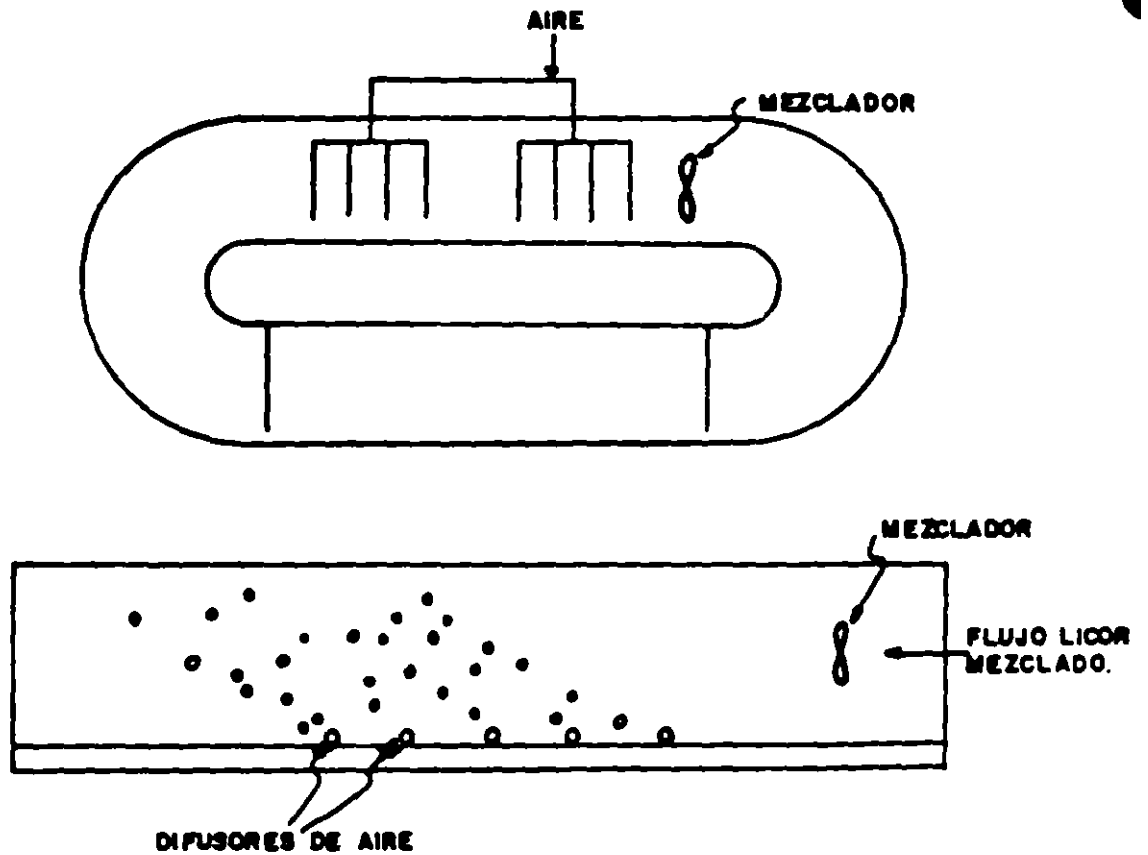


FIG-14 AIREACION DE FLUJO HORIZONTAL (REF. 4).

R=Qw/Q- Tasa de recirculación de lodos - 0.25 a 0.75
carga orgánica - 0.16 a 0.32Kg DBO5/m3-día

Lodos activados con utilización de oxígeno puro.

Las aguas residuales concentradas especialmente las generadas en procesos industriales con altas demandas de oxígeno para su procesamiento requieren de potencias de aereación elevadas que compiten económicamente con la generación de oxígeno que empleado en lugar de aire normal, incrementa la transferencia de este elemento para el metabolismo biológico.

La necesidad de recircular el oxígeno no aprovechado por los microorganismos obliga al empleo de tanque cerrados con mínima posibilidad de interconexión con el aire ambiente lo que encarece las inversiones y hace más compleja la operación. Es sin embargo un proceso promovido por los fabricantes de generadores de oxígeno y se ha utilizado en forma comercial principalmente en Estados Unidos y en algunos países Europeos.

Otras variantes de lodos activados.

Existen otras variantes al proceso de lodos activados que involucra patentes comerciales principalmente en los sistemas para mezclado y transferencia de oxígeno y en configuraciones de los tanque de aereación aplicandose diversidad de nombres para su distinción. Una comprensión adecuada del proceso de lodos activados permitirá identificar las condiciones de operación de los microorganismos y las ventajas y desventajas de los sistemas planteados por lo que no se considera necesario un análisis a mayor detalle de estas variantes comerciales.

Lagunas aereadas.

La variante conceptual que considera microorganismos en suspensión y que difiere de lodos activados por no contar con recirculación de biomasa son las lagunas aereadas. En este sistema las aguas residuales entran normalmente como agua cruda directamente al tanque de aereación donde en contacto con una masa biológica reducida y en agitación constante promueve el crecimiento biológico generandose la transformación de materia orgánica en forma soluble

a materia orgánica en forma suspendida que puede ser removida con facilidad. Los tiempos de retención hidráulicos que en este caso corresponden a los tiempos de retención celular deben de mantenerse por arriba de los tres días (72 horas), para permitir la generación de microorganismos.

La ventaja de este proceso es no requerir estructuras costosas para sedimentación ni equipos para recirculación de lodos lo que permite que generalmente los tanques de aereación se formen con muros de tierra compactada sin embargo el aspecto negativo de este proceso estriba en los altos requerimientos de energía necesaria para mantener en suspensión a los flóculos biológicos en tanques de estas proporciones. En algunos casos se permite la sedimentación de los sólidos suspendidos utilizando menor potencia de aereación lo que reduce los costos pero asimismo reduce la eficiencia de tratamiento y en estos casos se requieren tiempos de retención que normalmente son superiores a los siete días.

Estas lagunas generan un efluente con elevadas concentraciones de Sólidos suspendidos y por lo tanto de materia orgánica requiriéndose lagunas de pulimento o maduración, si es que se requiere la descarga del efluente a un cuerpo receptor.

Cinética del proceso.

Para poder estudiar la cinética del proceso de lodos activados, analizaremos primeramente la cinética del crecimiento biológico que puede ser representada como un proceso de lodos activados en un reactor batch. En este reactor, el sustrato o comida (F), la masa de microorganismos activos (Ma), la masa de endógena (Me) y la masa total o sólidos suspendidos del licor mezclado (M), varían con respecto al tiempo como se muestra en la fig. 15. De esta figura podemos establecer que:

- 1) Durante el crecimiento logarítmico:

La rapidez con que crece la masa activa es proporcional a la masa activa presente.

$$\frac{dMa}{dt} = kMa$$

$$Ma = Mao e^{kt}$$

De la misma forma, el crecimiento de los microorganismos es directamente proporcional al decremento de la comida.

Q = Gasto
 F = Sustrato
 Ma = Microorganismos activos
 Fi = Sustrato inicial

$$\frac{dMa}{dt} = -A \frac{dF}{dt}$$

$$\text{de donde } (Ma - Mao) = A (Fi - F)$$

donde Fi es la cantidad de comida inicial (DBO5inf).

$$Mao (ekt - 1) = A AF$$

Si consideramos que el sistema es aerobio, la rapidez con que incrementa la masa activa de microorganismos es proporcional a la rapidez con que se consume el oxígeno utilizado en síntesis.

$$\frac{dO}{dt} = -B \frac{dMa}{dt}$$

2) Durante la fase de decrecimiento del crecimiento.

En esta etapa la comida es limitante y el crecimiento biológico es proporcional a la rapidez con que se consume el alimento, y por lo tanto el consumo de comida es proporcional a la cantidad de comida remanente.

$$\frac{dF}{dt} = -k_1 F$$

$$F = Fo e^{-k_1 t}$$

donde F_0 es la comida al inicio de la fase de decrecimiento del crecimiento.

en esta etapa, cuando la comida empieza a ser limitante, se inicia la respiración endógena afectando el crecimiento de los microorganismos activos.

$$\frac{dMa}{dt} = -K' \frac{dF}{dt} - KeMa$$

donde Ke es la constante de respiración endógena

3) Durante la fase de respiración endógena.

La concentración de comida se encuentra en el límite inferior y por lo tanto se puede considerar una transformación nula de la comida.

$$-\frac{dF}{dt} = 0$$

La masa de microorganismos activos se ve afectada solo por la respiración endógena.

$$\frac{dMa}{dt} = -Ke Ma$$

$$Ma = Ma_0 e^{-ket}$$

La masa endógena se incrementa proporcionalmente a la disminución de la masa activa.

$$-\frac{dMe}{dt} = 0.2 \quad \frac{dMa}{dt} = -0.2 keMa$$

El 0.2 se debe a que se considera que es la fracción no degradable de la célula biológica que permanecerá como material estable.

Reactor continuo.

En un reactor continuo que ha alcanzado su equilibrio entre la población biológica y la cantidad de sustrato que se alimenta, como el que se muestra en la fig. 16, se puede establecer el siguiente análisis:

Remoción del sustrato.

Un balance de material que considere el sustrato puede establecerse como sigue:

$$\text{lo que entra} = \text{lo que sale} + \text{lo que se metaboliza}$$

es decir:

$$QF_i = QF + \text{metabolismo.}$$

Si consideramos que la población biológica en el reactor se encuentra en la etapa de decrecimiento del crecimiento o sea que la limitante es la comida.

$$QF_i = QF + k_m FV$$

donde k_m es la constante de metabolismo o la rapidez con que los microorganismos utilizan el sustrato.

Dividiendo entre Q

$$F_i = F + F k_m t$$

$$F = \frac{F_i}{k_m t + 1}$$

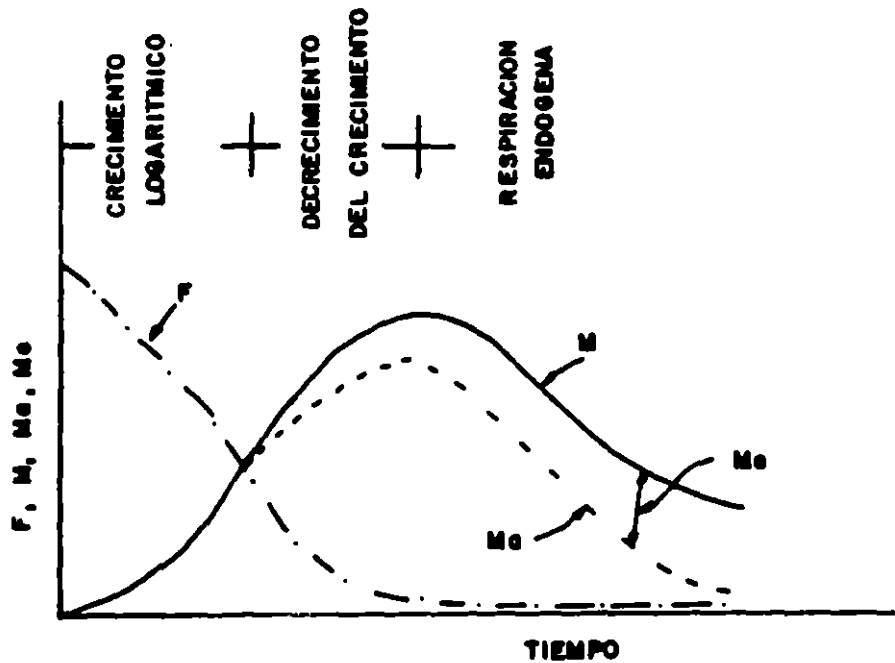
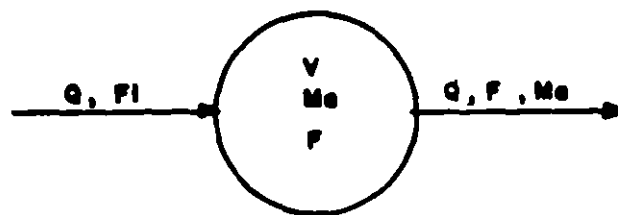


FIG-15 COMPORTAMIENTO BIOLÓGICO EN UN REACTOR BATCH.



Q = GASTO
 F = SUSTRATO
 Me = MICROORGANISMOS ACTIVOS.
 Fi = SUSTRATO INICIAL.

FIG-16 REACTOR CONTINUO SIN RECIRCULACION,

Crecimiento biológico.

De la fig. 16 y considerando que la población biológica en el influente del reactor es mínima:

lo que se sintetiza = lo que se desplaza + resp. endógena.

$$ksFV = QMa + keMaV$$

$$Fkst = Ma + Maket$$

$$Ma (1 + ket) = ksFt$$

$$Ma = \frac{ksF}{1 + ke} \cdot \frac{1}{t}$$

Crecimiento endógeno

$$QMe = a ke Ma V \quad a = 0.2$$

$$Me = 0.2 ke Ma t$$

Sólidos inorgánicos (Mii)

$$Mii = 0.1 (Ma + Me)$$

Incremento total de sólidos

$$Mt = Ma + Me + Mii$$

Tasa de utilización del oxígeno.

$\frac{dO}{dt}$ Oxidación potencial de la comida-Equiv.en O₂ de las células

Tiempo de retención.

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1.5 (ADB05) - 1.43 (M_a + M_e)}{t}$$

Sustrato en el efluente

$$DBO5_{eff} = F + 0.8 M_a$$

Reactor continuo con recirculación de lodos.

En la fig. 17 se presenta esquemáticamente el sistema de lodos activados considerando recirculación de microorganismos al tanque de aereación. Si consideramos que el sistema se encuentra en equilibrio y que la población biológica se encuentra en la fase de decrecimiento del crecimiento, podemos efectuar el siguiente análisis:

a) Metabolismo del sustrato.

De un balance de materiales del sistema en la fig. 17, considerando el sustrato:

lo que entra = lo que sale + lo que se metaboliza

$$QF_i = F + km FV$$

$$QF_i = QF + km FV$$

$$\frac{F_i - F}{f} = kmt$$

$$F_i = km Ft + F$$

Q_r = Gasto de recirculación
 Q_w = Gasto de lodos de desecho
 M_{ae} = Microorganismos en el efluente
 M_{ar} = Masa de microorganismos en la recirculación

$$F = \frac{F_i}{k_m t + 1}$$

donde t es el tiempo de retención hidráulica teórico.

b) Producción de microorganismos.

lo que entra + lo que se sintetiza = lo que sale + resp. endógena.

$$K_s FV + Q_r M_{ar} = (Q + Q_r) M_a + K_e M_a V$$

Por otro lado, a partir de un balance de masa en el sedimentador:

$$(Q + Q_r) M_a = (Q - Q_w) M_{ae} + Q_w M_{ar} + Q_r M_{ar}$$

Sustituyendo en la ecuación previa.

$$K_s FV + Q_r M_{ar} = (Q - Q_w) M_{ae} + Q_w M_{ar} + Q_r M_{ar} + M_{ar} K_e V$$

Cancelado $Q_r M_{ar}$

$$K_s FV = (Q - Q_w) M_{ae} + Q_w M_{ar} + K_e M_a V$$

Si Q_w es una fracción de Q o sea XQ

$$K_s FV = Q (1 - X) M_{ae} + XQ M_{ar} + K_e M_a V$$

dividiendo entre Q

$$K_s F t = (1 - X) (M_{ae} + X M_{ar} + K_e M_a t)$$

dividiendo entre t

$$K_s F = \frac{(1 - X)}{t} M_{ae} + \frac{X}{t} M_{ar} + K_e M_a$$

De un balance de materiales en el sistema:

$$\frac{(1 - X)}{t} M_{ae} + \frac{X}{t} M_{ar} = \frac{M_a}{t_s}$$

donde t_s es el tiempo que permanecen los microorganismos en el sistema o tiempo de residencia celular.

por lo tanto

$$K_s F = \frac{M_a}{t_s} + K_e M_a$$

$$M_a = \frac{K_s F}{1 + K_e} \frac{t_s}{t}$$

c) Masa endógena

$$M_e = 0.2 K_e M_a \frac{t_s}{t}$$

d) Masa orgánica inerte

$$M_i = (M_i \text{ en el influente}) \left(\frac{t_s}{t} \right)$$

e) Masa inorgánica inerte

$$M_{ii} = (M_{ii} \text{ en el influente}) \left(\frac{t_s}{t} \right) + 0.1 (M_a + M_e)$$

f) Sólidos suspendidos del licor mezclado.

$$M_t = M_a + M_e + M_i + M_{ii}$$

$$M_V = M_a + M_e + M_i \text{ (SSVLM)}$$

g) Utilización del oxígeno.

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1.5 (F_i - F)}{t} - \frac{1.43 (M_a + M_e)}{t_s}$$

ó

$$\frac{dO}{dt} = \frac{0.5 (F_i - F)}{t} + 1.14 K_e M_a$$

h) Sustrato en el efluente.

$$DBO_{5eff} = F + 0.8 M_{ae}$$

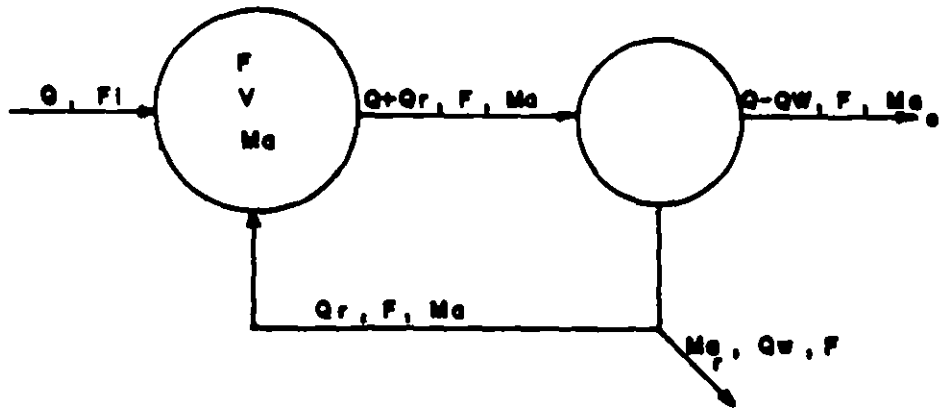
$$\text{donde } M_{ae} = M_e \left(\frac{M_a}{M_T} \right)$$

Evaluación de las constantes del sistema.

La constante de metabolismo se puede obtener a partir de la ecuación de remoción de sustrato:

$$F_i = K_m F_t + F$$

$$\frac{F_i - F}{F} = K_m t$$



- Q_r = GASTO DE RECIRCULACION.
- Q_w = GASTO DE LODOS DE DESECHO.
- Me = MICROORGANISMOS EN EL EFLUENTE
- Ma = MASA DE MICROORGANISMOS EN LA RECIRCULACION.

FIG.-17 REACTOR CONTINUO COMPLETAMENTE MEZCLADO CON RECIRCULACION.

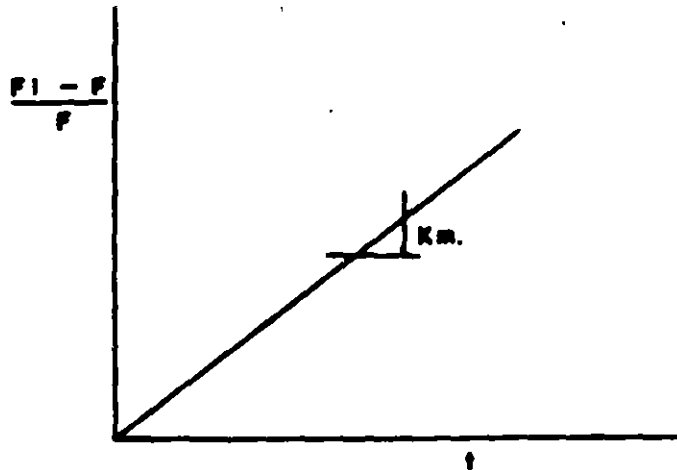


FIG.-18 DETERMINACION DE K_m .

Ecuación de una recta con pendiente K_m y que pasa por el origen. Por lo tanto, realizando un experimento a nivel laboratorio se puede obtener una recta como la que se muestra en la fig. 18 cuya pendiente es K_m .

$$K_s = 0.7 K_m$$

y

$$k_e = 0.02 \text{ hr}^{-1} \text{ a } 20 \text{ grados centigrados.}$$

Estas constantes dependen de la temperatura, variando de acuerdo con la siguiente relación:

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

donde θ es el coeficiente de actividad biológica que de acuerdo a algunos autores varía entre 1.05 y 1.15. Parece ser que este coeficiente está relacionado con la viscosidad del agua la cual varía con la temperatura. En este caso $\theta = 1.075$.

EJEMPLO DE APLICACION:

A continuación se presenta un ejemplo simple para dimensionar el reactor biológico de un sistema de lodos activados completamente mezclados, los datos básicos son los siguientes:

Q	= 200 l/s
DBO influente	= 220 mg/l
SS	= 200 mg/l
SSV	= 180 mg/l
T prom. agua	= 16 grados centigrados.
SSVNB	= 60 mg/l

Los valores de las constantes de biodegradabilidad a 20 grados centigrados y su dirección a 16 grados centigrados. utilizando la relación de Van Hoff Arrhenius y un valor del coeficiente de actividad biológica de 1.035 se presentan a continuación:

20 grados centígrados

16 grados centígrados

$$K_m = 7.2 \text{ hr}^{-1}$$

$$K_m = 7.2 (1.035)^{16-20} = 6.27 \text{ hr}^{-1}$$

$$K_s = 5.0 \text{ hr}^{-1}$$

$$K_m = 5.0 (0.87) = 4.35 \text{ hr}^{-1}$$

$$K_e = 0.02 \text{ hr}^{-1}$$

$$K_e = 0.0174 \text{ hr}^{-1}$$

En forma esquemática, el proceso global de tratamiento se presenta en la figura 19, donde se establece que las concentraciones de DBO5 y sólidos suspendidos en el efluente serán de 30 mg/l en ambos casos.

$$\text{DBO5 efluente} = F + 0.8 \text{ SSVef}$$

$$30 = F + 20.8$$

$$F = 30 - 20.8$$

$$F = 9.2 \text{ mg/l}$$

$$F = \frac{F_i}{K_m t + 1}$$

$$t = \frac{1}{K_m} \left[\frac{F_i}{F} - 1 \right]$$

$$t = \frac{1}{6.27} \left[\frac{154}{9.2} - 1 \right]$$

El tiempo de retención hidráulico necesario para alcanzar la eficiencia deseada es de:

$$t = 2.51 \text{ hr}$$

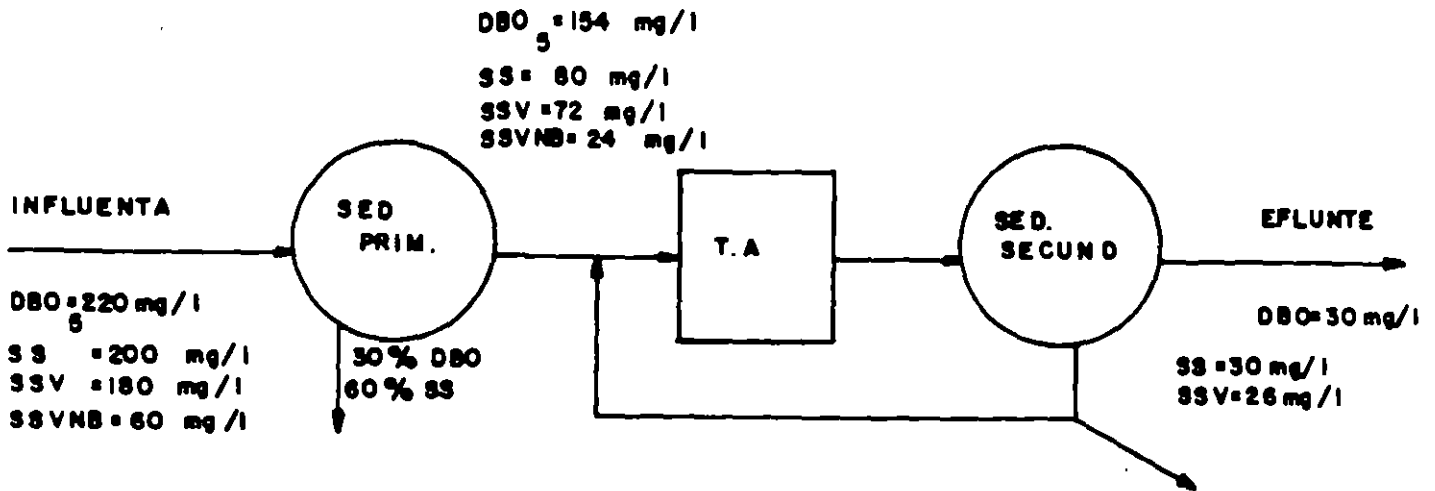


FIG.19 CONDICIONES DE OPERACION.

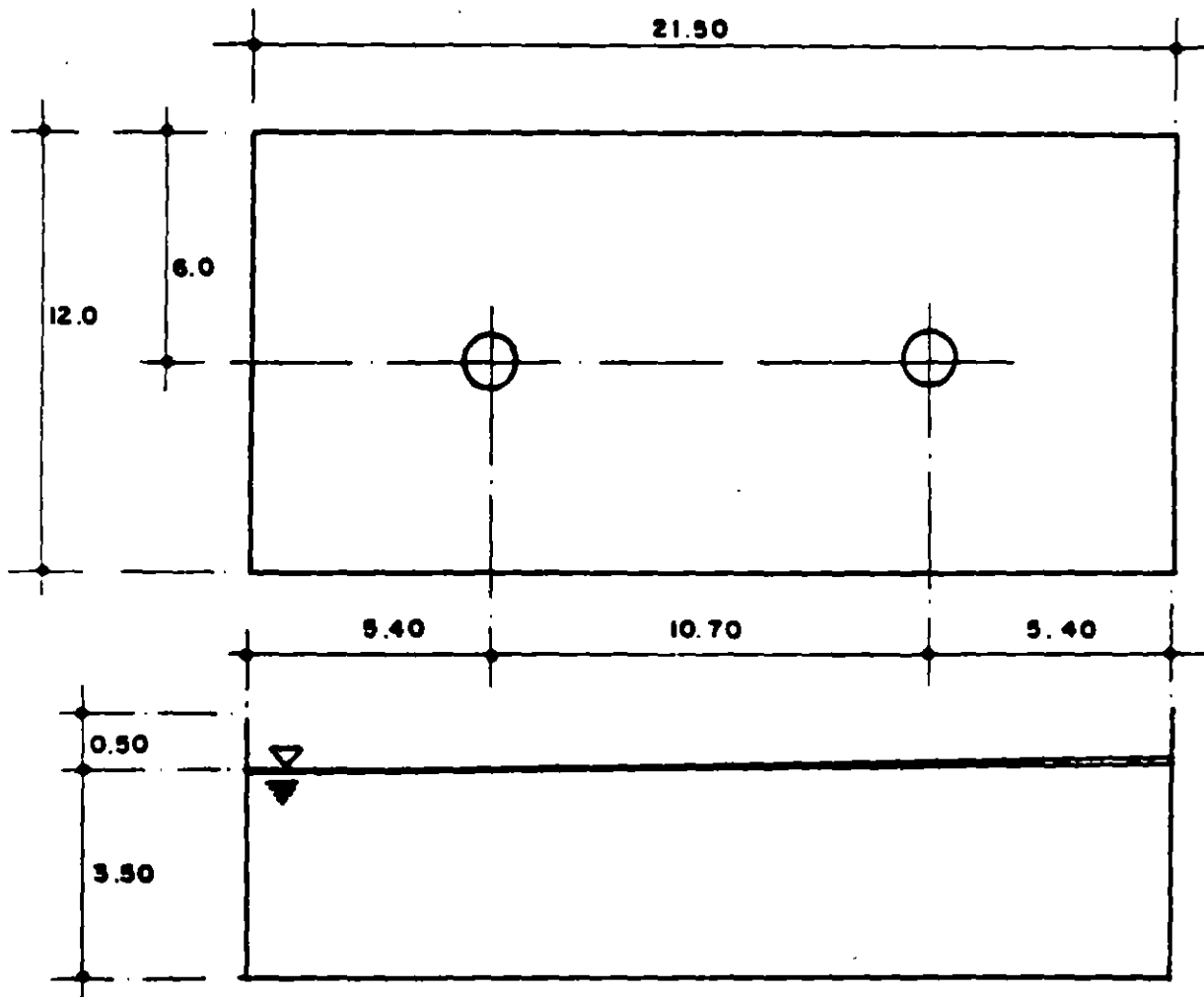


FIG-20 DIMENSIONES TANQUE AERACION.

Considerando 2 módulos:

$$Q = 100 \text{ l/s}$$

$$\text{Vol} = 903.6 \text{ m}^3$$

$$\text{Profundidad} = 3.5 \text{ m}$$

$$\text{Bordo libre} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad total} = 4.0 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 258.17 \text{ m}^2$$

Ver figura 20.

Considerando un tiempo de retención celular de 5 días = 120 hrs, la concentración de masa activa en el reactor será de:

$$Ma = \frac{K_s F}{K_e + (1/t_s)} = Ma = \frac{(4.35) (9.2)}{(0.0174) + (1/120)}$$

La concentración de masa endógena:

$$Me = 0.2 K_e Ma t_s = 0.2 (0.0174) (1554.4) (120)$$

$$Me = 649.12 \text{ mg/l}$$

La concentración de masa inerte (orgánica no biodegradable)

$$Mi = Mi_{inf} (t_s/t) = 24 (120/2.51) = 1147.41 \text{ mg/l}$$

La concentración de masa inorgánica.

$$Mii = Mi_{inf} (t_s/t) + 0.1 (Ma + Me)$$

$$Mii = 8 (120/2.51) + 0.1 (1554.4 + 649.12) = 602.8 \text{ mg/l}$$

Por lo tanto:

$$\text{SSLM} = Ma + Me + Mi + Mii$$

$$\text{SSLM} = 1154.4 + 649.12 + 1147.41 + 602.8 = 3953.7 \text{ mg/l}$$

$$\text{SSVLM} = Ma + Me + Mi = 3350.9 \text{ mg/l}$$

Requerimientos de oxígeno:

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1.5 (F_i - F)}{t} - \frac{1.42 (M_a + M_e)}{t_s}$$

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1.5 (154 - 9.2)}{t} - \frac{1.42 (1554.4 + 649.12)}{t_s}$$

$$\frac{dO}{dt} = 86.53 - 26.07 = 60.46 \text{ mg/l hr}$$

Vol/tanque = 903.6 m³

$$\frac{dO}{dt} = 60.46 \times 10^{-3} \times 903.6 \times 10^3$$

$$\frac{dO}{dt} = 54.63 \text{ kg O}_2/\text{hr}$$

Transferencia de O₂ - aproximadamente 1 - 1.4 kg O₂/HP/hr

∴ 39 HP ≈ 40 HP

Requerimientos de potencia por mezclado.

Los requerimientos de potencia para mantener mezcla completa en el reactor biológico citados en la literatura técnica varía considerablemente. Para fines de este ejemplo se considera como valor mínimo recomendable el de HP/1000 pies cúbicos O₂ - 0.0352 HP/m³. Por lo tanto.

$$\text{HP } 0.0352 \times 903.6 = 31.81 \text{ HP}$$

Los requerimientos de oxígeno, por lo tanto son:

2 aeradores de 20 HP c/u

COSTO DE OPERACION POR ENERGIA ELECTRICA.

Considerando un costo de \$ 200/Kw-hr

$$80 (.7457) \times 24 \times 200 \times 31 = 8.88 \text{ millones de pesos/mes}$$

Generación de lodos de desecho:

$$\text{Primarios} = \frac{(200) (.6) (200) (86400)}{10} = 2073.6 \text{ kg/día}$$

Considerando una concentración del 4%

$$Q = 51.84 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Secundarios} = \frac{\text{SSLM} \times \text{Vol}}{\text{ts}} = \frac{(3953.7) (903.6) (2) (10^{-6}) (10)}{5}$$

$$= 1429.02 \text{ kg/día}$$

$$\text{Secundarios} = y (Q) (F-F_i) (10^{-6}) (864000) = 1330.56 \text{ kg/día}$$

Considerando una concentración del 1.5%

$$Q = 95.27 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{total}} = 147 \text{ m}^3/\text{día}.$$



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***
Sedimentación

Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz

SEDIMENTACION

Es un proceso de separación sólido-líquido que emplea la fuerza de gravedad para remover sólidos suspendidos.

- 1) Aplicaciones: Potabilización del agua, tratamiento de aguas residuales, tratamiento avanzado de agua.
 - o Aplicaciones en potabilización del agua:
 - a) Sedimentación simple de aguas superficiales previa al tratamiento de clarificación.
 - b) Sedimentación de agua coagulada y floculada antes de la filtración rápida en lechos granulares.
 - c) Sedimentación de agua coagulada y floculada en el proceso de ablandamiento químico del agua.
 - d) Sedimentación de precipitados de hierro y manganeso.
 - o Aplicaciones en tratamiento de aguas residuales:
 - a) Remoción de arenas, arcillas y limos.
 - b) Remoción de sólidos suspendidos en clarificadores primarios.
 - c) Remoción de flóculos biológicos en plantas de tratamiento mediante lodos activados.
 - d) Remoción de humus en plantas de tratamiento mediante procesos biológicos de contacto (filtros percoladores, biodiscos).
 - o Aplicaciones en tratamiento avanzado de agua:
 - a) Remoción de flóculos coagulados químicamente antes de la filtración.

Los principios básicos del proceso de sedimentación son los mismos para cualquier tipo de aplicación.

Los tanques se construyen comúnmente de concreto reforzado.

2) Secciones: circular, cuadrada o rectangular

TIPO II. Sedimentación de partículas floculentas en una suspensión diluida.

TIPO III. Sedimentación de zona de partículas con concentración intermedia.

TIPO IV. Sedimentación por compresión.

3.1.) TIPO I.

Las partículas sedimentan como unidades separadas y aparentemente no hay interacción entre ellas.

Ejemplos: Sedimentación simple de aguas superficiales y de arenas.

Ecuaciones para el análisis:

$$\text{General: } v_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_D} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) d} \quad (1)$$

$$\text{Stokes } v_s = \frac{1}{18} \frac{g}{\mu} (\rho_s - \rho) d^2 \quad (2a)$$

$$\text{ó } v_s = \frac{1}{18} \frac{g}{\nu} (S_s - 1) d^2 \quad (2b)$$

para condiciones de flujo laminar.

$$\text{Flujo de transición: } v_s = 0.78 \left[(\rho_s - \rho) d^{1.6} \rho^{-0.4} \mu^{-0.6} \right]^{0.714} \quad (3)$$

$$\text{Newton: } v_s = 1.82 \sqrt{g (S_s - 1) d} \quad (4)$$

para condiciones de flujo turbulento.

donde

v_s velocidad de sedimentación de una partícula discreta.

C_D coeficiente de arrastre, el cual es una función del número de Reynolds. (figura 1)

ρ_s densidad de masa de la partícula

ρ densidad de masa del líquido

S_s densidad relativa partícula-líquido

μ viscosidad absoluta (dinámica)

ν viscosidad relativa (cinemática)

d diámetro de la partícula

g aceleración debida a la gravedad

Flujo laminar

$$N_R < 1, C_D = \frac{24}{N_R}, N_R = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu}$$

Dominan las fuerzas viscosas sobre las de inercia.

Flujo de transición

$$1 < N_R < 1000, C_D = \frac{18.5}{N_R^{0.6}}$$

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \text{ (Fair, Ceyer y Okun)}$$

Las fuerzas viscosas y las de inercia tienen la misma importancia.

Flujo turbulento

$$1000 < N_R < 25,000, C_D = 0.4 \text{ (partículas esféricas)}$$

Dominan las fuerzas de inercia sobre las viscosas

Se puede emplear la fig. 2 para obtener la velocidad de sedimentación en las tres regiones de flujo. a partir del

di metro, densidad y temperatura

3.1.1) Teoría del tanque ideal de Camp

Se base en las hipótesis siguientes:

- a) La sedimentación de partículas es Tipo I.
- b) El flujo se distribuye uniformemente a la entrada del sedimentador
- c) El flujo se distribuye uniformemente a la salida del sedimentador.
- d) Zonas del tanque: entrada, sedimentación, lodos y salida.
- e) Hay una distribución uniforme de partículas en toda la profundidad de la zona de entrada.
- f) Las partículas que entran a la zona de lodos ahí permanecen.

En la fig. 3 aparece el diagrama de un tanque ideal rectangular, donde:

V_0 es la velocidad de sedimentación de la partícula de tamaño más pequeño que se remueve en un ciento por ciento.

Cuando una partícula de este tamaño entra al tanque al nivel del espejo de agua (punto 1), tiene la trayectoria mostrada e intercepta la zona de lodos en el punto 2.

$$\text{El tiempo de retención, } t, \text{ es igual a } \frac{H}{V_0} \quad (5)$$

$$\text{Se puede exponer también como: } t = \frac{L}{V} \quad (6)$$

$$\text{La velocidad horizontal, } V, \text{ es igual a } \frac{Q}{HW} \quad (7)$$

$$\text{Combinando estas expresiones: } t = \frac{LW}{Q} \quad (8)$$

$$\text{Como } LW \text{ es el volumen del tanque, } t = \frac{V}{Q} \quad (9)$$

$$\text{Igualando las ecs (8) y (9) } \frac{LW}{Q} = \frac{H}{V_0}$$

quedando:

$$V_o = \frac{Q}{LW} \quad , \quad \text{o sea } V_o = \frac{Q}{As} \quad (10)$$

donde

As = área superficial del tanque

La ec. (10) muestra que la tasa hidráulica (tasa de derrame o carga superficial) es equivalente a la velocidad de sedimentación de la partícula de tamaño más pequeño que se remueve en un ciento por ciento.

o Tanque de sedimentación sección circular

En la fig. 4 aparece el diagrama del tanque ideal de sección circular, donde.

$$V = \frac{Q}{2\pi r l l} \quad (11)$$

$$\frac{dh}{dr} = \frac{V_o}{V} \quad (12)$$

quedando

$$\frac{dh}{dr} = \frac{2\pi r l l V_o}{Q} \quad (13)$$

integrando:

$$\int_0^H dh = \frac{2\pi l l V_o}{Q} \int_{r_1}^{r_0} r dr \quad (14)$$

resolviendo la integral

$$H = \frac{2\pi l l V_o}{Q} \left(\frac{r^2}{2} \right) \Big|_{r_1}^{r_0} \quad (15)$$

$$\text{o} \quad H = \frac{\pi l l V_o}{Q} (r_0^2 - r_1^2) = \frac{l l A_s V_o}{Q}$$

$$\text{quedando} \quad V_o = \frac{Q}{l l A_s} \quad (16)$$

la ec (16) es idéntica a la ec (10) del tanque rectangular

• Condiciones de sedimentación de otros tamaños de partículas.

En las figuras 5 y 6 se muestra que todas las partículas con una velocidad de sedimentación, V_1 , mayor que V_0 se removerán totalmente, dado que su trayectoria intercepta la zona de lodos. Las partículas con una velocidad de sedimentación, V_2 , menor que V_0 , se removerán en una proporción

$$\frac{V_2}{V_0} = \text{o sea, } R_2 = \frac{H_2}{H} \quad (17)$$

En las suspensiones que se estudian en el tratamiento de agua se presenta, en general, una gran variedad de tamaños de partículas, por lo que se debe evaluar el rango completo de velocidades de sedimentación y por tanto la remoción total que se puede esperar para una tasa hidráulica (tasa de derrame o carga superficial) dada.

- Análisis experimental

Columna de sedimentación
Proceso cerrado (batch)
Suspensión homogenizada.

Se toman muestras a varias profundidades y tiempos para determinar la concentración de sólidos. La interpretación de los datos da como resultado una curva como la que aparece en la fig. 7. La fracción del total de partículas que se remueven a una velocidad V_0 es:

$$\text{Fracción removida} = (1-F_0) + \frac{1}{V_0} \int_0^{F_0} V \, dF \quad (18)$$

donde

$(1-F_0)$ fracción de partículas con velocidad V mayor que V_0 .

$\frac{1}{V_0} \int_0^{F_0} V \, dF$ fracción de partículas con velocidad V menor que V_0

• Resumen

En la teoría del tanque de sedimentación ideal la remoción de sólidos suspendidos es una función de la tasa de derrame o la velocidad de sedimentación de diseño, V_0 , el tiempo de retención, t , y la profundidad, H .

3.2) Tipo II

Corresponde a la sedimentación de partículas floculentas en una suspensión diluida. Las partículas floculan durante la sedimentación, con lo que aumentan de tamaño y sedimentan a una velocidad mayor. La sedimentación primaria de aguas residuales y de agua y aguas residuales coaguladas químicamente, son ejemplos de este tipo de sedimentación.

Para evaluar las características de sedimentación de una suspensión floculenta se deben realizar ensayos en columnas mediante un proceso cerrado (batch). En la fig. 8 se muestra una columna para tal prueba. Diámetro = 15 a 20 cm. para minimizar los efectos de pared. La altura por lo menos igual a la profundidad que se proponga para el tanque de sedimentación. Los orificios o puertos para la toma de muestras se deben localizar con intervalos iguales en toda la altura de la columna.

La suspensión se debe mezclar vigorosamente y vaciar rápidamente en la columna a fin de asegurar que se tenga una distribución uniforme de las partículas en toda la altura de la columna. Para que la prueba sea representativa se debe hacer en condiciones de reposo y la temperatura no debe variar en más de 1°C en la altura de la columna a fin de evitar corrientes de convección. Las muestras se toman a intervalos periódicos y se determinan las concentraciones de sólidos suspendidos. El porcentaje de remoción se calcula para cada muestra conociendo la concentración inicial de sólidos suspendidos y la concentración de la muestra. El porcentaje de remoción se grafica contra los tiempos y profundidades a las que se tomaron las muestras. Se hacen interpolaciones entre los puntos obtenidos y se trazan curvas de igual porcentaje de remoción, R_A , R_B , etc., ver fig. 9.

Las tasas de derrame o cargas superficiales, V_0 , se determinan para los diferentes tiempos de sedimentación, t_a , t_b , etc. donde las curvas R interceptan el eje horizontal, por ejemplo, para la curva R_{40} , la tasa de derrame es:

$$V_0 = \frac{3.05\text{m}}{47\text{min}} \times 1440 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 93.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{día.}$$

Las fracciones de sólidos removidos, R_r , para los tiempos t_a , t_b , etc., se pueden entonces determinar. Por ejemplo para el tiempo $t = 17$ min., la fracción removida R_r ser :

$$R_r = R_{20} + \frac{2.05m}{3.05m} (R_{30} - R_{20}) + \frac{0.88}{3.05} (R_{40} - R_{30}) + \\ + \frac{0.61}{3.05} (R_{50} - R_{40}) + \frac{0.40}{3.05} (R_{60} - R_{50}) + \frac{0.21}{3.05} (R_{70} - R_{60})$$

$$R_r = 0.2 + 0.067 + 0.029 + 0.02 + 0.013 + 0.007$$

$$R_r = 0.336 = 33.6\%$$

Así, se puede hacer con cada uno de los tiempos. Con esta información se pueden graficar las curvas de porcentaje de remoción de sólidos vs tiempo y de porcentaje de remoción de sólidos vs tasa de derrame. Ver figs. 10 y 11.

Para aplicar las curvas en el diseño de un tanque de sedimentación, se emplean factores de escalamiento para compensar los efectos de pared de la columna de sedimentación. Para la tasa de derrame 0.65 y para el tiempo de retención 1.75.

3.3) Tipos III y IV

La sedimentación tipo III o con interferencia comprende las partículas de concentración intermedia que se encuentran muy cercanas unas de otras lo que provoca que las fuerzas interpartículas interfieren la sedimentación de partículas vecinas. Las partículas permanecen en una posición fija relativa una a otra y todas sedimentan con una velocidad constante. Como resultado, la masa de partículas sedimenta como una zona. En la parte superior de la masa que se asienta, se tiene una interfaz sólido-líquido entre las partículas y la zona clarificada (Ejemplo: Clarificador final del proceso biológico de lodos activados).

La sedimentación tipo IV, o de compresión, corresponde a partículas que están a tan alta concentración que se tocan unas a otras y la sedimentación puede ocurrir solo por compresión de la masa (Ejemplo: Profundidades más bajas de un clarificador final del proceso biológico de lodos activados)

La evaluación de la sedimentación de una suspensión de partículas floculentas que sigan un comportamiento tipo III o IV se hace mediante un cilindro graduado como se muestra en la figura 12. (a)

y (b) (sistema cerrado).

La figura 13 (a) muestra una sección transversal de un clarificador circular final del proceso de lodos activados, donde se definen las clases de sedimentación que pueden ocurrir. La zona de agua clarificada usualmente es de 1.5 a 1.8 m de profundidad, y la profundidad total para la zona con interferencia, de transición, y de compresión, usualmente es de 1.5 a 2.1 m.

3.3.1) Diseño de sedimentadores.

Las pruebas permiten obtener los parámetros básicos de diseño de sedimentadores. Para el caso de clarificadores finales se obtienen datos tanto de la clarificación del líquido como del espesamiento de lodos.

Los cilindros de prueba se equipan con un dispositivo de agitación lenta para simular la acción de arrastre de los limpiadores mecánicos de lodos. El equipo debe girar a 4 a 6 revoluciones por hora.

Considerando que con los resultados de una prueba se obtiene la curva de sedimentación de la figura 14, el área de un clarificador final se determina con el siguiente procedimiento:

- a) Se calcula la pendiente de la región de sedimentación con interferencia, V_0 . Esta es la velocidad de sedimentación requerida para clarificación.
- b) Se prolongan las tangentes desde la región de sedimentación con interferencia y desde la de compresión. Bisectar el ángulo formado y localizar el punto 1.
- c) Se traza una tangente a la curva en el punto 1
- d) Conociendo la concentración inicial de los lodos, C_0 , y la altura inicial de los lodos, H_0 , se selecciona una concentración del bajo flujo para diseño, C_u , y se determina la altura de la interfaz, H_u .

$$\text{Como } C_u H_u = C_0 H_0, \text{ entonces } H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u} \quad (19)$$

- e) Se traza una línea horizontal a partir de H_u hasta intersectar la tangente y se determina el tiempo, t_u , que es el requerido para alcanzar la concentración deseada, C_u .
- f) Determinar el área requerida para espesamiento, A_t .

$$A_c = 1.5 (Q + R) \frac{t_u}{H_o} \quad (20)$$

donde

Q gasto influente al aerador

R gasto de lodo recirculado

(Q + R) gasto total influente al clarificador

1.5 factor de escalamiento

g) Determinar el rea requerida para clarificación, A_c .

$$A_c = 2.0 \frac{Q}{V_o} \quad (21)$$

donde

Q gasto efluente del clarificador final

2.0 factor de escalamiento

El área de control para el diseño del clarificador será la mayor de las dos reas calculadas.

El diseño se hace con el gasto promedio diario, aunque se debe revisar el comportamiento del sedimentador para el gasto pico horario. De ser el caso, el rea se debe calcular con este gasto.

3.3.2 Otro enfoque para el diseño de sedimentadores

Se basa en el concepto de flujo de sólidos de Dick, y se aplica en clarificadores finales del proceso de lodos activados y en espesadores de lodos.

El flujo de sólidos es la tasa de sólidos por unidad de área vista en plano (Kg/hora-m^2)

Las partículas que se sedimentan, pasan de una concentración inicial, C_o a una concentración en el bajo flujo C_u , en el fondo del tanque. A cierto nivel del recorrido de las partículas se presenta un flujo de sólidos límite, G_l . Este flujo no debe excederse o los sólidos crecerán y se derraman por el efluente del tanque. Los datos que se requieren para diseñar bajo este concepto se determinan de pruebas de sedimentación en flujo cerrado (batch). Se hacen pruebas con numerosas

concentraciones de lodos para obtener las velocidades de sedimentación con interferencia.

Se grafican las velocidades, V_o , versus la concentración de sólidos, C , como aparece en la Fig. 15.

Para las diversas concentraciones, se calcula el flujo de sólidos multiplicando la velocidad por la concentración de sólidos. La curva resultante del flujo de sólidos versus la concentración aparece en la fig. 16.

En cualquier nivel del tanque de sedimentación, el movimiento de los sólidos por sedimentación es:

$$G_s = C_t V_t \quad (22)$$

donde

G_s flujo de sólidos por gravedad

C_t concentración de sólidos

V_t velocidad de sedimentación con interferencia

y el movimiento de los sólidos por el flujo en la parte baja del tanque (compresión) es:

$$G_b = C_t V_b \quad (23)$$

donde

G_b flujo masa

V_b velocidad de la masa

El flujo total de sólidos debida a sedimentación por gravedad y por movimiento de la masa es:

$$G_t = G_s + G_b = C_t V_t + C_t V_b \quad (24)$$

la velocidad se obtiene de:

$$V_t = \frac{Q_u}{A} \quad (25)$$

donde

Q_u Gasto del bajo flujo

A Area horizontal del tanque

El peso de sólidos que sedimentan por unidad de tiempo es:

$$M_t = Q_o C_o = Q_u C_u \quad (26)$$

donde

M_t tasa de sólidos que sedimentan

Q_o gasto influente al tanque

C_o concentración de sólidos en el influente

C_u concentración de sólidos en el bajo flujo

El área límite de la sección transversal, A, requerida está dada por:

$$A = \frac{M_t}{G_L} = \frac{Q_o C_o}{G_L} \quad (27)$$

donde

G_L flujo límite

De la ec. (25): $Q_u = \frac{M_t}{C_u}$, y con las ecuaciones (24) y (26), se obtiene:

$$V_b = \frac{M_t}{C_u A} = \frac{G_L}{C_u} \quad (28)$$

Estas relaciones se muestran en la fig. 17.

Seleccionando una concentración del bajo flujo, C_u , y trazando una tangente a la curva de flujo se obtiene en la intercepción del eje vertical el valor del flujo límite, G_L . La pendiente de la tangente es igual a la velocidad de la masa, V_b . El valor del flujo a gravedad es G_s , mientras que el valor del flujo masa es $G_L - G_s$.

4) Características físicas de los sedimentadores.

4.1) Geometría (Ver figuras anexas)

Rectangulares

Cuadrados
Circulares

Ventajas y desventajas

4.2) Entrada (Ver figuras anexas)

Función
Esquemas
Diseño

4.3) Zona de sedimentación

Factores que afectan las condiciones de "tanque ideal"
Clasificación de sedimentadores

4.3.1) Factores básicos de diseño

- a) Carga superficial
- b) Tiempo de retención
- c) Velocidad de escurrimiento
- d) Relación L:H
- e) Número de unidades

a) Carga superficial (m^3/m^2-d)	(Valores medios)
- Remoción de arenas	600-1200
- Sedimentación simple (agua suministro)	5-20
- Sedimentación primaria	
Seguida de tratamiento secundario	32-48
con purga de lodo activado	24-32
- Sedimentación secundaria	
De lodo activado convencional	16-32
De aeración extendida	8-16
De filtros percoladores	16-24
- Clarificación	
Aguas turbias	30-60
Aguas con color	15-45
Aguas con tratamiento biológico	
Coaguladas con sulfato de aluminio	20-24
Coaguladas con sales de hierro	28-32
Coaguladas con cal	56-64
- Ablandamiento químico	30-80
- Contacto de sólidos	
Aguas turbias	70-120
Aguas con calor	60-100
Ablandamiento	80-160
- Sedimentación alta tasa (flujo laminar)	60-250

b) Tiempo de retención medio (horas)

- | | |
|--|---------------|
| - Desarenación | menor de 0.25 |
| - Sedimentación simple | 1-4 |
| - Sedimentación primaria | 0.75-2 |
| - Sedimentación secundaria | 1.0-2.5 |
| - Sedimentación de aguas tratadas con coagulantes provenientes de un proceso biológico | 2.0-2.5 |
| - Sedimentación de partículas coaguladas o precipitados (aguas de primer uso): | |
| Diseño convencional | 1.5-3.0 |
| Contacto de sólidos | 0.75-1.5 |
| Flujo laminar | menor de 0.25 |
- Relación entre tiempo de retención, profundidad y carga superficial

$$C_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{V}{t_r \times L \times a} = \frac{L \times a \times H}{L \times a \times t_r}$$

$$C_s = \frac{H}{t_r} \quad (29)$$

- c) La velocidad de escurrimiento en la zona de sedimentación ayuda a la floculación de las partículas provocando choques entre ellas y por ende mejora la sedimentación, pero por otra parte, puede provocar arrastre y resuspensión de las partículas sedimentadas. Se debe lograr la primera acción y evitar la segunda.

En general:

$$V_h: 30 \text{ a } 90 \text{ cm/min}$$

- d) Relación entre la velocidad de escurrimiento, la velocidad crítica de sedimentación, la longitud del tanque y el tirante de agua.

$$Q = V_{sc} A_s \quad , \quad Q = V_h A_t \quad (30)$$

$$A_s = aL \quad , \quad A_t = aH$$

$$\frac{V_h}{V_{sc}} = \frac{A_s}{A_t} = \frac{aL}{aH} = \frac{L}{H}$$

A igualdad de carga superficial (velocidad crítica), la relación L/H determinar la velocidad horizontal.

- c) El número de unidades se determina por el gasto de diseño, el grado de flexibilidad deseado en la operación y la economía del proyecto. En plantas grandes el número de unidades lo determina el tamaño máximo práctico de los tanques. El número mínimo recomendable para plantas pequeñas es dos.

4.4) Salida (Ver figuras anexas)

- Función
- Esquemas
- Diseño

4.5) Zona de lodos

- Función
- Producción de lodos
- Mecanismos de arrastre y concentración (Ver figuras)
- Pendientes del fondo de tanques
- Velocidad crítica de arrastre de lodo

5) Unidades de contacto de sólidos (Ver figuras)

- Características
- Funciones
- Aplicaciones
- Sistemas de control del proceso

6) Unidades de flujo laminar (Ver figuras)

- Características
- Ventajas
- Aplicaciones
- Bases teóricas (Ver figuras)

Variablos:

V_{sc} , V_o , θ , L , S_c

donde

V_{sc} Velocidad de sedimentación crítica

V_o Velocidad promedio del flujo a través de un sedimentador ($\frac{l}{t}$)

θ Angulo de inclinación del sedimentador

L Longitud relativa del sedimentador

$$L = \frac{l}{e}$$

donde

l longitud del sedimentador

e Profundidad de un sedimentador

S_c Valor crítico del parámetro S que caracteriza la geometría del módulo de sedimentación.

Valores:

Tubos circulares 4/3

Conductos cuadrados 11/8

Placas paralelas 1

- Ecuación general de Yao

$$S_c = \frac{V_{sc}}{V_o} (\text{sen } \theta + L \text{ cose}) \quad (31)$$

Valores prácticos:

$L = \text{De } 20 \text{ a } 40$

$\theta = 5^\circ \text{ a } 60^\circ$

$Nr < 500$ (para lograr un flujo laminar)

Se presenta una región de transición donde no se establece flujo laminar, con una longitud relativa L' :

La longitud relativa total es: $L_T = L + L'$, donde $L' = 0.058 \frac{V_o e}{\nu}$

7) Estudios con trazadores

Los tanques de sedimentación los afectan los espacios muertos y las corrientes turbulentas, por viento y térmicas. En el tanque ideal todos los elementos del fluido pasan a través del tanque en un tiempo igual al tiempo de retención teórico, t , que es igual a V/Q . En los tanques reales una parte de los elementos del fluido pasan en un tiempo más corto que el teórico, y otra en un tiempo mayor. Los espacios muertos y las corrientes turbulentas tienen flujo rotacional presentándose muy poca sedimentación ya que la entrada y salida del flujo de estos espacios es muy pequeña. Como resultado, el volumen neto disponible para sedimentación se reduce y por tanto el tiempo medio para el paso de los elementos del fluido decrece. También las corrientes de viento y térmicas crean flujos que pasan directamente desde la entrada a la salida del tanque, lo que decrece el tiempo medio de residencia.

La magnitud de los efectos por espacios muertos, corrientes térmicas y de viento, y las características de los tanques de sedimentación, se pueden medir mediante estudios con trazadores.

Se adiciona una carga de trazador (sal, rodamina B, tritio) en el influente y se determina su concentración en el efluente, como se muestra en la fig. 18. Si hay espacios muertos, se presenta lo siguiente:

$$\frac{\text{Tiempo de retención medio}}{\text{Tiempo de retención teórico}} < 1 \quad (32)$$

Si no hay espacios muertos, la relación es:

$$\frac{\text{Tiempo de retención medio}}{\text{Tiempo de retención teórico}} = 1 \quad (33)$$

Si se presentan cortos circuitos, la relación es:

$$\frac{\text{Tiempo de retención (valor de la mediana)}}{\text{Tiempo de retención medio}} < 1 \quad (34)$$

Si no hay cortos circuitos:

$$\text{Tiempo de retención medio} = \text{Tiempo de retención (valor de la mediana)} \quad (35)$$

Si el tanque es inestable, la gráfica tiempo concentración no se puede reproducir en una serie de pruebas con trazadores. Por lo tanto, es de esperarse que el comportamiento del tanque sea errático.

La figura 19 muestra los resultados de estudios con trazadores en

tres tipos de tanques de sedimentación. Se puede observar que el tanque rectangular se aproxima al ideal más que el de sección circular. De los tanques circulares, el de alimentación periférica tiene un mejor funcionamiento que el alimentado por el centro.

En la ingeniería del agua y las aguas residuales la mayoría de las suspensiones son floculentas hasta cierto grado. Estas partículas del mismo tamaño inicial y densidad que las discretas interceptan la zona de lodos en un tiempo más corto debido a la aglomeración que sufren y a la sedimentación más rápida. Por lo tanto, si se aplica la teoría del tanque ideal a las partículas ligeramente floculentas, el diseño será conservativo. Aunque hay diferencias entre el tanque ideal y los reales, la teoría planteada proporciona el enfoque más racional para el diseño y resalta que los parámetros más importantes son: la tasa de derrame, carga superficial o velocidad de sedimentación, el tiempo de retención y la profundidad.

BIBLIOGRAFIA

1. Weber, W.J., Jr., Physicochemical Processes for Water Quality Control, Ed. Wiley, 1972.
2. Eckenfelder, W.W. Jr., y Ford, D.L. Water Pollution Control, The Pemberton Press, Jenkins Publishing Co., 1970.
3. Reynolds, T.D. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Ed. Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, Calif. 1982.
4. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Ed. McGraw-Hill, N.Y., 1972.

FIG. 3 Ideal Rectangular Settling Basin

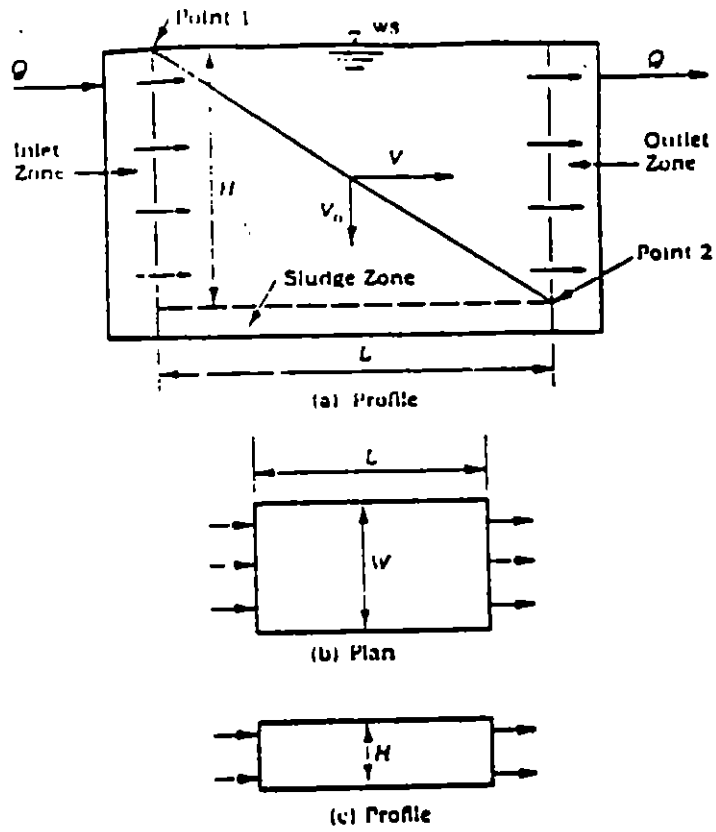


FIG. 4 Ideal Circular Settling Basin

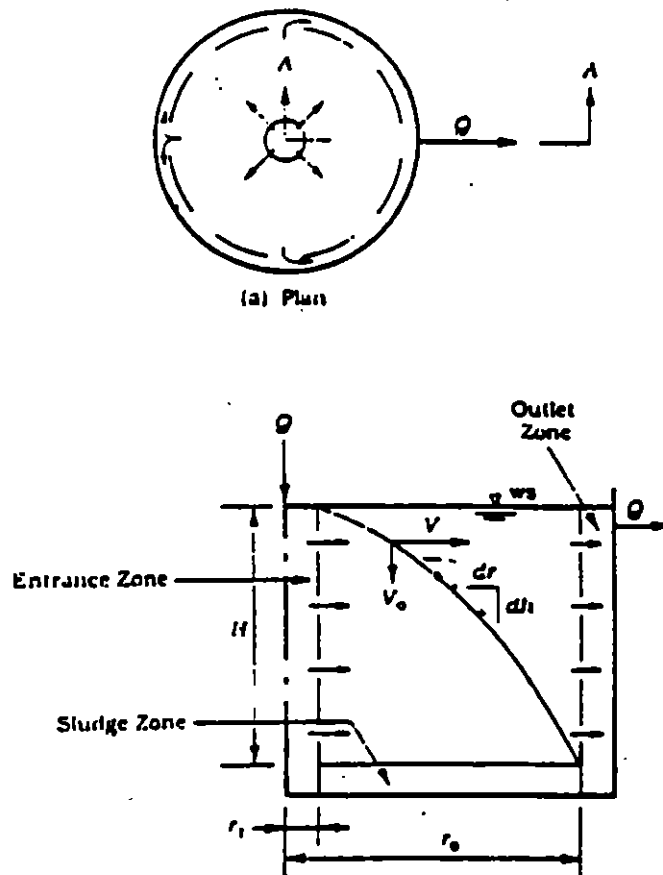


FIG 5 Profile through an Ideal Rectangular Basin

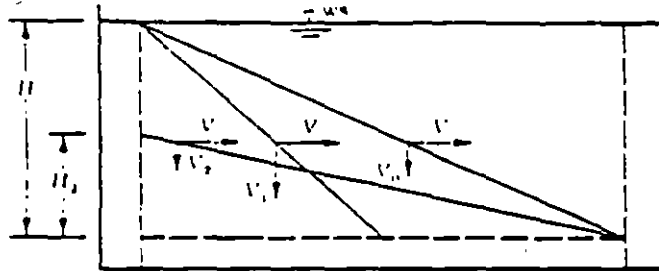


FIG 6 Half Section through an Ideal Circular Basin

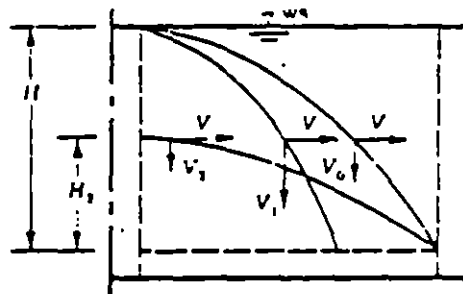


Fig 7 Type I Settling Curve

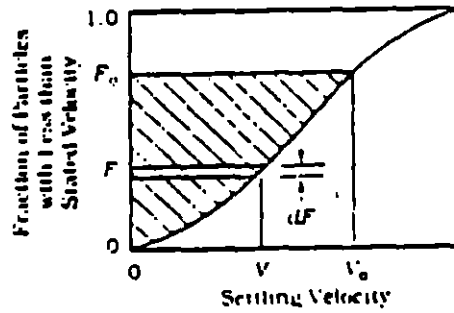


FIG. 12 Settling of a Concentrated Suspension

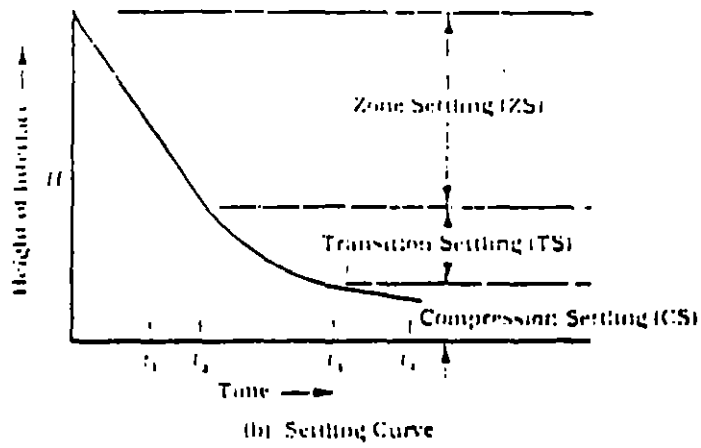
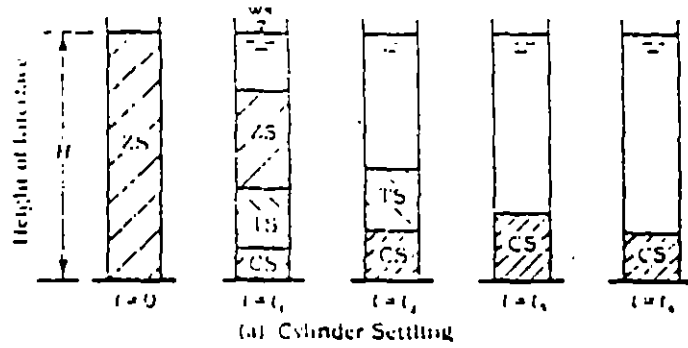


FIG. 13 Settling in a Final Clarifier for the Activated Sludge Process

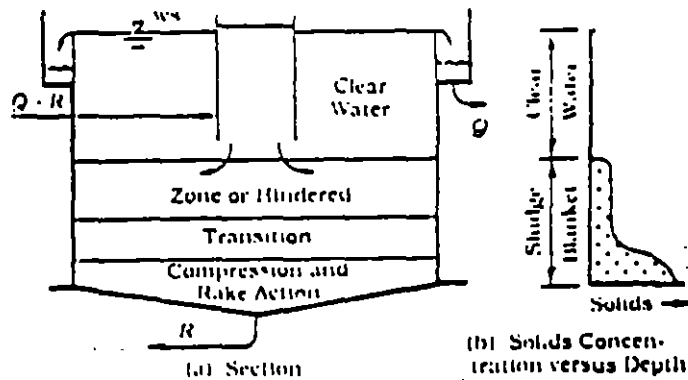


FIG. 14 Analysis of a Batch Settling Curve.
Concentrated Suspension

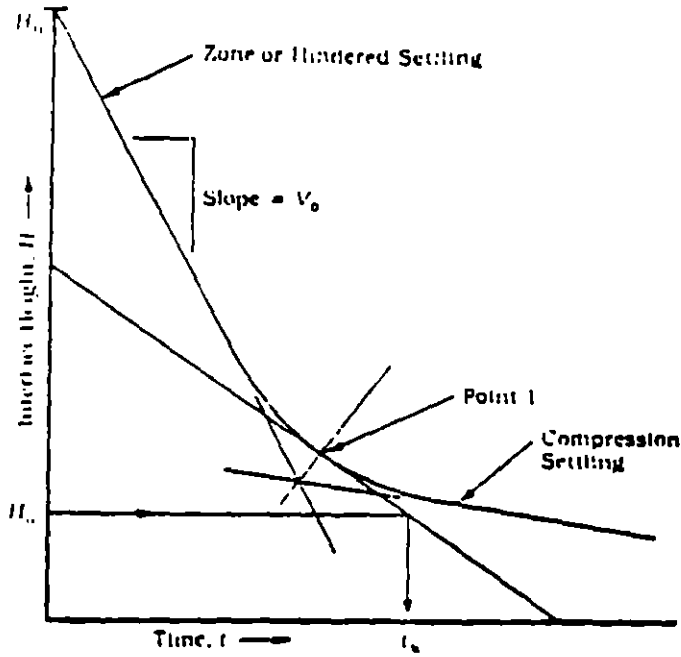


FIG. 15 Zone of Hindered Settling
Velocity versus Solids Concentration

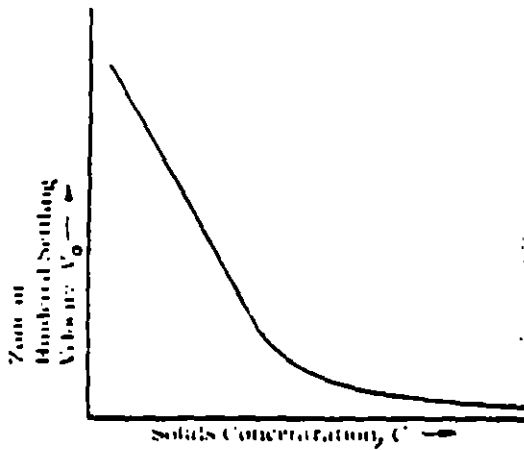


FIG. 16 Solids Flux versus Solids
Concentration

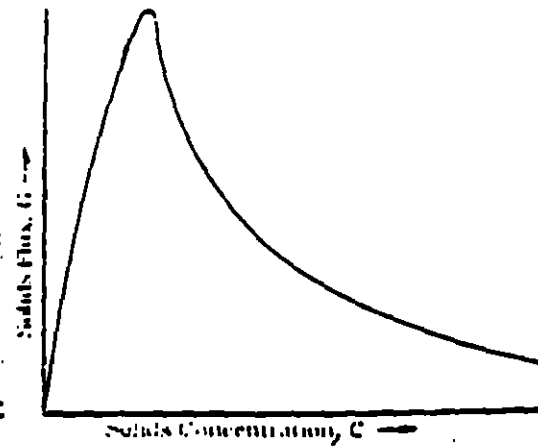


FIG 17 Solids Flux versus Solids Concentration

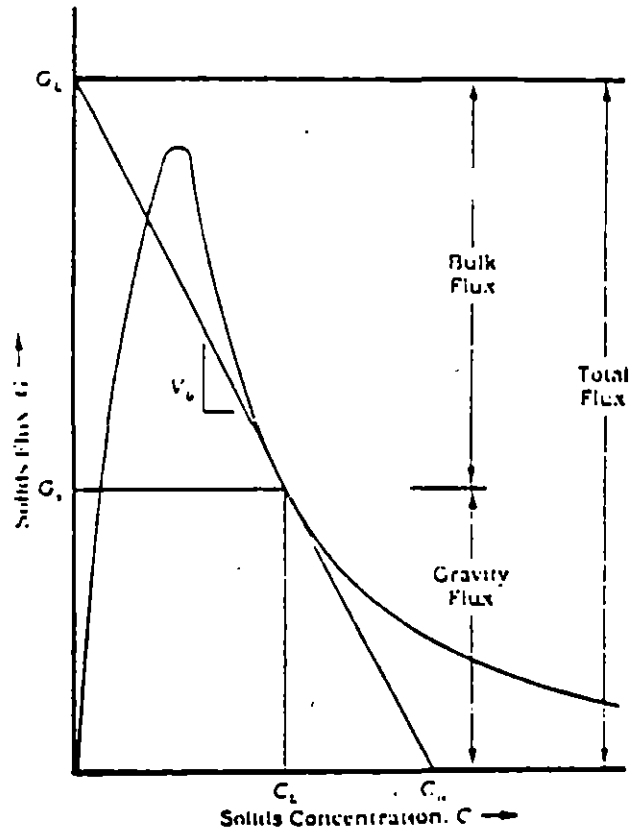


Fig 18 Settling Basin Characteristics as Shown by Tracer Studies

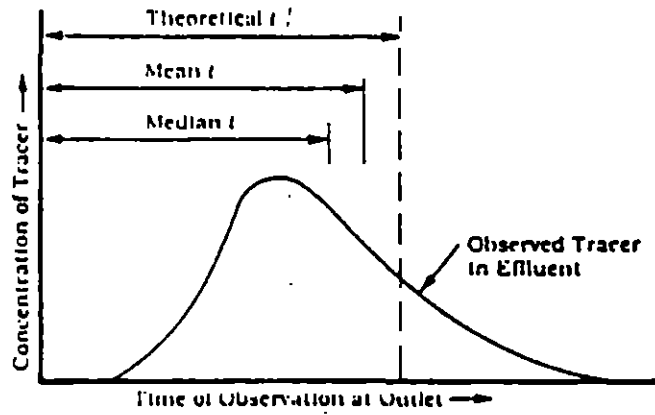


Fig 19 Tracer Studies on Circular and Rectangular Settling Tanks

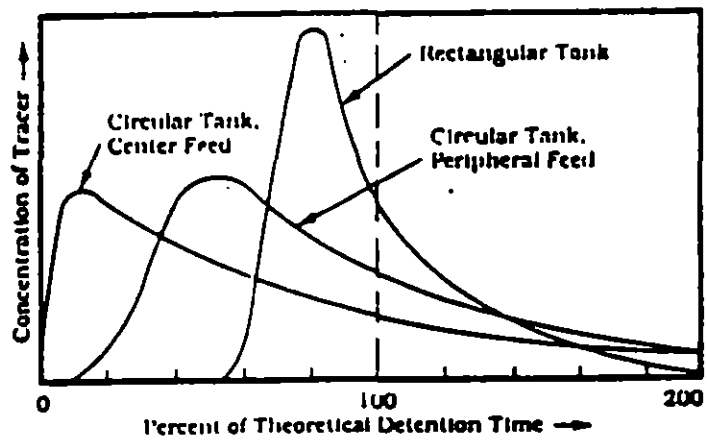
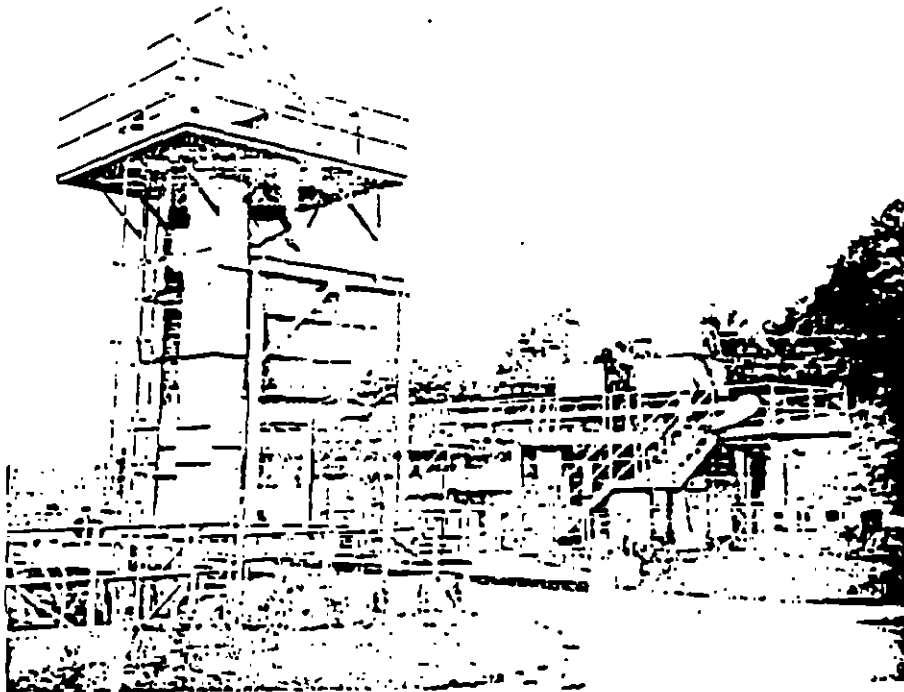




Figure Grit Collector and Removal System (Courtesy Envirex, Inc., a Rexnord Company) (a) Screw collector and elevator. (b) Chain and bucket grit collector at Atlanta, Georgia South River Plant.

(b)



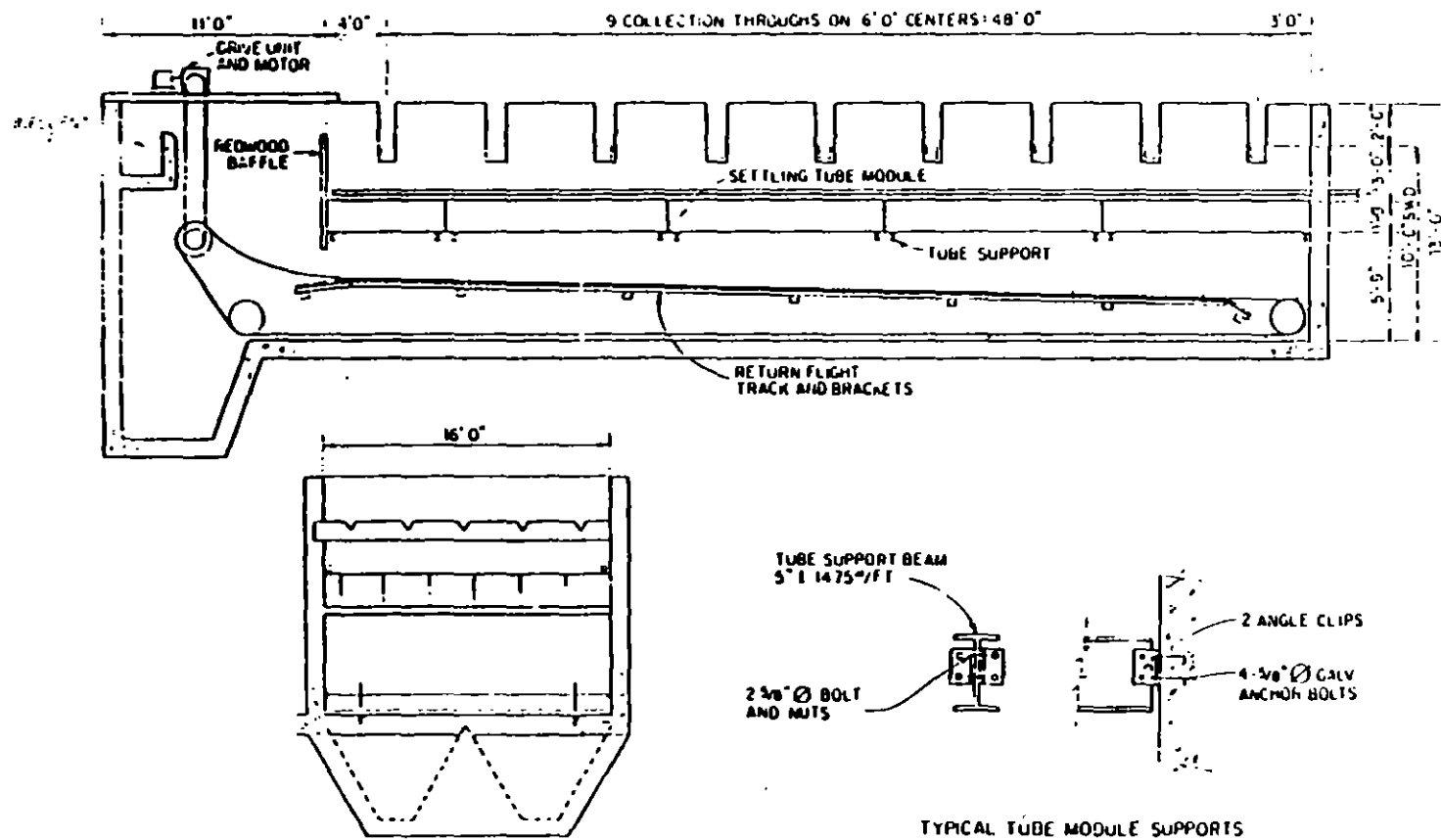
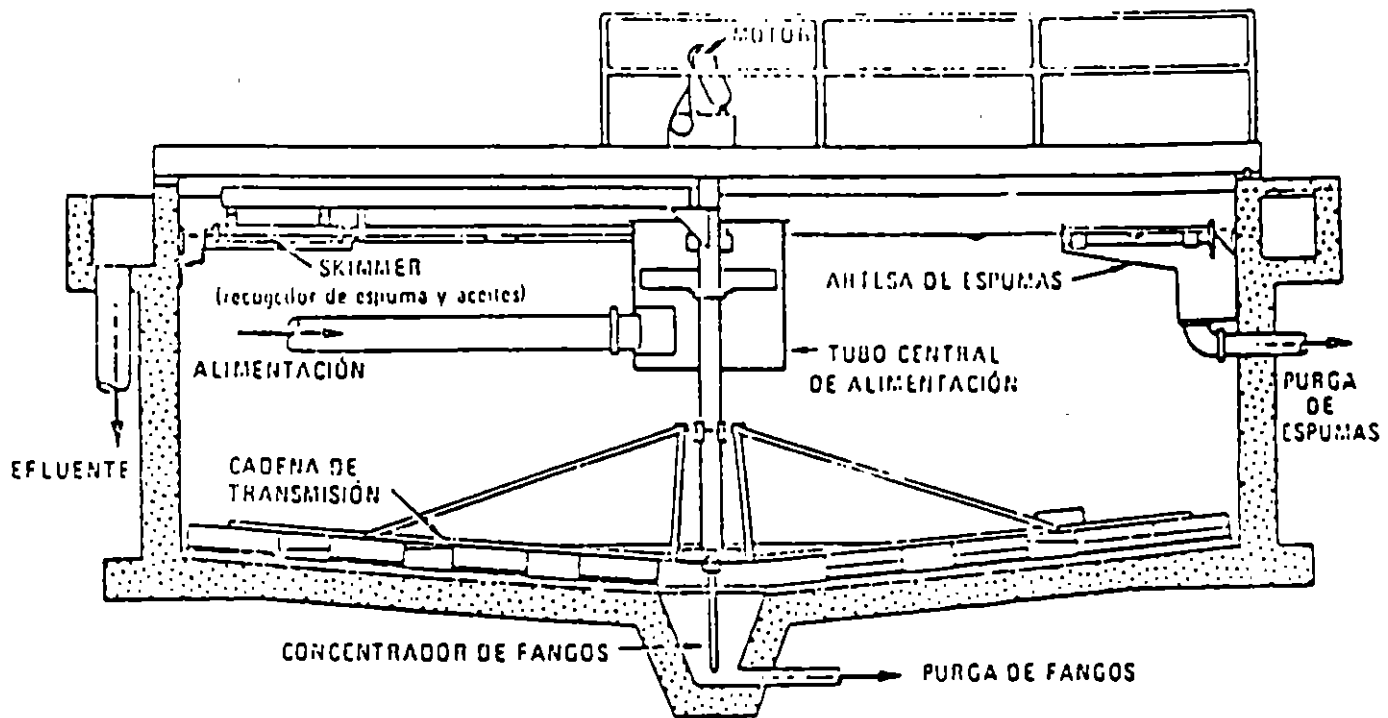
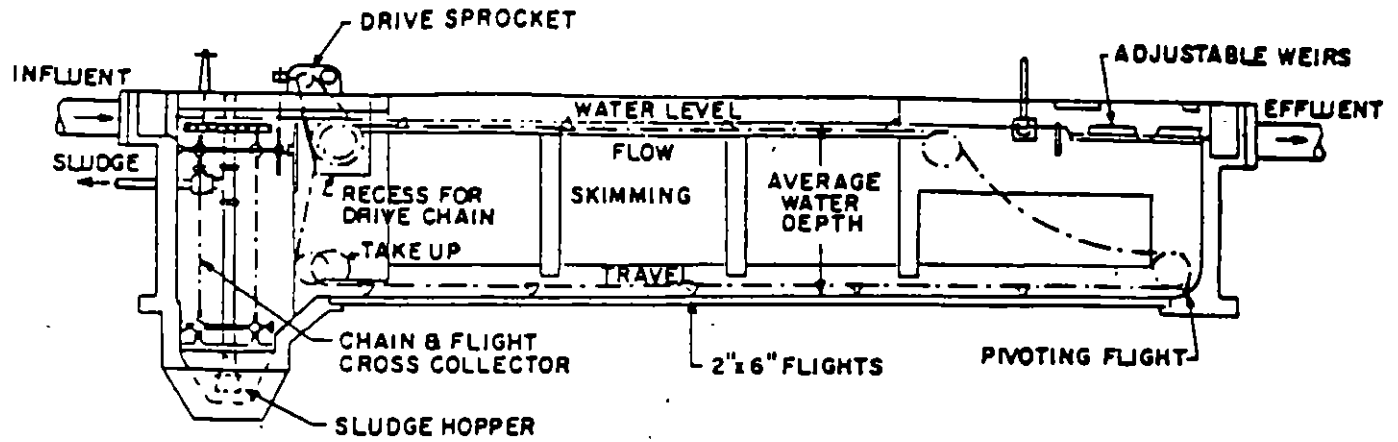


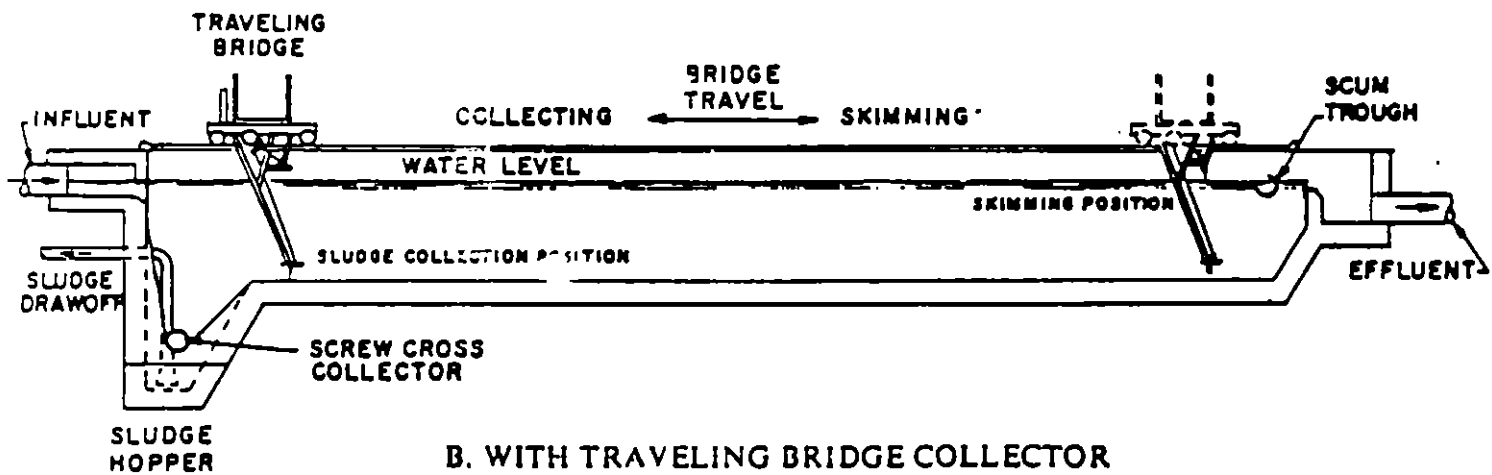
Figure Cross section of typical tube clarifier for clarification of chemically coagulated secondary effluent. (Courtesy Neptune Microbioc, Inc)



Diseño de un clarificador circular. (Cortesía de Walker Process equipment.)

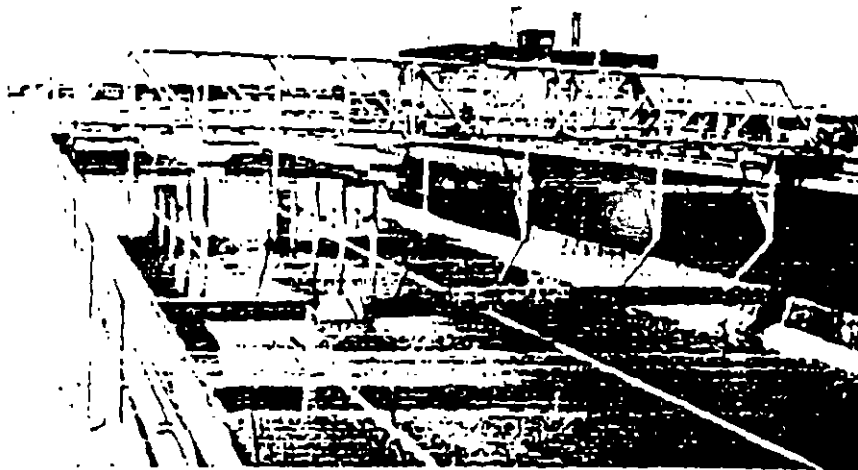


A. WITH CHAIN AND FLIGHT COLLECTOR

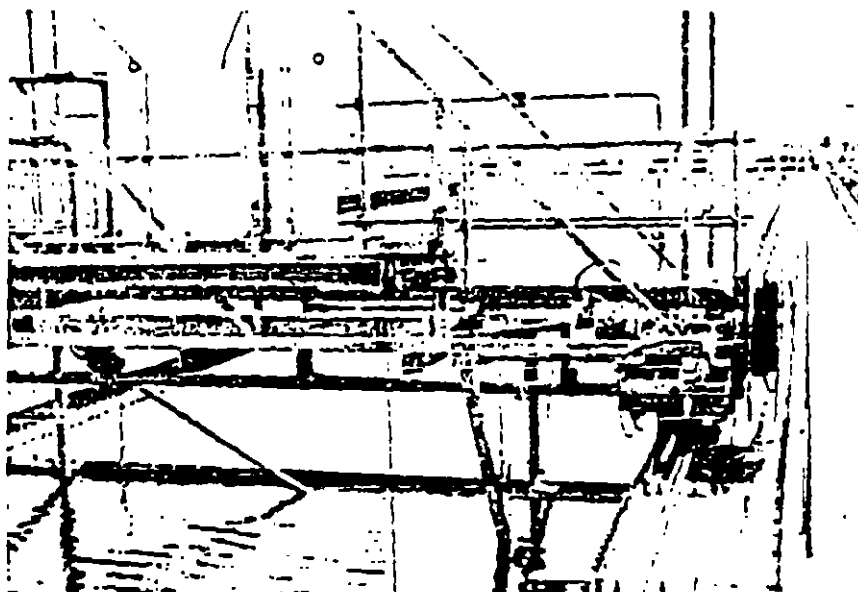


B. WITH TRAVELING BRIDGE COLLECTOR

FIGURE
RECTANGULAR SEDIMENTATION TANKS
(Courtesy of FMC Corp.)

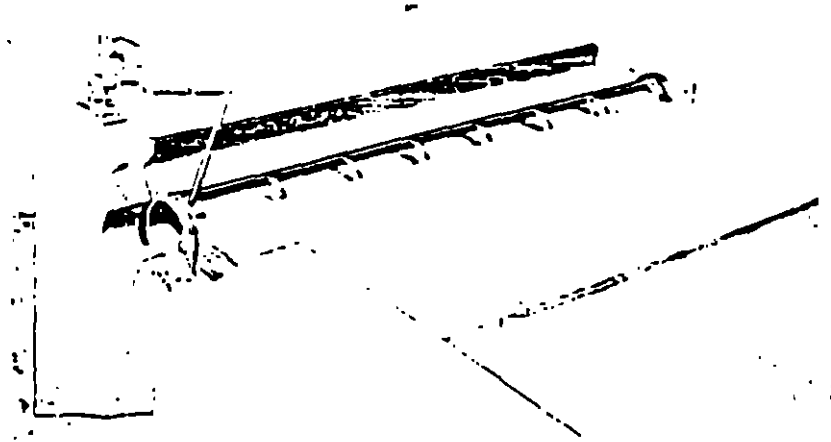


(a)



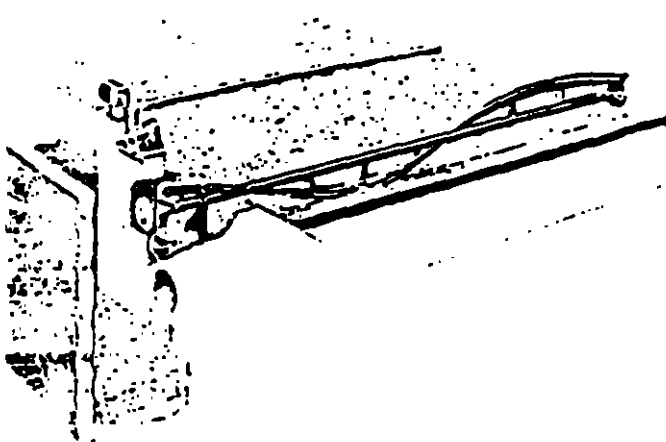
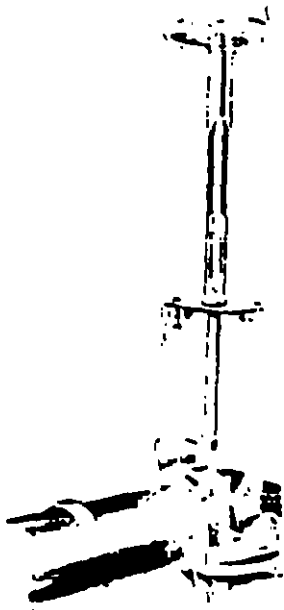
(b)

Figure Moving Bridge Sludge Collector. (a) Traveling truss bridge with mechanical scraper hung from the top. The effluent weir is the type shown in Figure (b) Traveling truss bridge showing wheels that run on rails.



(a)

Figure Scum Collection and Removal Arrangements. (a) Hand and motor operated system to tilt the open-top pipe to remove and discharge scum into dewatering trap (b) Motor operated spiral skimmer that turns the blades to push and drop the scum into a scum trough. (Courtesy Envirex Inc., a Rexnord Company.)



(b)

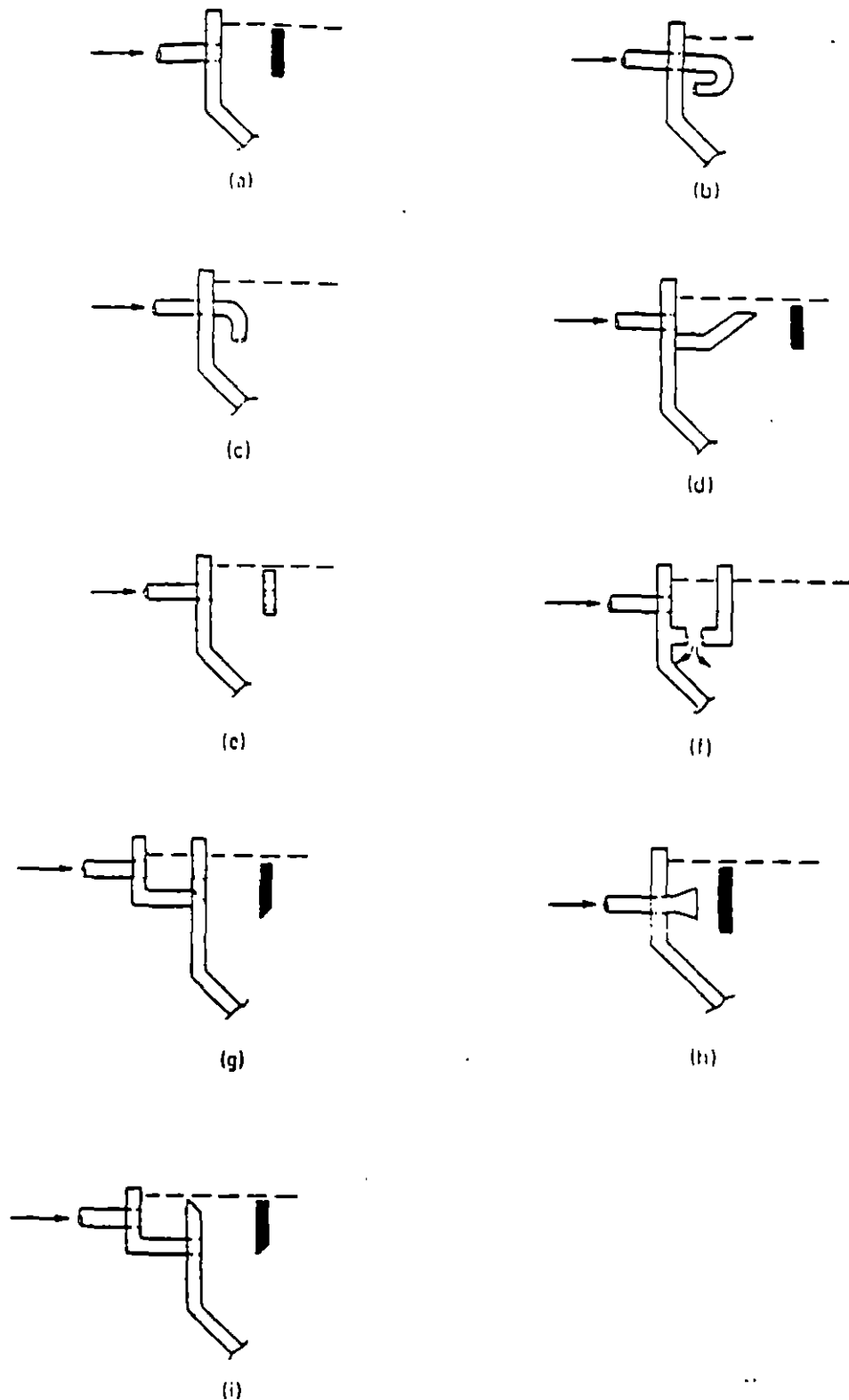
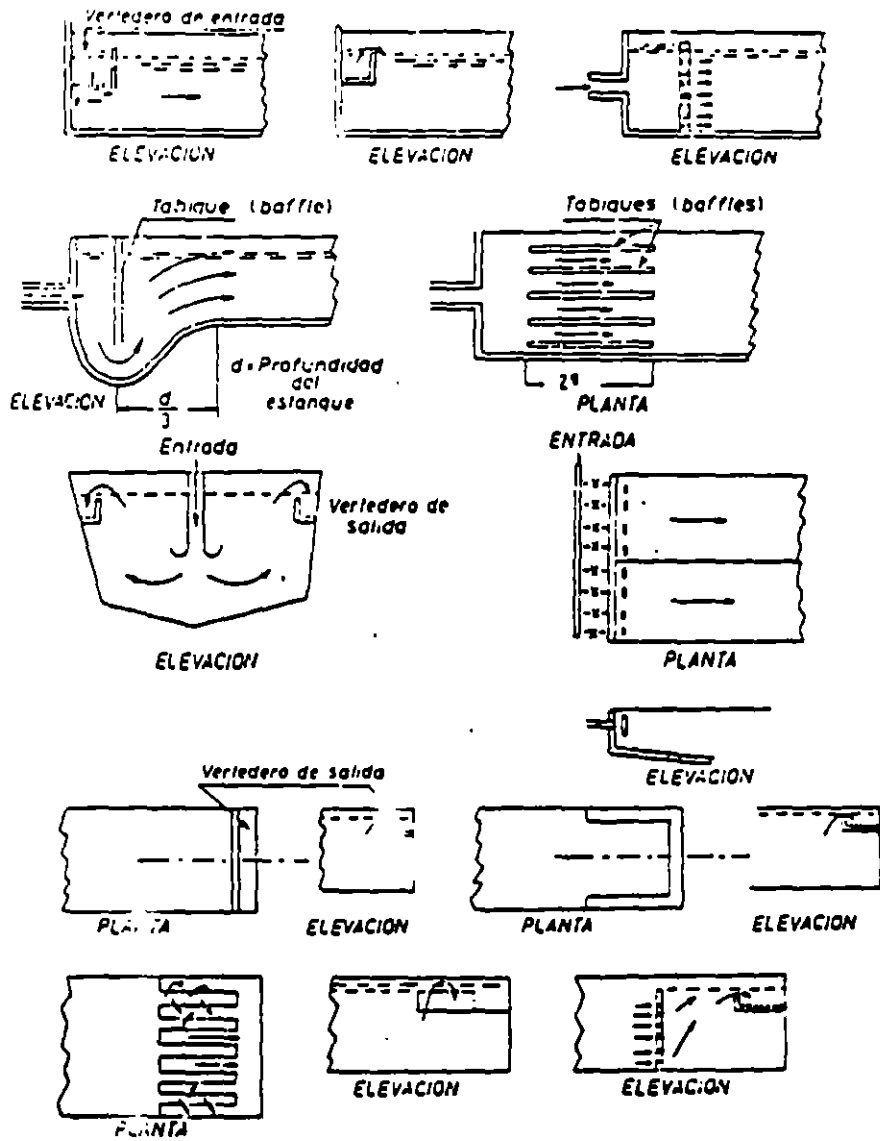


Figure *Details of Influent Structures for Rectangular Sedimentation Basin. (a) Inlet pipes discharging against a baffle. (b) U-shape elbow discharging against the wall. (c) A series of inlet pipes spaced across the width with turned elbow. (d) An inclined weir with baffle. (e) Perforated baffle. (f) A stilling basin with opening at the bottom. (g) Pipe discharging in a channel which has series of openings discharging against a baffle. (h) A bell shaped diverging pipe followed by a baffle. (i) An overflow weir followed by a baffle.*



Sistema de entrada y salida en estanques de sedimentación.

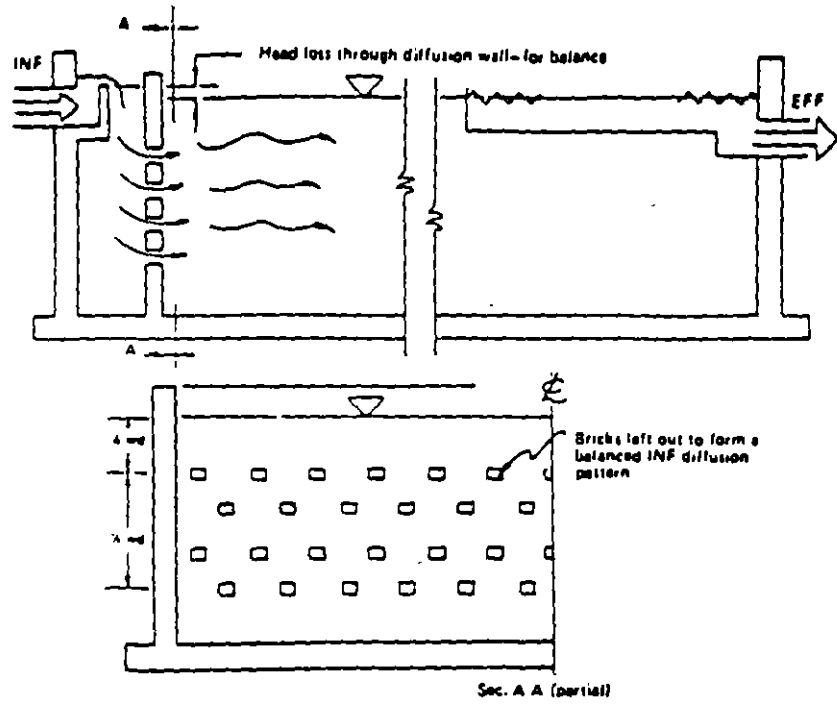


Figure Checkerwork influent diffusion wall.

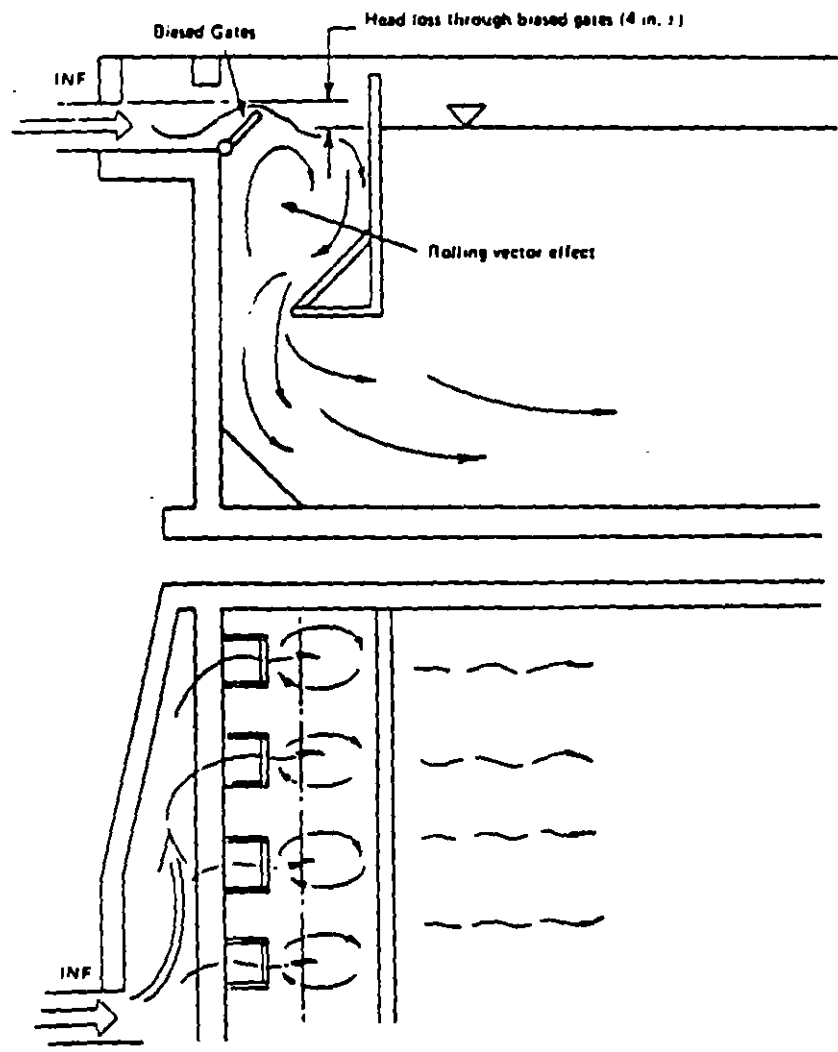


Figure Lateral inlet distribution with adjustable biased gates.

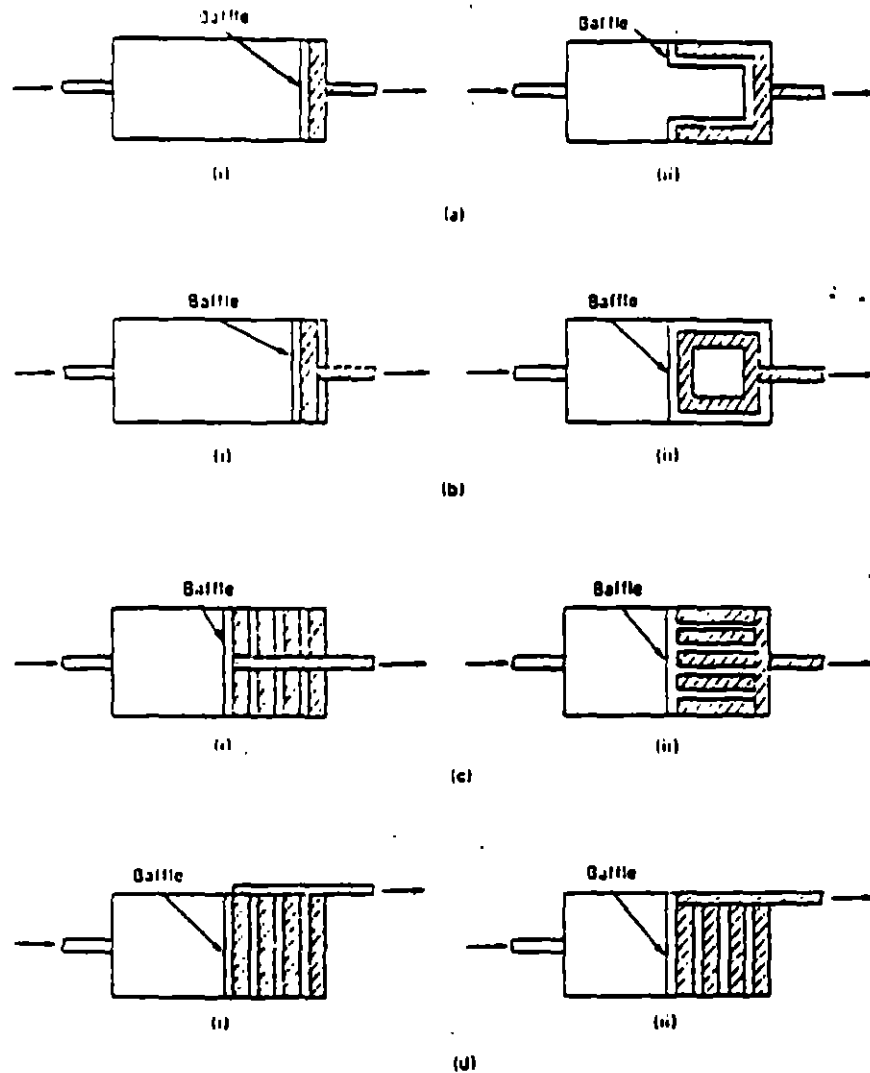
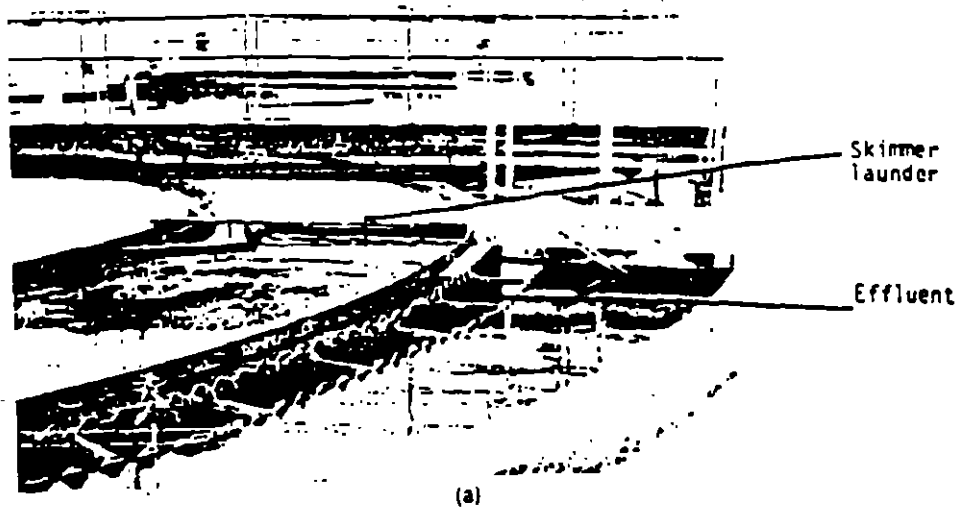
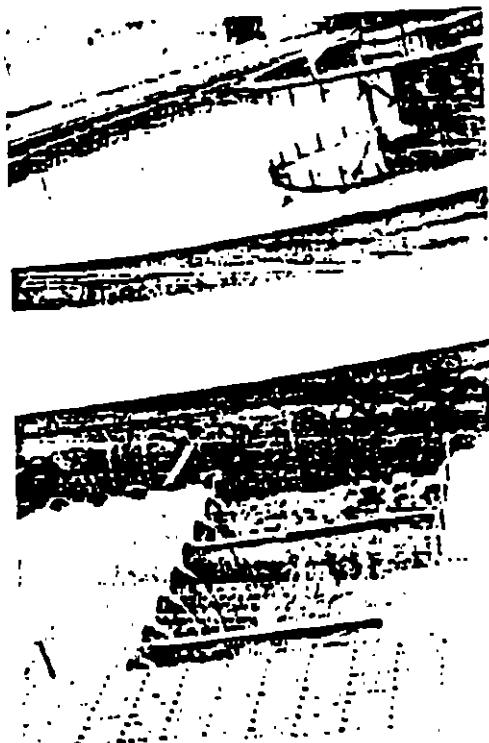


Figure Various Configurations of Effluent Structure Used for Rectangular Clarifiers.
 (a) Single weir and trough (b) Double weirs and trough (c) Multiple weirs and troughs with outlet channel at the middle, and at the end (d) Multiple weirs and troughs with outlet channel at the side.



(a)



(b)



(c)

Figure Effluent Weir, Notches, Launder, and Outlet Channel in Rectangular and Circular Clarifiers. (a) V notches and suspended effluent launder in circular clarifier. (b) Effluent launders discharging into an outlet channel. (c) Effluent notches, launders, and outlet channel in a rectangular clarifier.

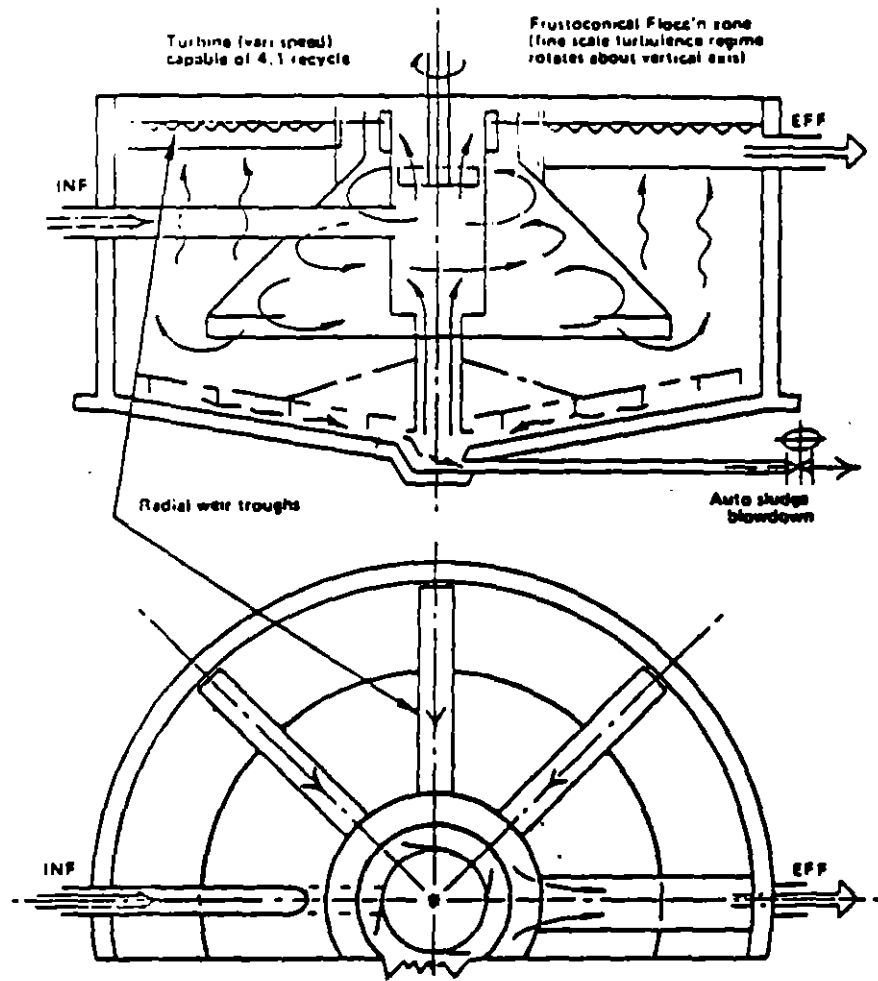


Figure Solids-contact basin (upflow basin).

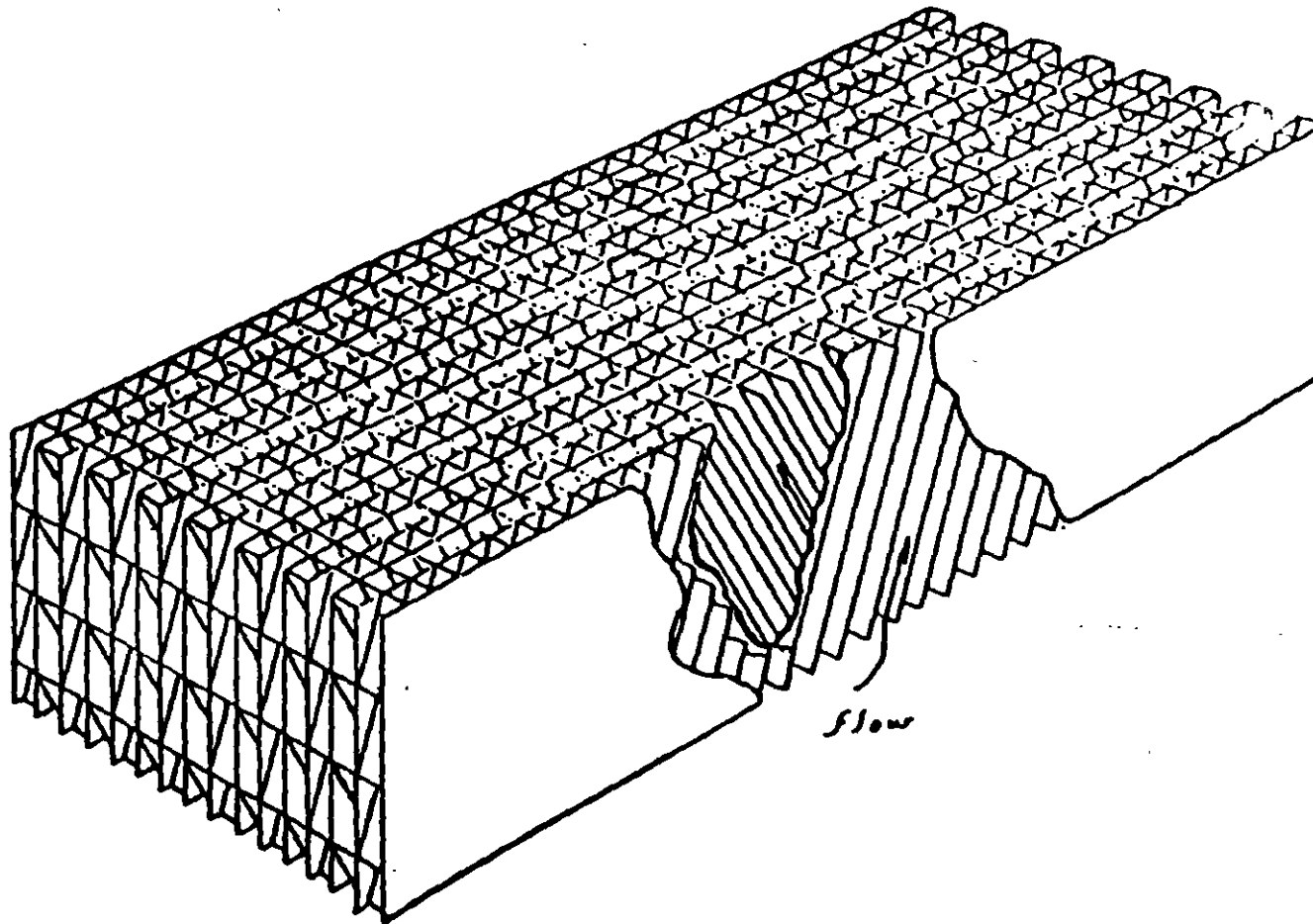
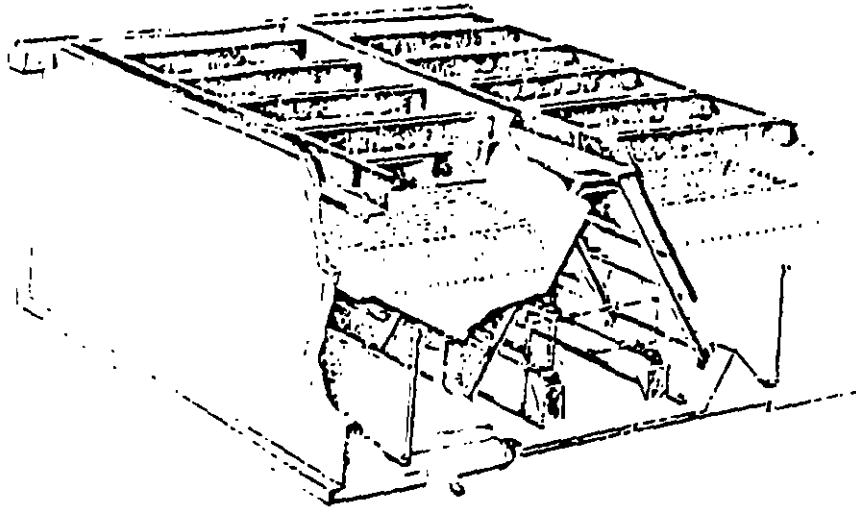
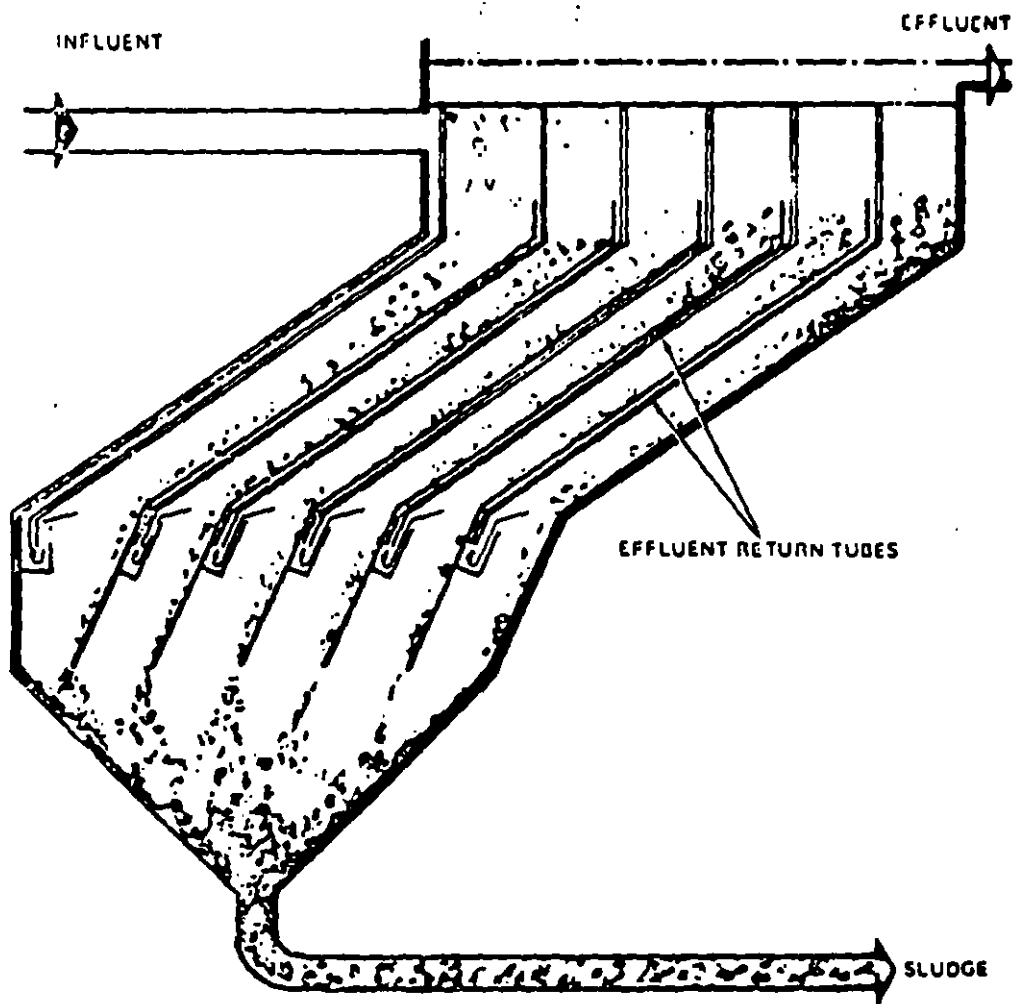


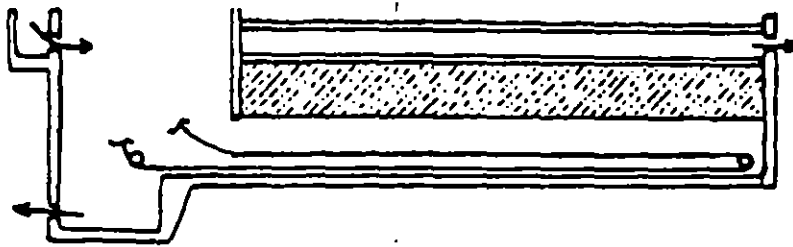
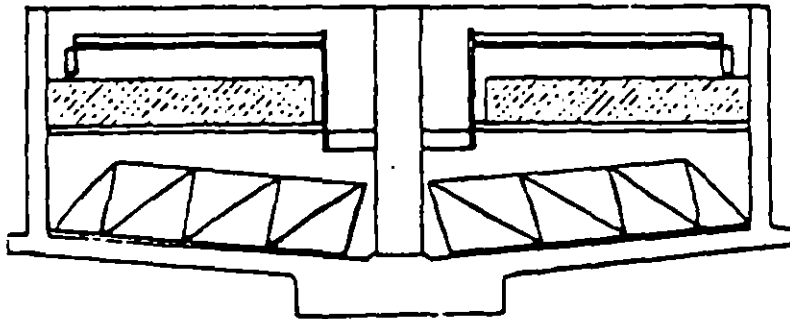
FIGURE
MODULE OF STEEPLY INCLINED TUBES
(Courtesy Neptune Microfloc, Inc.)



Modules of chevron-shaped tubes installed. (Courtesy Permutit)



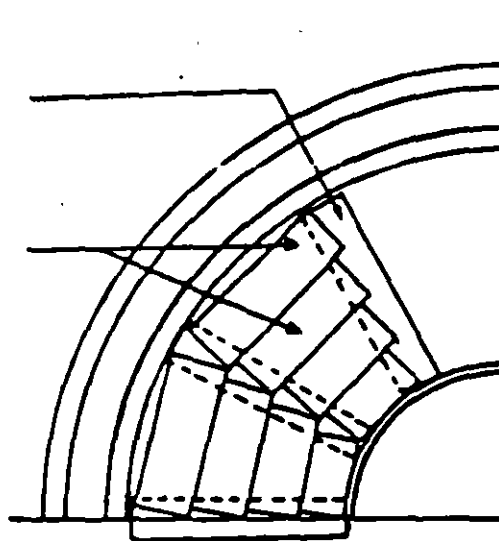
Lamella separator. (Courtesy Parkson Corp.)



TUBE SETTLERS IN EXISTING CLARIFIER

SUPPORT MODULE

**TUBE SETTLER
MODULES**



PLAN VIEW OF MODIFIED CLARIFIER



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
Manejo de Lodos y Sistemas de Lodos Activos**

**Autor: M. en I. José Luis
Torrescano España**

**Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz**

MANEJO DE LODOS

GENERALIDADES

El lodo residual es un subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Este generalmente contiene de un 93 a un 99.5% de agua, así como sólidos y sustancias disueltas que están presentes en el agua residual y que fueron adicionados o generados por un proceso de tratamiento. Generalmente estos sólidos residuales deben tratarse para su uso o disposición.

Las características del lodo dependen tanto de la composición inicial del agua residual, como de los sistemas usados para el tratamiento del agua residual y el lodo. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo producido pueden variar anualmente, estacionalmente o diariamente debido a las variaciones tanto de la composición del agua residual como de los procesos de tratamiento. Esta variación es particularmente grande en sistemas de tratamiento de aguas residuales que reciben una gran cantidad de descargas industriales.

Las características del lodo afectan la viabilidad para las opciones de su uso y disposición. Así, cuando se evalúan las alternativas de uso o disposición, se debe determinar primeramente la cantidad y características del lodo y el rango de variaciones en sus características.

Dependiendo del lugar donde se generan los lodos dentro de la planta de tratamiento se pueden clasificar en: primarios, secundarios y terciarios, como muestra la Fig. 1, en donde se esquematiza la generación de los lodos residuales de acuerdo a la clasificación anterior, los tratamientos más utilizados y los sistemas para su uso y disposición.

Lodos primarios. Son lodos generados durante el tratamiento primario del agua residual, que remueve sólidos que se sedimentan fácilmente.

El lodo primario contiene de 3 a un 7% de sólidos; generalmente este contenido de agua puede ser reducido por deshidratado o desaguado. Este tratamiento es esencialmente de tipo físico.

Lodo secundario. También llamado "lodo biológicamente procesado" es generado por un tratamiento biológico. En este tratamiento los microorganismos degradan el contenido de materia orgánica que se encuentra suspendida o disuelta en el agua. Al final del proceso se obtienen como productos finales bióxido de carbono y agua. Este proceso incluye los sistemas de lodos activados y sistemas de película fija como los filtros percoladores y biodiscos.

El lodo secundario, debido a su bajo contenido de sólidos (0.5 a 2%) es más difícil de deshidratar que el primario.

Lodo terciario. Es producido por sistemas avanzados de tratamiento, tales como precipitación química o filtración. Las características del lodo terciario dependen de los procesos de tratamiento anteriores. Los lodos químicos resultan de procesos de tratamiento con químicos, tales como cal, polímeros orgánicos y sales de hierro y aluminio. Generalmente la cal y los polímeros ayudan al deshidratado y desaguado, mientras que las sales de hierro y aluminio reducen la capacidad de deshidratado y desaguado por la producción de lodos hidratados con agua ligada.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Los lodos de origen primario o secundario se presentan en la forma de un líquido que contiene partículas no homogéneas en suspensión. Su volumen representa del 0.05 al 0.5 del volumen de agua tratada para los lodos frescos, mientras que es ligeramente inferior para los lodos activados y otros procedimientos biológicos. La floculación del agua aumenta el volumen de los lodos, y sobre todo su peso, en aproximadamente un 10%.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición.

Es necesario conocer, para su tratamiento posterior, varios parámetros que definirán su capacidad de deshidratación y filtración, como son:

- a) Contenido de materia seca
Se trata de medir el peso del residuo seco después de su calentamiento a 105.C, hasta peso constante.
- b) Contenido de materia volátil
Se mide este valor por la diferencia entre el peso del lodo seco (a 105.C) y el del mismo lodo después de que se caliente hasta peso constante a 550.C.
- c) Contenido de agua intersticial
El agua contenida en el lodo se presenta bajo dos formas:
 - Agua libre que se elimina fácilmente por filtración o decantación.
 - Agua ligada, contenida en las moléculas químicas, las sustancias coloidales y las células de materia orgánica que no se pueden eliminar sino por el calor.

LODOS RESIDUALES

GENERALIDADES: - ES SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL
- CANTIDAD DE AGUA DE 93-99.5 %

GENERACION Y CARACTERISTICAS:

LODO PRIMARIO: - GENERADO POR SEDIMENTACION
- CONCENTRACION DE SOLIDOS 3-7 %
- PRODUCCION DE 100-300 mg/l

ESTIMACION: SST X EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

LODO SECUNDARIO (PROCESO BIOLÓGICO):

CONCENTRACION DE SOLIDOS DE 0.5-2 %

PRODUCCION: LODOS ACTIVADOS, FILTROS BIOLÓGICOS Y BIODISCOS

LODO TERCARIO: SISTEMAS AVANZADOS COMO PRECIPITACION QUÍMICA, FILTRACION, ETC., SU PRODUCCION DEPENDE DEL QUÍMICO UTILIZADO Y DE LA VELOCIDAD DE ADICION1

Se mide la proporción entre el agua ligada y el agua libre por la pérdida de peso a temperatura constante en función del tiempo. Así se obtiene una curva termogravimétrica que suministra la velocidad de evaporación en función de la sequedad del lodo.

c) Carga específica.

Este parámetro permite medir la capacidad de decantación de los lodos, se expresa en $\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$; es la cantidad de materia seca decantada por unidad de superficie. Esta carga depende del contenido de materias volátiles.

e) Resistencia específica

Se trata de medir la capacidad de filtración de los lodos bajo una presión dada.

f) Compresibilidad

Cuando se incrementa la presión en la parte superior de un filtro, se obtiene un aplastamiento de la torta y un aumento de la resistencia a la filtración.

Cuando la presión aumenta y alcanza valores del orden de 10 lbs, la filtración del agua contenida en el lodo está prácticamente bloqueada; entonces se llega a la sequedad límite.

g) Poder calorífico

El contenido de materia orgánica de los lodos les proporciona a éstos una capacidad de combustión que no es despreciable, lo que permite su incineración. Se definen dos poderes caloríficos:

- El poder calorífico inferior PCI, que es la cantidad de calor desprendida en la combustión completa de un kilo de lodos.

- El poder calorífico superior PCS, que es la cantidad de calor desprendida en la combustión completa de un kilo de lodos, suponiendo que toda el agua que se desprende en la combustión se encuentra en estado condensado en los productos de combustión.

CARACTERISTICAS QUIMICAS

En los lodos se pueden encontrar las siguientes características:

a) Materia orgánica.

Generalmente de origen animal (grasas, aceites, etc) o vegetal (fibras, almidones, etc). Se encuentran también microorganismos y sus productos de desecho.

b) Elementos nutrientes.

Se trata del contenido de nitrógeno total, fósforo y potasio. Son sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas y que tienen por consiguiente mucha importancia para la utilización agrícola de los lodos.

Los lodos de origen industrial y en menor grado los de origen municipal pueden presentar algunos de los siguientes compuestos:

c) Microcontaminantes orgánicos

Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura. Se trata generalmente de productos químicos de síntesis que se utilizan comúnmente y que se encuentran en las aguas domésticas de desecho. Se hallan particularmente contenidos importantes de detergentes y medicinas.

d) Tóxicos orgánicos

Muchos lodos provenientes de aguas residuales industriales presentan concentraciones de tóxicos orgánicos, tales como los PCB's (bifenilos policlorinados), hidrocarburos aromáticos polinucleares y plaguicidas.

e) Metales Pesados

Muchos lodos residuales contienen grandes cantidades de metales pesados que reducen su valor como fertilizantes ya que pueden acumularse en los tejidos de la plantas y representan un riesgo para la salud pública. Por citar algunos: Cd, Zn, Cu, Pb, As, Se, Hg, Co, Cr, Mn, Ni, Fe, V y Mo.

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Las aguas residuales contienen una flora y una fauna variadas que se encuentran en parte de los lodos. El tratamiento biológico de las aguas residuales modifica la composición biológica por la multiplicación de ciertas especies en detrimento de otras.

a) Bacterias

Se cuentan numerosos tipos de bacterias en los lodos; una parte de ellas es de origen fecal y algunas provienen de portadores de gérmenes y por consiguiente pueden ser patógenos.

Los microorganismos patógenos se encuentran generalmente en los lodos y en los efluentes; por lo tanto, es preciso tener cuidado de eliminarlos en ambos casos.

Los principales patógenos encontrados en lodos residuales pueden ser divididos en cuatro grupos: bacterias, protozoos, helmintos y virus. Los procesos de tratamiento reducen el número de los organismos mencionados, pero no en su totalidad.

Parásitos: Se encuentran numerosos parásitos en los lodos de origen fecal. Su eliminación es mucho más difícil puesto que estos parásitos toman una forma vegetativa cuando las condiciones les son hostiles, mientras que se desarrollan cuando se encuentran en los animales o en el hombre.

b) Hongos

Se trata esencialmente de las levaduras y los saprófitos que están normalmente presentes en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales o el hombre, con excepción de algunos que pueden llegar a serlo cuando las condiciones son favorables.

c) Algas

No se encuentran en gran cantidad en los lodos primarios y secundarios; por el contrario, en las lagunas naturales, gran parte de los lodos están constituidos por detritus de algas.

d) La macrofauna (gusanos, larvas de insectos)

SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION

SISTEMAS DE TRATAMIENTO

ACONDICIONAMIENTOS PREVIOS

A los lodos procedentes de los diversos tratamientos del agua residual generalmente se les aplica un tratamiento previo a su utilización o a su devolución al medio natural, a fin de disminuir su contenido de agua y estabilizarlos biológicamente, ya que son fermentables.

Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método último de disposición a la que se destinan los lodos.

Los lodos activados de desecho contienen aproximadamente el doble de la concentración del licor mixto en la etapa de aeración del mismo proceso. Cuando el tratamiento incluye una etapa primaria de sedimentación, los lodos activados de desecho se pueden mezclar con lodos primarios, o alimentarlos directamente al clarificador primario. Los lodos que no han sido estabilizados, química, térmicamente o por digestión, se conciben como lodos crudos. En el tratamiento preliminar de los lodos, el objetivo principal es reducir el volumen a manipular por el aumento de la concentración de sólidos en los lodos.

Los lodos urbanos contienen sustancias coloidales y mucílagos cuyas propiedades electroquímicas favorecen la retención del agua entre las partículas sólidas, por lo que impiden la separación de los sólidos del líquido. Estos inconvenientes se contrarrestan desestabilizando los coloides por medio de procedimientos físicos (tratamiento térmico) o químicos (floculación).

a) Floculación

La adición de productos que contienen propiedades electroquímicas favorece la desestabilización de los coloides por coagulación y formación de flóculos más fácilmente decantables o filtrables. Los productos usados comúnmente son sales minerales y polielectrolitos naturales o sintéticos.

b) Tratamientos térmicos

- Congelación.

Se trata de un procedimiento poco utilizado en el cual se inyecta un gas licuado (generalmente procedente del butano), y se congela el agua de los lodos bajo la forma de agujas de hielo, las cuales se desplazan al centro de una centrifuga; al elevarse la temperatura, las partículas sólidas y el agua quedan separadas.

- Tratamientos con calor.

La acción del calor sobre los lodos tiene varios efectos, como son: Coagulación de las partículas coloidales, evaporación del agua y desinfección de los lodos.

El tratamiento se lleva a cabo por inyección de vapor, por intercambio térmico con el vapor de agua o la cocción a presión.

El calor permite, por una parte, la solubilización de las sales de los metales pesados y por otra parte la eliminación de todos los microorganismos .

DESHIDRATACION DE LODOS

La deshidratación es una operación física (mecánica) utilizada para reducir el contenido de agua presente en el lodo.

Se puede realizar por varios métodos:

- a) Lechos de secado. Se utilizan para deshidratar el lodo digerido, extendiéndolo en capas de 20 a 30 cms. y dejándolo secar. Una vez seco se extrae y puede llevarse a un vertedero y utilizarse como material de relleno o fertilizante.
El lodo se deshidrata a través de la arena del soporte, así como por evaporación de la superficie expuesta .
- b) Lagunas de secado. se utilizan para la deshidratación de lodo digerido. No son adecuados para la deshidratación de lodos crudos, ni de lodos estabilizados con cal, o lodos que den lugar a sobrenadantes de alta concentración que puedan presentar problemas de olor. El rendimiento de la lagunas depende del clima, la precipitación y temperaturas. Las capas tiene un espesor que va de 0.75 a 1.25 m. De esta forma se obtiene un lodo con un contenido de humedad del 70% .
- c) Filtro prensa. Por este método, la deshidratación se realiza forzando la evacuación del agua presente en el lodo por la aplicación de presiones elevadas. El contenido de humedad resultante varía de un 75 a 80%. Es necesario un acondicionamiento químico previo .
- d) Centrifuga. Este proceso es utilizado para separar líquidos de diferente densidad y espesar lodos o separar sólidos. el espesado por centrifugación supone la sedimentación de las partículas del lodo bajo la influencia de fuerzas centrifugas. Los tres tipos básicos de centrifuga son: camisa maciza, de discos y de canasta. De esta forma se obtiene una torta con un contenido de humedad que varía del 75 al 80%. Es necesario aumentar el tamaño de partículas coagulando el lodo antes de la centrifugación

con cloruro férrico y sul o polímeros orgánicos. La adición de cal facilita el control de olores al centrifugar lodos crudos.

ESTABILIZACIÓN DE LODOS

1. Estabilización biológica.

La composición de los lodos y la presencia de microorganismos diversos favorecen las transformaciones bioquímicas, en el seno de las cuales se efectúan procesos muy variables según la proporción de materia orgánica, la naturaleza de la flora y la fauna, así como de las condiciones exteriores. La estabilización de los lodos consiste en una aceleración de dichos procesos que favorece las transformaciones bioquímicas de una parte de los microorganismos a expensas de otros.

Existen dos métodos para llevar a cabo la estabilización:

a) Digestión anaerobia: Se conoce también como metanogénesis. Este es un proceso biológico anaerobio que se caracteriza por la degradación de la materia orgánica, llevada a cabo por microorganismos anaerobios, y obtener como productos finales metano y CO_2 . Al reducirse la carga orgánica inicial y después de la estabilización del lodo, se obtiene un producto de fácil manejo y disposición.

En la metanogénesis se pueden observar los siguientes procesos:

1. Hidrólisis de biopolímeros.
2. Fermentación de aminoácidos y azúcares.
3. Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
4. Oxidación anaerobia de ácidos volátiles (Productos intermedios).
5. Conversión del acetato en metano.
6. Conversión del hidrógeno a metano.

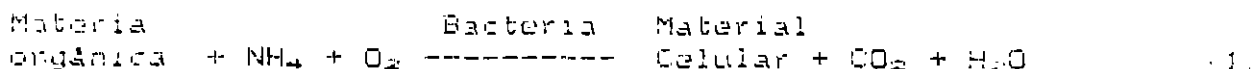
b) Digestión aerobia. Se define como la destrucción de la materia orgánica por microorganismos aerobios. Por este procedimiento se obtiene un producto final biológicamente estable, de volumen bajo y acondicionado para procesos posteriores.

La digestión aerobia ocurre cuando el sustrato es nulo y los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener energía. Durante este proceso el tejido celular se oxida aerobiamente a CO_2 , H_2O y NO_3 o NH_3 , ya que este proceso es exotérmico, termina cuando se ha consumido entre el 70 y 80 % del material celular, el resto es material no biodegradable.

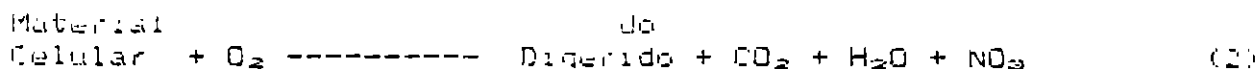
El mecanismo del proceso es el siguiente:

Fase 1

La generación de material celular a partir de la oxidación de la materia biodegradable y la subsecuente oxidación de aquel. Esto se representa de la siguiente forma:



Fase 2



Los factores importantes en el proceso son:

- Reducción deseada en los sólidos volátiles, que varía entre un 35 y 50 %. Esto implica la reducción de microorganismos patógenos en los lodos a niveles seguros para su disposición.
- Características del influente. Son de particular importancia las variaciones en las concentraciones de tóxicos pues estos se acumulan en los lodos activados y pueden presentar toxicidad en el digester aerobio cuando el pH es mayor de 7 .
- Temperatura de operación. Este es un parámetro crítico. El rango es generalmente mesofílico (10 - 40.C) .
- Requerimientos de transferencia y mezclado de O₂. Es importante la adición de O₂, así como un mezclado adecuado de los materiales. Para que exista un contacto directo entre el oxígeno y el material celular es necesario una adecuada mezcla y la adición del O₂ suficiente para mantener las condiciones aerobias . Se puede obtener mayor eficiencia en la estabilización aerobia inyectando oxígeno de alta pureza en lugar de aire .
- Relación tiempo de retención-volumen del tanque. Esta relación está en función de los sólidos volátiles a abatir. Para una reducción del 40 a 45 % se requieren de 10 a 12 días.
- Método de operación. Es necesario considerar si el modo de operación es continuo o no, si el tanque es descubierto o no, y el equipo de aeración, que debe proporcionar oxígeno y mezclado .

2. Estabilización no biológica

Los tratamientos fisicoquímicos tienen a menudo una acción estabilizante sobre los lodos, lo mismo que los tratamientos térmicos o la filtración a presión. Existen algunos procedimientos de desinfección de los lodos, los cuales disminuyen su fermentación .

a) Estabilización con cal.

En el proceso de estabilización con cal, se añade cal al lodo hasta alcanzar un pH de 12 o mayor. El alto pH crea un ambiente poco propicio para la supervivencia de los microorganismos. De esta forma el lodo no sufrirá putrefacción ni desprendimiento de olores ni constituirá un peligro sanitario en tanto él se mantenga en este nivel.

Los objetivos principales de la estabilización con cal son:

- Minimizar los riesgos de salud pública por la reducción de organismos patógenos.
- Eliminar los malos olores al reducir el número de microorganismos productores de olor.

En este proceso los factores más importantes son: pH, tiempo de contacto y dosis de cal. El pH y tiempo de contacto están íntimamente relacionados dado que se debe mantener el pH adecuado durante el tiempo necesario para la destrucción de organismos patógenos.

En cuanto a la dosis de cal, esta depende del tipo, composición y concentración de sólidos en el lodo.

Varios cambios químicos ocurren durante el proceso. Uno de los más importantes es la reducción de sólidos suspendidos volátiles de 10 al 35%. Además se obtiene un incremento tanto en la concentración de sólidos totales como de la alcalinidad total y una reducción de fósforo soluble y nitrógeno disponible.

En el proceso puede utilizarse cal (hidróxido de calcio dihidratado) o cal anhidra (hidróxido de calcio puro). La elección depende del costo así como del potencial de reacción del CO_2 atmosférico con la cal para formar carbonato de calcio, insoluble.

Debido a que la estabilización con cal no destruye la materia orgánica necesario para el crecimiento bacteriano, el lodo debe evacuarse antes de que el pH sufra una disminución, activando así la reproducción bacteriana y facilitando la putrefacción.

b) Existen otros procesos de estabilización no biológica como son:

Pasteurización de los lodos, tratamiento químico (con cloro u ozono), irradiación de los lodos, otros procedimientos físicos (ultrasonido, rayos ultravioleta).

SISTEMAS DE DISPOSICION

RELLENO SANITARIO

Es un método de disposición en el que el lodo es depositado en un área específica, con o sin residuos sólidos y enterrados debajo de una cubierta de suelo.

El relleno es primeramente un método de disposición en el que no se recuperan nutrientes y solo se recupera energía.

Es necesario disponer de un área para el relleno al igual que para la aplicación al suelo, sin embargo hay una diferencia importante. Cuando el lodo es depositado en un relleno sanitario, la degradación anaerobia ocurre porque el oxígeno es insuficiente para la descomposición aerobia. Las condiciones anaerobias degradan el lodo más lentamente que los procesos aerobios.

Los procedimientos sanitarios apropiados de la disposición en relleno minimizan muchos de los problemas relativos a la salud y el ambiente. Sin embargo, la contaminación de aguas subterráneas por constituyentes presentes en el lodo del relleno es una preocupación constante. La contaminación de agua subterránea puede ser difícil de detectar, generalmente se detecta cuando el daño ha ocurrido y si ha sido detectada es muy difícil de eliminar.

Estos problemas se pueden prevenir con la planeación y elección del sitio adecuado para la disposición.

La disposición en relleno sanitario sigue siendo un método popular de disposición, pero el incremento de los costos por concepto de suelo lo ha hecho incosteable.

Existen dos tipos de disposición en relleno.

- Disposición, en el cual el lodo es enterrado generalmente en ranjas y cubierto con tierra.
- Codisposición, en el cual el lodo es depositado en el suelo junto con residuos sólidos municipales. Los residuos sólidos absorben el exceso de humedad del lodo y reducen el desplazamiento del lixiviado.

Este último presenta algunas ventajas:

- Corto tiempo de retención. Es un proceso más rápido que el de disposición de lodo únicamente.
- Bajos costos.

Desventajas:

- Presencia de malos olores. Estos se presentarán dependiendo del grado de estabilización de la materia orgánica del lodo.
- Problemas de operación. Dado que se requiere mezclar lodo relativamente líquido con basura.

- Lixiviados. Los ácidos orgánicos formados durante la descomposición anaerobia del lodo del relleno pueden aumentar el lixiviado de metales de la mezcla lodo-residuos sólidos. Es por eso que deben ser instalados sistemas de colección y tratamiento.

El lixiviado es generado por el exceso de humedad en el lodo. El tipo y cantidad de los constituyentes en el lixiviado del lodo de un relleno dependen de la naturaleza del éste.

Si el lixiviado de un relleno sanitario llega a un acuífero, los metales pesados y tóxicos orgánicos son de particular preocupación por los posibles efectos adversos a la salud. Si el lixiviado llega a aguas superficiales, los elevados niveles de nutrientes pueden causar toxicidad en los vegetales.

El lixiviado puede ser colectado por una serie de tuberías que interceptan y canalizan el lixiviado a un tanque.

Rango de concentraciones de constituyentes en el lixiviado de rellenos sanitarios.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION (a)
Cloruro	20 - 600
SO ₄	1 - 430
Carbono orgánico total	100 - 15000
Demanda química de oxígeno	100 - 24000
Calcio	10 - 2100
Cadmio	00.1 - 0.2
Cromo	0.01 - 50
Zinc	0.01 - 36
Mercurio	0.0002 - 0.0011
Cobre	0.02 - 37
Hierro	10 - 350
Nitrógeno total Kjendahl	100 - 3600
Coliformes fecales	2400 - 24000
	NMP/100 ml (b)
Estreptococos fecales	2100 - 240000
	NMP/100 ml (b)

(a) Concentración en mg/l

(b) NMP/100 ml

INCINERACION

La incineración es el quemado de los sólidos volátiles de los lodos en presencia de oxígeno. En sí, la incineración no es un método de disposición o uso, pero sí un método de tratamiento que convierte el lodo en ceniza. Sin embargo, dado que la incineración reduce drásticamente el volumen y masa de los residuos sólidos materiales, éste ha sido considerado tradicionalmente como un método de disposición y es evaluado junto a la aplicación al suelo, composteo, relleno sanitario o disposición al mar, como una opción de uso o disposición.

Ventajas y desventajas.

La incineración ofrece significantes ventajas sobre las anteriores opciones de uso o disposición, reduce el lodo a un residuo compacto que consiste de aproximadamente un 20% del volumen original de los sólidos y esto elimina algunos problemas ambientales por la completa destrucción de patógenos y la degradación de muchos tóxicos orgánicos. Los metales, sin embargo, no son degradados, y su concentración aumenta en las cenizas.

Un problema potencial con los sistemas de incineración es la fiabilidad de operación. Es así porque la incineración está más altamente mecanizada que otras alternativas de uso o disposición, y está sujeta a la variabilidad en la cantidad y calidad del lodo y a errores en el equipo y en la operación. La inconsistente calidad del lodo alimentado y el pobre mantenimiento pueden incrementar grandemente la frecuencia de éstos problemas .

Se puede usar la incineración como el método último de disposición de los lodos, y cuando éstos han sido desecados para obtener un contenido mayor de aproximadamente 30%, el calor de combustión de los sólidos de los lodos es suficiente para evaporar el contenido residual de agua. No obstante, la incineración no resuelve completamente el problema de la disposición, porque todavía es necesario disponer la ceniza residual, descargándola sobre el terreno o en el mar. La ceniza se puede también aprovechar en el acondicionamiento de lodos y como un auxiliar filtrante en la desecación .

DISPOSICION AL SUELO

Se define como la disposición del lodo sobre o debajo de la superficie del suelo, es la opción de disposición más ampliamente utilizada. El lodo puede funcionar como acondicionador del suelo y como fertilizante. Generalmente el lodo es aplicado en una de alternativas siguientes: En suelos agrícolas, suelos forestales y suelos erosionados. En estos tres tipos de aplicación al suelo, se utiliza el lodo como un recurso valioso para proporcionar ciertas características al suelo, como son, acondicionamiento que facilita la adherencia de nutrientes, incrementa la retención del agua, permite la penetración de la raíces y proporciona textura, con la cual se reduce la erosión y hace al suelo más manejable.

El lodo también reemplaza parcialmente a fertilizantes químicos, ya que los mayores constituyentes de éstos (nitrógeno, fósforo y pequeñas cantidades de potasio) son encontrados en el lodo.

La aplicación o disposición al suelo también es considerado como un sistema de tratamiento de lodos, ya que la desecación destruye patógenos y muchas sustancias tóxicas orgánicas.

La experiencia ha demostrado que la aplicación al suelo es una opción segura y efectiva del uso del lodo .

Materiales acondicionadores.

Para asegurar el rápido composteo aerobio, el lodo debe ser mezclado con un material acondicionador que proporcione la estructura, textura y porosidad necesarias para la aeración mecánica. El material acondicionador, generalmente orgánico, puede funcionar como una fuente de carbono que proporciona energía adicional para los microorganismos durante el composteo.

Las cantidades necesarias de material acondicionador están en función del contenido de humedad del lodo. Se requiere que el material acondicionador esté lo suficientemente seco para proporcionar la porosidad necesaria para el flujo de aire, una vez mezclado con el lodo y colocado en el sitio de composteo. Para un lodo desaguado con un 20% sólidos, la relación más efectiva de agente acondicionador-lodo se encuentra entre 1:1 y 4:1 en un volumen básico aparente. La mezcla debe ser porosa y no contener líquido libre.

Estos materiales deben también tener la suficiente capacidad de absorber humedad para producir la deshidratación del lodo. Muchos materiales considerados como desperdicios presentan las propiedades necesarias de un material acondicionador, tales como: aserrín, viruta, cascarilla de arroz, cascarilla de cacahuate y bagazo de caña.

Algunos materiales acondicionadores pueden ser reutilizables. Muchas veces algunos pueden llegar a formar parte de la composta. De esto depende el valor que pueda tener la composta en el mercado.

Proceso de composteo.

La secuencia de las operaciones en el proceso de composteo es la siguiente:

Mezclado.

El lodo y material acondicionador deben ser mezclados de manera que los terrones de lodo no sean más grandes de 7.5 cm de diámetro. Si son más grandes el rango de descomposición es bajo y no se alcanzan las temperaturas óptimas. Varias máquinas pueden ser usadas para realizar esta operación. Por ejemplo, un cargador frontal, rotatorias o equipo sofisticado pero resulta más costoso.

El lodo y el material acondicionador pueden mezclarse directamente en el área de composteo con un cargador frontal o en un sitio cercano al filtro prensa por medio de un mezclador estacionario.

Composteo.

Después del mezclado se realiza la operación de composteo. Durante este periodo, la mezcla es aerada y el proceso biológico descompone el lodo y genera altas temperaturas (mayores de 55°C) destruyendo los microorganismos patógenos. El oxígeno requerido para el proceso puede suministrarse por medios mecánicos o por aeración forzada.

Curado.

Después del proceso de composteo, la composta fresca se someterá a un proceso de curado o estabilización. Esta fase se caracteriza por bajas temperaturas, bajos consumos de oxígeno y poca producción de olor. En esta etapa de curado, la degradación y estabilización del producto continúa lentamente. Representa un seguro adicional en la degradación de tóxicos orgánicos y reducción de patógenos. Durante el curado, la composta debe almacenarse en un sitio cubierto para evitar que absorba humedad.

Secado y cribado.

Estas operaciones son opcionales y se realizan dependiendo de las características que se desean en el producto final. Si es necesario el cribado y la composta fresca presenta un exceso de humedad, la operación de secado debe realizarse antes del cribado. En caso de que la composta esté lo suficientemente seca para realizar un adecuado cribado (contenido de humedad por debajo del 35%), el secado no se realiza. Si es enviada al almacén, la composta debe tener un contenido de humedad del 15%.

El cribado tiene como propósito la recuperación de una parte del material acondicionador para reciclarlo y proporcionar al producto características que favorezcan su comercialización. Si la composta fresca presenta las características deseadas y no es necesario recuperar material acondicionador, esta operación no se realiza.

Almacenamiento.

Durante esta etapa la composta continúa estabilizándose y no se presentarán problemas si la operación de composteo se realizó satisfactoriamente; y si su contenido de humedad sobrepasa el 15%, habrá un incremento en la temperatura de la composta.

Distribución.

El sistema de distribución depende de la localización y del tipo de mercado (viveros, reforestación, recuperación de suelos, etc.).

SISTEMA DE COMPOSTEO

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMPOSTEO

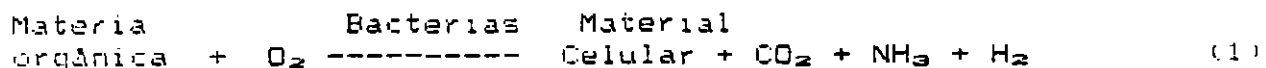
El sistema de composteo se define como la estabilización biológica de la materia orgánica bajo condiciones controladas. La estabilización ocurre en presencia de oxígeno; esto diferencia al composteo de otros procesos naturales que no se llevan a cabo bajo condiciones controladas, como son la putrefacción y fermentación.

Durante el composteo moléculas orgánicas complejas son descompuestas en componentes simples, esto a través de la actividad y crecimiento de las bacterias, actinomicetos y hongos; logrando así que los residuos orgánicos después del proceso aún se degraden pero en un grado muy bajo, siempre que la actividad microbiológica sea favorable. Durante el proceso los microorganismos utilizan una porción de carbono y nitrógeno para la síntesis de materiales celulares, de esta forma crecen y su actividad y los procesos mismos de su desarrollo (respiración) generan calor, teniendo como consecuencia un incremento en la temperatura; de esta forma un tipo particular de microorganismos llega a predominar, los llamados termofílicos. El rango óptimo de temperatura para estos microorganismos está entre 40 y 75°C.

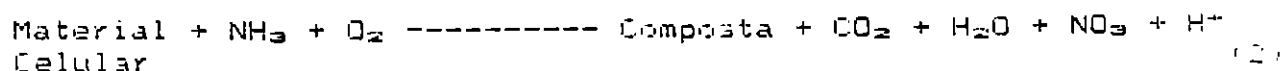
La intensidad y duración de este calor interno produce la rápida destrucción de microorganismos patógenos. De esta forma los compuestos orgánicos productores del mal olor son rápidamente eliminados, asegurando la estabilidad del producto final. El composteo es un método que elimina la necesidad de digestores y otros procedimientos costosos.

Son parámetros determinantes en el proceso de composteo: el contenido de humedad, la temperatura, el pH, nutrientes y la concentración de oxígeno:

Fase 1: Alta reacción. Composteo.



Fase 2: Baja reacción. Curado.



En la Fig. 3 se puede observar un diagrama de flujo del sistema de composteo. Los dos componentes básicos del composteo son el fodo y material acondicionador.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTEO

HUMEDAD

La humedad óptima para el proceso de composteo se encuentra entre 40 y 60% (en peso), valores menores disminuyen la rapidez del proceso porque el agua es esencial para el crecimiento microbiano y por arriba del 60% hay disminución en el espacio disponible para la circulación del aire y pueden presentarse condiciones anaerobias reduciendo a su vez la temperatura y produciendo olores .

TEMPERATURA

La temperatura en el proceso de composteo es el principal indicador de qué tan bien está operando el proceso. La relación entre tiempo y temperatura proporciona un índice relativo a la destrucción de microorganismos patógenos. Por ejemplo, a una temperatura de 55.C durante 3 días consecutivos se puede asegurar la destrucción total de patógenos .

A medida que avanza el proceso, la temperatura se incrementa rápidamente y pasa de un rango mesofílico a uno termofílico, cuando alcanza los 40.C. La descomposición de materiales orgánicos es más rápida en un rango termofílico . Dentro de este rango termofílico las temperaturas óptimas se encuentran entre los 55 y 60.C .

El contenido de humedad, la tasa de aeración, la forma de la pila, las condiciones atmosféricas y el contenido de nutrientes, influyen en la distribución de la temperatura en el proceso de composteo .

pH

Las características químicas , tanto del lodo residual como del material acondicionador pueden causar efectos adversos en el proceso de composteo . Es recomendable, para la mezcla lodo-material acondicionador, un pH entre 6 y 8, de esta forma se asegura el crecimiento y actividad óptimos de los microorganismos responsables del proceso . Es por esto que las características químicas de los residuos son importantes para la sucesiva estabilización de estos por composteo.

NUTRIENTES

Esto se refiere a la relación C/N. La descomposición puede ser limitada por la cantidad de carbono (C), nitrógeno (N) o la relación (C/N). Para que el proceso de descomposición proceda rápidamente, la relación C/N deberá encontrarse entre 20:1 y 40:1 y la ideal dentro de este rango es de 35 (1). Con relaciones más bajas, habrá pérdida de N a través de la volatilización en forma de amoníaco y éste es posiblemente el nutriente más importante para las plantas. A su vez una elevada relación (50:1) limita el proceso de composteo porque el N no es suficiente para mantener la población microbiana. Como los residuos tienen una relación aproximada de alrededor de 10:1, para asegurar un efectivo composteo, debe ser incrementada a cerca de 30:1 mediante la adición de material acondicionador rico en carbono.

OXIGENO

Es necesario un suministro constante de oxígeno para asegurar las condiciones aerobias del proceso. Los niveles recomendables deben mantenerse en un rango de 5 a 15% en volumen. Un incremento de la concentración de oxígeno arriba del 15% resultará en una disminución de la temperatura. Una carencia de O_2 puede provocar condiciones anaerobias, con la consecuente generación de olores. Las condiciones aerobias son mantenidas por medio de inyección de aire a la pila de composteo en una determinada proporción y en algunas ocasiones éste aire se envía a una pequeña pila filtro de olor compuesta de composta curada y cribada, donde los olores son absorbidos.

SISTEMAS DE COMPOSTEO

CAMELLON

En este sistema la mezcla lodo-material acondicionador es colocada en pilas largas que son saeradas por volteo mecánico.

Las pilas deben saerarse diariamente en la primera etapa del proceso, cuando el sistema tiene una alta demanda de oxígeno, y posteriormente 3 veces por semana, de esta forma se asegura que todos los puntos de la pila queden expuestos a las altas temperaturas y eliminar así microorganismos patógenos.

La sección transversal de la pila, debe ser trapezoidal o triangular dependiendo del equipo usado para el volteo de la pila. Las dimensiones típicas de la pila son: 4.5 m de ancho y de 1-2 m de altura.

El composteo en camellón es afectado por factores climatológicos y por esta razón se dificulta su control.

Los periodos de composteo y curado para este método son de: 21 y 30 días respectivamente.

Este sistema se ha utilizado en Beltsville, Maryland, USA. Figura 4 .

PILA ESTÁTICA

Un sitio de composteo, cercano a la planta de tratamiento de aguas residuales, disminuye los costos por acarreo y transporte del lodo, material acondicionador y equipo y disminuye los requerimientos de mano de obra, logrando con esto una utilización más efectiva del espacio asignado para la operación de composteo.

El tamaño de la pila puede ser adaptado de acuerdo a las diferentes tasas de producción de lodo, de cada planta de tratamiento.

En este sistema de composteo el equipo de aeración consiste en una serie de tuberías perforadas, colocadas en la parte inferior de la pila, el aire se suministra por medio de un soplador. La tubería se cubre con una capa de material acondicionador, para suministrar una aeración uniforme. Sobre esta capa protectora se construye la pila, la cual se cubre con composta cribada o sin cribar, que sirve para aislar y ayudar a mantener la temperatura uniforme y conseguir una superficie impermeable, para prevenir que el lixiviado llegue a agua subterránea o al equipo. Ver figura 4 .

Temperaturas alcanzadas durante el composteo.

La descomposición microbiana de la fracción orgánica volátil del lodo en una atmósfera aerobia provoca un aumento en la temperatura de toda la pila a cerca de 60.C destruyendo de esta forma a organismos patógenos que pueden causar enfermedades. Las temperaturas en la pila se incrementan rápidamente al rango termofílico o más altas. Estas comienzan a bajar después, indicando que la microflora ha utilizado la mayoría de los materiales orgánicos biodegradables y que el lodo residual ha sido estabilizado y transformado en composta.

Aeración y fuente de oxígeno

Los ventiladores centrífugos con aspas axiales son generalmente los mecanismos más eficientes para desarrollar la presión necesaria para mover el aire a través de las pilas de composta y de las pilas filtro de olor. Una tasa de aeración de aproximadamente 3500 pies cúbicos (99 m³) por hora por tonelada de lodo (peso seco) puede mantener los niveles de oxígeno en la pila entre 5 y 15% para asegurar una rápida descomposición del lodo y aumentar la actividad termofílica. La difusión del aire se realiza por medio de una tubería de plástico, PVC o fierro, que se conecta al ventilador. Esta tubería puede caerse después de realizar el desmonte de la pila; en el caso de la tubería de fierro, ésta se puede retirar antes de desmontar la pila para reutilizar la tubería en montajes posteriores. Existe también la posibilidad de utilizar canales de aeración construidos sobre la base pavimentada y cubiertos con placas perforadas para la difusión del aire.

En algunos casos la pila puede representar una fuente de olores. Estos olores se eliminan succionando el aire de la pila y enviándolo a pilas filtro de olor por medio de una tubería de plástico flexible.

Control de condensado y lixiviado.

El suministro de aire tiene como función el calentamiento y remoción de la humedad en la pila. Cerca de la base de ésta la temperatura es ligeramente más fría, como consecuencia de la pérdida de calor por el piso. Esto provoca la condensación del aire cuando éste alcanza a enfriarse humedeciendo la pila. Si el condensado es bastante, drenará de la pila, lixiviando algo del lodo, si no drena se puede acumular y bloquear el flujo de aire. Si el material acondicionador está seco al momento del mezclado no habrá lixiviado. Este puede representar una fuente de olor si contiene lodo.

La mezcla lodo/ material acondicionador debe tener contenidos de humedad entre un 50 y 65%, una relación C/N en un rango de 20:1 a 30:1 y un pH entre 5 y 9.

Hay dos tipos básicos de sistemas en reactor: el estático y el dinámico. En sistemas dinámicos, el lodo y material acondicionador son remezclados físicamente durante la aeración. En sistemas estáticos, los materiales no se remezclan. Los sistemas estáticos pueden ser reactores cilíndricos, rectangulares o en túnel y los sistemas dinámicos consisten en tanques rectangulares o reactores circulares.

El reactor cilíndrico o tipo silo es probablemente el más antiguo. En un sistema típico, el lodo, composta reciclada y el material acondicionador son mezclados y alimentados al reactor de manera que la mezcla fresca es distribuida dentro del reactor en capas sucesivas. El material es aerado por medio de una tubería perforada que inyecta aire al reactor. Los gases son tratados antes de su eliminación a la atmósfera. El material es sacado del reactor por medio de un dispositivo rotatorio.

El sistema incluye varios procesos de control. Las temperaturas en el reactor son medidas en diferentes puntos y el oxígeno y contenido de dióxido de carbono del gas deben ser monitoreados continuamente. El flujo de aire es ajustado por un microprocesador basado en el análisis de los datos de salida del gas.

Un sistema de composteo completo comprende un área para el mezclado, uno o más reactores en donde se lleva a cabo el composteo y reactores de curado.

Equipo complementario incluye, mezcladores, controles y equipo para el manejo de materiales .

la mezcla lodo/ material acondicionador debe tener contenidos de humedad entre un 50 y 65%, una relación C/N en un rango de 20:1 a 30:1 y un pH entre 5 y 6.

Hay dos tipos básicos de sistemas en reactor: el estático y el dinámico. En sistemas dinámicos, el lodo y material acondicionador son remezclados físicamente durante la aeración. En sistemas estáticos, los materiales no se remezclan. Los sistemas estáticos pueden ser reactores cilíndricos, rectangulares o en túnel y los sistemas dinámicos consisten en tanques rectangulares o reactores circulares.

El reactor cilíndrico o tipo silo es probablemente el más antiguo. En un sistema típico, el lodo, composta reciclada y el material acondicionador son mezclados y alimentados al reactor de manera que la mezcla fresca es distribuida dentro del reactor en capas sucesivas. El material es aerado por medio de una tubería perforada que inyecta aire al reactor. Los gases son tratados antes de su eliminación a la atmósfera. El material es sacado del reactor por medio de un dispositivo rotatorio.

El sistema incluye varios procesos de control. Las temperaturas en el reactor son medidas en diferentes puntos y el oxígeno y contenido de dióxido de carbono del gas deben ser monitoreados continuamente. El flujo de aire es ajustado por un microprocesador basado en el análisis de los datos de salida del gas.

Un sistema de composteo completo comprende un área para el mezclado, uno o más reactores en donde se lleva a cabo el composteo y reactores de curado.

Equipo complementario incluye, mezcladores, controles y equipo para el manejo de materiales .

Operaciones de monitoreo

El proceso de composteo en pila estática es relativamente insensible a los cambios en las condiciones de operación y materiales. Sin embargo, para llevar a cabo una operación económica, producir un producto de calidad adecuada y la reducción de contaminantes, es necesario el control y monitoreo de los parámetros de operación.

La temperatura y la concentración de oxígeno deben monitorearse continuamente. Se deben realizar determinaciones periódicas de las concentraciones de sólidos totales y sólidos volátiles.

PILA AERADA EXTENDIDA.

Otra versión de la pila aerada es la pila extendida. La producción de lodo de cada día se mezcla con el material acondicionador y se añade a un lado de las producciones anteriores, de esta manera se forma una pila continua. Para construir una pila extendida, la producción del primer día se coloca en una pila individual con sección transversal triangular pero sólo un lado y los extremos se cubren con composta cribada. El lado restante se espolvado con 2.5 cm de composta cribada para el control de olor. El segundo día, la tubería de aeración se coloca en la superficie de la cama paralelamente al lado polvado, se coloca una capa de material acondicionador y la mezcla lodo-material acondicionador se instala de manera que forma una pila extendida con una sección transversal trapezoidal. De igual forma, la cima y los bordes se cubren con composta cribada y el lado restante con polvo de composta. Después de completar 7 secciones en forma secuencial, se deja el espacio suficiente para operación del equipo de acarreo.

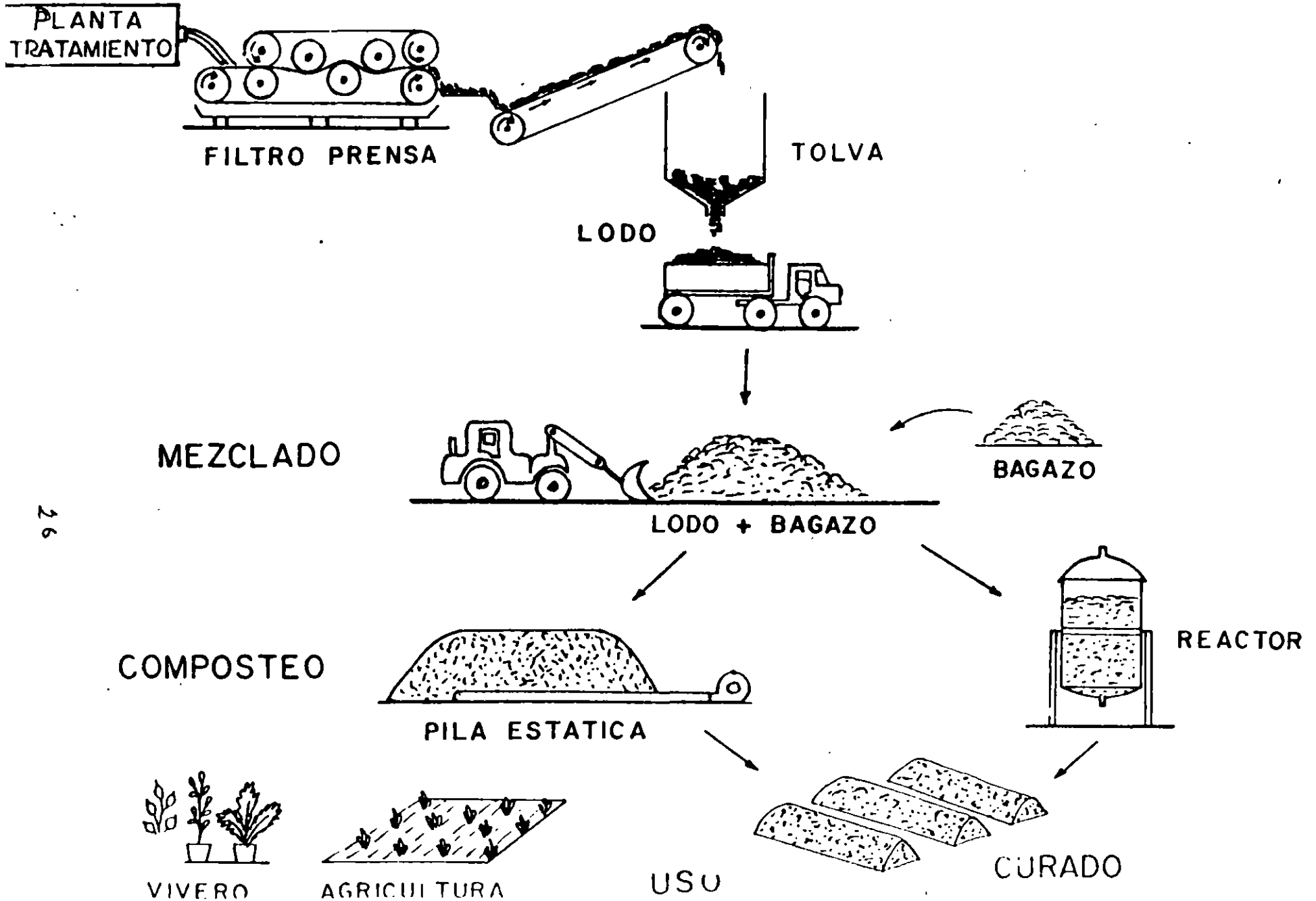
Los periodos de composteo y curado para los métodos de pila estática y pila aerada aerada son de: 21 y 30 días respectivamente.

REACTOR

En un sistema típico el lodo residual y el material acondicionador son mezclados y después transportados al reactor. Después de 14 días de tiempo de retención, la composta es curada en otro reactor por aproximadamente 20 días, durante los cuales el composteo continúa a una velocidad más baja.

Muchos de los parámetros del proceso de composteo en reactor son similares a los de procesos tales como el de pila estática. El lodo debe contener aproximadamente un 25% de sólidos totales y

COMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES



26

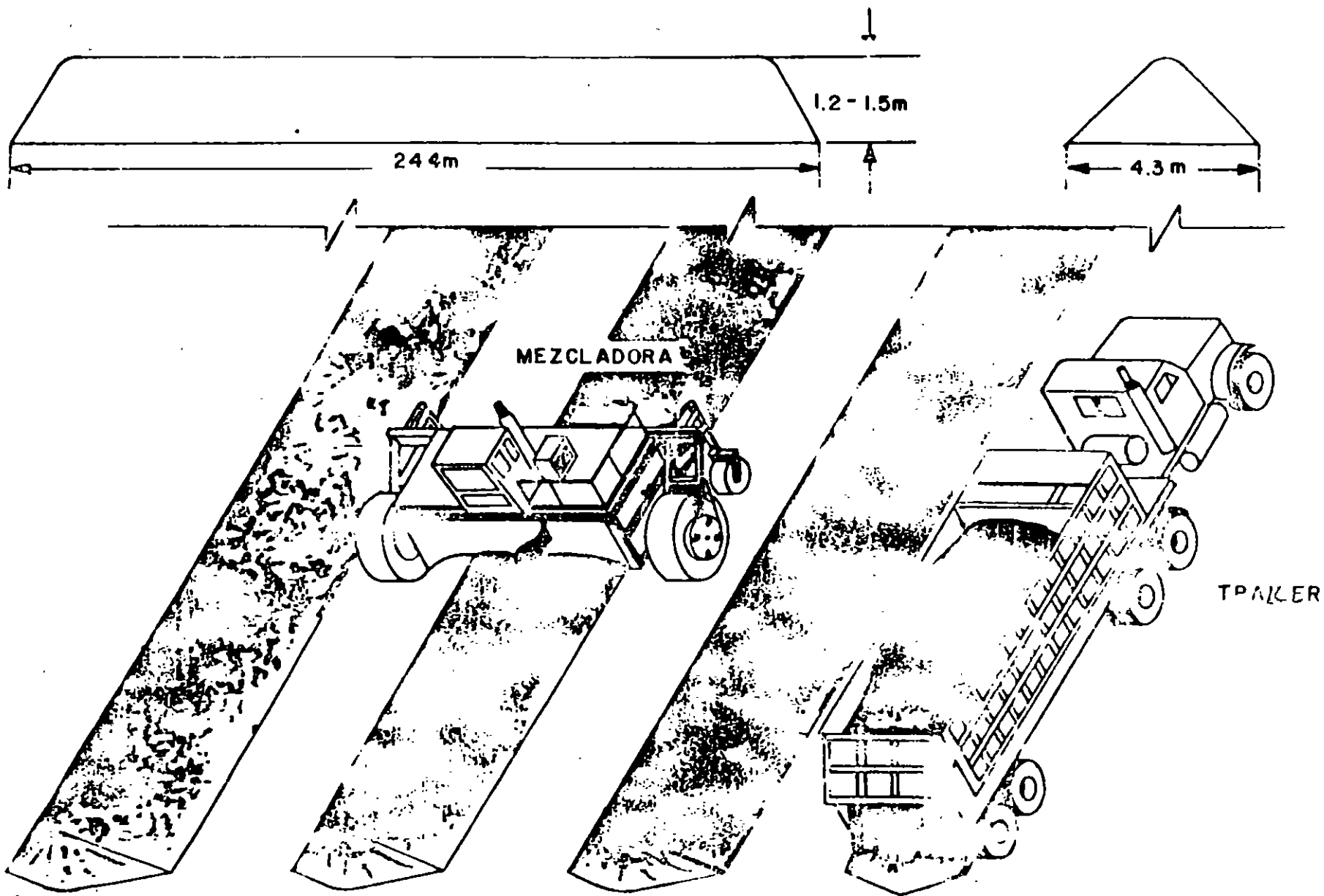
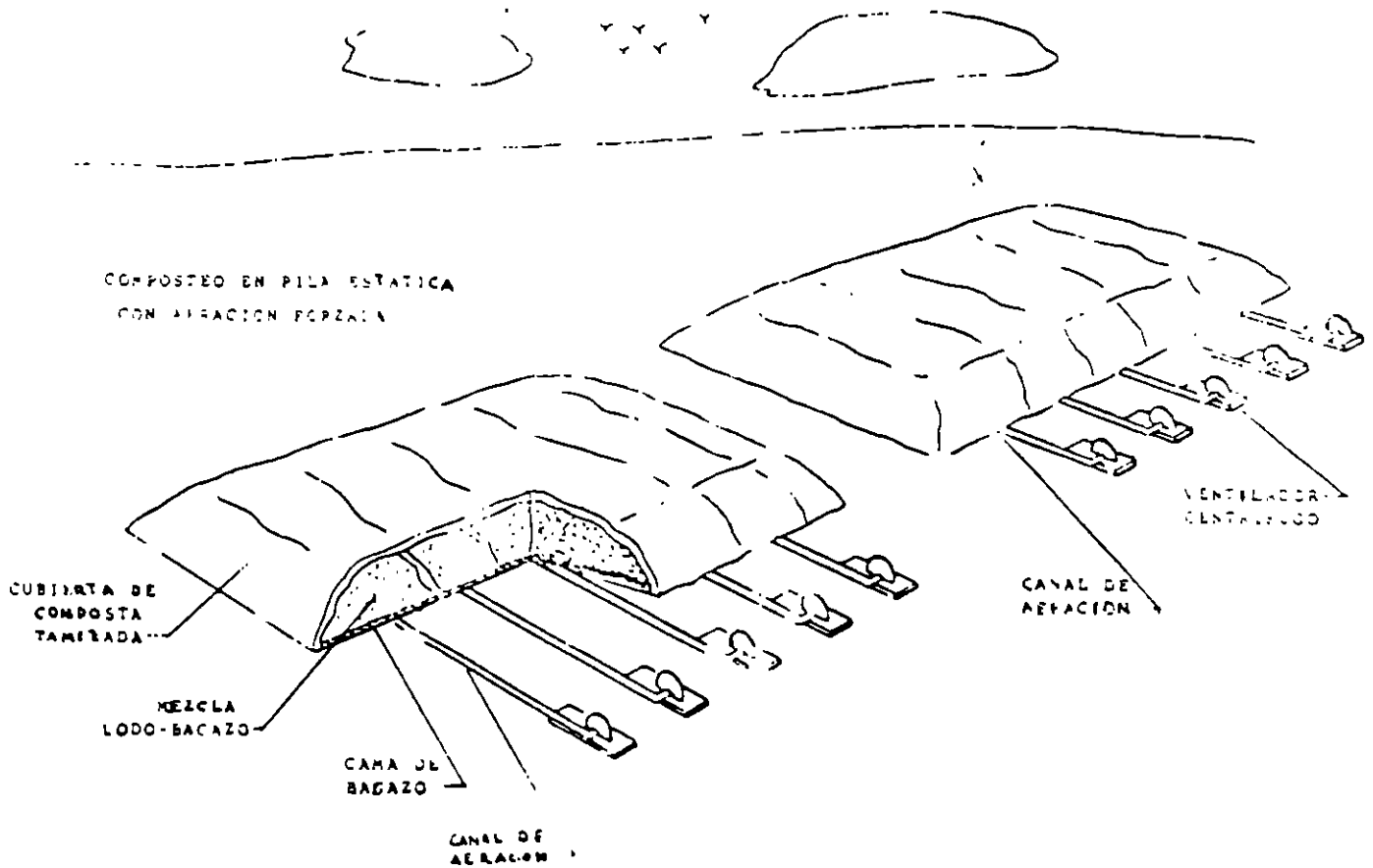


FIG. No. 3



- DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA PILA ESTÁTICA EXTENDIDA QUE MUESTRA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PILA Y EL ARREGLO DE LOS CANALES DE AERACIÓN.

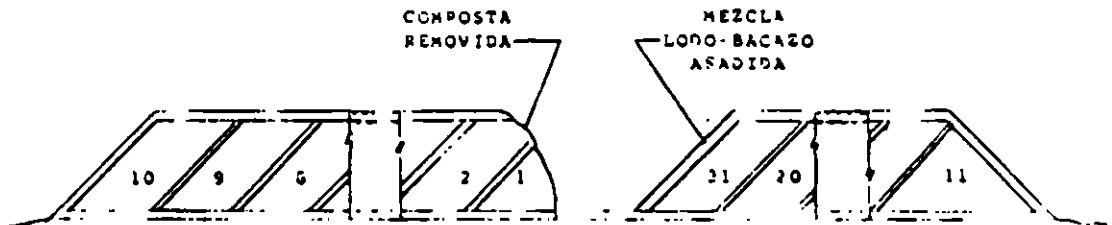


FIG. No. 4

- SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA PILA EXTENDIDA QUE MUESTRA UNA SECUENCIA TÍPICA DE LA ADICIÓN DE MEZCLA LODO-BACAZO A LA PILA. LOS NÚMEROS INDICAN EL ORDEN DE LA ADICIÓN DE LA MEZCLA.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA.

GENEREALIDADES

La generación de agua residual en la mayoría de los procesos industriales, comercio y servicios, es inevitable. Con el fin de disminuir el constante deterioro al ambiente en años recientes se han publicado leyes y reglamentos en materia de control ambiental. Como resultado de este control, el manejo y tratamiento del agua residual se ha incrementado en forma significativa.

Las decisiones que se tomen acerca del manejo del agua residual tiene un impacto directo sobre los gastos de operación, que finalmente repercuten en los costos del producto final o servicio. La decisión de mantener las instalaciones de una planta productiva o construir otra y/o la investigación de nuevos procesos de producción, tienen un efecto directo sobre el manejo del agua residual, por lo tanto es imperativo que las industrias desarrollen e implanten planes para controlar sus residuos, los cuales deben estar dentro de los costos de producción.

La selección de la mayoría de las alternativas para el manejo del agua residual, están influenciadas, entre otras variables, por las leyes y reglamentos, tanto federales, estatales y municipales, así como por la tecnología y economía. Respecto a la reglamentación en materia de agua la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología ha publicado las Normas Técnicas Ecológicas, que establecen los límites máximos permisibles y el procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de agua residual en cuerpos receptores, de agua provenientes de las siguientes industrias:

Centrales termoeléctricas convencionales (NTE-CCA-001/88).

Industrias productoras de caña de azúcar (NTE-CCA-002/88).

Industria de refinación de petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica (NTE-CCA-003/88).

Industria de fabricación de fertilizantes, excepto las que produzcan ácido fosfórico como producto intermedio (NTE-CCA-004/88)

Industrias de productos plásticos y polímeros sintéticos (NTE-CCA-005/88).

Industria de fabricación de harinas (NTE-CCA-006/88).

Industria de la cerveza y de la malta (NTE-CCA-007/88).

Industria de fabricación de asbestos y de construcción (NTE-CCA-008/88).

Industria elaboradora de leche y sus derivados (NTE-CCA-009/88).

Industria de manufactura de vidrio plano (NTE-CCA-010/88).

Industria de productos de vidrio prensado y soplado (NTE-CCA-011/88).

Industria de fabricación de caucho sintético, llantas y cámaras (NTE-CCA-012/88).

Industria del hierro y del acero (NTE-CCA-013/88).

Industria textil (NTE-CCA-014/88).

Industria de la celulosa y el papel (NTE-CCA-015/88).

Industria de bebidas gaseosas (NTE-CCA-016/88).

Industria de acabados metálicos (NTE-CCA-017/88).

Industria de laminación extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones (NTE-CCA-018/88).

Industria de impregnación de productos de aserradero (NTE-CCA-019/88).

Industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores (NTE-CCA-020/88).

Industria del curtido y acabado en pieles (NTE-CCA-021/88).

Industria de matanza de animales y empaçado de cárnicos (NTE-CCA-022/88).

Industria de envasado de conservas alimenticias (NTE-CCA-023/88).

Industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen (NTE-CCA-024/88).

Industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada (NTE-CCA-025/88).

En el anexo No. 1 se presenta la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-022/88)

Por otra parte la Comisión Nacional del Agua publicó en el año de 1991 la ley federal en derechos en materia de agua, que en su capítulo XIV artículo 276 establece que están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas físicas o morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales por arriba de las concentraciones permisibles conforme a la normatividad vigente en rios, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y

demás depósitos o corrientes de agua, así como los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltren en terrenos que sean bienes nacionales. Anexo No. 1 copia de este capítulo.

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL.

Las alternativas que generalmente se presentan, para el manejo del agua residual, ya sea en industrias o procesos ya establecidos o en proyecto, se presentan en la fig. No. 1.

El propósito de las siguientes notas es el de describir algunas de las consideraciones técnicas y económicas, que como punto de partida pueden tomarse en cuenta al evaluar y aplicar las estrategias para el manejo del agua residual generada en la industria, tomando como base las alternativas presentadas en la fig. No. 1. Se comentarán dos puntos principalmente el control del agua residual en la misma industria y las principales procesos para un pretratamiento. Debido a la extensión de los temas que se tratan algunos de estos solo se comentan, sin entrar a detalles de cálculos y diseño.

ESTUDIOS EN PLANTA

La primera etapa de un análisis comprensivo, tanto técnico como económico, es establecer una exacta base de datos. Para determinar las cantidades de residuos, fuentes, variaciones y relativa distribución, es necesario realizar un estudio en planta. Este estudio debe incluir mediciones de flujo y monitoreo, de cada una de las corrientes contaminantes, así como de la descarga total. Los resultados del estudio servirán para desarrollar las alternativas en los sistemas del manejo del agua residual y evaluar su factibilidad.

Para iniciar este estudio es necesario en diagrama exacto de la planta industrial, este deberá mostrar la localización de los procesos, suministro y distribución, transporte y tratamientos del agua residual.

En los casos donde no exista un constante monitoreo y medición de flujo, se debe implementar un plan para realizar aforos y análisis de muestras compuestas proporcionales al flujo. (el anexo No. 3 presenta estas técnicas). El periodo y frecuencia del monitoreo a las descargas estará en función del o de los procesos de la industria en particular..

Las determinaciones analíticas a realizarse, de las muestras depende de los constituyentes que contenga el agua y de las alternativas de disposición y tratamiento a ser evaluadas.

Las técnicas para la medición del flujo, igualmente dependerá de la localización de la corriente y de la precisión con que se requiera. En drenajes y canales el flujo puede determinarse mediante la instalación de vertedores o por el método de sección pendiente o velocidad. (anexo No. 2 métodos de aforo). En tuberías que trabajan a presión se pueden instalar medidores automáticos o el flujo puede estimarse por el tiempo que trabaja el equipo de bombeo. Para verificar el flujo de agua residual obtenido en campo se debe hacer un balance entre el agua suministrada, la usada en el proceso y las pérdidas.

Utilizando el diagrama de la planta y una vez que los flujos se han calculado y los análisis se han realizado, se hace un balance de flujos y cargas. El grado de complejidad de este estudio dependerá del tamaño y complejidad de la industria, pero los conceptos básicos para llevar a cabo este estudio serán los mismos.

CONTROLES EN LA PLANTA INDUSTRIAL.

Una vez que se han identificado las fuentes, flujos y cargas dentro de las instalaciones industriales, el primer esfuerzo para reducir la contaminación se debe dirigir al control en la misma industria. El control en la industria consiste en:

- una reducción de residuos líquidos.
- conservación y reciclaje y
- modificaciones al proceso.

Generalmente el control de residuos en la planta es menos costoso que instalar y operar un sistema de pretratamiento o tratamiento. Un segundo beneficio incluye la conservación de energía, agua y químicos, a través de operaciones más eficientes. Por otra parte la instalación de procesos para reducir la generación de residuos, han resultado ser procesos en los que se puede recobrar y/o reutilizar subproductos. Sin embargo este control puede estar limitado por ciertos requerimientos legales o procesos obligados.

Reducción de residuos. Un programa efectivo de reducción de residuos se basa en los resultados del estudio de la planta industrial o de producción, el cual debe incluir una lista completa de las principales materias primas, procesos químicos y sustancias auxiliares, tales como combustibles y lubricantes. se debe realizar un balance de materiales que entran y salen de cada uno de los departamentos o áreas de producción o procesos. Algunas actividades específicas para la reducción de residuos incluyen:

- Balance de materiales.
- Control de nuevos y mejores procesos.
- Procedimientos más efectivos de limpieza y mantenimiento.

- Efectivo programa de mantenimiento preventivo y
- Recuperación de sub-productos.

Los procedimientos deficientes de mantenimiento y limpieza, en un gran número de industrias, es una de las mayores fuentes de generación de contaminantes. El derrame de productos debe evitarse, cuando esto ocurre el residuo debe manejarse de tal manera que se minimice la contribución de carga al efluente de la planta. El problema con un mal programa de mantenimiento puede llevar a un mal funcionamiento del equipo y como consecuencia a derrames o escapes de tuberías y válvulas. Por lo tanto es importante que todo el personal esté debidamente instruido sobre los beneficios que representa un correcto programa de mantenimiento preventivo, para reducir la carga de contaminantes en el efluente.

Conservación y reciclaje del agua. Este consiste en disminuir el uso de agua potable o de suministro y maximizar el reuso del agua residual dentro de la planta. El efecto de la conservación y reciclaje se verá reflejado en la reducción de volumen de agua residual y en la concentración de cargas de contaminantes.

Cada proceso debe estudiarse para determinar los requerimientos mínimos de agua y la posibilidad de sustituir esta por agua tratada. Los requerimientos de calidad del agua, para la mayoría de los procesos industriales definirá la factibilidad de reusar el agua. Sin embargo en la industria donde se usa el agua para lavado, enjuagado o enfriamiento se puede implementar un sistema de reciclaje para reducir el uso de agua limpia. Algunas recomendaciones muy generales para la conservación o reciclaje de agua son:

- Métodos de limpieza en seco.
- Instalar medidores de agua en cada departamento o proceso para controlar el uso.
- Instalación de válvulas automáticas en las líneas, para cerrar el flujo cuando esta no se utiliza.
- Controles de presión en las mangueras.
- Minimizar las pérdidas de calor en los intercambiadores de calor para usar menos agua de enfriamiento.
- Separar las líneas de agua fría y caliente.
- En los programas regulares de mantenimiento preventivo incluir estudios de fugas y derrames.
- Limpieza con sistemas de alta presión.

Modificaciones al proceso. Aunque, generalmente la modificaciones de estos es mucho más costoso que simples cambios en las operaciones, pueden ser muy efectivos para controlar la generación de cargas contaminantes. Las modificaciones en procesos pueden consistir en cambios en un proceso individual y en ocasiones a todo un departamento. El costo-beneficio de tales modificaciones dependerá de la relativa reducción de contaminantes. En el diseño de nuevas plantas, cada proceso debe evaluarse para hacer un uso más eficiente del agua y minimizar la generación de contaminantes.

ALTERNATIVAS DE PRETRATAMIENTO

En la mayoría de los casos las operaciones de pretratamiento forman parte o son el tratamiento total del agua residual. Sin embargo en este caso mencionaremos los procesos como parte de un pretratamiento.

El pretratamiento puede definirse como una operación o serie de operaciones que cambian las características de un agua residual, para hacer esta más aceptable para un tratamiento subsecuente o para su disposición final. El pretratamiento se utiliza después de que se han implantando todos los posibles controles en la industria. Los tres principales procesos de pretratamiento se pueden clasificar como físicos, químicos y biológicos.

Procesos físicos: Los procesos físicos, generalmente utilizados en el pretratamiento de residuos industriales, comprenden la homogenización del efluente total o de determinadas corrientes y la separación de ciertos constituyentes mediante la aeración, cribado, desarenadores, sedimentación y flotación. Operaciones físicas más avanzadas tales como la filtración, adsorción, diálisis y extracción de solventes, generalmente se utilizan para un tratamiento completo y no en un pretratamiento.

La homogenización de flujos, generalmente se usa como una etapa previa al tratamiento, principalmente en industrias donde las fluctuaciones de flujo y carga de contaminantes son variables. El diseño de un sistema capaz de tratar estas fluctuaciones es técnicamente más complicado y costoso. Un sistema de homogenización amortigua tales fluctuaciones y permite enviar un flujo y carga más uniforme a las unidades posteriores, de esta manera se reduce la complejidad del diseño, el tamaño y costos.

El propósito de la separación es el de remover materia en suspensión o flotante del agua residual. Existen varios tipos de rejillas para remover sólidos gruesos. Los tanques de sedimentación, con o sin la adición de químicos, es otro sistema para remover sólidos en suspensión. Estos sistemas de sedimentación pueden

variar desde simples tanques a unidades rectangulares o circulares con remoción mecánica de lodos y natas. El anexo No. 4 y 5 presenta algunas consideraciones sobre estos sistemas.

Otro método para la separación de sólidos es la flotación con gas o aire. Materia flotante como la grasa y aceite puede separarse mediante baffles o mamparas y removerse en forma manual o mecánica. Frecuentemente estos sistemas remueven al mismo tiempo sólidos sedimentables.

Procesos químicos. Existen dos procesos químicos principalmente utilizados en el pretratamiento de residuos industriales, estos son la neutralización y la oxidación. Procesos químicos tales como la coagulación - sedimentación e intercambio iónico, en ocasiones se utilizan para disminuir o eliminar la concentración de metales pesados.

Respecto al pH, generalmente se requiere ajustar a un rango de 6 a 9, esto con el fin de evitar daños a los sistemas de colección e instalaciones y equipos en la planta de tratamiento. El grado de neutralización dependerá del volumen y concentración del residuo y de la capacidad de amortiguamiento del agua con que se mezcla, dentro de la industria o fuera de ella.

El propósito de la oxidación aplicada al tratamiento de residuos industriales es muy variada, algunas aplicaciones son:

- Para reducir carga orgánica.

- Para remover olores o prevenir la generación de estos.

Para mejorar la remoción de grasa en unidades de flotación y sedimentación.

Para oxidar componentes específicos, tales como cianuros. Entre los oxidantes más utilizados se encuentran el oxígeno, aire, cloro, peróxido de hidrógeno y, ozono. Otros agentes oxidantes tales como el permanganato de potasio se usan en casos específicos.

Procesos biológicos: Un proceso con tratamiento biológico se diseña principalmente para reducir carga orgánica. De las principales ventajas de estos sistemas es que no requieren de químicos para llevar a cabo el tratamiento, sin embargo si requieren de personal capacitado para operar en forma adecuada un proceso biológico.

Los procesos biológicos aerobios más comunes incluyen: Filtros biológicos, lodos activados, biodiscos y lagunas. De los anaerobios se pueden mencionar los digestores, digestores empacados, reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA). De estos procesos, en la República mexicana, existen más instalaciones de

sistemas de lodos activados que de otros procesos, por lo que el en anexo No. 6 se presenta una breve descripción del tratamiento secundario por lodos activados.

Debido a la relativa sensibilidad de los sistemas de tratamiento biológico, en muchos casos el agua residual industrial requiere un tratamiento previo para reducir o eliminar compuestos que puedan inhibir la actividad de los microorganismos. La tabla No.1 presenta una relación de los valores máximos de compuestos y elementos que tienen efectos inhibitorios en un proceso de lodos activados.

Tabla No. 1 valores límites que pueden causar efectos inhibitorios en un proceso de lodos activados. ref. (2, y ref. (3).

Contaminante	Ref. (1).	Ref. (2).
Aluminio	---	15-26
Amoniaco	---	480.0
Arsénico	0.1	0.1
Bencidina	500.0	---
Benzeno	100-500	---
Boro	---	0.05-100
Cadmio	1-10	10-100
Calcio	---	2500.0
Cianuros	0.1-5	0.1-5
Cinc	0.3-5	0.08-10
2 Clorofenol	20-200	---
Cobre	1.0	1.0
Cromo +3	15-50	50.0
Cromo +6	1-10	1-10
2-4 Diclorofenol	64	---
2-4 Dimetrifenol	40-200	---
Etilbenzeno	200	---
Fenol	50-200	200
Mercurio	0.1-1.0	0.1-5.0
Naptaleno	500	---
Niquel	1-2.5	1-2.5
Nitrobenceno	30-500	---
Pentaclorofenol	50	---
Plata	0.25-5.0	5.0
Plomo	0.1-5.0	0.1
Tolueno	200	---

Ref. (2) Richard M. Anthony, Lawrence H Breimhurst.

"Determining maximum influent concentration of priority pollutants for treatment plants"; Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 53, Number 10, oct. 1981.

Ref. (3) Water pollution Control Federation " Wastewater Treatment Plant Design", Manual of practice No. 9, 1977.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***
Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales
A n e x o

Autor: Ing. José Luis
Torrescano España

Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz

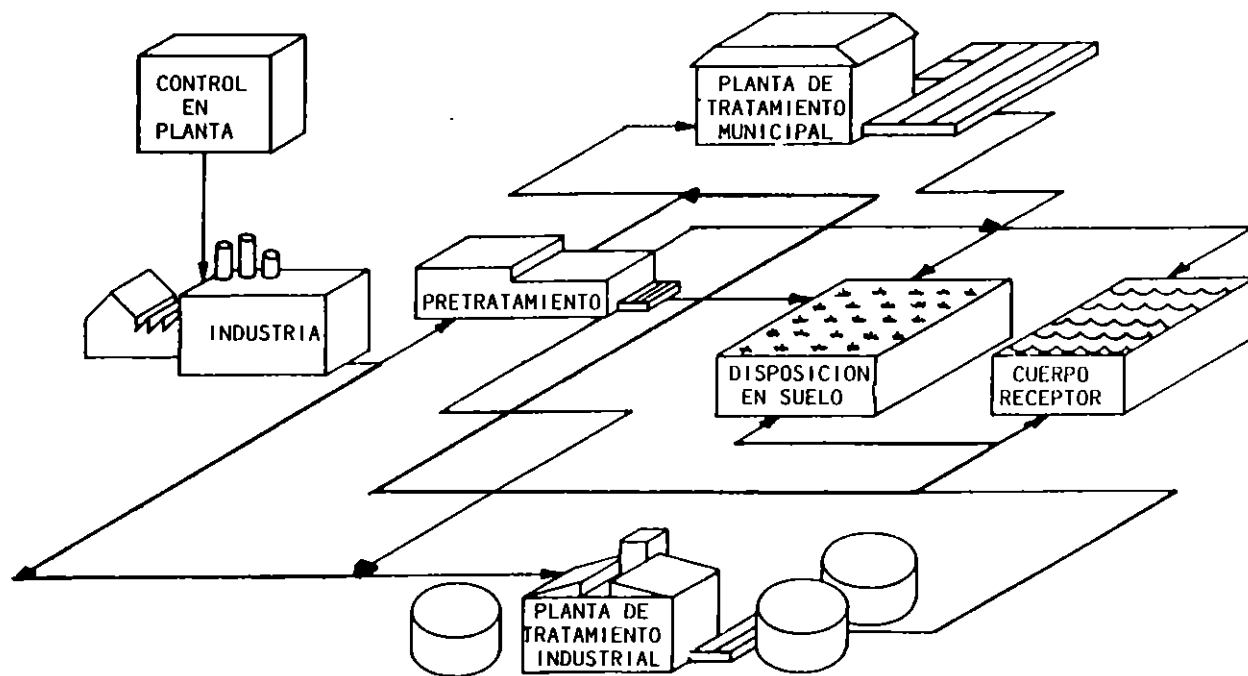
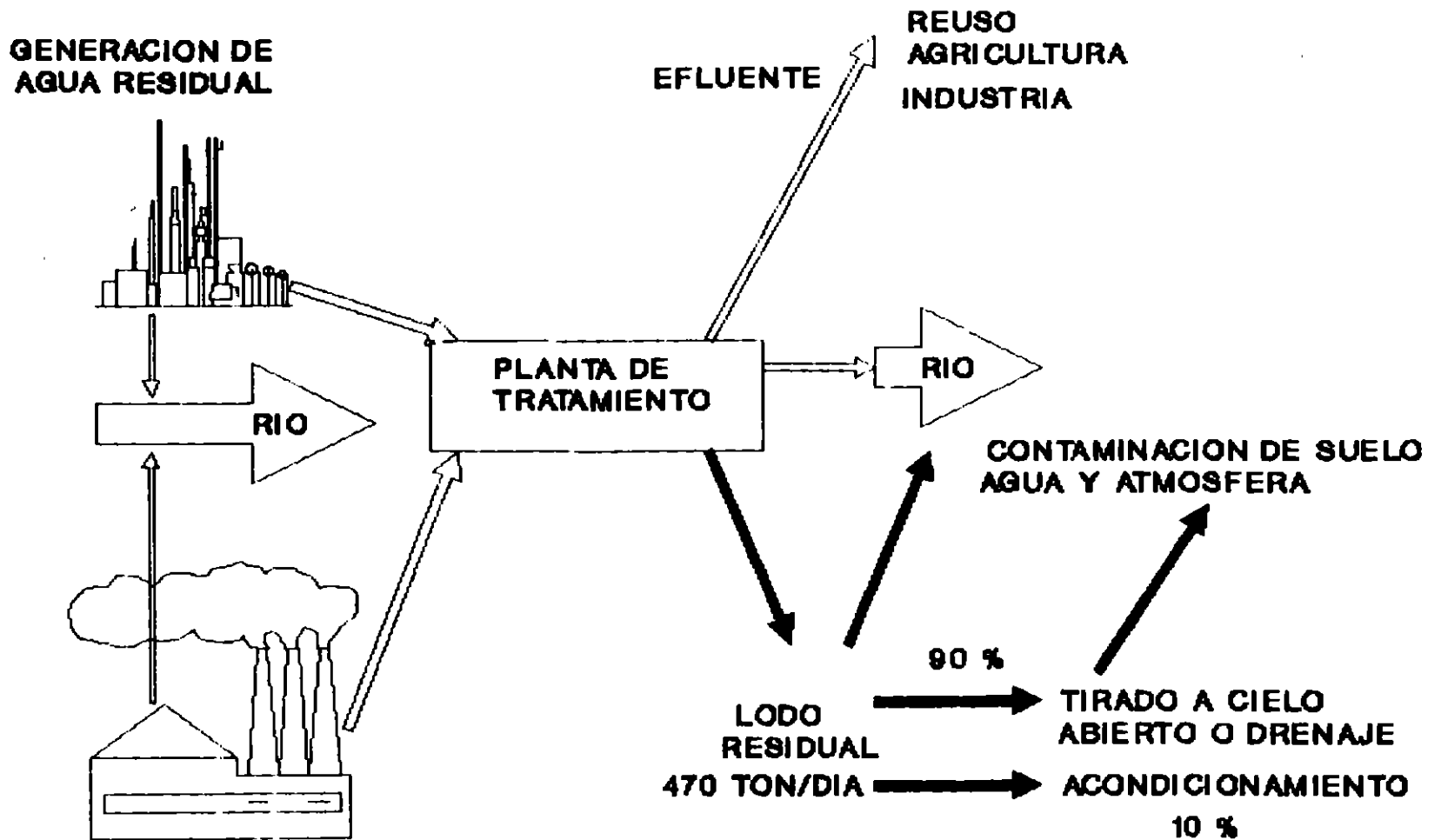


FIG. No. 1 ALTERNATIVAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

SITUACION ACTUAL DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS RESIDUALES.



LODOS RESIDUALES

- GENERALIDADES:**
- ES SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL
 - CANTIDAD DE AGUA DE 93-99.5 %

GENERACION Y CARACTERISTICAS:

- LODO PRIMARIO:**
- GENERADO POR SEDIMENTACION
 - CONCENTRACION DE SOLIDOS 3-7 %
 - PRODUCCION DDE 100-300 mg/l

ESTIMACION: SST X EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

LODO SECUNDARIO (PROCESO BIOLÓGICO):

CONCENTRACION DE SOLIDOS DE 0.5-2 %

PRODUCCION: LODOS ACTIVADOS, FILTROS BIOLÓGICOS Y BIODISLUS

LODO TERCARIO: SISTEMAS AVANZADOS COMO PRECIPITACION QUIMICA, FILTRACION, ETC., SU PRODUCCION DEPENDE DEL QUIMICO UTILIZADO Y DE LA VELOCIDAD DE ADICION1

CARACTERISTICAS FISICAS DEL LODO

COLOR DE PARDO A GRIS Y OLOR DESAGRADABLE

CONTENIDO DE MATERIA SECA Y MATERIA VOLATIL

CONTENIDO DE AGUA:

**AGUA LIBRE.- LA QUE SE ELIMINA FACILMENTE POR
FILTRACION O DECANTACION**

**AGUA LIGADA.- CONTENIDA EN MOLECULAS QUIMICAS
COLOIDES Y CELULAS DE MATERIA
ORGANICA**

**CARGA ESPECIFICA: CAPACIDAD DE SEDIMENTACION
DEL LODO EN Kg/m²/d**

**RESISTENCIA ESPECIFICA: CAPACIDAD DE FILTRACION
BAJO UNA PRESION DADA**

**COMPRESIBILIDAD: PERMITE CONOCER LA SEQUEDAD
LIMITE**

**PODER CALORIFICO: LA MAT[●] ORGANICA PRESENTE LE
DA UNA CAPACIDAD DE COMBUSTION**

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL LODO

**MATERIA ORGANICA: GRASAS Y ACEITES, FIBRAS,
ALMIDONES Y MICROORGANISMOS**

**ELEMENTOS NUTRIENTES: NITROGENO TOTAL, POTASIO,
FOSFORO**

**MICROCONTAMINANTES ORGANICOS: DETERGENTES
MEDICINAS**

**TOXICOS ORGANICOS: HIDROCARBUROS AROMATICOS
POLINUCLEARES, PLAGUICIDAS,
PCBs**

METALES PESADOS

CARATERISTICAS MICROBIOLOGICAS

**BACTERIAS: AEROBIAS ESTRICTAS Y FACULTATIVAS
ANAEROBIAS ESTRICTAS Y FACULTATIVAS**

**MICROORGANISMOS PATOGENOS: BACTERIAS, HELMINTOS
PROTOZOARIOS, VIRUS**

OTROS: HONGOS, ALGAS Y MACROFAUNA

LODOS DE SEDIMENTADORES PRIMARIOS

EFICIENCIA DE REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)
EN SEDIMENTADORES PRIMARIOS : 50 A 60 % (LITERATURA)

EFICIENCIA DE REMOCION DE SST EN SED. PRIMARIO DE ECCACIV:
53 % (FEBRERO DE 1993)

EN LOS CASOS DONDE LA GENERACION DE LODO ES DE 100 A 300
mg/L. Y LA EFICIENCIA DE REMOCION DE 50 A 60 %, CONSIDERA:

- TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA.
- LODO NO TIENE FLOCULANTES QUIMICOS.
- NO SE AGREGAN LODOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS.

EFFECTOS DE LAS DESCARGAS INDUSTRIALES:

- DEPENDE DEL GIRO DE INDUSTRIAS QUE DESCARGAN.
- EN ALGUNOS CASOS AUMENTA LA CONCENTRACION DE SST Y EN OTROS DISMINUYE LA GENERACION DE SOLIDOS.

PRODUCCION Y CARACTERISTICAS DE LODOS LODOS DE SEDIMENTADORES PRIMARIOS

LA MAYORIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZAN LA SEDIMENTACION PRIMARIA PARA REMOVER, FACILMENTE, SOLIDOS SEDIMENTABLES.

LODO DE SEDIMENTACION PRIMARIA GENERALMENTE MAS FACIL DE MANEJAR (DESAGUADO, ESPESAMIENTO) QUE LOS LODOS BIOLOGICOS O QUIMICOS.

GENERACION DE LODO PRIMARIO O CRUDO:

100 A 300 mg/ L. DE AGUA RESIDUAL TRATADA (LITERATURA)

GENERACION DE LODO PRIMARIO EN ECCACIV (FEB-93)

FLUJO = 191 L/seg.

SST(AFLUENTE) = 277 mg/L. 4,571 Kg/d.

SST(EFLUENTE) = 129 mg/L. 2,129 Kg/d.

LODOS REMOVIDOS DEL SISTEMA = 2,442 Kg/d.

REMOCION DE LODO EN SEDIMENTACION PRIMARIA (ECCACIV).

148 mg/L.

EJEMPLO PARA CALCULAR LA GENERACION DE LODO DE DESECHO EN UN PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL:

Q DE ALIMENTACION = 10 l/seg.

DBO₅ AFLUENTE = 350 mg/l.

DBO₅ EFLUENTE = 40 mg/l.

DBO⁵ REMOVIDA / DIA = 268 kg/DIA.

LODO DE DESECHO = 268 * 0.5 = 134 kg/DIA.

SI EL LODO TIENE UNA CONCENTRACION DE 15,000 mg/L.

EL VOLUMEN DE LODO SERA = 8.9 M³/DIA.

DATOS TIPICOS DE CARACTERISTICAS FISICAS Y CANTIDAD DE LODO GENERADO DE VARIOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

PROCESO DE TRATAMIENTO	GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL LODO	GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LODO	SOLIDOS SECOS, Kg/1,000 M3	
			RANGO	TIPICO
SEDIMENTACION PRIMARIA	1.4	1.02	110 - 170	150
LODOS ACTIVADOS (LODO DE DESECHO)	1.25	1.005	70 - 100	85
FILTROS BIOLÓGICOS (LODO DE DESECHO)	1.45	1.025	55 - 90	70
AERACION EXTENDIDA (LODO DE DESECHO)	1.30	1.015	80 - 120	100 #
LAGUNAS AEREADAS (LODO DE DESECHO)	1.30	1.010	80 - 120	100 #

SE ASUME QUE NO HAY SEDIMENTACION PRIMARIA.

GENERACION DE LODO DE DESECHO EN EL PROCESO DE
LADOS ACTIVADOS.

TIPO DE PROCESO	LODO DE DESECHO KG/KG DBO ₅ REMOVIDA
AERACION EXTENDIDA	0.15 - 0.3
CONVENCIONAL	0.4 - 0.6
ALTA TASA	0.5 - 0.7
ESTABILIZACION-CONTACTO	0.4 - 0.6

**GENERACION DE SOLIDOS Y LODO EN UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS**

OPERACION UNITARIA O PROCESO	TIPO DE SOLIDO O LODO	OBSERVACIONES
REJILLAS	SOLIDOS GRUESOS	GENERALMENTE BASURA, LA CUAL ES RETIRADA Y DISPUESTA EN LUGARES ADECUADOS.
DESARENADORES	ARENA Y ALGUNAS VECES ESPUMA	ARENA, GRAVA Y PIEDRAS QUE LLEGAN CON EL AGUA RESIDUAL.
PREAERACION	ESPUMA	EN ALGUNAS PLANTAS ESTA REMOCION DE ESPUMA NO SE LLEVA A CABO EN ESTAS UNIDADES.
SEDIMENTACION PRIMARIA	LODO PRIMARIO O CRUDO Y NATAS SOBRENADANTES	LA CANTIDAD DE LODO Y NATAS DEPENDE DEL SISTEMA DE DRENAJE Y SI EXISTEN DESCARGAS INDUSTRIALES.
TANQUE DE AERACION O REACTOR	SOLIDOS SUSPENDIDOS	PRODUCCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS POR LA CONVERSION DE LA DBO. SI SE RETIRAN LODOS DEL TANQUE DE AERACION, GENERALMENTE SE REQUIERE UN SISTEMA DE ESPESAMIENTO PARA LOS LODOS.
SEDIMENTACION SECUNDARIA	LODO SECUNDARIO O BIOLOGICO Y NATAS SOBRENADANTES	EN MUCHOS CASOS EL LODO RETIRADO DEL SISTEMA SE REALIZA DE ESTAS UNIDADES. ALGUNAS TIENEN SISTEMA PARA RETIRAR NATAS SOBRENADANTES.
INSTALACIONES DE PROCESAMIENTO DE LODO	LODO Y CENIZAS.	LAS CARACTERISTICAS Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL LODO Y CENIZAS DEPENDE DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS QUE SON USADOS.

LODOS DE COAGULACION Y PRECIPITACION QUIMICA

CUANDO SE AGREGAN QUIMICOS AL AGUA RESIDUAL PARA REMOCION DE FOSFORO O COAGULACION DE SOLIDOS NO SEDIMENTABLES, SE FORMAN GRANDES CANTIDADES DE PRECIPITADOS.

LA CANTIDAD DE SOLIDOS GENERADOS EN UN TRATAMIENTO QUIMICO DEPENDERA DE:

- CANTIDAD Y TIPO DE QUIMICO(S) AGREGADOS.**
- CONSTITUYENTES QUIMICOS DEL AGUA RESIDUAL.**
- EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE COAGULACION Y SEDIMENTACION.**

ES DIFICIL PREDECIR LA CANTIDAD DE LODO PRODUCIDO.

EN LA PRACTICA LAS PRUEBAS DE JARRAS ES UN MEDIO PARA ESTIMAR LA GENERACION DE LODOS QUIMICOS.

TRATAMIENTO DE LODO

ACONDICIONAMIENTO

ES CUALQUIER TRATAMIENTO BIOLÓGICO, QUÍMICO O FÍSICO DE UN LODO PARA AUMENTAR LA REMOCIÓN DE AGUA.

FLOCULACIÓN.- ADICIÓN DE PRODUCTOS PARA DESESTABILIZAR COLOIDES POR COAGULACIÓN Y FORMAR FLOCULOS.

QUÍMICO	DOSES
CLORURO FÉRICO	20 - 63Kg/TON DE LODO SECO
CAL	150 - 550Kg/TON DE LODO SECO
POLIELECTROLITOS	0.5 - 5Kg/TON DE LODO SECO

TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

CONGELACIÓN.- CONSISTE EN CONGELAR EL AGUA CONTENIDA EN LOS LODOS CUANDO SE INYECTA UN GAS, GENERALMENTE BUTANO.

TRATAMIENTOS CON CALOR.- SE CALIENTA EL LODO RESIDUAL HASTA TEMPERATURAS DE 180 - 240 C, A UNA PRESIÓN DE 250 A 400 PSIG POR PERIODOS DE 15 A 40 MINUTOS. PRODUCE UNA TORTA DE LODO DE 30 A 50% DE SÓLIDOS Y DESINFECTA EL LODO.

DIGESTION AEROBIA

ES LA DEGRADACION BIOLÓGICA DE LA MATERIA ORGANICA EN PRESENCIA DE OXIGENO, OBTENIENDO COMO PRODUCTOS FINALES LODO DIGERIDO, CO_2 , AGUA Y NH_3 .

VENTAJAS

MENOS COSTOS DE CAPITAL
FACIL DE OPERAR
NO GENERA OLORES
SOBRENADANTE CON BAJA
CONCENTRACION DE
CONTAMINANTES

DESVENTAJAS

PRODUCE LODO CON POCOS
CARACTERISTICAS DE DESAGUADO
ALTOS COSTOS DE ENERGIA POR
CONSUMO DE OXIGENO

ESTABILIZACION CON CAL

ES LA ADICION DE CAL AL LODO HASTA ALCANZAR UN pH DE 12 O MAYOR DURANTE ODS HORAS

VENTAJAS

REDUCCION DE
MICROORGANISMOS
PATOGENOS
ELIMINA MALOS OLORES

DESVENTAJAS

INCREMENTA LA MASA DEL LODO
INCREMENTA COSTOS DE TRANSPORTE
Y DISPOSICION FINAL

DIGESTOR AEROBIO PARAMETROS TIPICOS DE DISEÑO

TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS:

1) PARA REDUCCION DE 40 % DE SSV.

DIAS	TEMP. DEL LIQUIDO, C.
-------------	------------------------------

108	4
------------	----------

31	16
-----------	-----------

18	27
-----------	-----------

2) PARA REDUCCION DE 55 % DE SSV.

386	4
------------	----------

109	16
------------	-----------

64	27
-----------	-----------

REQUERIMIENTOS DE OXIGENO:

1) 2 Kg DE O₂ / Kg DE SSV DESTRUIDOS A UNA TEMP. DE 45 C O MENOS.

2) 1.45 Kg DE O₂ /Kg DE SSV DESTRUIDOS A UNA TEMP. DE 45 C O MAYOR.

OXIGENO RESIDUAL :

1 mg/L. DE O₂ EN LAS PEORES CONDICIONES DE DISEÑO

CONCENTRACION DE SOLIDOS EN PURGA:

2 A 3.5 % DE SOLIDOS.

DIGESTORES ANAEROBIOS TERMOFILICOS PARAMETROS TÍPICOS DE DISEÑO

<u>PARAMETRO</u>	<u>BAJA TASA</u>	<u>ALTA TASA</u>
CRITERIO DE VOLUMEN (M3 / CAPITA)		
LODO PRIMARIO	0.056 - 0.084	0.036
LODO PRIMARIO MAS LODO ACT., KgSSV/M3	0.11 - 0.14	0.076-0.092
TASA DE CARGA DE SOLIDOS KgSSV/M3	0.64 - 1.6	2.4-6.4
TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS, DIAS	30 - 60	10 - 20

DESHIDRATACION DE LODOS

ES UNA OPERACION MECANICA PARA REDUCIR EL AGUA PRESENTE EN EL LODO.

METODOS:

LECHOS DE SECADO.- SE USA PARA DESHIDRATAR LODOS EXTENDIENDOLO EN CAPAS DE 20 A 30 CM.

LAGUNAS DE SECADO.

USO.- DESHIDRATACION DE LODOS DIGERIDOS.

VENTAJAS: BAJO CONSUMO DE ENERGIA

NO REQUIERE QUIMICOS.

BAJOS COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

DESVENTAJAS: PUEDE GENERAR OLOR.

PROBLEMAS DE VECTORES.

POSIBLE CONTAMINACION DE ACUIFEROS.

CENTRIFUGAS.- EQUIPO UTILIZADO PARA SEPARAR EL LODO BAJO LA FUERZA CENTRIFUGA

TIPOS DE CENTRIFUGAS: CAMISA MACIZA.

DE DISCOS

DE CANASTA.

TORTA DE LODOS : 20 - 30 % DE SOLIDOS TOTALES.

17

FILTROS DE LODO .- RETIENEN LAS PARTICULAS SOLIDAS SOBRE UN MATERIAL POROSO COMO ARENA O UNA TELA

TIPOS DE FILTROS.- FILTROS AL VACIO, FILTROS A PRESION, DE BANDAS Y DE PLATOS

ESTABILIZACION DE LADOS:

ES EL TRATAMIENTO QUE SE LE HACE AL LODO PARA HACERLO MENOS PUTRESCIBLE. DISMINUIR OLORES Y DISMINUIR LA CONCENTRACION DE MICROORGANISMOS PATOGENOS

ESTABILIZACION BIOLOGICA

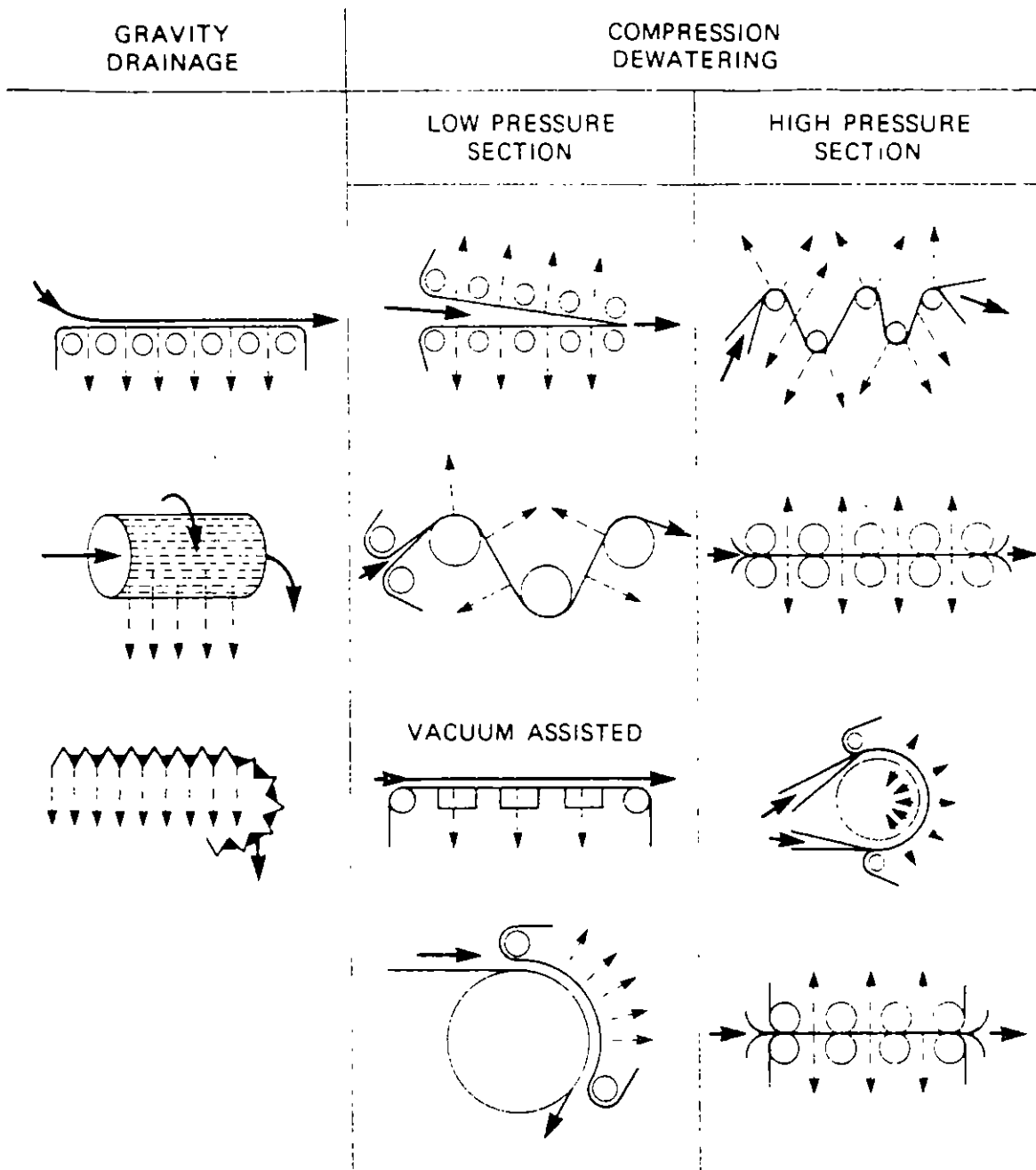
DIGESTION ANAEROBIA.- DEGRADACION BIOLOGICA DE SUSTANCIAS ORGANICAS EN AUSENCIA DE OXIGENO, DURANTE ESTAS REACCIONES SE LIBERA ENERGIA Y LA MAT. ORGANICA SE CONVIERTE EN METANO, CO₂ Y AGUA

VENTAJAS.- REDUCE LA MASA DEL LODO. PRODUCE METANO Y UN LODO ADECUADO PARA USO EN SUELO

DESVENTAJAS.- ALTOS COSTOS, SENSIBLE A CAMBIOS AMBIENTALES Y PRODUCE UN SOBRENADANTE CON ALTA CONC. DE CONTAMINANTES

DOSIS TIPICAS DE POLIELECTROLITO PARA FLOCULACION, UTILIZADOS EN
FILTROS PRENSA.

TIPO DE LODO	gr. DE POLIMERO SECO POR kg. DE LODO SECO
PRIMARIO	2 - 4
PRIMARIO MAS FILTROS BIOLOGICOS	1.5 - 5
PRIMARIO MAS LODO ACTIVADO (AIRE)	2 - 5
LODO ACTIVADO (AIRE)	4 - 6
LODO ACTIVADO (OXIGENO)	4 - 6
DIGERIDO AEROBICAMENTE, PRIMARIO MAS LODO ACTIVADO (AIRE)	2 - 5
DIGERIDO ANAEROBICAMENTE, PRIMARIO	1 - 3
DIGERIDO ANAEROBICAMENTE, PRIMARIO MAS LODO ACTIVADO (AIRE)	1.5 - 4.5
ECCACIV (FEB- 1993) LODO DIGERIDO AEROBICAMENTE, PRIMARIO MAS LODOS ACTIVADOS.	3.71



ALTERNATIVE DESIGNS FOR OBTAINING WATER RELEASES WITH BELT FILTER PRESSES

**OTROS METODOS: PASTEURIZACION DE LODOS, TRATAMIENTO
CON CLORO U OZONO, RAYOS ULTRAVIOLETA
E IRRADIACION DE LODOS**

SISTEMAS DE DISPOSICION

RELLENO SANITARIO:

**ES LA DISPOSICION DEL LODO EN UN AREA ESPECIFICA, CON O
SIN RESIDUOS SOLIDOS Y ENTERRADOS BRJO UNA CUBIERTA DE
SUELO**

EXISTEN 2 TIPOS DE DISPOSICION EN RELLENO:

- DISPOSICION DE LODOS EN ZANJAS O TRINCHERAS**
- CODISPOSICION, LODO-DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES
LODO-TIERRA**

**VENTAJAS: RAPIDA ESTABILIZACION Y CONTROL DE CONTAMINACION
AMBIENTAL**

**DESVENTAJAS: ALTOS COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO,
ALTOS REQUERIMIENTOS DE SUELO Y GENERACION DE
LIXIVIADOS**

INCINERACION

ES EL QUEMADO DE LOS SOLIDOS VOLATILES DE LOS LODOS EN PRESENCIA DE OXIGENO.

VENTAJAS

**80% DE REDUCCION DE LODO
REDUCCION TOTAL DE
MICROORGANISMOS PATOGENOS
OXIDACION DE COMPUESTOS
ORGANICOS**

DESVENTAJAS

**ALTOS COSTOS DE OPERACION
Y MANTENIMIENTO
CONTAMINACION ATMOSFERICA SI
NO HAY CONTROL DE EMISIONES
DISPOSICION DE CENIZAS**

DISPOSICION AL SUELO

**ES LA DISPOSICION DEL LODO SOBRE O DEBAJO DE LA SUPERFICIE DEL SUELO.
EL LODO SE UTILIZA COMO FERTILIZANTE O ACONDICIONADOR DE SUELOS.**

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTEO

HUMEDAD 10 - 60 %

TEMPERATURA: RANGO TERMOFILICO 40 - 60 C.

POTENCIAL HIDROGENO 6 - 8

NUTRIENTES: C/N DE 20:1 Y 40:1

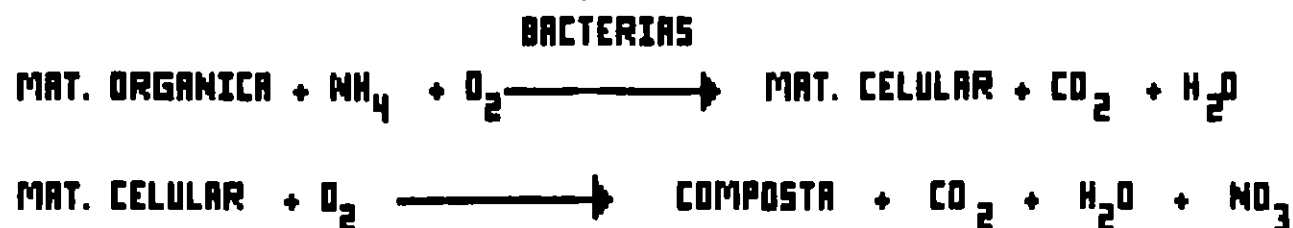
OXIGENO: 5 a 15 % EN VOLUMEN.

SISTEMA DE COMPOSTEO

ESTABILIZACION BIOLÓGICA DE LA MATERIA ORGÁNICA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS

REACCIONES:

FASE 1



MATERIALES ACONDICIONADORES:

PROPORCIONAN ESTRUCTURA, TEXTURA Y POROSIDAD AL LODO

PROCESO DE COMPOSTEO:

LA SECUENCIA DE OPERACIONES DEL PROCESO ES LA SIGUIENTE:

**CONTROL AGROSANITARIO PARA
EL USO DE LA COMPOSTA**

U S O S

SEGURIDAD DE LA COMPOSTA

AGRICOLA

-SIN RIESGO PARA LA CADENA ALIMENTICIA.
SE DOSIFICA SEGUN EL TIPO DE CULTIVO Y SUELO.

VIVEROS

-SEGURIDAD SANITARIA PARA PRODUCTORES.
LA COMPOSTA SE MEZCLA CON SUSTRATOS ORGANICOS.

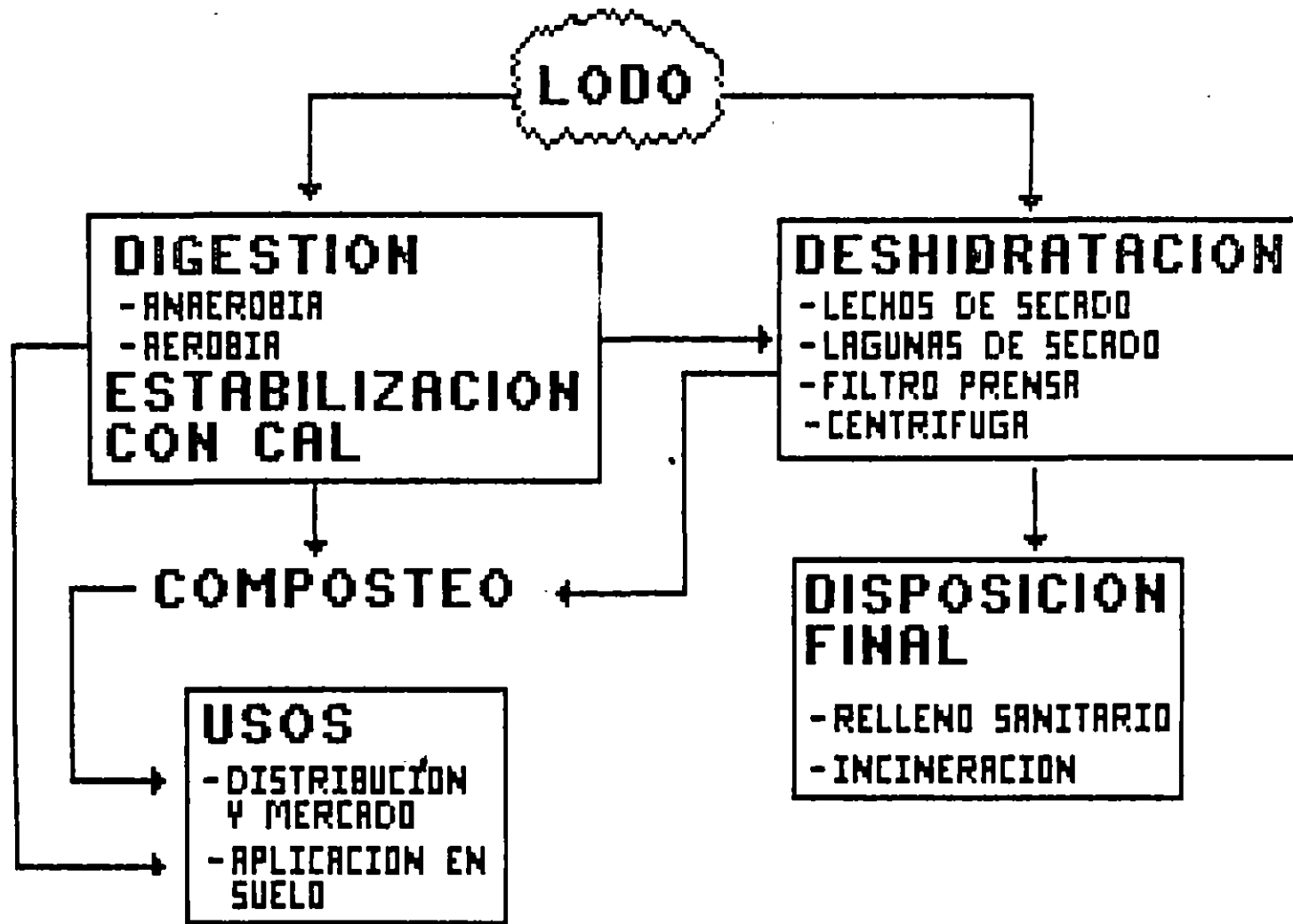
CASERO

-SIN RIESGO PARA USUARIOS, PRINCIPALMENTE NIÑOS.

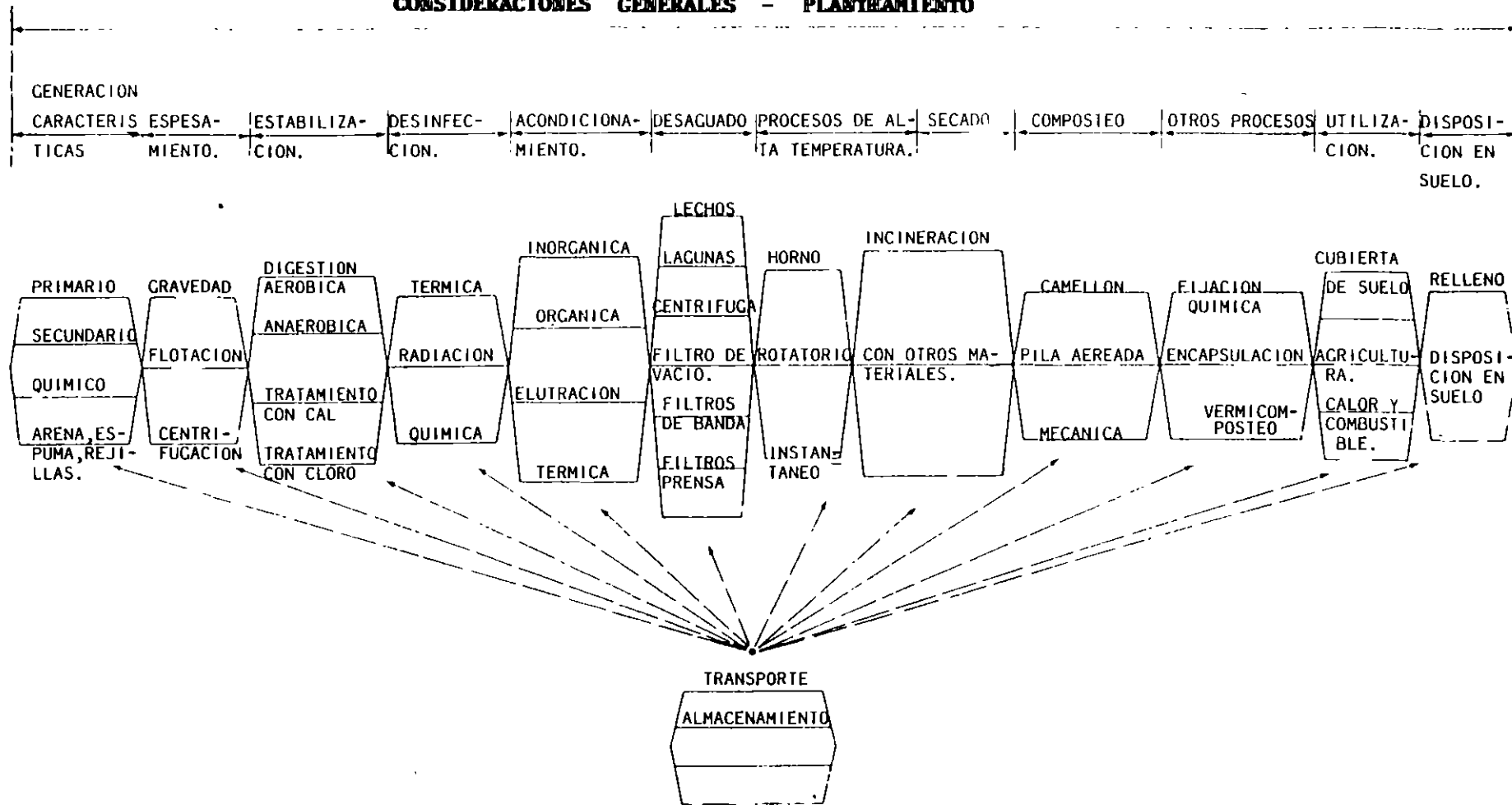
**SILVICOLA Y EN
RECUPERACION DE
SUELOS EROSIONADOS**

-APLICACION INTENSIVA, SIN PELIGRO DE CONTAMINAR LOS ECOSISTEMAS NATURALES.
SE CONTROLA EL NUMERO DE APLICACIONES.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LODOS RESIDUALES



CONSIDERACIONES GENERALES - PLANTAMIENTO

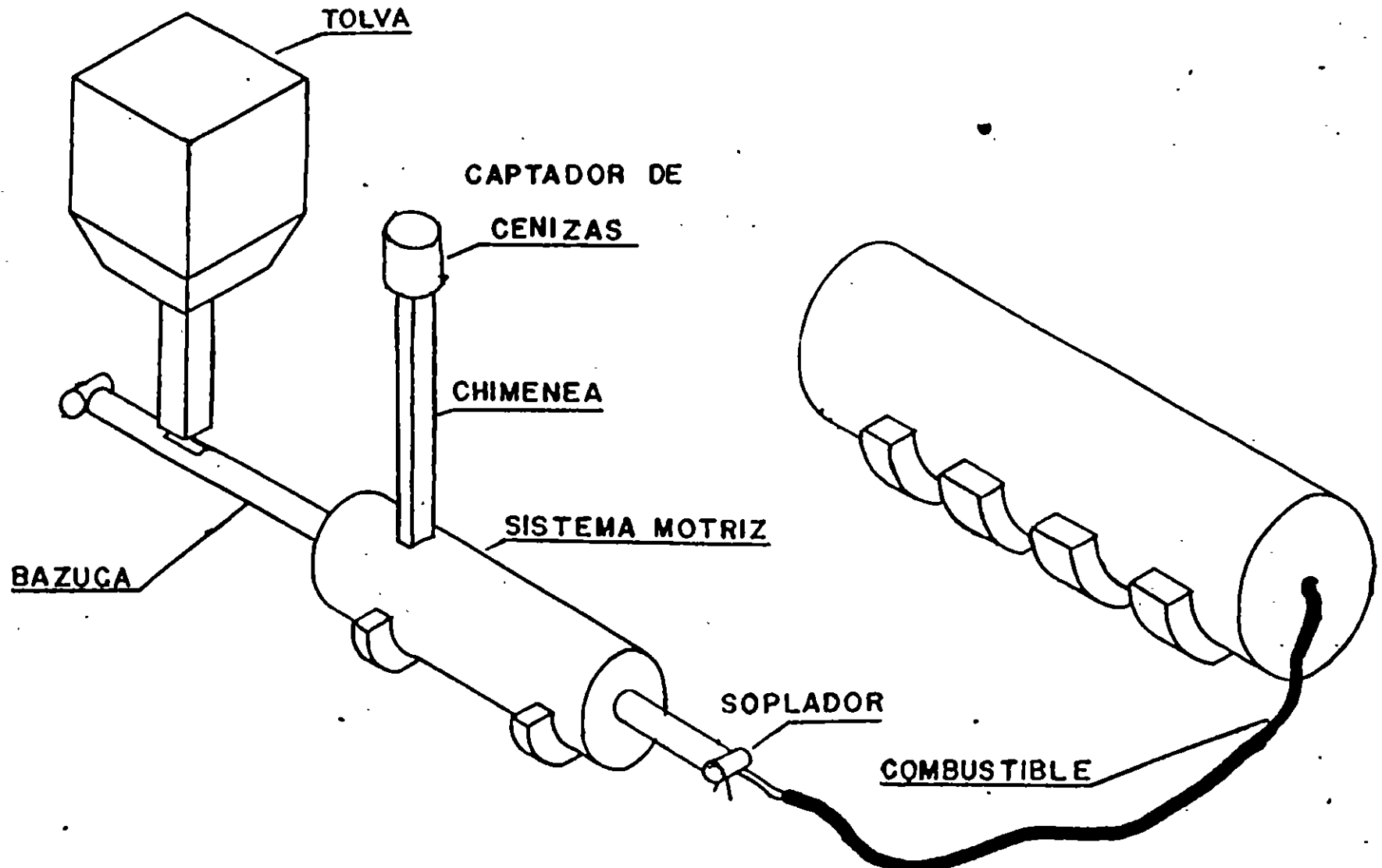


CLASIFICACION DE OPCIONES PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS.



empresa para el control la contaminación del agua en la zona de CIVAC

SISTEMA DE INCINERACION DE LODOS RESIDUALES



E C C A C I V

CARACTERISTICAS DEL INCINERADOR

TIPO	ROTATORIO A CONTRA CORRIENTE
CAPACIDAD MAXIMA	40 M3 DE LODO/DIA AL 20 % DE SOLIDOS
CONSUMO DE COMBUSTIBLE, DIESEL	40 L / HORA
TEMPERATURA DE COMBUSTION	1000 GRADOS C.
CENIZAS	3 A 5 %
TIEMPO DE RETENCION	25 A 75 MIN.
PERSONAL REQUERIDO PARA OPERACION POR TURNO	1 OPERADOR 1 AYUDANTE
COSTO DE TRATAMIENTO	\$ 500 MILLONES/AÑO
CONTROL DE EMISIONES	EN ESTUDIO

E C C A C I V
DISPOSICION ACTUAL DE LODOS (1993)

CARACTERISTICAS DEL RELLENO SANITARIO

UBICACION : TETLAMA, TEMIXCO, MORELOS

SUELO : CALIZO

TIPO DE RELLENO: TRINCHERAS 10 x 150 M.

AREA TOTAL: 7,500 METROS CUADRADOS

MAQUINARIA:

1 TRASCAVO

1 TRACTOR

2 CAMIONES DE VOLTEO

MATERIAL ACONDICIONADOR Y DE CUBIERTA:

TIERRA DE LA MISMA AREA DEL RELLENO

PROPORCION DE MEZCLADO:

2 DE MATERIAL : 1 DE LODO

COSTO DE TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL:

N\$ 900,000 / AÑO

E C C A C I V
COSTOS DE MANEJO Y DISPOSICION DE LODO

1.- POLIMERO (CATIONICO).....	N\$ 468,000
2.- REFACCIONES DE FILTRO PRENSA.....	144,000
3.- MANTENIMIENTO EQUIPO DEL AREA...	12,000
4.- TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL A RELLENO SANITARIO (30 Km).....	900,000
T O T A L A N U A L	N\$ 1'524,000

VOLUMEN DE LODO DISPUESTO EN RELLENO SANITARIO :

- 18 M³ /DIA. 3,600 KG / DIA.
- 4,680 M³ / AÑO 936,000 KG / AÑO.
- CONCENTRACION DE SOLIDOS 20 %.

DOSIS APROXIMADA DE POLIMERO.

- 130 A 250 mg/l. DE LODO BASE HUMEDA AL 3.5 %
- 3.7 A 7.14 gr/kg DE LODO BASE SECA.

**COSTO POR kg. DE LODO (BASE SECA) DISPUESTO EN
RELLENO SANITARIO.**

N\$ 1.635

SISTEMA ESTABILIZACION Y DESHIDRATADO DEL LODO GENERADO EN ECCACIV

ESTABILIZACION:

DIGESTOR DE LODOS

TIPO AEROBIO.

TIEMPO DE RETENCION 5 DIAS

SOLIDOS TOTALES 4 %.

DESHIDRATACION:

FLOCULACION

POLIMERO CATIONICO (ACRILAMIDA)

DOSIS DE 130 A 250 mg/l.

SISTEMA DE FILTRO PRENSA DE DOBLE BANDA (BELT PRESS).

SOLIDOS TOTALES DE 18 A 22 %.

PRODUCCION DE 20 TON/DIA.

OPERACION Y MANTENIMIENTO PARA LA DESHIDRATACION DEL LODO

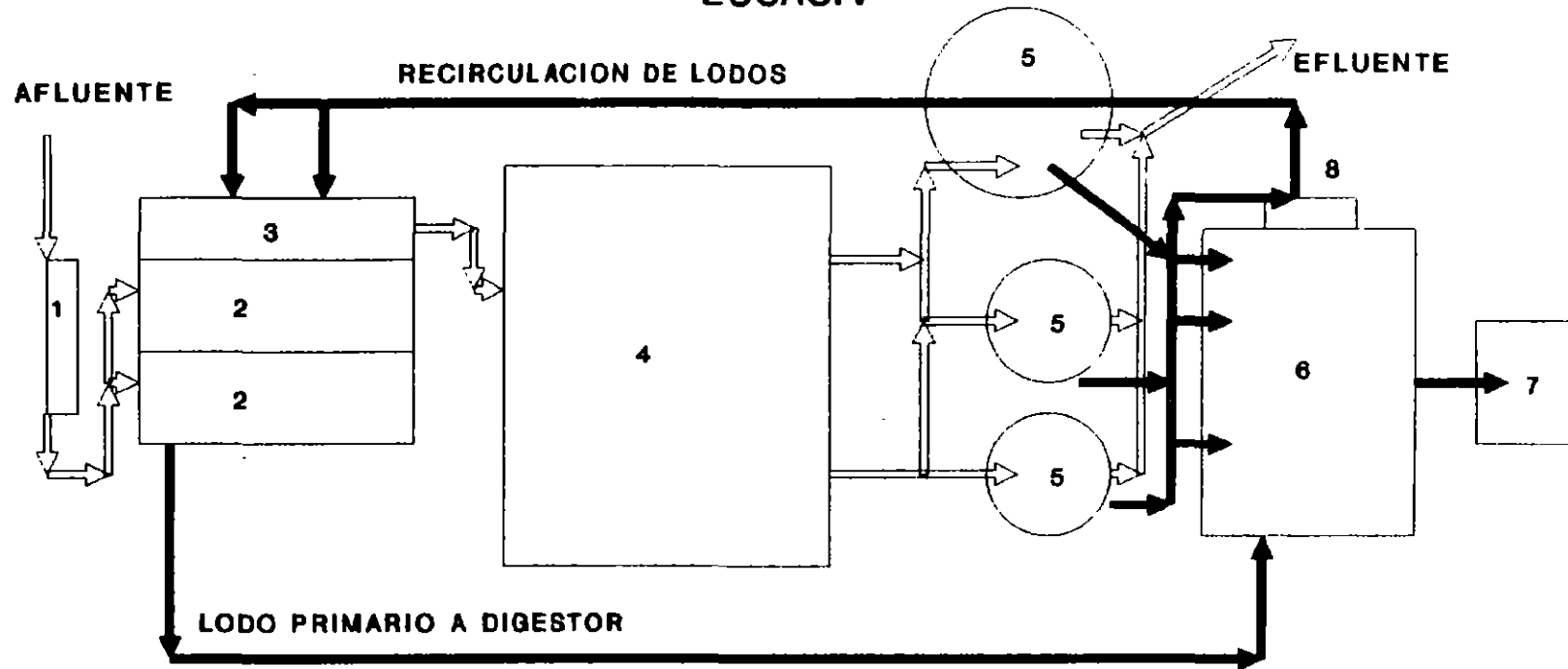
PERSONAL

1 OPERADOR Y 1 AYUDANTE / TURNO.

COSTO

N\$ 630,000 / AÑO.

ECCACIV



- 1 PRETRATAMIENTO
- 2 SEDIMENTACION PRIMARIA
- 3 TANQUE DE REGULACION
- 4 AERADOR
- 5 SEDIMENTACION SECUNDARIA
- 6 DIGESTOR AEROBIO DE LODOS
- 7 DESAGUADO DE LODOS
- 8 CARCAMO DE RECIRCULACION DE LODOS

- ➡ LINEA DE AGUA Y LICOR MEZCLADO
- ➡ LINEA DE LODOS

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

unpaved area, 2 to 3 feet (0.6 to 1 m) wide is placed along either side or down the middle for drainage. Paved drying beds can be built with or without a roof.

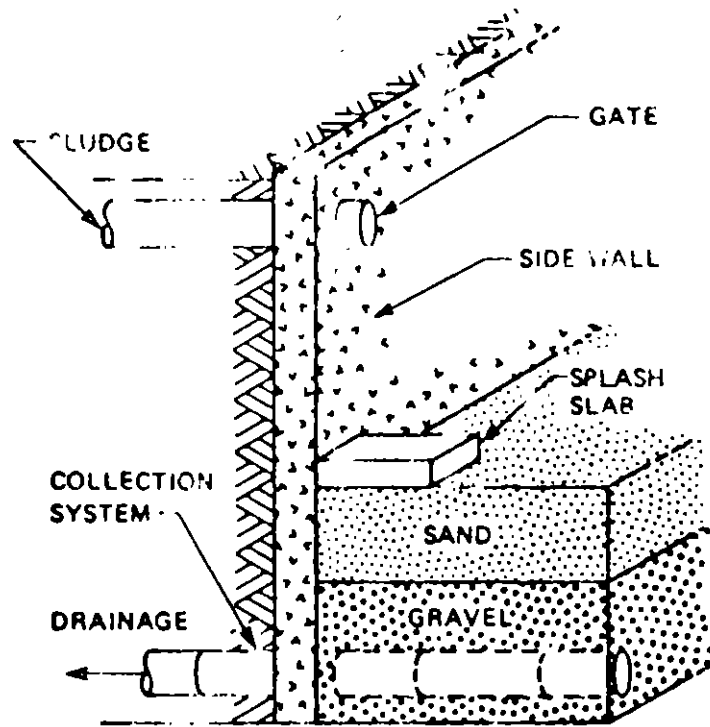


FIGURE 9-2

TYPICAL SAND DRYING BED CONSTRUCTION (18)

For a given amount of sludge, paved drying beds require more area than sand beds. Their main advantages are that front-end loaders can be used for sludge removal and reduced bed maintenance (21). Figure 9-3 shows typical paved drying bed construction.

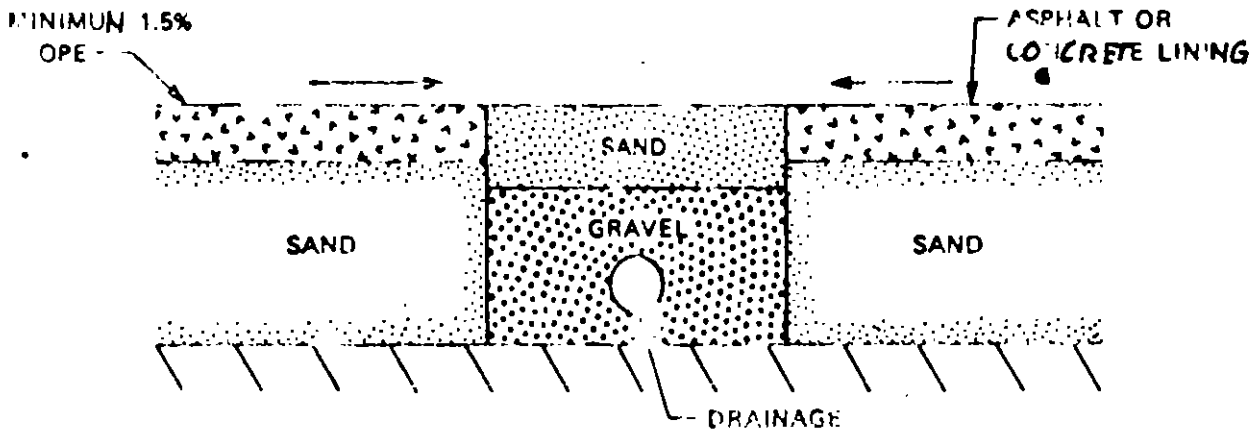


FIGURE 9-3

TYPICAL PAVED DRYING BED CONSTRUCTION

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LECHOS DE SECADO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>CUANDO HAY TERRENO DISPONIBLE EL COSTO DE CAPITAL ES BAJO</p> <p>MINIMO DE OPERACION.</p> <p>NO REQUIERE PERSONAL CALIFICADO</p> <p>BAJO CONSUMO DE ENERGIA</p> <p>POCO SENSIBLE A VARIACIONES EN LA CALIDAD DEL LODO</p> <p>NO REQUIERE EQUIPO MECANICO</p> <p>NO REQUIERE DE QUIMICOS</p> <p>ALTO CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA TORTA DE LODOS</p>	<p>REQUIERE MAS TERRENO QUE LOS DEMAS METODOS MECANICOS.</p> <p>FALTA DE BASES PARA UN DISEÑO DE INGENIERIA ADECUADO.</p> <p>PARA EVITAR OLORES: REQUIERE LODO ESTABILIZADO.</p> <p>AFECTADO POR CONDICIONES CLIMATOLOGICAS.</p> <p>PARA LA REMOCION DEL LODO REQUIERE DE LABOR INTENSIVA.</p>



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.

28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***

Desinfección

Autor:

Georgina Fernández Villagómez

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES E INDUSTRIALES

Georgina Fernández Villagómez

DESINFECCION

1. Aspectos generales

Se denomina desinfección a la destrucción de organismos causantes de enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso. Esto diferencia la desinfección de la esterilización, la cual consiste en la destrucción de todos los organismos. Las enfermedades más importantes causadas por organismos patógenos presentes en aguas residuales se resumen en la Tabla 1.

En México desde hace varios años, se han estado utilizando las aguas residuales domésticas, para el riego agrícola en áreas rurales aledañas a un gran número de centros de población; sin embargo, la presencia de los organismos patógenos, constituye cierto riesgo de infección para la población. Este riesgo de infección, depende de muchos factores complejos tales como:

La efectividad del proceso de tratamiento para la remoción
inactivación de los patógenos

La sobrevivencia de estos organismos en los cultivos, el
suelo, los ríos y cuerpos de agua

Las técnicas de irrigación

La Tabla 2, muestra los principales métodos de desinfección disponibles. Actualmente, el método más común empleado para desinfectar aguas residuales es mediante la adición del cloro, principalmente por su bajo costo y gran poder bactericida. No obstante, debido a la aplicación del cloro, se pueden provocar algunos efectos adversos, incluyendo la posible formación de compuestos carcinogénicos, los que se han detectado hasta hace poco tiempo, por lo que se han estado investigando otros métodos alternativos para lograr una buena desinfección.

Estos métodos pueden clasificarse en la siguiente forma:

a) Agentes químicos

Los requerimientos para un desinfectante químico ideal, están reportados en la Tabla 3. Como se muestra, el desinfectante tendría que poseer una amplia gama de características. Aun cuando este compuesto pueda no existir, los requerimientos establecidos en la tabla deberán considerarse al evaluar los desinfectantes propuestos o recomendados. Para los ingenieros sanitarios, también es importante que el desinfectante sea seguro de manejar y de

aplicar, además de que la concentración que se requiera en las aguas residuales sea medible.

Los productos químicos que han sido empleados como desinfectantes incluyen:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| (1) Cloro y sus compuestos | (7) Metales pesados |
| (2) Bromo | (8) Colorantes |
| (3) Yodo | (9) Alcoholes |
| (4) Ozono | (10) Compuestos cuaternarios |
| (5) Fenol y compuestos fenólicos | (11) Peróxido de Hidrógeno |
| (6) Jabones y detergentes sintéticos | (12) Varios ácidos y álcalis |

De estos compuestos, los desinfectantes más comunes, son los productos químicos oxidantes y de ellos, el cloro es el más utilizado. El ozono, se considera como un desinfectante altamente efectivo y su uso va en aumento, aun cuando no tenga efecto residual. En la Tabla 4, se presentan las principales características del ozono.

b) Agentes físicos

Los desinfectantes físicos que se pueden utilizar son básicamente calor y luz. El calentamiento del agua al punto de ebullición, por ejemplo, destruir a las bacterias principalmente productoras de enfermedades que no forman esporas. El calor se emplea comunmente en las industrias de bebidas y lechera, pero no es un medio que permita desinfectar grandes cantidades de aguas residuales debido al alto costo. Sin embargo, en Europa se usa extensamente la pasteurización de lodos. La luz ultravioleta se ha empleado con éxito para esterilizar pequeñas cantidades de agua, pero con el inconveniente de que su eficiencia disminuye mucho cuando se encuentran presentes partículas suspendidas en el agua.

c) Medios mecánicos

Las bacterias y otros organismos también se remueven por medios mecánicos durante el tratamiento de aguas residuales. En la Tabla 5, se reportan eficiencias típicas de remoción para varias operaciones y procesos de tratamiento. Las cuatro primeras de ellas se consideran procesos físicos. Las remociones obtenidas, son un subproducto de la función primaria del proceso.

d) Radiación

Este método de tratamiento, ha tomado gran auge en los últimos años, pues los trabajos de laboratorio han demostrado que es un

efectivo desinfectante que no induce ninguna radiación residual; elimina bacterias, virus, esporas y afecta a los huevecillos de par sitos disminuyendo su reproducción. Reduce la cantidad de sólidos orgánicos suspendidos, detergentes, parathion residual, fenoles, nitrilos, también disminuye los olores de las aguas residuales tratadas. Hasta el momento sus desventajas son:

- No tiene efecto residual en el efluente tratado
- El costo es elevado

Los principales tipos de radiación son electromagnéticos, acústica y de partículas. Los rayos gamma son emitidos por radioisótopos, tales como el cobalto 60. Debido a su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado para desinfectar tanto agua como aguas residuales. La Figura 1, muestra un dispositivo de haz de electrones de alta energía para irradiación de aguas residuales o lodos

Mecanismos de desinfección.

Se han propuesto los siguientes cuatro mecanismos para explicar la acción de los desinfectantes:

A. Daño a la pared celular

El daño o destrucción de la pared celular dará por resultado muerte y lisis de la célula. Algunos agentes tales como la penicilina, inhiben la síntesis de la pared celular.

B. Alteración de la permeabilidad de la célula

Los agentes como los compuestos fenólicos y los detergentes, alteran la permeabilidad de la membrana citoplásmica. Estas sustancias destruyen la permeabilidad selectiva de la membrana y permiten que se escapen los nutrientes vitales, tales como el nitrógeno y el fósforo.

C. Modificación de la naturaleza del protoplasma

El calor, la radiación y los agentes fuertemente ácidos o alcalinos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor coagula las proteínas de la célula y los ácidos o bases las desnaturalizan, produciendo un efecto letal. La irradiación directa a las células producen reacciones de ionización dentro de las moléculas celulares, con su posterior destrucción.

D. Inhibición de la actividad enzimática

Los agentes oxidantes tales como el cloro, pueden alterar la estructura química de las enzimas e inactivarlas.

Factores que tienen influencia sobre la acción de los desinfectantes.

Al aplicar los agentes o medios que se han descrito, deben considerarse los siguientes factores:

- i) Tiempo de contacto
- ii) Concentración y tipo de agente químico
- iii) Intensidad y naturaleza del agente físico
- iv) Temperatura
- v) Número de organismos
- vi) Naturaleza del líquido que soporta el agente

2. Desinfección empleando cloro

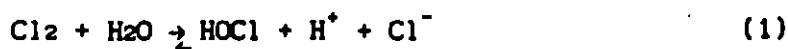
De todos los desinfectantes químicos, el cloro es con toda seguridad el de mayor uso en el mundo. La razón de ello, es que satisface la mayoría de los requerimientos especificados en la Tabla 3.

Los compuestos de cloro más frecuentemente utilizados en tratamiento de aguas residuales son: cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl}_2)_2$], hipoclorito de sodio (NaOCl) y bioxido de cloro (ClO_2). Los hipocloritos de sodio y calcio se emplean en plantas pequeñas de tratamiento, en donde la sencillez y seguridad en el manejo son más importantes que el costo. El uso del bioxido de cloro se estudia cada día con mayor interés como un posible sustituto del cloro gaseoso. El cloro gaseoso, por economía, ocupa el primer lugar de consumo.

Reacciones con el agua

Cuando se aplica cloro gaseoso al agua ocurren las siguientes reacciones que aparecen en la Tabla 6.

a) Hidrólisis



b) Ionización



La cantidad de HOCl y de OCl^- que se encuentra presente en el agua se denomina cloro disponible. La distribución relativa de estas dos especies es muy importante, porque la eficiencia desinfectante de HOCl es entre 40 y 80 veces mayor que la del OCl^- .

También puede agregarse cloro libre al agua en forma de hipoclorito. Las reacciones correspondientes son:





(4)

Reacciones con amoniaco

Las aguas residuales crudas contienen nitrógeno en forma de amoniaco y en varias formas orgánicas combinadas. El efluente de la mayor parte de las plantas de tratamiento, también contiene cantidades significativas de nitrógeno, generalmente en forma de amoniaco o de nitratos, sobre todo si la planta ha sido diseñada para efectuar el proceso de nitrificación. Debido a que el cloro hipocloroso es un agente oxidante muy activo, reacciona rápidamente con el amoniaco existente para formar los tres tipos de cloraminas, en forma sucesiva, las que aparecen en la Tabla 6.

Estas reacciones dependen mucho del pH, la temperatura, el tiempo de contacto y la relación inicial del cloro y el amoniaco.

Cloración a punto de quiebre

La Figura 2. muestra los fenómenos que suceden escalonadamente, cuando se agrega cloro a aguas que contienen amoniaco.

Conforme se agrega cloro, las sustancias fácilmente oxidables, tales como Fe^{++} , Mn^{++} , H_2S y materia orgánica, reaccionan con l y lo reducen, en su mayor parte a ion cloruro (Punto A). Después de satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continúa reaccionando con el amoniaco para formar cloraminas entre los puntos A y B. Para relaciones molares de cloro a amoniaco menores de 1, se formarían monocloraminas y dicloraminas. La distribución de estas dos formas, está gobernada por sus velocidades de formación, las cuales dependen del pH y de la temperatura. Entre el punto B y el punto de quiebre, una parte de las cloraminas se convierte a tricloruro de nitrógeno, el resto se oxida a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2) y el cloro se reduce a ion cloruro. Con mayor adición de cloro, la mayor parte de las cloraminas se oxidan en el punto de quiebre. Teóricamente, la relación en peso de cloro a nitrógeno amoniacal en el punto de quiebre es de 7.6 a 1.

Las reacciones posibles a que se debe la aparición de los gases antes mencionados y la desaparición de la cloramina se muestra en la Tabla 6.

Si se continúa agregando cloro después del punto de quiebre, dar por resultado un crecimiento directamente proporcional del cloro libre disponible.

La razón principal de agregar suficiente cloro para obtener un residual de cloro libre, es que generalmente se puede asegurar que se ha obtenido desinfección. La cantidad de cloro que debe agregarse para alcanzar un nivel deseado de residual recibe el nombre de *demanda de cloro*.

Factores que afectan la eficiencia de desinfección del cloro

Los principales factores que afectan la eficiencia de desinfección del cloro, son los siguientes:

(1) Eficiencia germicida del cloro.

Se determina midiendo el número de organismos y el cloro residual remanente después de un periodo especificado de tiempo. Normalmente, se emplea como índice el grupo de coliformes, empleando el procedimiento del número más probable (NMP), para los organismos inicialmente existentes y la cuenta en placa, incubando a 37°C durante 24 horas para los coliformes remanentes.

Para la determinación analítica del cloro residual, el método amperométrico ha demostrado ser el más

Numerosas pruebas realizadas, han demostrado que cuando todos los parámetros físicos se mantienen constantes. La eficiencia germicida de la desinfección, medida por las bacterias sobrevivientes, depende primordialmente del cloro residual presente y del tiempo de contacto.

(2) Eficiencia germicida de varios compuestos de cloro

Para un tiempo de contacto o un residual dado, la eficiencia germicida del cloro hipocloroso es significativamente mayor que la del ion hipoclorito o la monocloramina. Por esta razón, con una mezcla adecuada, la formación de cloro hipocloroso después del punto de quiebre es la más efectiva para alcanzar la desinfección de aguas residuales.

(3) Mezcla inicial

Recientemente se ha demostrado la importancia que tiene este factor. Se ha encontrado que la aplicación del cloro en un régimen altamente turbulento ($Nr = 10^{-4}$), dio por resultado muertes dos ordenes de magnitud mayores que cuando se agregó separadamente a un reactor agitado de flujo continuo bajo condiciones similares. Esto tiene gran importancia en el diseño de las instalaciones donde se efectúa la cloración en las plantas de tratamiento.

(4) Reacción a punto de quiebre

Es importante considerar que si el agua de dilución empleada para inyectar el cloro contiene compuestos nitrogenados, una parte del cloro agregado reaccionar con estos compuestos y para cuando se haga la inyección se encontrar en forma de monocloramina o dicloramina. Sin embargo, se ha demostrado que con un mezclado inicial apropiado y dando el tiempo de contacto necesario, las muertes de bacterias obtenidas son las mismas si se emplean efluente tratado o sin tratamiento para el agua de inyección.

(5) Tiempo de contacto

Debido a que la cloración para obtener ácido hipocloroso libre no es económicamente factible en muchas situaciones, más allá del punto de quiebre, es de importancia fundamental dar la consideración debida al tiempo de contacto. Ya que los reactores discontinuos para cloración son poco prácticos, en todas las plantas se emplean reactores continuos de flujo pistón.

(6) Características de las aguas residuales

Se ha observado con frecuencia que para plantas de tratamiento de diseño similar con características del efluente iguales medidas en términos de DBO, DQO y nitrógeno, la efectividad del proceso de cloración varía considerablemente de planta a planta. En un estudio realizado por Sung¹, en el que se estudiaron las características de los compuestos presentes en el agua tratada y sin tratar, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

a) En presencia de interferencias por compuestos orgánicos, el residual total de cloro, no puede ser empleado como una medida confiable para cuantificar la eficiencia bactericida del cloro.

b) El grado de interferencia de los compuestos estudiados depende de sus grupos funcionales y su estructura química.

c) Los compuestos saturados y los carbohidratos ejercen una demanda pequeña o nula de cloro y parecen no interferir con el proceso de cloración.

d) Compuestos orgánicos con uniones no saturadas pueden ejercer una demanda de cloro inmediata, dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos, los compuestos resultantes, pueden tener un potencial desinfectante pequeño o nulo.

e) Los compuestos con anillos policíclicos conteniendo grupos hidroxilo y compuestos que contienen grupos de azufre, reaccionan rápidamente con el cloro para formar compuestos que tienen potencial bactericida pequeño o nulo, pero que analíticamente aparecen como cloro residual.

f) Para alcanzar cuentas bacterianas bajas en presencia de interferencias de compuestos orgánicos, se requerirán cantidades adicionales de cloro y mayores tiempos de contacto.

(7) Características de los microorganismos

Otra variable importante en el proceso de cloración, es la edad de los microorganismos. Por ejemplo, en el estudio antes mencionado, se encontró que había una diferencia notable en la resistencia de cultivos de bacterias al cloro. Para un cultivo de bacterias jóvenes de un día o menos con una dosis de 2 mg/L, se requirió solamente un minuto para alcanzar cuentas bacterianas bajas.

Se emplean generalmente filtros de carbón activado granular, operados a presión o por gravedad³. Este método es costoso. La principal aplicación del carbón activado para deoloración es en casos en los que también se requiera una alta remoción de compuestos orgánicos.

4. Conclusiones y recomendaciones

A. Existe una amplia variedad de métodos para obtener la desinfección de aguas y aguas residuales. De ellos actualmente los tres más empleados son:

- cloración
- ozonación
- aplicación de bioxido de cloro

Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas propias, por lo que es indispensable estudiar con todo detalle el uso final de las aguas tratadas para seleccionar el mejor método de desinfección.

B. Dado el problema que presentan los compuestos orgánicos clorados (trihalometanos), cuya importancia ha sido descubierta hasta hace relativamente poco tiempo, es muy recomendable que en aplicaciones donde el agua vaya a destinarse a uso potable o alimentario, se estudie la posibilidad de reemplazar la cloración por algún otro procedimiento alternativo⁸.

C. De los nuevos métodos descubiertos, el empleo de radiaciones gamma o con haces de electrones de alta energía presentan posibilidades muy prometedoras, especialmente para la desinfección y esterilización de aguas y lodos⁶. Se sugiere la conveniencia de desarrollar mayores investigaciones aplicadas en este campo en los centros nacionales y de investigación.

D. Como una solución al problema de producción de trihalometanos, se propone el empleo de una desinfección por etapas, efectuando la primera de ellas mediante ozono, seguida de una cloración ligera que permita obtener una cantidad de cloro residual mesurable que le proporcione una cierta protección al agua, a lo largo de las líneas de distribución.

5 Bibliografía

1. Sung, R. D. *Effects of Organic Constituents in Wastewater on the Chlorination Process*. Ph. D. thesis. Department of Civil Engineering, University of California. Davis, Calif. 1974
2. Metcalf-Eddy. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. 2^o Ed. Labor, S. A. 1981
3. U.S. Environmental Protection Agency. *Manual on Activated Carbon Adsorption*. 1971

4. Kawata, K., Olivieri, P., Walters, G. y Yin, R. *The Search for Effective Wastewater Disinfectants*. Water & Sewage Works. 1979
5. International Water Technology Conference & Exposition. *Agua Expo'83*. Product Sessions. 1983.
6. Alarcón-Herrera, M. T. *Desinfección de aguas residuales municipales por medio de radiación gamma*. Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. 1982.

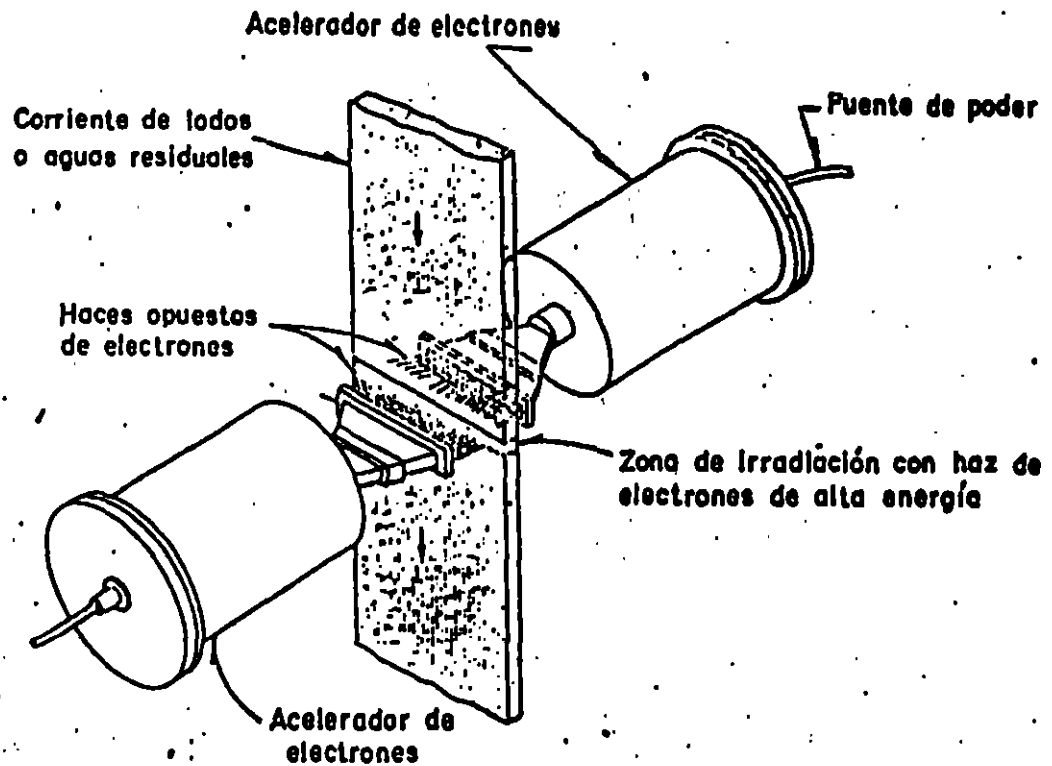
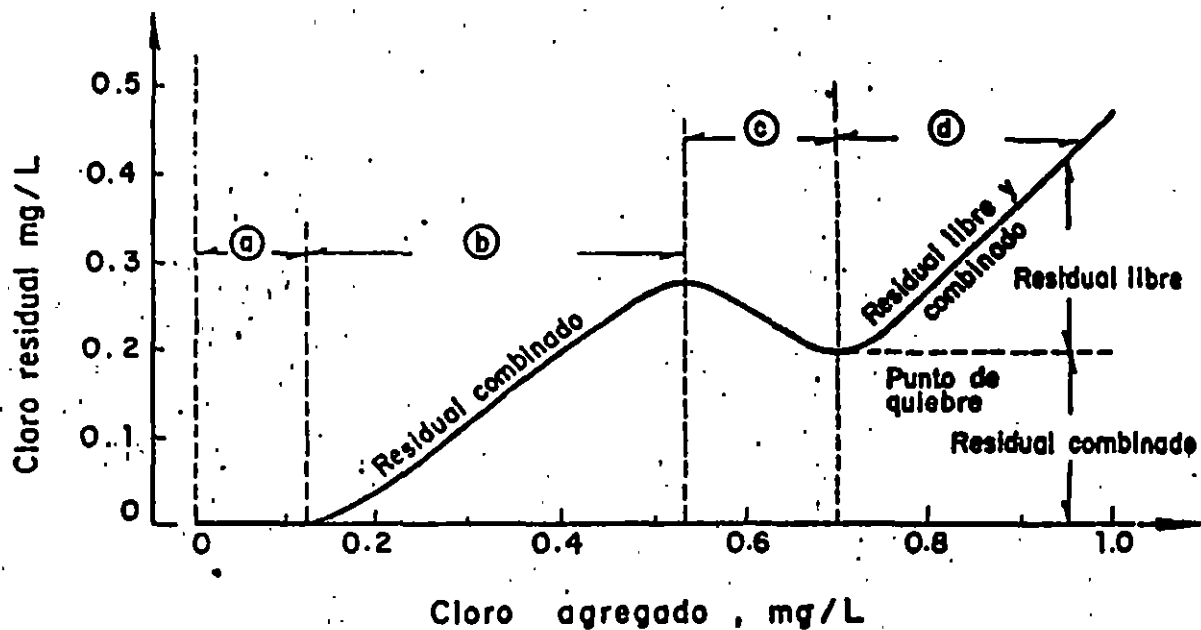


Fig 1 Diagrama esquemático de un dispositivo de haz de electrones de alta energía para la irradiación de aguas residuales o lodos



- (a) Destrucción del cloro residual por compuestos reductores
- (b) Formación de compuestos organoclorados y cloraminas
- (c) Destrucción de cloraminas y compuestos organoclorados
- (d) Formación de cloro libre y presencia de compuestos organoclorados no destruidos

Nota : mg/L = g/m³.

Fig 2 Curva obtenida durante cloración a punto de quiebre

Tabla 1 ORGANISMOS PATÓGENOS COMUNMENTE ENCONTRADOS EN AGUAS RESIDUALES

Organismo	Enfermedad	O b s e r v a c i o n e s
Ascaris spp., enterobius spp.	Lombrices de nemátodos	Implica peligro de contagio a humanos por efluentes de aguas residuales y lodos secos usados como fertilizante
Bacillus anthracis	Antrax	Se encuentra en aguas residuales. Las esporas son resistentes al tratamiento
Brucella spp.	Brucelosis. Fiebre de Malta en el hombre. Aberto contagioso en carneros, cabras y reses	Transmitida normalmente por la leche infectada o por contacto. Se sospecha también de las aguas residuales
Entamoeba histolytica	Disentería	Es diseminada por aguas contaminadas y lodos empleados como fertilizante. Común en climas calientes.
Leptospira (ictero-hemorrhagiae)	Leptospirosis (enfermedad de Weil)	Transportada por ratas de drenajes
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculosis	Se le ha aislado de aguas residuales y corrientes contaminadas. Las aguas residuales son una posible forma de transmisión. Deberá tenerse cuidado con aguas residuales y lodos de sanatorios
Salmonella paratyphi	Fiebre paratifoidea	Es común en aguas residuales y efluentes en épocas de epidemia
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Es común en aguas residuales y efluentes en épocas de epidemia
Salmonella spp.	Envenenamiento de alimentos	Es común en aguas residuales y efluentes
Schistosoma spp.	Esquistosomiasis	Probablemente es destruida por un tratamiento eficiente
Shigella sso.	Disentería bacilar	Las aguas contaminadas son la principal fuente de infección.
Taenia spp	Solitaria	Los huevos son muy resistentes. están presentes en lodos y efluentes de aguas residuales. Representan peligro para el ganado en tierras irrigadas con aguas residuales o abgnadas con lodos de ellas
Vibrio cholerae	Cólera	Es transmitido por aguas residuales y aguas contaminadas
Virus	Poliomielitis, hepatitis	Se desconoce aún la forma exacta de transmisión. Se encuentran en efluentes de plantas de tratamiento biológico

Tabla 2 METODOS DE DESINFECCION DISPONIBLES

Ebullición

Acción oligodinámica - plata y cobre

Irradiación- ultravioleta o atómica

Tratamiento con álcalis y ácidos

Tratamiento con agentes tensoactivos

Almacenamiento prolongado - 90 días

Ozonación

Aplicación de halógenos, interhalógenos y mezclas de ellos

Cloro

Bromo

Iodo

Bióxido de cloro

Cloruro de bromo

Tabla 3

COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS IDEALES Y REALES DE LOS DESINFECTANTES QUIMICOS

Característica	Desinfectante ideal	Cloro	Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de calcio	Bióxido de cloro	Ozono
Toxicidad hacia los microorganismos	Deberá ser altamente tóxico a altas diluciones	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en los tejidos de las células	Ligeramente	Alta	Alta	Alta	Alta
Estabilidad	La pérdida de acción germicida a lo largo del tiempo deberá ser baja	Estable	Ligeramente estable	Relativamente estable	Inestable, debe generarse conforme se usa	Inestable, debe generarse conforme se usa
No tóxico hacia las formas superiores de vida	Deberá ser tóxico hacia los microorganismos y no tóxico hacia el hombre y animales	Altamente tóxico hacia las formas superiores de vida	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Interacción con material extraño	No deberá ser absorbido o por materia orgánica diferente a las células bacterianas	Oxida a la materia orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo	Alta	Oxida a la materia orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Deberá ser efectivo en el ámbito de temperatura ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta
Penetración	Deberá tener la capacidad de penetrar a través de superficies	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
No corrosivo y no colorante	No deberá atacar a metales o manchar ropa	Altamente corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Altamente corrosivo	Altamente corrosivo
Capacidad de desodorizar	Deberá desodorizar mientras desinfecta	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Alta
Disponibilidad	Deberá encontrarse disponible en grandes cantidades y tener un precio razonable	Costo bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo alto

Usado en Europa por largo tiempo:

Primera instalación permanente, en Holanda, 1892 actualmente existen 1,000 instalaciones en 20 países

Tratamiento en París para 360 mgd-10,000 ppb.

Costo de capital: \$ 300-500/lb/día (dólares)

Ventajas:

Desinfección extremadamente rápida: 4 minutos y pequeñas dosis

No tiene efecto el pH del agua

Decolora bien

No reacciona con el amoníaco

Evita la formación de compuestos clorados

Remueve muchos olores y sabores

Deja oxígeno en el agua

Se analiza con facilidad

Ocupa poco espacio

Desventajas:

No deja residual

Existe experiencia limitada en América

Posiblemente más caro que el cloro

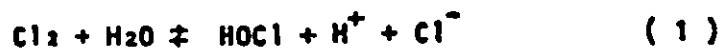
Tiene baja solubilidad en agua

Tabla 5 REMOCION O DESTRUCCION DE BACTERIAS POR DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO

Proceso	Porcentaje de remoción
Rejillas gruesas	0-5
Rejillas finas	10-20
Cámaras desarenadoras	10-25
Sedimentación libre	25-75
Precipitación química	40-80
Filtros percoladores	90-95
Lodos activados	90-98
Cloración de aguas residuales tratadas	98-99

Tabla 6 REACCIONES EN EL AGUA

a) Hidrólisis:



b) Ionización:



c) Para hipocloritos:

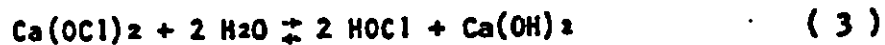
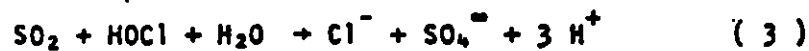
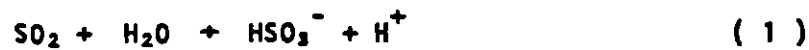


Tabla 7 CLORAMINAS

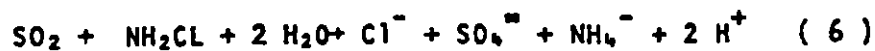
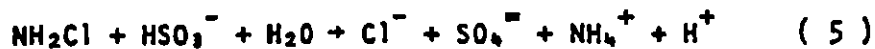
Formación	descomposición
Monocloramina	$2\text{NH}_3 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 6\text{HCl}$
$\text{NH}_3 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	$4\text{NH}_2\text{Cl} + 3\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2 + \text{N}_2$
Dicloramina	$+ \text{O} + 10 \text{HCl}$
$\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$2\text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O} + 4\text{HCl}$
Tricloruro de nitrógeno	$\text{HOCl} + 2 \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$
$\text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$+ 5\text{HCl}$

Tabla 8 DECLORACION CON SO₂

Reacciones de cloro:



Reacción con cloraminas:





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

M O S C A F R U T

Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
Reusos del Agua en la Agricultura**

Autor:

M. en I. Ana Elisa Silva M.

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

REUSO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

1. INTRODUCCION

El aprovechamiento de las aguas residuales en riego agrícola se practica en México desde hace más de 100 años (1886). En Hidalgo, en el DDR 063 (antes DR 03), se reusa un volumen de 980 Mm /año de aguas provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México para el riego de 85,000 Ha. Estudios en 314 poblaciones con más de 10,000 habitantes mostró que en más del 30% de estas localidades las aguas residuales municipales se utilizan para el riego agrícola.

Las ventajas de esta práctica son:

- mayor oferta de agua
- apertura de tierras al cultivo
- fuente segura de abastecimiento de agua
- aporte de nutrientes
- incremento de la productividad agrícola y desarrollo

Sin embargo, debe tenerse siempre presente el riesgo que conlleva el reuso del agua en la agricultura por la contaminación de cultivos, suelo, acuíferos y ganado que afectan a la salud pública y a la propia producción agropecuaria. Además, persiste el gran riesgo de afectar la salud, tanto de las personas que consumen los productos regados con estas aguas, como de los propios trabajadores del campo y sus familias que conviven con las aguas residuales.

El control de las descargas de aguas residuales por medio del tratamiento y disposición en el suelo es una alternativa económica para la mayoría de los municipios

mexicanos, beneficios que se incrementan si se usa para la agricultura. Esto es conveniente siempre y cuando se desarrollen y apliquen las tecnologías adecuadas para tratar las aguas residuales destinadas al reuso en la agricultura, con instalaciones de bajo costo y un mínimo de atención en operación, mantenimiento y administración.

El reuso de las aguas residuales en la agricultura es recomendable siempre que se tomen en cuenta dos aspectos fundamentales: en primer lugar, debe minimizarse los riesgos a la salud y de contaminación al medio ambiente y en segundo, la calidad de las aguas no deben deteriorar la capacidad productiva de los suelos.

En esta parte del curso se mencionará primero las características de calidad del agua relacionadas con la producción agropecuaria y en seguida, aquellas asociadas con la salud y la contaminación al medio. Finalmente, se presentará la nueva norma oficial con respecto al uso de aguas residuales en la agricultura.

2. CALIDAD DEL AGUA EN LA PRODUCCION AGRICOLA.

Las características más importantes que determinan la calidad de cualquier agua para riego, desde el punto de vista agronómico, son la concentración de sales solubles, la concentración relativa de sodio y de otros elementos que puedan ser tóxicos.

2.1 Concentración de sales solubles

La salinidad en el suelo es una limitante en el crecimiento y produce una reducción

en el rendimiento de los cultivos. Esta reducción se atribuye a la disminución en la absorción del agua por las raíces.

La concentración de sales solubles en las aguas para riego, para fines de diagnóstico y de clasificación se pueden expresar en términos de su conductividad eléctrica (Dept of Agriculture, 1954). Un suelo es salino cuando la conductividad eléctrica (CE) de su extracto de saturación es mayor de 4000 $\mu\text{mhos/cm}$ o 4 milimhos/cm.

Se ha encontrado que la CE del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales provenientes del agua subterránea es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración es el resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por ello, el uso de aguas entre moderada y altamente salinas puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad en el suelo, aún cuando el drenaje sea satisfactorio.

En general, las aguas cuya CE sea menor de 750 $\mu\text{mhos/cm}$ son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales, aún cuando los cultivos sensibles pueden ser afectados cuando se usan aguas cuya CE varía entre 250 y 750 $\mu\text{mhos/cm}$ (Mc Neal, 1981).

En la TABLA 1 se presenta una clasificación de los cultivos con relación a su tolerancia a la salinidad.

La necesidad de lavado para suelos en que no existe precipitación de sales está directamente relacionada con la CE del agua de riego y con la CE permisible del agua

que drena de la zona radicular del cultivo. Evidentemente, las propiedades de transmisión del agua, el drenaje del suelo y la tolerancia a las sales del cultivo son factores importantes en la evaluación de aguas para riego desde el punto de vista de su concentración total de sales (Dept. of Agriculture, 1954).

TABLA 1 TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

CULTIVOS TOLERANTES	Cebada Algodón Jojoba Remolacha
CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES	Avena Cártamo Sorgo Soya Trigo Cebada Pastos como ryegrass o sudán Calabacita
CULTIVOS MODERADAMENTE SENSIBLES	Maíz Arroz Girasol Alfalfa Papa Jitomate
CULTIVOS SENSIBLES	Frijol Zanahoria Cebolla Manzano Durazno

2.2 Concentración relativa de sodio respecto otros cationes

Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son calcio, magnesio y sodio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, en menor cantidad nitratos y fluoruros.

Las concentraciones altas de sodio en el suelo, en comparación a los otros cationes, reducen la permeabilidad del suelo, obstruyendo el acceso del agua a las raíces, lo que se refleja en la disminución del crecimiento de los cultivos. Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo (Dept. of Agriculture, 1954).

El índice de sodio utilizado es la "relación de adsorción de sodio RAS" en una solución del suelo. Esta relación es la siguiente:

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] [Mg]}{2}}}$$

en la cual Na, Ca y Mg representan las concentraciones en miliequivalentes/litro de los iones respectivos.

Hacen falta todavía más estudio para explicar la relación del sodio intercambiable con respecto a la calidad del agua en las prácticas de riego. De acuerdo con los estudios realizados, la RAS ha sido un índice adecuado para designar el peligro del sodio en las aguas para riego (Dept. of Agriculture, 1954).

2.3 Otros elementos tóxicos a los cultivos

En casi todas las aguas naturales existen elementos en pequeñas cantidades (hasta partes por millón) que son esenciales para el crecimiento de los cultivos hasta determinadas concentraciones.

Una vez que se rebasa esos límites, comienzan a observarse síntomas fitotóxicos que pueden llegar hasta provocar la muerte de las plantas. En la TABLA 2 se presenta un resumen de los principales efectos fitotóxicos que provocan los elementos traza.

Independientemente de su forma química, la fitotoxicidad de un elemento también se encuentra influenciada por la especie vegetal y la textura del suelo. Por tanto, es difícil desarrollar una norma universal de calidad del agua para todas las condiciones de crecimiento vegetal. A este respecto, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (13 de diciembre de 1989), entre los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua, las concentraciones requeridas para el aprovechamiento del agua para riego agrícola (Anexo 1).

2.4 Clasificación de las aguas para usos agrícolas

La clasificación de aguas para riego, que data de 1954, considera que se tienen condiciones medias de textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, cantidad de agua usada, clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualesquiera de estas variables puede hacer inseguro el uso de una agua que, bajo condiciones medias, sería de muy buena calidad.

Con respecto a la salinidad las aguas se dividen en:

TABLA 3 CLASIFICACION DEL AGUA CON RESPECTO A LA SALINIDAD

C1	AGUA CON BAJA SALINIDAD (CE= 0-250 μ mhos/cm) Puede ser usada para el riego de la mayoría de los cultivos y suelos, con baja probabilidad de ensalitramiento del suelo. Se requiere drenaje.
C2	AGUA CON MEDIANA SALINIDAD (CE= 250-750 μ mhos/cm) Puede ser empleada si se tiene drenaje. Las plantas moderadamente sensibles a la salinidad pueden desarrollarse, en la mayoría de los casos, sin requerir prácticas especiales para el control de la salinidad
C3	AGUA CON ALTA SALINIDAD (CE= 750-2250 μ mhos/cm) No se puede usar en suelos con drenaje restringido. Aún cuando se tenga drenaje adecuado, deberá tenerse un control especial de la salinidad y las plantas seleccionadas deberán ser moderadamente tolerantes a la salinidad.
C4	AGUA CON MUY ALTA SALINIDAD (CE > 2250 μ mhos/cm) No se recomienda para el riego agrícola bajo circunstancias ordinarias. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, la aplicación de agua en exceso para tener un lavado del suelo y se seleccionarán cultivos con alta tolerancia a la salinidad.

La clasificación de las aguas con respecto al sodio es más complicada debido a que el valor de la RAS aumenta en el suelo a consecuencia del aumento de la concentración de todas las sales y de la posible precipitación de las de calcio y magnesio a medida que disminuye el contenido de humedad por la extracción que hacen las plantas y por la evaporación superficial. La clasificación con respecto al sodio se presenta en la TABLA 4.

Esta clasificación se basa primordialmente en el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo. No obstante, las plantas sensibles a este elemento, pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación del sodio en sus tejidos, aún cuando los valores de sodio intercambiable sean bajo para alterar la condición física del suelo.

TABLA 4. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO CON RESPECTO AL SODIO

S1	<p>AGUA CON BAJA CONCENTRACION DE SODIO (RAS 0-10)</p> <p>Puede ser utilizada para riego agrícola en casi todos los tipos de suelo con muy poco peligro de daño por el sodio. Sin embargo, cultivos sensibles al sodio pueden acumular concentraciones dañinas.</p>
S2	<p>AGUA CON MEDIANA CONCENTRACION DE SODIO (RAS 10-18)</p> <p>Presentará peligro en suelos de textura fina que posean alta capacidad de intercambio de cationes (CIC), especialmente si el drenaje es deficiente. Esta agua puede usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos con buena permeabilidad.</p>
S3	<p>AGUA CON ALTA CONCENTRACION DE SODIO (RAS 18-26)</p> <p>Puede originar daños por el intercambio de sodio en la mayoría de los suelos y requerirá un manejo especial del suelo, buen drenaje, altos escurrimientos y adición de materia orgánica. En suelos con yeso el problema es menor. Con tratamiento químico puede reemplazarse el sodio intercambiable si las aguas no presentan un alto contenido de salinidad.</p>
S4	<p>AGUA CON MUY ALTA CONCENTRACION DE SODIO (RAS > 26)</p> <p>Generalmente no es aceptable para irrigación, excepto cuando se tiene baja o mediana salinidad y en aquellos sitios donde se realiza un tratamiento del suelo con fines de remover calcio, agregar yeso u otros arreglos que permitan el empleo de este tipo de agua.</p>

Las concentraciones tóxicas de boro que se encuentran en algunas aguas para riego, obligan a tener presente este elemento para establecer su calidad. Scofield (1936) propuso los límites señalados en la TABLA 5 para los cultivos estudiados, encontrando que niveles mayores de 1 ppm de boro en el agua de riego, perjudica los cultivos. Son cultivos sensibles: frutales como manzano, nogal, aguacate; semitolerantes: girasol, algodón, jitomate, maíz, sorgo, cebada, avena y trigo; y tolerantes: espárrago, alfalfa, cebolla, haba, lechuga, zanahoria, gladiola y remolacha.

TABLA 5. LIMITES PERMISIBLES DE BORO (ppm) EN AGUA PARA RIEGO

CLASE	CULTIVOS		
	SENSIBLES	SEMITOLERANTES	TOLERANTES
1	0.00 - 0.33	0.00 - 0.67	0.00 - 1.00
2	0.33 - 0.67	0.36 - 1.33	1.00 - 2.00
3	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
4	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
5	> 1.25	> 2.50	> 3.75

3. CARACTERISTICAS DE CALIDAD DE INTERES SANITARIO

El empleo en la agricultura de aguas residuales crudas implica el riesgo de afectar la salud y el medio ambiente, al contaminar alimentos, suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales, principalmente por medio de patógenos y/o elementos tóxicos.

Los agentes patógenos que inciden en la salud incluyen bacterias tales como Salmonella, que es causante de la tifoidea, paratifoidea, salmonelosis y Shigella, causante de disentería; virus como enterovirus, que ocasiona neumonía y conjuntivitis o el virus de la hepatitis; protozoarios como Entamoeba que produce amibiasis; y helmintos o lombrices como la Taenia solium conocida como la solitaria que causa teniasis y Cysticercos (Kowal, Pahren y Akin, 1981). En el ANEXO 2 se describen las principales enfermedades relacionadas con microorganismos patógenos encontrados en aguas residuales. Además, existen otros microorganismos que afectan al ganado, pues en algunos estudios se ha encontrado que, debido a uso de las aguas residuales, aumenta la incidencia de tuberculosis y de quistes de Cysticercos, por lo que se recomienda que se deje secar el campo antes de iniciar el pastoreo (Greeberg y Kupka, 1957).

El tiempo de supervivencia de patógenos en la superficie del suelo y de las plantas es de interés cuando se decide el periodo que debe pasar entre la última aplicación del agua y el acceso de hombres y animales en la época de cosecha.

El tiempo de supervivencia de bacterias coliformes en el suelo va de 4 a 70 días. Sin embargo, se ha encontrado *Salmonella* después de 260 días. En cambio, el tiempo sobre los cultivos es menor, debido a la exposición a efectos adversos, tales como la radiación solar, altas temperaturas, ambiente seco y al lavado por lluvia. En el caso de bacterias coliformes, el tiempo de supervivencia va de 6 a 35 días, para otras bacterias patógenas y en virus, es menor de 20 días.

Se considera que 100 días es el tiempo máximo que pueden sobrevivir los virus en el suelo y que su migración a las aguas subterráneas se puede reducir o eliminar permitiendo que el suelo se seque antes de la siguiente aplicación de agua. (Bagdasaryan, 1964). Existe la posibilidad teórica de que las plantas absorban virus a través de las raíces y se ha comprobado en sistemas hidropónicos (Murphy y Syverton, 1985). Sin embargo, las partículas del suelo absorben los virus rápidamente, impidiendo que las plantas almacenen patógenos virales.

Para evitar daños por bacterias y virus, se recomienda que la aplicación de aguas residuales a los cultivos se detenga un mes antes de la cosecha. Cuando se trata de cultivos que crecen bajo la superficie del suelo (como la papa y el espárrago), donde los virus tienen un mayor tiempo de supervivencia, no se recomienda el riego con aguas residuales. Este tiempo puede reducirse si los cultivos se destinan a la alimentación de animales o a procesamiento industrial.

Los quistes de protozoarios son muy sensibles al secado, por tanto, se puede esperar que los quistes depositados en la superficie de las plantas mueran rápidamente (3 días). De esta manera, si se siguen las recomendaciones para bacterias y virus, no habría riesgos probables de contaminación por protozoarios.

Los huevos y larvas de helmintos, a diferencia de los quistes de protozoarios, viven largos periodos de tiempo cuando se aplican al suelo, posiblemente porque el suelo es su medio de transmisión en el cual se desarrollan, mientras que los protozoarios se desarrollan en agua. De esta manera, bajo condiciones apropiadas de humedad, temperatura y luz solar, *Ascaris*, *Trichuris*, etc. pueden permanecer viables por varios años. Debido a la exposición y desecación por la radiación solar, los huevos de helmintos depositados en la superficie de las plantas mueren más rápido, de 27 a 35 días (Kowal, Pahren y Akin, 1981).

4. NIVELES DE TRATAMIENTO PARA REDUCIR PATOGENOS

El control de las descargas de aguas residuales por medio del tratamiento y disposición en el suelo es una alternativa económica para la mayoría de los municipios mexicanos, beneficios que se incrementan si se usa para la agricultura. Esto es conveniente siempre y cuando se desarrollen y apliquen las tecnologías adecuadas para tratar las aguas residuales destinadas al reuso en la agricultura, con instalaciones de bajo costo y un mínimo de atención en operación, mantenimiento y administración.

Cabe mencionar que no se hace referencia a las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales, tales como lodos activados o biodiscos, etc., ya que el objetivo primordial de dichos sistemas es la remoción de la materia orgánica y ésta, para la agricultura, ha mostrado ser un acondicionador y formador de suelos orgánicos, además de amortiguar algunos efectos negativos de compuestos tóxicos (Tejeda, 1991).

Aunque cualquier nivel de bacterias se puede inactivar, teóricamente, desinfectando con cloro, esta práctica en aguas residuales crudas llega a ser muy costosa por el contenido

de materia oxidable, puede producir halometanos cancerígenos y dañar la biota del suelo. Además se ha encontrado que protozoarios como Entamoeba histolítica y Giardia son muy resistentes al cloro.

El tratamiento mínimo a las aguas residuales antes del riego es la sedimentación. Así, el grado de remoción de bacterias va del 10 al 35%; de virus, alrededor del 10%; en protozoarios no es eficiente y de helmintos cerca del 99% (Kowal, Pahren y Akin, 1981).

Las lagunas de estabilización son los sistemas de tratamiento más comunes con fines de riego ya que, además de poder ser diseñadas para cualquier grado de remoción de bacterias patógenas, resuelven la necesidad de almacenamiento de aguas residuales en la mayoría de los sistemas de riego agrícola.

La supervivencia de virus en lagunas de estabilización es poco conocida. Los estudios realizados sugieren que tiempos de retención largos, el orden de 30-49 días, remueven un porcentaje importante de virus (90-97%), especialmente cuando las lagunas son en serie (Crites y Uiga, 1979).

Estas lagunas son una mejor opción para la remoción de quistes de protozoarios. De esta manera, se ha logrado un 100% de remoción de quistes del efluente de una serie de 3 lagunas, con un tiempo de retención de 7 días (Kowal, Pahren y Akin, 1981). En cuanto a helmintos, se logró la remoción completa con tiempos de retención mayores de 20 días (Feachmen, Bradley, Garelick y Mara, 1978).

No debe olvidarse que los lodos o sedimentos de la laguna en que se desarrolle este proceso tendrá una alta densidad de quistes de protozoarios y huevos de helmintos viables, los cuales requerirán un tratamiento apropiado antes de su disposición.

Por otra parte, en las lagunas se reduce hasta un 70% de la concentración de metales traza como cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc. No se remueven minerales disueltos como nitrógeno y fósforo, lo cual es una ventaja porque estos elementos fertilizan en suelo.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-032-ECOLOG-CCA/93

Tabla 1
Niveles de control de contaminantes

PARAMETROS	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES
Potencial Hidrógeno (pH) (unidades de pH)	6.5 a 8.5
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	2000.0
Aluminio (mg/L)	0.20
Antimonio (mg/L)	0.10
Arsénico (mg/L)	0.10
Boro (mg/L)	0.75
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuro (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.20
Cromo (mg/L)	0.01
Fierro (mg/L)	5.0
Fluoruros (como Flúor) (mg/L)	1.0
Manganeso (mg/L)	0.02
Níquel (mg/L)	0.05
Plomo (mg/L)	0.50
Selenio (como Selenato) (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-033-ECOLOG-CCA/93

**CONTAMINACION DEL AGUA- CONDICIONES PARA EL USO DE
AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN URBANO O MUNICIPAL O DE LA
MEZCLA DE ESTAS CON LA DE LOS CUERPOS DE AGUA, EN EL
RIEGO AGRICOLA**

3.3 HORTALIZAS.

Acelga	ajo	apio	berro	betabel	brócoli	cebolla
cilantro	col	coliflor	epazote	espinaca	hongo	lechuga
papalo	perejil	quelite	quintonil	rábano	hierbabuena	
pepino	calabacita	jitomate	tomatillo	tomate verde	o de cáscara	

(con excepción de las 4 últimas cuando se siembran con espaldadera)

FRUTOS EQUIPARABLES:

fresa	jícama	melón	sandía	zarzamora
-------	--------	-------	--------	-----------

3.4 HORTOFRUTICOLAS.

Las señaladas en el inciso anterior y todas las demás hortalizas y frutos en general.

4. ESPECIFICACIONES

Las restricciones de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, que se dispongan a través de su uso en el riego de hortalizas de consumo crudo, en lo relativo a parámetros bacteriológicos se clasifican en los siguientes tipos para efectos de determinar las clases de cultivos no permitidos:

TIPO DE AGUA	COLIFORMES TOTALES	HELMINTOS
Tipo 1	< 1000/100 ml agua	0/litro de agua
	COLIFORMES FECALES	
Tipo 2	1 a 1000/100 ml de agua	1/litro de agua
Tipo 3	1001 a 100,000/100 ml	
Tipo 4	> 100,000/100 ml	

ANEXOS

EFFECTOS EN LA SALUD ASOCIADOS CON BACTERIAS, DERIVADOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON FINES DE RIEGO

a) *Campylobacter jejuni*

Es un causante, recientemente reconocido de gastroenteritis aguda con diarrea.

b) *Escherichia coli*

Los patógenos asociados a la común bacteria intestinal *Escherichia coli* producen diarreas agudas, pero por diferentes mecanismos.

c) *Leptospira spp*

Son bacterias que se excretan en la orina de animales domésticos y salvajes y que entran a las aguas residuales municipales, principalmente, por la orina de ratas infectadas que habitan en las alcantarillas. Leptospirosis es un grupo de enfermedades causadas por bacterias y que se manifiestan por fiebre, dolores de cabeza, escalofríos, vómitos, dolores musculares y conjuntivitis. El riesgo de mortalidad es bajo, pero aumenta con la edad. La transmisión directa por humanos es rara, la mayor parte de las infecciones son resultado de contacto con la orina de animales enfermos.

d) *Salmonella paratyphi*

Causa fiebre de paratifoidea, una infección entérica generalizada, con frecuencia aguda, con fiebre, inflamación del bazo, diarrea. Tiene baja tasa de mortalidad, pero junto con la salmonelosis, una alta tasa de morbilidad (28.4 por 100,000 hab)

e) *Salmonella typhi*

Causa fiebre tifoidea, enfermedad sistemática con una tasa de morbilidad de 7.9 casos por 100,000 hab y una alta mortalidad (1254 casos en 1980)

f) *Salmonella spp*

Causa salmonelosis, una gastroenteritis aguda caracterizada por dolor abdominal, diarreas, náusea, vómito y fiebre.

g) *Shigella sonnei*, *S. flexneri*, *S. boydii* y *S. dysenteriae*

Causas shigelosis o disentería bacteriana, una enteritis aguda, que involucra principalmente el colón, produciendo diarrea, fiebre, vómitos, calambres.

h) *Vibrio cholerae*

Causa cólera, una enteritis aguda caracterizada por súbitos ataques, vómitos, y una rápida deshidratación, acidez y colapso circulatorio. La posibilidad de muerte es alta, pero no se han registrado casos recientes en México.

i) *Yersinia enterocolitica* y *Y. pseudotuberculosis*

Causa yersiniosis, una aguda gastroenteritis con diarrea, dolor abdominal, y otro gran número de síntomas.

(Kowal, Pahren & Akin, 1981)

DESCRIPCION DE LAS ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS

a) POLIOVIRUSES:

Causa la poliomielitis, una enfermedad aguda que puede consistir en una simple fiebre o progresar hasta una parálisis ocasionada por la destrucción de las neuronas motoras en la columna vertebral. No se ha confirmado con exactitud, su diseminación por medio de aguas residuales.

b) COXSACKIEVIRUS:

Puede causar meningitis aséptica, miocarditis, pericarditis, neumonía, hepatitis, diarrea infantil.

c) ECHOVIRUSES:

Puede causar meningitis aséptica, parálisis, encefalitis, fiebre, pericarditis, diarrea.

d) ENTEROVIRUS NUEVOS:

Puede causar neumonía, bronconeumonía, conjuntivitis hemorrágica aguda, meningitis aséptica,

e) VIRUS DE LA HEPATITIS TIPO A:

Causa hepatitis infecciosa, que puede ser desde una infección desapercibida, hasta una hepatitis fulminante.

f) ROTAVIRUS:

Causa gastroenteritis aguda con diarrea severa, algunas veces ocasiona deshidratación y muerte en niños. Se considera la causa más importante de gastroenteritis aguda en infantes y niños, aunque también afecta a jóvenes y adultos.

g) ADENOVIRUS:

Son la causa principal de infección respiratoria y de los ojos, se transmite por vía respiratoria, pero actualmente se cree que es una causa importante de gastroenteritis esporádica en niños pequeños.

h) REOVIRUS:

Ha sido aislado de las heces fecales de pacientes que han padecido diferentes enfermedades, pero no se ha podido establecer una clara relación etiológica. Parece ser que la infección por reovirus en humanos es común y se asocia con manifestaciones benignas o no clínicas.

i) PAPOVAVIRUS:

Se ha encontrado en orina y parece estar asociado con leucoencefalopatología, pero ha sido poco estudiado.

j) ASTROVIRUS, CALICIVIRUS:

Parecen estar asociados a gastroenteritis humana, produciendo diarrea, pero tampoco han sido bien estudiados.

(Kowal, Pahren & Akin, 1981)

DESCRIPCION DE LAS ENFERMEDADES CAUSADAS POR PROTOZOARIOS

a) Entamoeba histolytica

Causa amibiasis o disentería por amibas, una enteritis aguda, , cuyos síntomas pueden ser desde un malestar abdominal benigno con diarrea, hasta una disentería fulminante con fiebre, escalofríos y diarreas con sangre o mucosidades. La mayoría de las infecciones son asintomáticas, pero pueden suceder casos severos de diseminación, produciendo abscesos en hígado, pulmones y cerebro, con riesgo de muerte. En México, la tasa de morbilidad fue de 1000 por 100,000 habitantes de 1982 a 1984; y la mortalidad que ocasionó en estos años fue de 1800 casos.

b) Giardia lamblia

Produce giardiasis, una infección asintomática frecuente del intestino, el cual puede estar asociado con diarrea crónica, mala absorción de grasas, fatiga y pérdida de peso.

c) Balantidium coli

Produce balantidiasis, una enfermedad del colon, caracterizada por diarrea o disentería, la cual se transmite por quistes en agua contaminada, particularmente por cerdos.

(Kowal, Pahren & Akin, 1981)

REFERENCIAS

✓ ASANO, T. & PETTYGROVE, G.S. (1984) "Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater. A Guidance Manual". University of California, Davis. Report No 84-1 wr, California, U.S.

BARNES, GEORGE E. (1967) "Tratamiento de Aguas Negras y Desechos Industriales". Centro Regional de Ayuda Tecnica, Mexico.

BAGDASARYAN, G.A. (1964) "Survival of viruses of the enterovirus group in soils and vegetables". J. Hygiene, Epidemiology, Microbiology and Immunology, U.S.

BENEFIELD, LARNY & CLIFFORD W. RANDALL (1980) "Biological Process Design for Wastewater Treatment". Prentice - Hall, U.S.

BRYAN, J.L. (1977) "Disease Transmitted by Foods Contaminated by Wastewater". J. Food Protection, U.S.

BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.O. (1969) "The nature and Properties of Soils". Mc Millan, U.S.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES (1978).
"Wastewater Reclamation Criteria". Title 22,
Berkeley, California, U.S.

CARNOW, NORTHROP, WADDEN, ROSENBERG, HOLDEN, NEAL, SCHEAFF,
SCHEFF & MEYER (1979) "Health Effects of Aerosols
emitted from an Activated Sludge Plant". EPA-600/ 1-
79-019. Health Effects Research Laboratory, U.S. EPA

COMISION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (1987) "Informe
Tecnico". Documento Interno, Nuevo Laredo,
Tamaulipas, Mexico.

CRITES, R.W. & UIGA, A. (1979) "An Approach for Comparing
Health Risks of Wastewater Treatment Alternatives: A
Limited Comparison of Health Risk between Slow Rate
Land Treatment and Activated Sludge Treatment and
Discharge". EPA - 430/9-79-009 Office of Water
Program Operations, U.S.

✓ DEPARTMENT OF AGRICULTURE, U.S. (1954) "Diagnostico y Rehabilitacion de Suelos Salinos y Sodicos" (Manual No 60), Instituto Nacional de Investigaciones Agricolas, S.A.G., Mexico (Edicion 1971)

DEPARTMENT OF AGRICULTURE, U.S. (1974) "Manual de Conservacion de Suelos", Ed. Limusa, Mexico.

DEPARTMENT OF AGRICULTURE, U.S. (1982) "Relacion de Agua, Suelos, Plantas y Atmosfera", Ed. Diana, Mexico.

✓ FEACHMEN, BRADLEY, GARELICK & MARA (1978) "Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management". World Bank Studies in Water Supply and Sanitation, No 3, John Hopkins University Press, Baltimore, U.S.

ITURRE, R. (1986) "Salinidad y Disposicion de Aguas Residuales en Suelos". Instituto de Ingenieria, U.N.A.M. Mexico.

JEFATURA DE DISTRITO DE DESARROLLO RURAL No 154 - NUEVO LAREDO (1987) "Informacion General del Distrito", Nuevo Laredo, Tamaulipas, Mexico.

✓ KOWAL, N.E., PAHREN, H.R. & AKIN, E.W. (1981)
"Microbiological Health Effects Associated with the
Use of Municipal Wastewater for Irrigation", in:
Municipal Wastewater in Agriculture, Academic Press,
U.S.

LEOPOLD, A.C. (1964) "Plant Growth and Development". Mc
Graw Hill. New York, U.S.

MAAS, E.V. (1982) "Salt Tolerance of Plants", in: Handbook
of Plant Science, Christie (Ed), CRC Press, Inc. U.S.

✓ MC NEAL, B.L. (1981) "Evaluation and Classification of
Water Quality for Irrigation", in: Salinity in
Irrigation and Water Resources, Dan Yaron (Ed),
Marcel Dekker, Inc. U.S.

MENDOZA BERRUETO, E. (1981) "Aspectos Socioeconomicos de la
Frontera Norte de la Republica Mexicana", en:
Frontera del Norte: Integracion y Desarrollo.
Colegio de Mexico, Mexico.

MENDOZA MARQUEZ, H. (1981) "Land Treatment: A Viable
Solution for Management of Wastewater in the
Metropolitan Area of the Valley of Mexico", in:
Municipal Wastewater Agriculture, D'Itri, Aguirre y
Athie (Eds), Academic Press, U.S.

METCALF & EDDY (1972) "Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal". Mc Graw Hill, U.S.

MURPHY, W.H. & SYVERTON, J.T. (1958) "Absorption and Translocation of mammalian viruses by plants", II. Recovery and Distribution of viruses in plants. *Virology* 6,623.

ORTA LEDESMA, M.T. (1985) "Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola en Mexico" Tesis D.E.P.F.I. - U.N.A.M., Mexico.

PAGE, A.L. & CHANG, A.C. (1981) "Trace Metals in Soils and Plants Receiving Municipal Wastewater in Irrigation", in: *Municipal Wastewater in Agriculture*, D'Itri, Aguirre y Athie (Eds), Academic Press, New York, U.S.

RAMALHO, A.S. (1983) "Introduction to Wastewater Treatment Process". Academic Press, U.S.

ROJAS GARCIDUEÑAS, M (1984) "Fisiología Vegetal Aplicada" Mc Graw Hill, Mexico.

✓ S.A.R.H. (1981) "Evaluacion del Impacto Ambiental del Transporte y Uso de las Aguas Residuales del Area Metropolitana del Valle de Mexico en la Agricultura", Documento Interno, S.A.R.H. Mexico.

S.A.R.H. DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS Y UNIDADES DE RIEGO (1977) "Caracteristicas de los Distritos de Riego", S.A.R.H. Mexico

S.A.R.H. COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO (1976) "Uso Potencial del Suelo". Documento No 12, S.A.R.H. Mexico.

S.A.R.H. COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO (1977) "Uso Potencial del Suelo: Anexo E - Cuenca Baja del rio Bravo y Norte de Tamaulipas", S.A.R.H. Mexico.

S.P.P. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA (1972) "IX Censo General de Poblacion y Vivienda", S.P.P. Mexico.

S.P.P. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA (1982) "X Censo General de Poblacion y Vivienda". S.P.P. Mexico.

S.R.H. DIRECCION DE AGROLOGIA (1966) "Estudio de los Suelos de la Republica Mexicana, S.R.H. Mexico.

THORNTHWAITE (1948) " An Approach Toward a Rational Classification of Climates" Trad. Miguel Perez Espinosa, Revista Ingenieria Hidraulica en Mexico.

VICTORIA MASCORRO, E. (1984) "Patrones de Distribucion Espacial de los Asentamientos Humanos en la Franja Fronteriza Norte", en: Impactos Regionales de las Relaciones Economicas Mexico-Estados Unidos. El Colegio de Mexico, Mexico.

INTRODUCCION

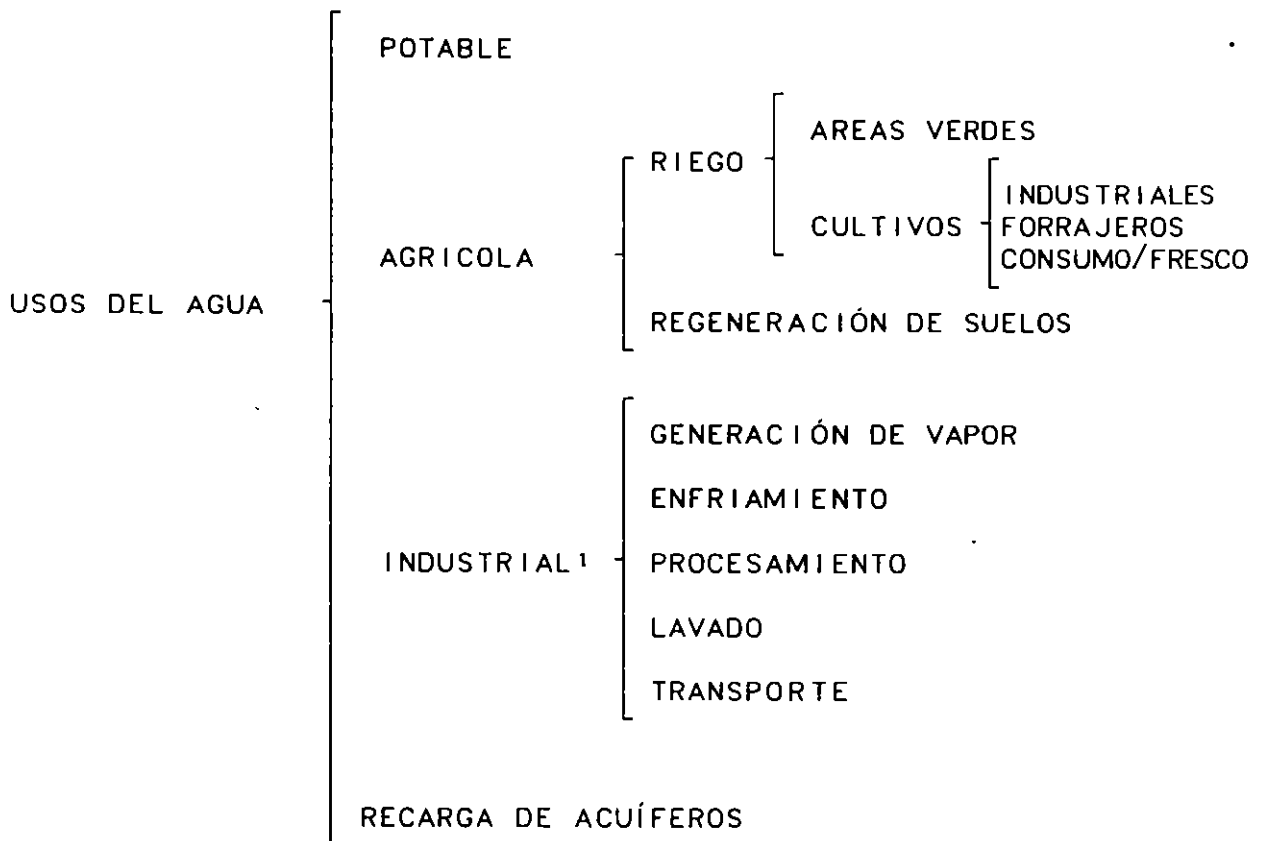
DEFINICION DEL TERMINO CALIDAD:

- A) MANERA DE SER DE UN PERSONA O COSA
- B) FUNCION, NOBLEZA O LINAJE
- C) EXCELENCIA, IMPORTANCIA (ASUNTO DE CALIDAD)
- D) CLASE, VALIA

ES UN TERMINO AMBIGÜO, SIN EMBARGO NOS INTERESA SU USO EN CUANTO SE REFIERE AL VALOR RELATIVO DE UN OBJETO CON UN DETERMINADO PATRON.

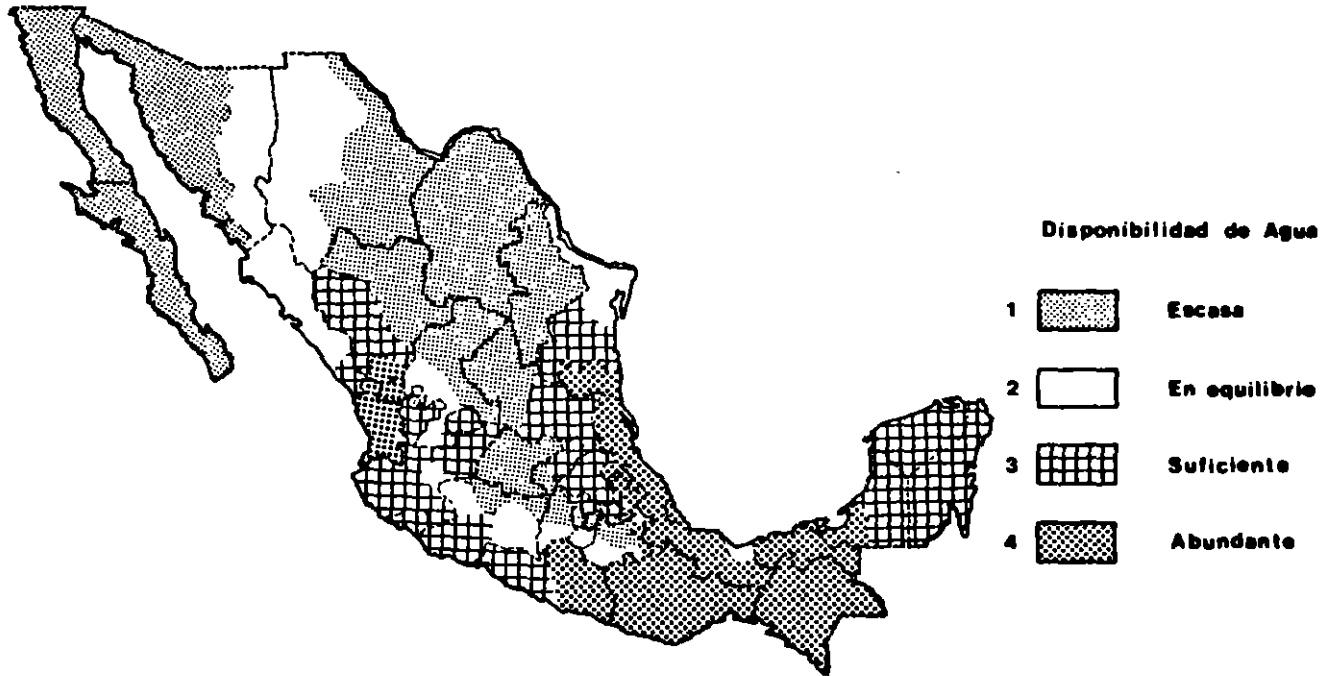
OBJETO → AGUA

PATRON → REGLAMENTOS Y NORMAS DE USO DEL AGUA O CRITERIOS



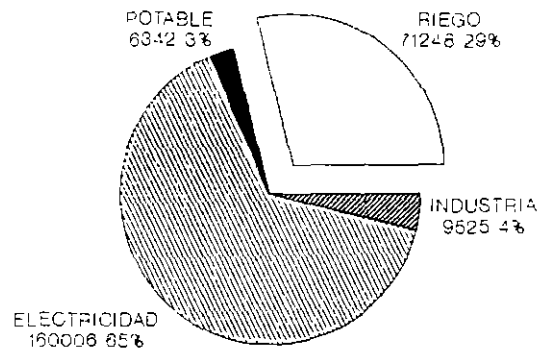
¹ se señalan los usos más comunes

**Zonas de disponibilidad de agua que considera
la Ley Federal de Derechos**



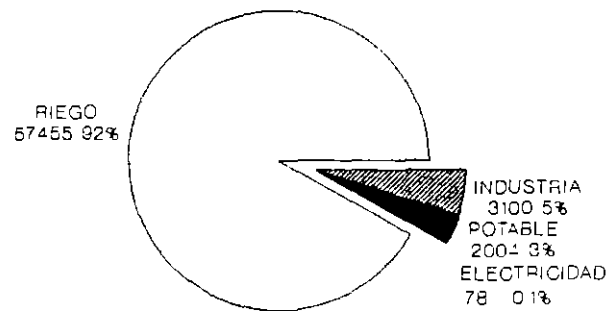
**EXTRACCION DE AGUA
POR LOS DIFERENTES USUARIOS**

(Millones de metros cúbicos)



**CONSUMO DE AGUA
POR LOS DIFERENTES USUARIOS**

(Millones de metros cúbicos)

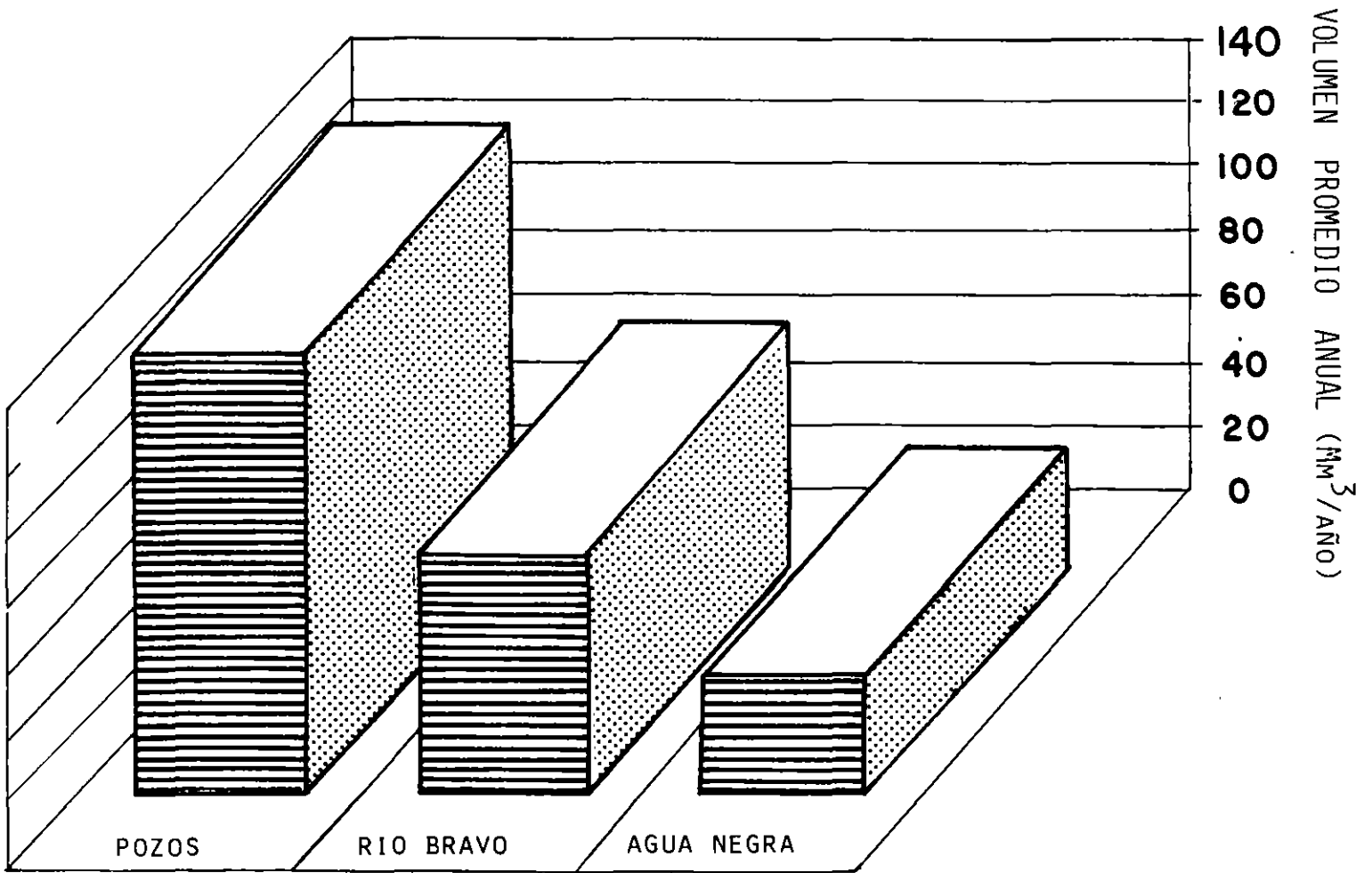


VOLUMENES Y CALIDAD PROMEDIO DEL AGUA PARA RIEGO

FUENTE DE ABASTECIMIENTO	VOLUMEN ANUAL (MM ³)	SOLIDOS DISUELTOS (P.P.M.)	C.E. x 10 ⁶	R.A.S.	CLASIFICACION
AGUA TRATADO INTERNACIONAL (RIO BRAVO)	74	571.6	866.2	1.84	C3 - S1
AGUA NEGRA	36.8	964.5	1,454.6	2.32	C3 - S1
AGUA MEZCLAS		928.7	1,411.5	2.41	C3 - S1
AGUA SUBTERRANEA	135				
AGUA DE POZO/CANAL PRAL.		2,009.9	3,291.8	4.81	C4 - S2
AGUA DE POZO/BOMBEO SARH		1,951.6	3,222.1	5.22	C4 - S2
TOTAL	245.8				

FUENTE: S.A.R.H. 1986

ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO



FUENTE DE ABASTECIMIENTO

APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL(5)

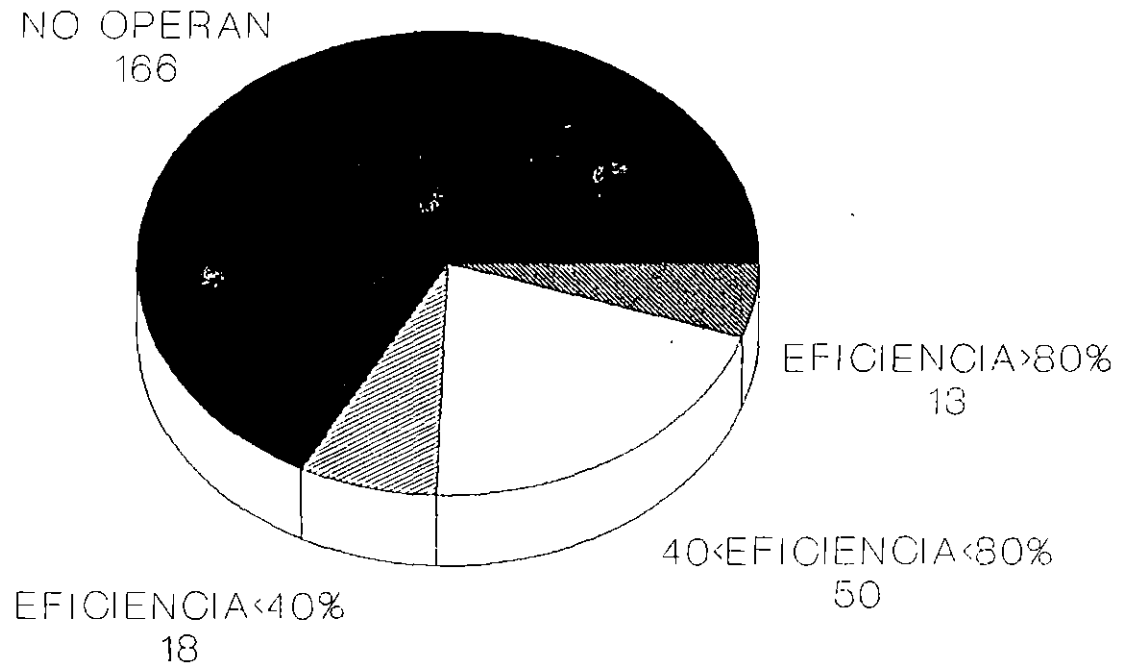
PLANTA	USO DE LAS AGUAS TRATADAS O RENOVADAS
CHAPULTEPEC	RIEGO DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y LLENADO DE LAGOS Y FUENTES UBICADOS EN EL MISMO BOSQUE
CD. DEPORTIVA	RIEGO DE AREAS VERDES DE LA CIUDAD DEPORTIVA Y DE CAMELLONES EN ALGUNAS AVENIDAS IMPORTANTES
SAN JUAN DE ARAGON	RIEGO DEL BOSQUE DE SN. JUAN DE ARAGON Y LLENADO DEL LAGO UBICADO EN EL MISMO BOSQUE
COYOACAN (ANTES XOCHIMILCO)	REPOSICION DE NIVELES DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO Y RIEGO DE LOS VIVEROS UBICADOS EN COYOACAN
CERRO DE LA ESTRELLA	REPOSICION DE NIVELES DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO Y RIEGO DE CAMELLONES DE LA CZDA. I. ZARAGOZA *
BOSQUES DE LAS LOMAS ACUEDUCTO DE GUADALUPE	RIEGO DE JARDINES Y CAMELLONES POR MEDIO DE PIPAS SE ESTA CONSTRUYENDO LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA TRATADA PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
EL ROSARIO	SE ESTA CONSTRUYENDO LA RED DE DISTRIBUCION DEL AGUA TRATADA PARA SU USO EN EL DEPORTIVO REYNOSA
TLATELOLCO	RIEGO DE JARDINES Y CAMELLONES POR MEDIO DE PIPAS

32

* Inyección al vivero (proceso de investigación)
 en tratamiento terciario C.A. y OSMECIS.

INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE EN LAS 540 POBLACIONES
MAYORES A 10,000 HABITANTES (1989)



1989

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

ASPECTOS "SANITARIOS"

RIESGOS A LA SALUD POR
CONTAMINACION8

MICROBIOLOGICAS

VIRUS
BACTERIAS
PROTOZOARIOS
HELMINTOS

METALES

PLOMO
CROMO
CADMIO
MERCURIO

ASPECTOS "AGRONOMICOS"

EFFECTOS EN LA PRODUCCION DE
CULTIVOS DEBIDO A 8

SALINIDAD
SODICIDAD
METALES

34

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

ASPECTOS SANITARIOS

RIESGOS A LA SALUD POR MICROORGANISMOS PATOGENOS

MICROORGANISMOS

ENFERMEDADES RELACIONADAS

BACTERIAS

GASTROENTERITIS, DIARREAS
DISENTERIA, TIFOIDEA
SALMONELOSIS

VIRUS

POLIOMELITIS, HEPATITIS
MENINGITIS, PARALISIS
DIARREA, GASTROENTERITIS
NEUMONIA, CONJUNTIVITIS

PROTOZOARIOS

AMIBIASIS
DISENTERIA AMIBIANA
DIARREA CRONICA

HELMINTOS

ENFERMEDADES INTESTINALES
COMO TENIASIS Y CISTICERCOSIS

FUENTE: KOWAL, PAHREN & AKIN, 1981

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO
ASPECTOS AGRONOMICOS

METALES TOXICOS A LOS CULTIVOS

ELEMENTO	CONC.*	EFECTO EN CULTIVO
Al	0.1 - 1.0	CAUSA PUDRICION EN LAS RAICES
As	0.1 - 2.0	LIMITA SEVERAMENTE EL CRECIMIENTO
Be	0.5 - 5.0	REDUCE LOS RENDIMIENTOS
B	0.5 - 4.0	CAUSA NECROSIS EN HOJAS Y ABSICION
Cr	0.5 - 5.0	COMO CROMO +6 DAÑA EL CRECIMIENTO
Cu	0.1 - 1.0	INDUCE DEFICIENCIAS DE FE Y P
F	----	CAUSA NECROSIS Y CLOROSIS
Li	0.05-0.25	AFECTA CITRICOS Y UVAS
Mn	0.25- 1.0	CAUSA CLOROSIS Y RIZADO EN MARGEN DE HOJAS
Ni	0.5 - 1.0	LIMITA CRECIMIENTO
V ^c	0.5 - 2.5	LIMITA CRECIMIENTO

FUENTE: PAGE & CHANG, 1981

*CONCENTRACION FITOTOXICA EN MG/L

SUPERVIVENCIA DE MICROORGANISMOS		(DIAS)
MICROORGANISMO	EN SUELOS	EN CULTIVOS
BACTERIAS	4 - 70	6 - 35
VIRUS	100	MENOS DE 20
PROTOZOARIOS	3	3
HELMINTOS	VARIOS AÑOS	27 - 35

REDUCCION DE MICROORGANISMOS POR TRATAMIENTO

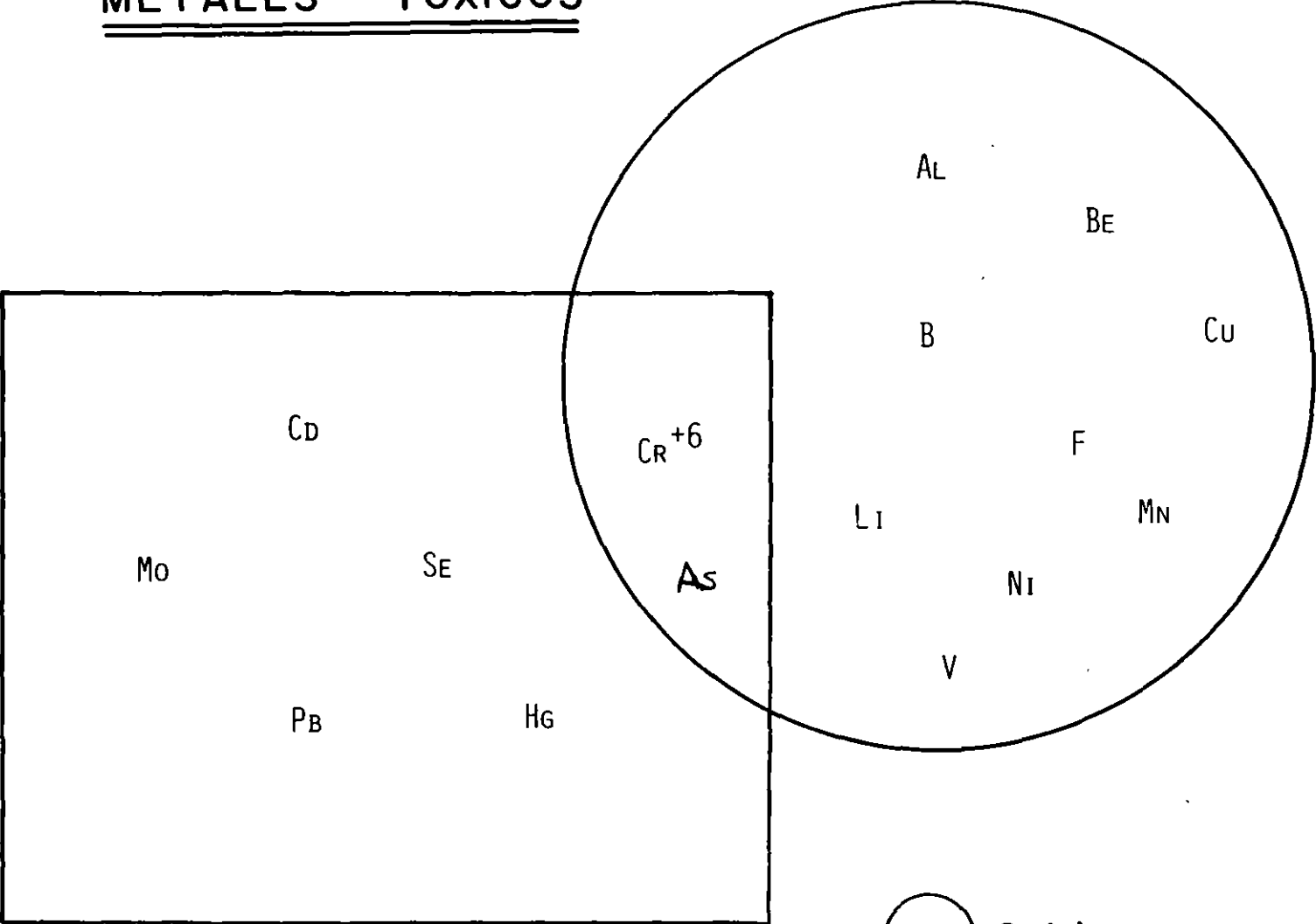
SISTEMA DE TRATAMIENTO	MICROORGANISMO	REDUCCION
PRIMARIO (SEDIMENTACION)	BACTERIAS	10 - 35%
	VIRUS	10%
	PROTOZOARIOS	0 - 2%
	HELMINTOS	100%
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	BACTERIAS	90%
	VIRUS	90%
	PROTOZOARIOS	100%
	HELMINTOS	100%

FUENTE: KOWAL, PAHREN & AKIN, 1981

CRITES & UIGA, 1979

FEACHMEN, BRADLEY, GARELICK & MARA, 1978

METALES TOXICOS



○ Cultivos

□ Hombre

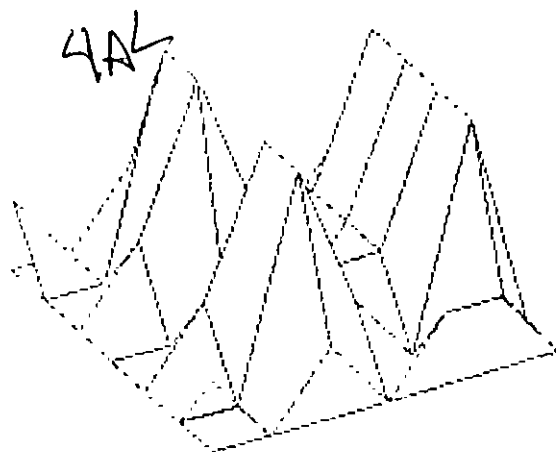
38

CONCENTRACION ESTIMADA DE METALES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DE LA CIUDAD DE MEXICO

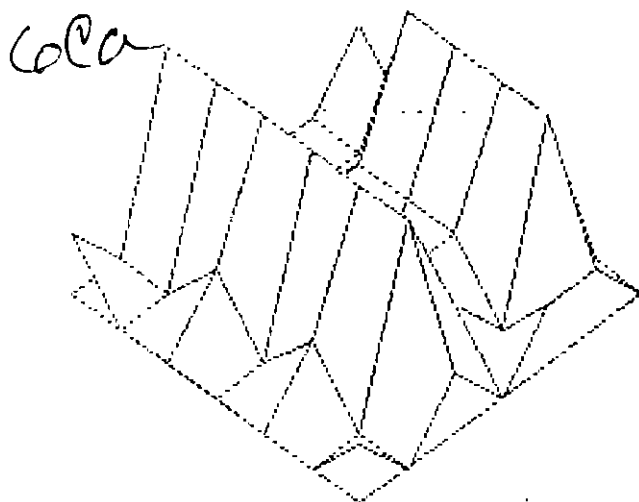
METAL TRAZA	CONCENTRACION (MG/L)
ARSENICO	0.001
BORO	2.83
CADMIO	0.02
CIANURO	0.64
COBRE	0.214
CROMO	0.42
FIERRO	4.05
FLUOR	0.48
MANGANESO	0.32
MERCURIO	0.01
MOLIBDENO	1.44
NIQUEL	0.65
PLOMO	0.25
ZINC	0.54

FUENTE: S.A.R.H. 1981

EFFECTO DEL SODIO EN EL SUELO



KAOLINITA

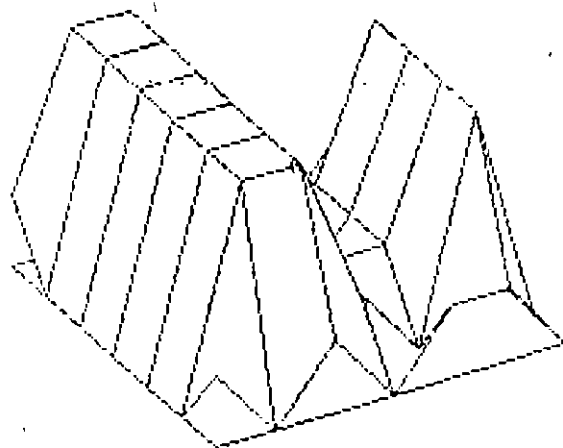


SE INTERCAMBIAN IONES
DE ALUMINIO POR CALCIO

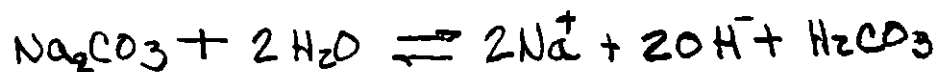


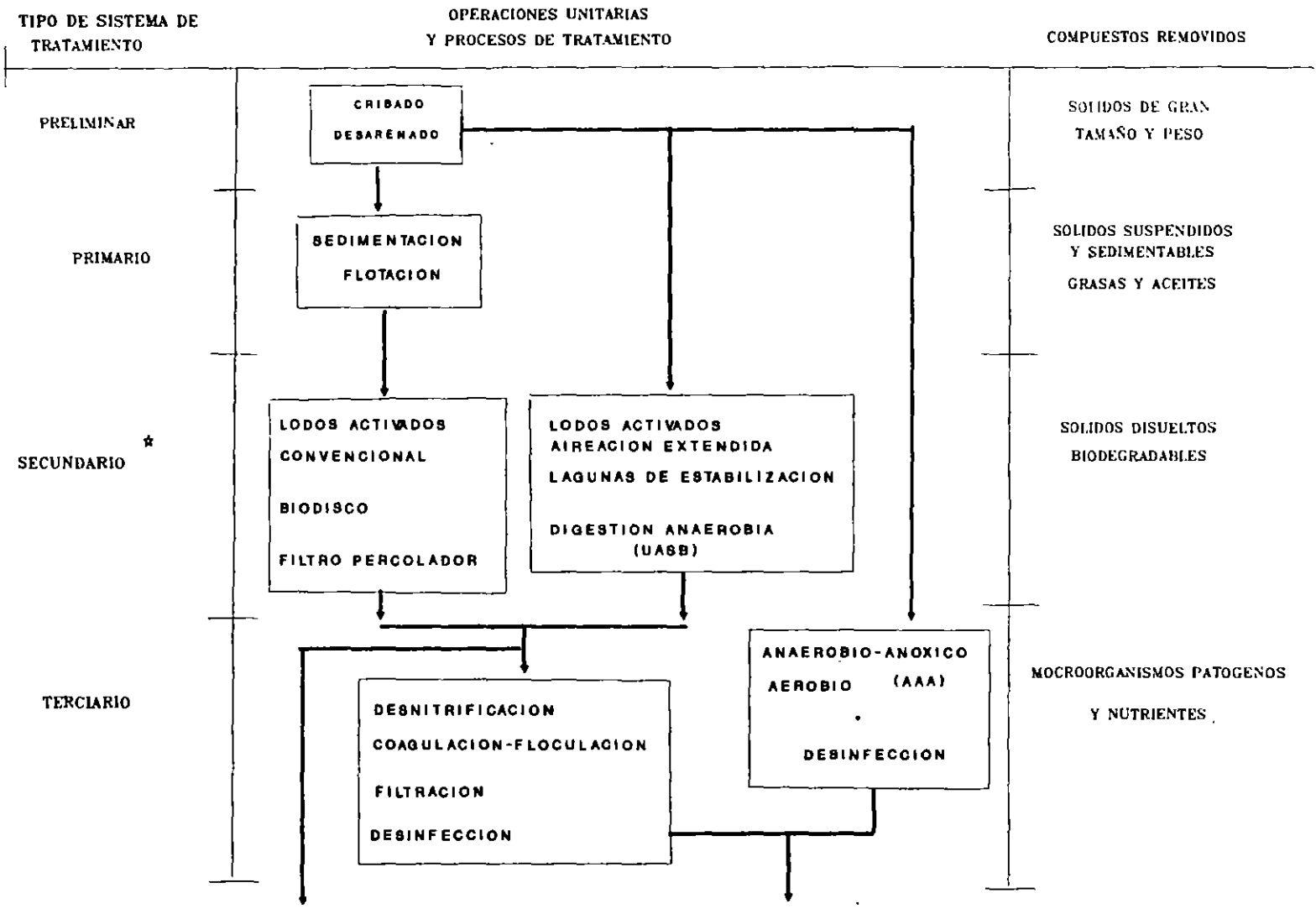
12Na

(Sodalita)



SE INTERCAMBIAN IONES
DE CALCIO POR SODIO





^{*} PARA ESTE BLOQUE SE INCLUYEN VARIOS PROCESOS, PERO EN LA SELECCION DE UN TRN DE TRATAMIENTO SE SELECCIONA SOLO UNO

13



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *
Tratamientos Avanzados en Aguas Residuales**

Autor:

Dr. Germán Buitrón Méndez

Instructor:

Ing. Rafael López Ruiz

TRATAMIENTOS AVANZADOS EN AGUAS RESIDUALES

Dr. Germán Buitrón Méndez
Instituto de Ingeniería, UNAM
Coordinación de Ingeniería Ambiental
C.U. Apartado Postal 70-472
04510 México, D.F.
FAX 616-2164

Los tratamientos avanzados se definen como el tratamiento adicional necesario para eliminar las sustancias suspendidas y disueltas que permanecen después de un tratamiento secundario clásico. Estas sustancias pueden ser materia orgánica o sólidos suspendidos, o pueden variar de iones relativamente simples, tales que el potasio, el calcio, el sulfato, el nitrato y el fosfato hasta los cada vez más complejos compuestos orgánicos sintéticos.

En años recientes se ha entendido mejor el efecto de estas sustancias sobre el medio ambiente por lo que las exigencias en materia de tratamiento de agua se han hecho más severas en términos de concentraciones límites de estas sustancias en los efluentes.

La tabla 1 presenta la composición típica del agua residual doméstica en donde se pueden apreciar las concentraciones de las sustancias arriba mencionadas. El efecto potencial que estas sustancias residuales podrían tener varía considerablemente.

Así, aunque los sólidos suspendidos y algunos compuestos orgánicos son eliminados en el tratamiento secundario, una eliminación adicional puede requerirse en casos especiales de descargas a corrientes de agua y lagos.

Los compuestos que tienen nitrógeno y fósforo disponible han llamado la atención ya que aceleran la eutroficación de los lagos y promueven el crecimiento de plantas acuáticas. Recientemente, se ha hecho necesaria la eliminación de estos compuestos debido a que el agua residual tratada es utilizada para la recarga de acuíferos. Además, la eliminación del nitrógeno es necesaria para eliminar el amoníaco que puede tener un impacto por su toxicidad sobre algunos cuerpos receptores.

Desde 1980 se ha puesto atención sobre los compuestos tóxicos y los compuestos orgánicos volátiles presentes en las aguas residuales. En particular estos compuestos son de interés

cuando se descarga el agua tratada en cuerpos de agua superficiales o es utilizada para la recarga de acuíferos, sobre todo si ésta va a ser utilizada posteriormente como fuente de agua potable.

Los sistemas de tratamiento avanzado pueden ser clasificados por el tipo de operación o proceso unitario o por la función principal de eliminación. En este capítulo se discutirán los principios y aplicaciones de los siguientes procesos y operaciones unitarias involucradas en el tratamiento avanzado o terciario de las aguas residuales:

- 1.- Filtración
- 2.- Eliminación de compuestos tóxicos - Adsorción
- 3.- Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas
- 4.- Nitrificación
- 5.- Desnitrificación
- 6.- Eliminación del fósforo

FILTRACION

Principio

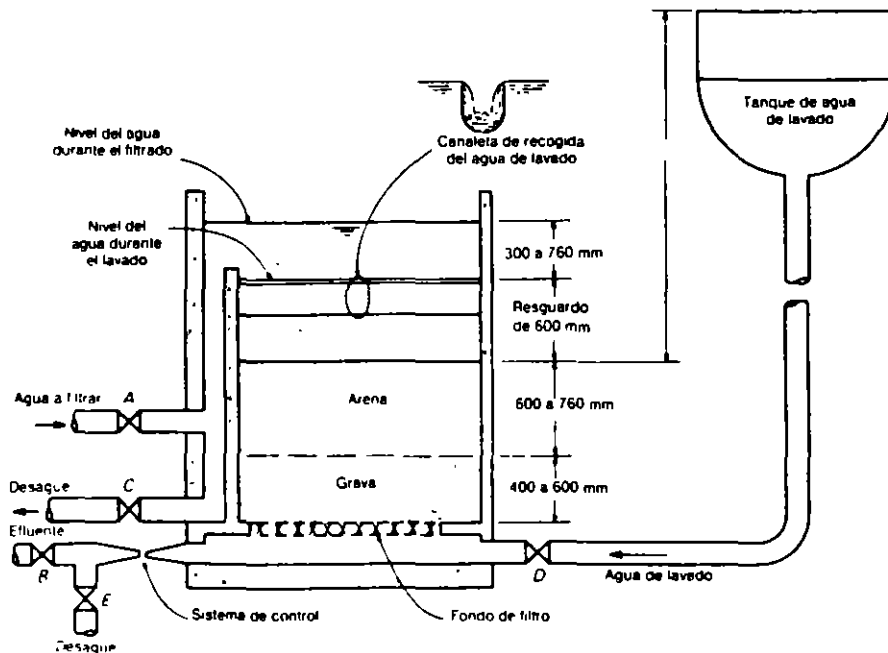
La filtración es una operación unitaria de separación sólido-líquido en la cual el líquido pasa a través de un medio poroso para eliminar la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos. En el campo de tratamiento de aguas residuales es utilizada para filtrar:

- 1) Efluentes secundarios no tratados
- 2) Efluentes secundarios tratados químicamente
- 3) Aguas residuales brutas tratadas químicamente

TABLA 1.

Typical composition of untreated domestic wastewater

Contaminante	Unit	Concentration		
		Weak	Medium	Strong
Solids, total (TS)	mg/L	350	720	1200
Dissolved, total (TDS)	mg/L	250	500	850
Fixed	mg/L	145	300	525
Volatile	mg/L	105	200	325
Suspended solids (SS)	mg/L	100	220	350
Fixed	mg/L	20	55	75
Volatile	mg/L	80	165	275
Settleable solids	mL/L	5	10	20
Biochemical oxygen demand, mg/L: 5-day, 20°C (BOD ₅ , 20°C)	mg/L	110	220	400
Total organic carbon (TOC)	mg/L	80	160	290
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	250	500	1000
Nitrogen (total as N)	mg/L	20	40	85
Organic	mg/L	8	15	35
Free ammonia	mg/L	12	25	50
Nitrites	mg/L	0	0	0
Nitrates	mg/L	0	0	0
Phosphorus (total as P)	mg/L	4	8	15
Organic	mg/L	1	3	5
Inorganic	mg/L	3	5	10
Chlorides ^a	mg/L	30	50	100
Sulfate ^a	mg/L	20	30	50
Alkalinity (as CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grease	mg/L	50	100	150
Total coliform ^b	no/100 mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Volatile organic compounds (VOCs)	µg/L	<100	100-400	>400



Representación esquemática del funcionamiento de filtros de flujo descendente por gravedad de medio granular

FIG. 1

El objetivo de la filtración es producir un efluente de alta calidad con la menor cantidad posible de partículas en suspensión (concentraciones menores a 10 mgSS/l). La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y retrolavado de los filtros.

Los filtros se clasifican de acuerdo con:

1.- El medio filtrante:

- a) Filtros con medio simple. Estos contiene un sólo tipo de medio que generalmente es arena
- b) Filtros con medio dual. Generalmente antracita y arena
- c) Filtros multimedia. Por lo común utilizan tres tipos de medio: antracita, arena y granate.

2.- La velocidad de filtración

- a) Filtros lentos. Tasas de filtración entre 0.15 y 0.30 m³/m²-h
- b) Filtros rápidos. Tasas de filtración entre 2 y 15 m³/m²-h

3.- La fuerza de filtración

- a) Por gravedad
- b) A presión

4.- La dirección de flujo

- a) Filtración ascendente
- b) Filtración descendente

5.- El control del flujo

- a) Filtración a tasa constante
- b) Filtración a tasa variable (tasa declinante)

Los mecanismos de eliminación de las partículas en la filtración son los siguientes:

- 1.- Tamizado. Las partículas más grandes que el tamaño del poro son retenidas mecánicamente.
- 2.- Sedimentación. Las partículas decantan en el medio filtrante.
- 3.- Impacto. las partículas más pesadas no siguen la línea de flujo.
- 4.- Intercepción. Muchas partículas contenidas en la corriente son retenidas cuando éstas se ponen en contacto con la superficie del medio de filtración.
- 5.- Adhesión. Las partículas floculantes se pegan a la superficie del filtro.

6.- Adsorción química y física

7.- Floculación y crecimiento biológico.

Aplicaciones

Los filtros de medio simple son poco usados en tratamientos avanzados. Generalmente se prefieren los filtros duales o multimédias debido a que se obtienen tasas de filtración más elevadas ya que estos filtros tienen un mayor porcentaje de volumen de poros (porosidad) lo que implica una mayor retención de sólidos.

En general los filtros para el tratamiento de aguas residuales reciben partículas más grandes, pesadas y de tallas más variables que los filtros utilizados en potabilización. Por ello es recomendado llevar a cabo estudios piloto para determinar las mejores condiciones de operación de los mismos.

La filtración de aguas residuales es utilizada para eliminar los flóculos de los efluentes secundarios antes de descargar las aguas. También se utiliza para eliminar los precipitados residuales de la precipitación con cal o sales de fosfatos. Es una operación de pretratamiento antes de que el agua residual tratada sea introducida a los filtros de carbón activado.

En el caso de la reutilización del agua se requiere filtrar los efluentes antes de ser utilizados para los cultivos, el riego de áreas verdes y recreativas.

Las variables que controlan el proceso tienen que ver con las características del influente como son la concentración en sólidos suspendidos y la turbiedad, el tamaño de partícula y la fuerza del flóculo.

ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS TOXICOS - ADSORCION

Los compuestos refractarios son compuestos resistentes a la degradación biológica en los procesos convencionales de tratamiento de aguas y en el medio ambiente. Los procesos utilizados para eliminar este tipo de compuestos son

Proceso	Aplicación
Adsorción con carbón activado	Eliminación de compuestos orgánicos sintéticos y naturales incluyendo los compuestos orgánicos volátiles, pesticidas PCB's y metales pesados
Lodos activados adicionados con carbón activado	Metales pesados, amoníaco, compuestos refractarios
Coagulación química	Metales pesados y PCB's
Oxidación química	Amoníaco,, compuestos tóxicos, halogenados alifáticos y aromáticos.
Procesos biológicos convencionales	Fenoles, PCB'S, hidrocarburos halogenados

El cloro es generalmente utilizado en el proceso de oxidación química. La principal desventaja es que el cloro forma trihalometanos. Otros oxidantes son el ozono y el dióxido de cloro. La ventaja del ozono es que con este compuesto se elimina además el color.

ADSORCION

La adsorción es la colección y concentración selectiva sobre la superficie sólida de moléculas de tipos particulares contenidas en un líquido o en un gas. A través de esta operación unitaria los gases o líquidos de sistemas mezclados, aún a muy bajas concentraciones, pueden ser selectivamente capturados y eliminados de las corrientes gaseosas o líquidas usando una gran variedad de materiales específicos conocidos como adsorbentes. El material que es adsorbido sobre el adsorbente es llamado adsorbato. Existen dos mecanismos involucrados en la adsorción: la adsorción física y la adsorción química.

Tipos de adsorción.

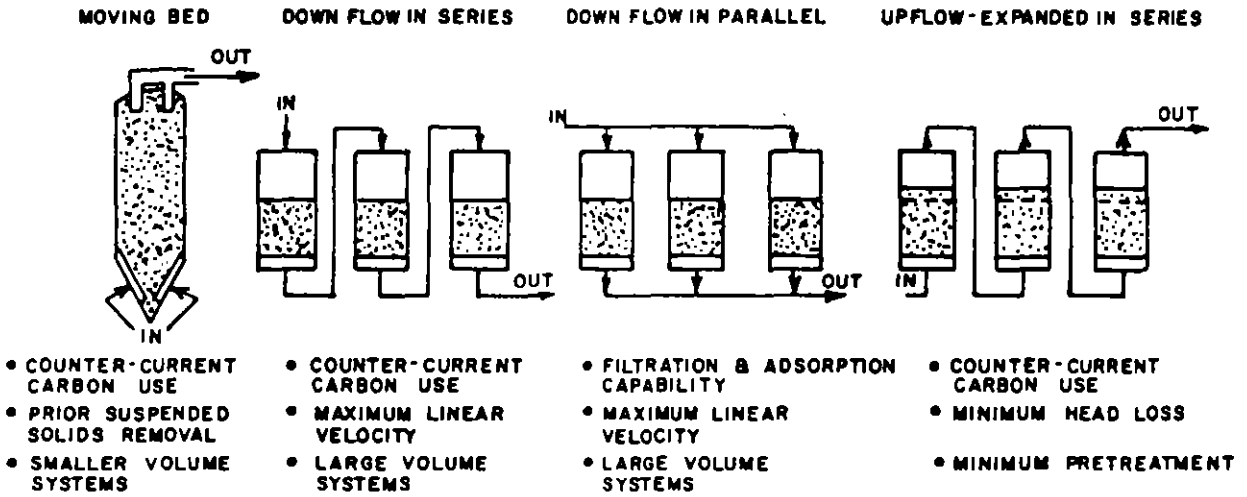
Cuando las moléculas gaseosas o líquidas alcanzan la superficie de un adsorbente y permanecen sin ninguna reacción química, el fenómeno es llamado adsorción física. El mecanismo por el cual se explica la adsorción física puede ser las fuerzas electrostáticas intermoleculares o de van der Waals, o puede depender en la configuración física del adsorbente como en el caso de la estructura de los poros del carbón activado. Los adsorbentes físicos típicamente cuentan con grandes áreas superficiales.

Actualmente el carbón activado es el adsorbente más ampliamente utilizado. Otros adsorbentes menos importantes son la alúmina activada, la sílica gel y las mallas moleculares. El carbón activado es catalogado como un adsorbente físico no polar. Se produce a partir de una gran cantidad de materiales carbónicos como son la madera, el aserrín, los huesos de frutas, las cáscaras de coco, el carbón mineral o hulla, el lignito y los residuos del petróleo. El carbón activado posee una área superficial interna muy grande con una intrincada red de poros. Se han estimado áreas superficiales totales entre 450 y 1800 m²/gramo, pero solamente una parte de esta superficie esta disponible para la adsorción. El carbón activado se presenta generalmente en tres tipos: granular o en gránulos naturales, en pellets y en polvo. Los carbones para la fase líquida pueden presentarse en polvo o bajo la forma granular, el primer tipo es mezclado y luego filtrado del líquido mientras que, el carbón granular es empacado en forma de lecho.

Técnicas por contacto en columna y equipo utilizado

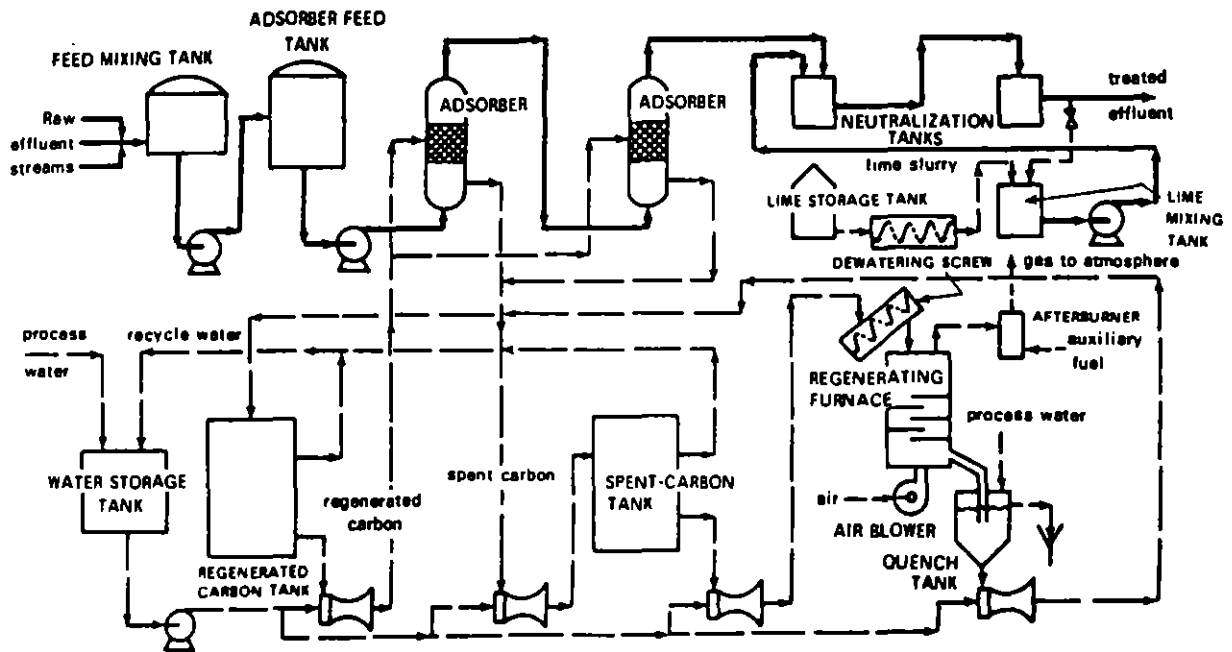
Cuando se utiliza en el proceso de adsorción un adsorbente granular, el proceso se puede llevar a cabo en batch, en columna o por lechos fluidificados. Los sistemas de contacto más utilizados son los lechos fijos o los lechos móviles a contracorriente debido a los bajos costos de operación y a la alta utilización de la capacidad de adsorción del adsorbente. Los lechos fijos pueden emplear flujos ascendentes o descendentes del fluido; sin embargo los flujos descendentes son mas populares ya que el lecho del adsorbente también puede servir como filtro para los sólidos suspendidos. Los lechos móviles a contracorriente emplean un flujo ascendente del líquido y flujo descendente del adsorbente ya que este se puede mover por la fuerza de la gravedad. Ambas configuraciones pueden operarse por gravedad o bajo presión del líquido.

ADSORBER CONFIGURATIONS



Typical carbon adsorption systems and their attributes.

FIG. 2



Carbon adsorption filtration plant for treating pesticidal wastes

FIG. 3

Técnicas de tratamiento con carbón activado

El carbón activado se usa comúnmente para eliminar compuestos orgánicos que causan olores, sabores y otros efectos nocivos. El carbón puede utilizarse ya sea en polvo o en gránulos. El carbón granular se coloca en forma de lecho en columnas y el agua a tratar pasa sobre éste. Los sabores, colores y olores debidos a compuestos tales que los fenoles, pesticidas, colorantes orgánicos, surfactantes, etc., son eliminados de las aguas residuales industriales o municipales. El proceso de eliminación continua hasta que el carbón alcanza su saturación, después de lo cual éste es regenerado.

Tratamientos biológicos adicionados con carbón activado

La utilización de carbón activado en polvo adicionado a los procesos biológicos se desarrolló con éxito en los años 70s. Este sistema es utilizado para tratar efluentes industriales contaminados con compuestos tóxicos. En este proceso se tienen las ventajas de la adsorción y de la biodegradación, por medio de organismos aclimatados, para la eliminación de los compuestos orgánicos. A esta combinación frecuentemente se le denomina como proceso PACT (desarrollado por Du Pont). Se observó que existe una neta mejoría de las capacidades de depuración del proceso por la adición de este compuesto al tanque de aeración del proceso por lodos activados. Se explicó la mejoría en los rendimientos del proceso no solamente por el efecto de la adsorción de los compuestos orgánicos sobre el carbón activado, sino también por el fenómeno llamado biorregeneración.

La biorregeneración es el proceso a partir del cual los compuestos orgánicos adsorbidos desorben, volviéndose disponibles para la biodegradación y dejando la superficie del carbón activado nuevamente disponible para una nueva adsorción. Algunos autores han sugerido que las tasas de desnitrificación también se mejoran con la adición del carbón activado. Esto es explicado por la adsorción de las sustancias inhibitoras sobre el carbón activado.

Este tipo de sistemas pueden eliminar las sustancias tóxicas o inhibitorias presentes en las aguas residuales como resultado del potencial de biooxidación del sistema. Así, los compuestos orgánicos son retenidos en el sistema por un periodo que se aproxima al tiempo de retención celular, en lugar del periodo dado por el tiempo de retención hidráulico, como ocurre en un proceso biológico tradicional.

Los residuos sólidos producidos en el sistema pueden ser depositados en un relleno

sanitario adecuado para el caso o bien, ser llevados al procesos de oxidación/incineración tales que la oxidación por vía húmeda o la combustión térmica para su destrucción.

No obstante, este proceso tiene desventajas que son inherentes al manejo del carbón en polvo, al el sistema de filtración requerido y a la eficiencias bajas de adsorción. Por ello actualmente el interés está enfocado a los procesos adicionados con carbón activado granular.

La ventaja con la adición del carbón activado granular es que se pueden manejar los nuevos procesos biológicos como son los lechos empacados con o sin biomasa fija o los sistemas mixtos como los lechos turbulentos. Recientemente, la aplicación del carbón activado granular ha sido estudiada en el caso de las aguas industriales problemáticas conteniendo compuestos tóxicos (Jaar y Wilderer, 1992; Fox y Suidan, 1993). Buitrón (1993) adicionó a un proceso biológico tipo SBR (reactores discontinuos secuenciales) carbón activado granular para disminuir la toxicidad de un efluente industrial contaminado con nitrofenoles. El piloto produjo altas eficiencias de eliminación (95% como carbono orgánico) y las cargas orgánicas eliminadas por los microorganismos aclimatados fueron de 2.3 kg de DQO/m³-d, valor entre ocho y diez veces superior al comúnmente reportado en la literatura para este tipo de efluentes.

ELIMINACION DE SUSTANCIAS INORGANICAS DISUELTAS

Precipitación química

La eliminación del fósforo del agua residual se puede llevar acabo por la adición de coagulantes para su precipitación (alúmina, cal, sales de hierro, polímeros orgánicos). Adicionalmente a la eliminación del fósforo estos compuestos químicos puede eliminar otros iones, principalmente, los metales pesados.

Cuando se utiliza la precipitación química, la digestión anaerobia de los lodos no es posible debido a la toxicidad del precipitado el cual puede contener metales pesados. La desventaja de la precipitación química es la producción de una cantidad considerable de lodos difícilmente tratables debido a su toxicidad.

Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso unitario mediante el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material de intercambio insoluble por iones de diferentes especies en solución. El uso más generalizado de este proceso es en el ablandamiento del agua potable en donde el ión sodio de una resina catiónica es reemplazado por los iones calcio y magnesio del agua a tratar. Para la eliminación de los sólidos totales se deben utilizar resinas de intercambio iónico catiónico y aniónico.

Primero se pasa el agua residual a través de un intercambiador de cationes donde los iones cargados positivamente son reemplazados por iones hidrógeno. El efluente del intercambiador catiónico es pasado a una resina aniónica donde los aniones son reemplazados por iones hidroxilo. Así, los sólidos disueltos son reemplazados por iones hidrógeno e hidroxilo, los cuales reaccionan para formar moléculas de agua.

Los intercambiadores de iones son generalmente columnas empacadas de flujo descendente. Cuando se satura la capacidad de las resinas, la columna es retrolavada para eliminar los sólidos retenidos y después es regenerada. La columna de intercambio catiónico se regenera con un ácido fuerte como el ácido sulfúrico. El hidróxido de sodio es utilizado para regenerar la columna aniónica.

La desmineralización puede llevarse a cabo en columnas separadas en serie o ambas resinas se pueden mezclar. La tasa de flujo típica utilizada es del orden de 12 a 24 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ y con profundidades de lecho entre 0.75 a 2.0 m.

No todos los iones disueltos se remueven de igual manera, cada resina está caracterizada por una actividad determinada y algunos iones son eliminados sólo parcialmente. Algunos compuestos orgánicos encontrados en las aguas residuales pueden ligarse disminuyendo la eficiencia de las resinas.

Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es una operación a presión que utiliza membranas porosas para la eliminación de material coloidal y disuelto. Estos sistemas se diferencian de la ósmosis inversa ya que en este caso se aplican presiones relativamente bajas (150 lb/in^2 ó 1034 kN/m^2). La

ultrafiltración se utiliza para eliminar material coloidal y moléculas grandes con pesos moleculares superiores a 5000. Se aplica para la eliminación de aceite de corrientes acuosas, de turbiedad y color coloidales. También se ha sugerido utilizar UF para la eliminación de fósforo

Osmosis inversa.

La ósmosis inversa es un proceso en el cual el agua es separada de las sales disueltas en la solución por filtrado a través de una membrana semipermeable bajo presiones mayores que la presión osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual. Las presiones de operación varían entre la presión atmosférica y 1000 lb/in^2 (6900 KN/m^2).

La ósmosis inversa tiene la ventaja de eliminar los compuestos orgánicos que son difícilmente eliminados por las técnicas de desmineralización. La principal desventaja es su alto costo y la limitada experiencia de su aplicación en el tratamiento de aguas residuales. El acetato de celulosa y el nylon han sido utilizados como material de construcción de las membranas de ósmosis inversa.

NITRIFICACION

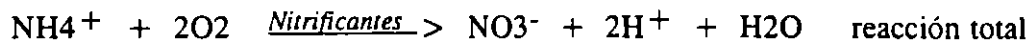
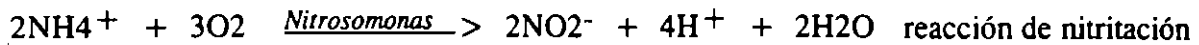
Las principales especies químicas que contienen nitrógeno y que son importantes en el tratamiento de aguas residuales son el amoníaco, los compuestos orgánicos nitrogenados, los nitratos y los nitritos. El amoníaco existe en solución acuosa como amoníaco o como ión amonio. El nitrógeno total Kjeldahl, NTK, es el análisis empleado para determinar la concentración del nitrógeno orgánico y del amoníaco presentes en el agua residual. Para aguas municipales, las concentraciones típicas de NTK varían entre 15 y 50 mg/l.

Los inconvenientes por la descarga de efluentes conteniendo nitrógeno amoniacal son:

- 1) El amoníaco consume oxígeno de los cuerpos de agua receptores
- 2) El amoníaco reacciona con el cloro para formar cloraminas, las cuales son menos efectivas que el cloro como desinfectante
- 3) El amoníaco es tóxico para la vida acuática.

La nitrificación es el proceso mediante el cual a través de bacterias autótrofas, el nitrógeno

amoniacal es oxidado a iones nitrato. Estas bacterias llamadas nitrificantes consisten en dos géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. La oxidación del amoníaco se lleva a cabo en dos pasos:



En la reacción total se puede observar que existe un desprendimiento de iones H^+ , por lo que si la alcalinidad del sistema es insuficiente, el pH del medio va a decrecer. Es importante señalar que las bacterias nitrificantes son bastante sensibles a los cambios de pH . Cuando la alcalinidad es insuficiente, el sistema está limitado por carbono para las nitrificantes, por ello se debe agregar carbono en forma de carbonatos o bicarbonatos.

Los parámetros que afectan la nitrificación son:

- Oxígeno disuelto. Dado que la cinética depende de la concentración del O_2 , es importante que ésta se encuentre por arriba de 2 mg O_2/l .
- Temperatura. La cinética de oxidación se ve severamente afectada por las variaciones de temperatura. La velocidad de oxidación aumenta si la temperatura aumenta.
- pH . Se ha observado que el pH afecta la tasa de crecimiento de las bacterias nitrificantes, situándose el óptimo entre 7.5 y 8.5. A bajos pH se produce el ácido nitroso libre y a altos pH se libera el NH_3 . Ambos compuestos son inhibidores.
- Inhibidores. Las bacterias nitrificantes son muy sensibles a numerosos inhibidores orgánicos y minerales.
- Relación DBO/NTK. Se ha comprobado que la fracción de organismos nitrificantes presentes en el licor mezclado está relacionada con el factor DBO/NTK. Para relaciones mayores a 5 la fracción de organismos nitrificantes decrece.

Aplicaciones

Existen dos técnicas de aplicación del proceso de nitrificación: el proceso a cultura fija y el proceso a biomasa suspendida. Suponiendo que el suministro de aire sea suficiente, en general, se puede asegurar la nitrificación a temperaturas moderadas en los sistemas convencionales de lodos activados. Este sería un proceso a bajas cargas orgánicas (0.5 kg DBO/kg SS-día) y con tiempos de retención celular mayores a los aplicados convencionalmente, es decir

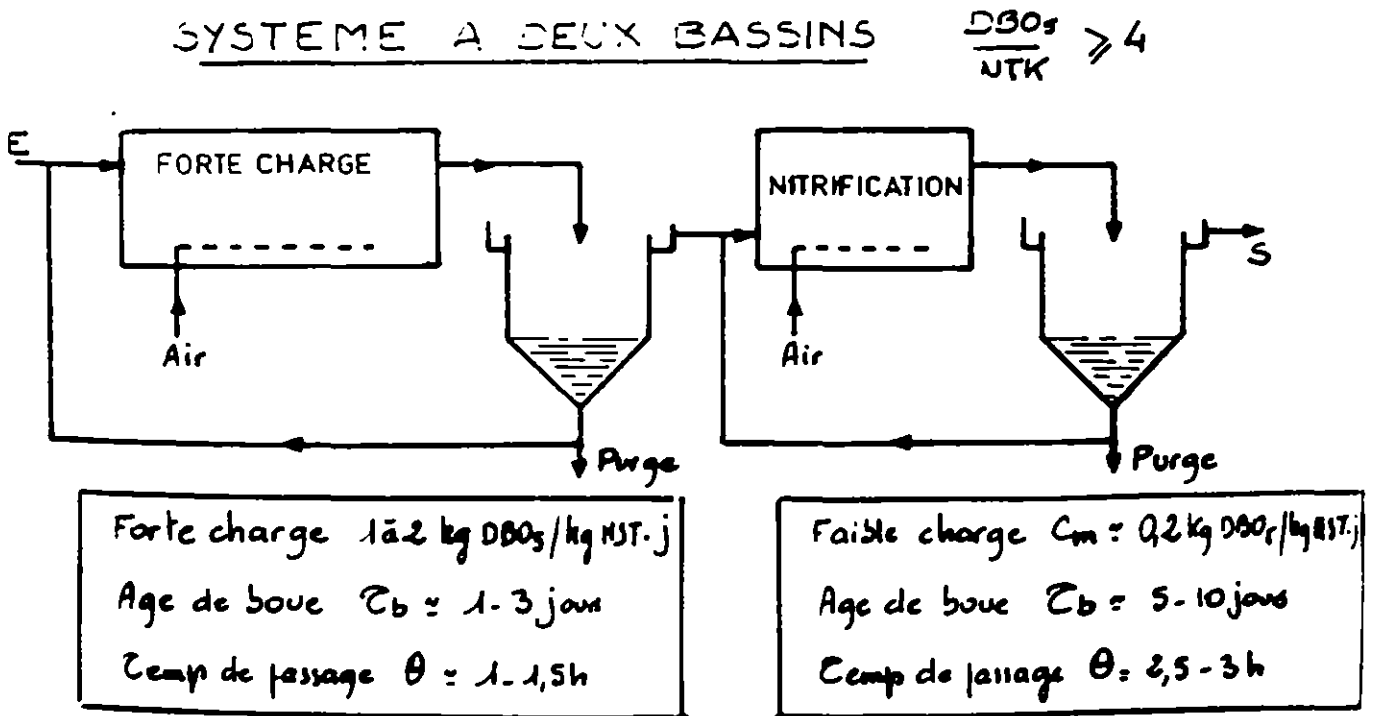
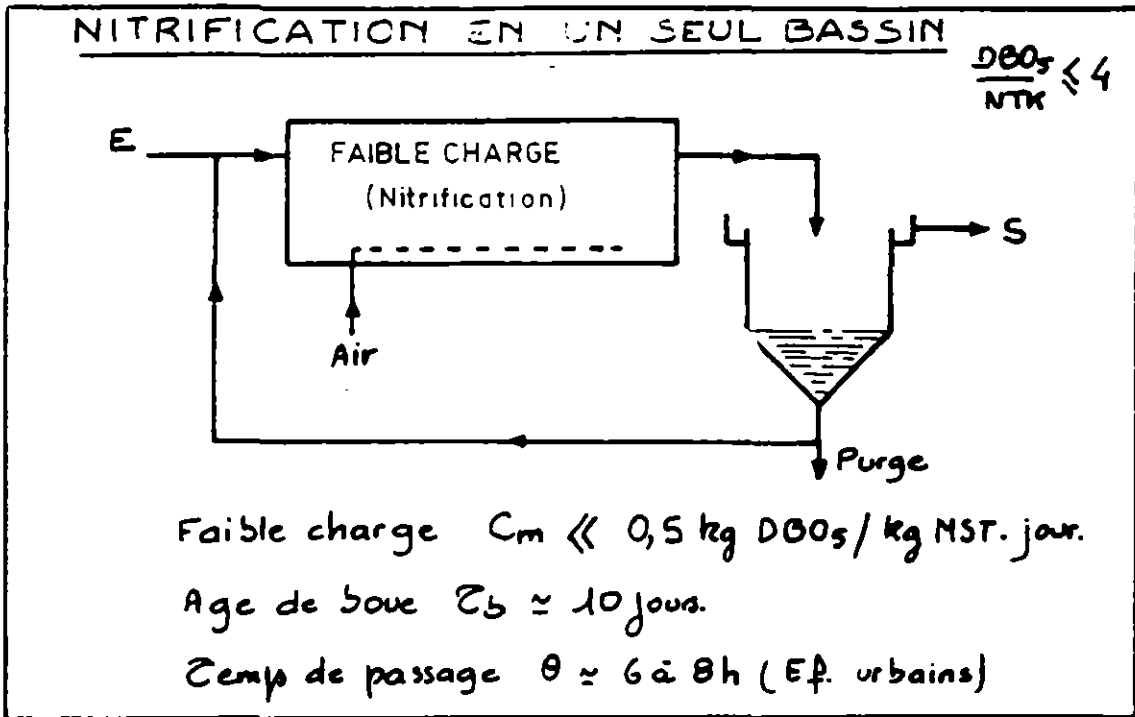


FIG. 4

aproximadamente de 10 días.

La selección del proceso combinado de oxidación/nitrificación o un proceso con la etapa de nitrificación separada depende de la evaluación de las ventajas y desventajas de cada uno. La ventaja del proceso combinado es que la producción de lodos es minimizada. En el proceso separado las ventajas son las siguientes:

- 1) Mejor control y optimación de cada proceso
- 2) Se maximiza la eficiencia de eliminación del N
- 3) El proceso es menos dependiente de la temperatura
- 4) Los compuestos orgánicos que pueden ser tóxicos a las bacterias nitrificantes son eliminados en el primer tanque.

Para pequeños flujos el proceso combinado es el preferido. De todas formas a la salida de proceso es deseable contar con un efluente con no más de 15 mg de DBO/l y no más de 5 mg de NTK/l.

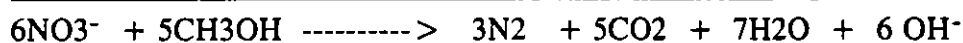
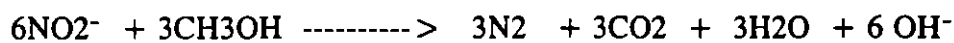
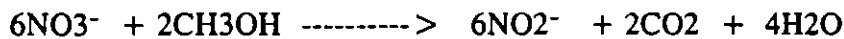
DESNITRIFICACION

Aunque es preferible tener un efluente nitrificado a uno que contiene nitrógeno amoniacal, altas concentraciones de nitratos pueden estimular el crecimiento indeseable de plantas y por lo tanto contribuir al problema de la eutroficación. Un crecimiento abundante de la vegetación acuática reduce la calidad del agua ya que:

- 1) Se incrementa el costo de tratamiento del agua porque los filtros se colmatan más frecuentemente
- 2) Aparecen olores y sabores
- 3) Se forman pigmentos coloreados
- 4) Se forman precursores de trihalometanos
- 5) Con altos contenidos de nitratos en el agua (mayores a 10 mg NO_3^- -N/l) se produce la methemoglobinemia infantil.
- 6) Existen fluctuaciones importantes de oxígeno en el cuerpo receptor.

Se puede emplear un tratamiento biológico para eliminar los nitratos del agua residual. Este proceso es llamado desnitrificación. Es esencial que el nitrógeno amoniacal haya sido oxidado a nitritos (nitrificación).

Algunas bacterias facultativas son capaces de obtener energía usando a los nitratos como aceptores de electrones, en ausencia de oxígeno, o medio anóxico. Estas bacterias reducen los nitratos a gas nitrógeno el cual es eliminado del medio hacia la atmósfera. Cabe señalar que además de la nitrificación y del medio anóxico, es necesario que exista una fuente de carbono para que la desnitrificación se lleve a cabo. Se han utilizado el metanol, el etanol y el agua residual como fuentes de carbono. Si se utiliza el metanol como fuente de carbono se obtienen las siguientes reacciones:



La nitrificación biológica seguida de la desnitrificación es probablemente el método más ampliamente utilizado para la eliminación del nitrógeno del agua residual.

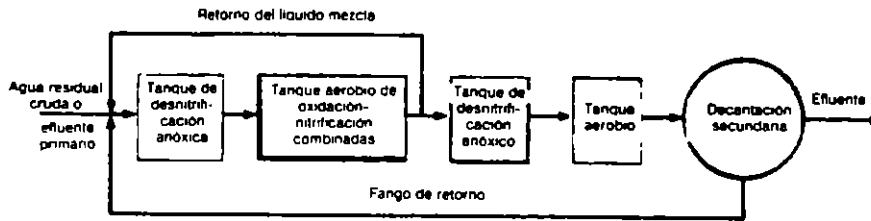
Aplicaciones

Al igual que la nitrificación, la desnitrificación se puede llevar a cabo en los procesos a biomasa suspendida o a biomasa fija en condiciones anóxicas. Una distinción adicional se basa en si la desnitrificación se realiza en reactores independientes o en sistemas combinados de oxidación del carbono y nitrificación-desnitrificación utilizando agua residual como fuente de carbono.

El sistema de desnitrificación a biomasa suspendida es similar al proceso de lodos activados. Dado que el N₂ desprendido durante el proceso de desnitrificación se fija a menudo a los sólidos biológicos, se incluye una etapa de liberación del nitrógeno entre el reactor y los sedimentadores. Esta etapa se realiza por medio de aeración de los sólidos durante un corto periodo.

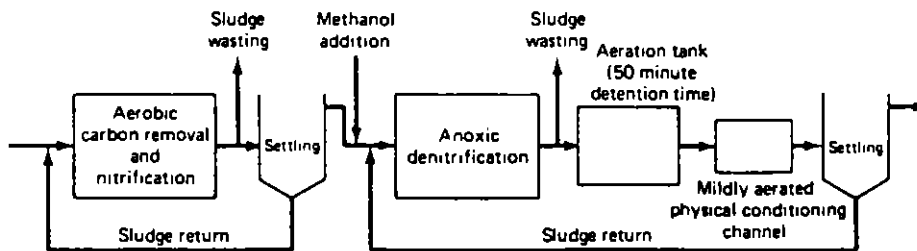
Los procesos combinados en los cuales se lleva a cabo la oxidación del carbono, la nitrificación y la desnitrificación, se han desarrollado para evitar la utilización de una fuente externa de carbono.

El proceso BARDENPHO utiliza agua residual urbana y la descomposición endógena de las

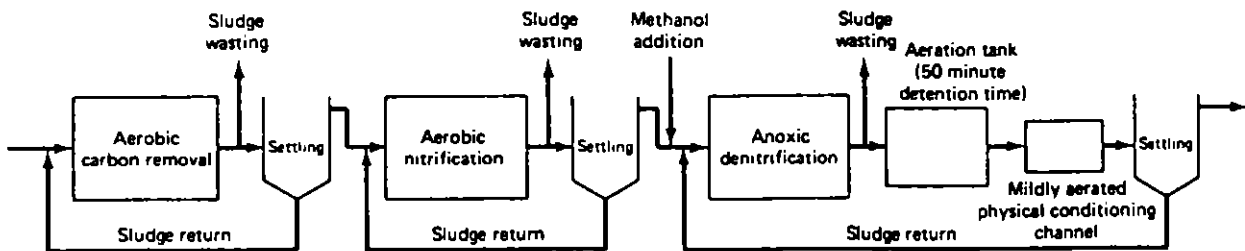


Sistema Bardenpho, utilización secuencial del carbono del agua residual y del carbono endógeno

FIG. 5



Flowsheet for a Combined-Stage Nitrification/Denitrification Process.



Flowsheet for a Separate-Stage Nitrification/Denitrification Process.

FIG. 6

TABLA 2.

Comparación de sistemas de desnitrificación alternativos*

Tipo de sistema	Ventajas	Inconvenientes
Crecimiento suspendido utilizando metanol después de una fase de nitrificación	Rápida desnitrificación; instalaciones de pequeño tamaño; estabilidad de funcionamiento; pocas limitaciones en las operaciones de la secuencia de tratamiento; puede incorporarse fácilmente una etapa de oxidación del metanol en exceso; cada proceso puede optimizarse independientemente; es posible conseguir alto grado de eliminación de nitrógeno	Se requiere metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; se precisa un mayor número de procesos unitarios para la nitrificación-desnitrificación que en sistemas combinados
Crecimiento de cultivo fijo (columna) utilizando metanol después de una fase de nitrificación	Rápida desnitrificación; se precisan instalaciones de pequeño tamaño; estabilidad de funcionamiento demostrada; estabilidad no vinculada al clarificador al estar los organismos fijados al medio; pocas limitaciones en las opciones de la secuencia de tratamiento; posible alto grado de eliminación de nitrógeno; cada proceso del sistema puede optimizarse por separado	Se requiere metanol; no es fácil incorporar el proceso de oxidación del metanol en exceso; se precisa un mayor número de procesos unitarios para la nitrificación-desnitrificación que en sistemas combinados
Oxidación del carbono-nitrificación combinados en un reactor de cultivo suspendido utilizando una fuente de carbono endógena	No se necesita metanol; se precisa un menor número de procesos unitarios	Tasas de desnitrificación muy bajas; se precisan instalaciones de gran tamaño; eliminación de nitrógeno menor que en el sistema basado en el metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; opciones de la secuencia de tratamiento limitado cuando se precisa eliminar tanto N como P; no existe protección de los nitrificantes contra los tóxicos; difícil de optimizar la nitrificación y desnitrificación independientemente

Tipo de sistema	Ventajas	Inconvenientes
Oxidación del carbono y nitrificación combinadas en reactor de crecimiento suspendido utilizando el agua residual como fuente de carbono	No se necesita metanol; se precisa menor número de procesos unitarios	Bajas tasas de desnitrificación; se precisan instalaciones de gran tamaño; menor eliminación de nitrógeno que en el sistema basado en el metanol; estabilidad de funcionamiento vinculada al clarificador para el retorno de la biomasa; tendencia a la formación de bulking del fango; opciones de la secuencia de tratamiento limitadas cuando se requiere la eliminación tanto de N como de P; no existe protección de los nitrificantes contra los tóxicos; difícil de optimizar la nitrificación y desnitrificación independientemente

bacterias como fuente externa de carbono. La tabla 2 presenta una comparación de los diferentes sistemas de desnitrificación.

Las variables que afectan a el proceso de desnitrificación son:

- 1) Concentración del ión nitrato
- 2) Concentración del carbón
- 3) Temperatura. Si la temperatura es baja la velocidad del desnitrificación también lo es por lo que el volumen del reactor aumenta.
- 4) pH. El intervalo óptimo está entre 6.5 y 7.5.

ELIMINACION DEL FOSFORO

El agua residual doméstica y el agua de drenaje de zonas agrícolas son las principales fuentes de fósforo, el que como se ha dicho es el principal responsable del crecimiento de las plantas acuáticas y de la contribución a la eutroficación en general.

El fósforo en el agua residual puede presentarse en tres formas: ortofosfato, polifosfato y fósforo inorgánico. En la mayoría de las aguas residuales el fósforo es eliminado por decantación primaria. Dado que no existe forma gaseosa del P, éste es eliminado por incorporación a una fase sólida. En los tratamientos biológicos convencionales es incorporado a la biomasa en exceso. Estos procesos presentan una eliminación muy baja de fósforo (del 2 al 3%). Así, alrededor de 10 a 15 mg P/l se encuentran en la salida del proceso (en Europa). Para prevenir la eutroficación es necesario que las concentraciones sean inferiores a 1 mg P/l.

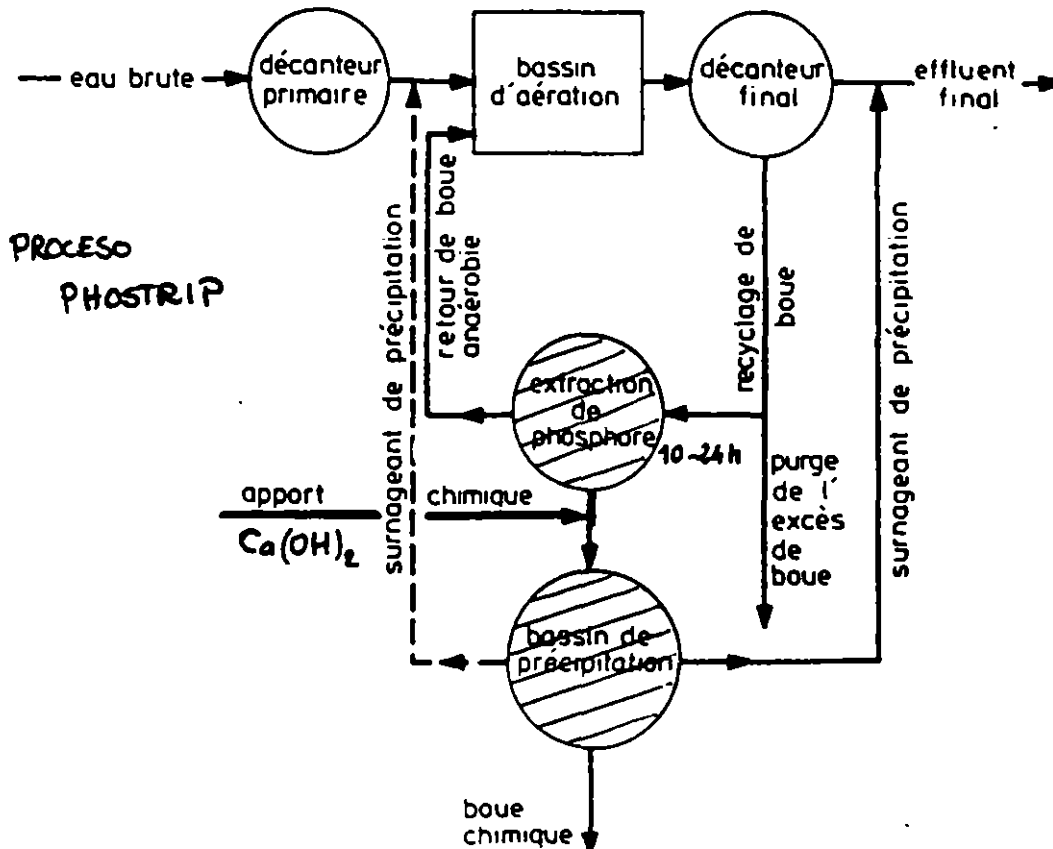
La desfosfatación por adición de productos químicos.

Cuando se añaden sales de aluminio o hierro al agua residual bruta, éstas reaccionan con el ortofosfato soluble hasta producir un precipitado. Cuando se usa la cal, el calcio y el hidróxido reaccionan con el ortofosfato para formar hidroxapatita insoluble. El fósforo orgánico y el polifosfato se eliminan a través de reacciones más complejas y por adsorción en partículas del flóculo. El precipitado se elimina como lodos primarios. Existen tres esquemas de tratamiento: precipitación primaria, tratamiento terciario y precipitación simultánea en los lodos activados. Las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellos se encuentran en la tabla 3.

TABLA 3.

Ventajas y desventajas de la eliminación de fósforo en diversos puntos de una planta de tratamiento*

Nivel de tratamiento	Ventajas	Desventajas
Primario	Aplicable a la mayoría de las plantas; eliminación superior de DBO y de sólidos suspendidos; mínimo trato de pérdidas de producto químico, posibilidad demostrada de recuperación de la cal	Mínima eficiencia del uso del metal del producto químico; pueden requerirse polímeros para la floculación; fango más difícil de deshidratar que el primario
Secundario	Mínimo coste; menores dosis de productos químicos que el primario; mejora de la estabilidad del fango activado; no se precisan polímeros	La sobredosis de metal puede causar la toxicidad a bajo pH; con aguas residuales de baja alcalinidad, puede ser necesario un sistema de control del pH; no puede utilizar la cal a causa del excesivo pH; sólidos inertes añadidos al líquido mezcla del fango activado, reduciendo el porcentaje de sólidos volátiles
Avanzado (terciario)	Mínimo fósforo en el efluente; máxima eficacia del uso del producto químico; recuperación de cal demostrada	Máximo coste de inversión, máxima pérdida de metal del producto químico



Stabilisation de PO_4^{3-} par agent chimique

FIG. 7

REFERENCIAS

- 1.-Benefield LDy Randal CW (1980) Biological process design for wastewater treatment, Englewood Cliffs, N.J.
- 2.- Buitrón Méndez G. (1993) Biodégradation de composés xénobioiques par un procédé discontinu de type SBR" Tesis de doctorado, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Francia, 240 pp.
- 3.- Cheremisinoff N.P. y Cheremisinoff P.N. (1993). Carbon adsorption for pollution control. *Process and pollution control equipment*. Prentice Hall, New Jersey.
- 4.- Ekama GA, Marais GR y Siebritz IP (1984) Theory design and operation of nutrien removal activated sludge processes, Water Research Commission, Univ. Cape Town, Pretoria.
- 5.- Fox P. y Suidan M.T. (1993). A comparision of expanded bed GAC reactor designs for the treatmen of refractory/inhibitory wastewaters. *Water research*, **27**, 769-776.
- 6.- Meidl J.A. (1991). PACT Systems for industrial wastewater treatment. *Innovative hazardous waste treatment technology series. Vol 2*, Ed. Freeman HM y Sferra PR, Technomic Pub. Co., Lancaster, 177-191.
- 7.- Metcalf y Eddy (1991). Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill, 3a Ed., N.Y.
- 8.- Reynolds TD (1982) Unit operations and processes in environmental engineering, Brooks-Cole Eng. Div.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES

M O S C A F R U T

**Metapa de Domínguez, Chis.
28-29 Abril; 12-13 Mayo de 1995**

*** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ***

**Apuntes de: Operación y Mantenimiento de
Plantas de Lodos Activados**

Edición: I M T A

**Instructor:
Ing. Rafael López Ruiz**

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

2. MICROORGANISMOS Y FACTORES AMBIENTALES

Con excepción de ciertos desechos industriales y de servicios, las aguas residuales son un medio de cultivo ideal para el crecimiento de un gran número de microorganismos, los cuales juegan un papel importante en todas las etapas del tratamiento biológico de las aguas residuales.

Ningún organismo simple es capaz de utilizar la amplia variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos encontrados en las aguas residuales; consecuentemente, se desarrollará un ecosistema que se alimenta directamente con el agua residual que entra al proceso, y con la predación de organismos que se reproducen en el sistema.

La composición exacta de esta comunidad depende del resultado de la competencia por el alimento, limitado o variado por la influencia de factores ambientales, tales como el pH y la temperatura. El propósito del diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados es crear condiciones favorables, de tal manera que los microorganismos proliferen y efectúen el proceso de tratamiento.

Los organismos vivos fueron clasificados originalmente en dos reinos: plantas y animales; esta clasificación tan simple no podía sostenerse. Los microorganismos

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

incluyen ciertos grupos que tienen propiedades como las plantas (algas) y algunos como los animales (protozoarios) y algunos más con otras características (hongos). De esta manera, se reconoció otro reino, el PROTISTA, el cual no cae naturalmente en ninguno de los reinos mencionados; este es el de mayor interés para la ingeniería sanitaria, ya que contiene a las bacterias, protozoarios y algas que son los microorganismos más importantes involucrados en el tratamiento de las aguas residuales.

La clasificación de Whittaker, divide a los seres vivos en cinco reinos: Monera, Protista, Hongos, Vegetales y Animales; se basa en la complejidad celular y la forma de nutrición.

DIFERENTES TIPOS DE CELULA

La célula bacteriana contiene sólo protoplasma, limitado por una membrana semipermeable llamada citoplasma, cubierto por una membrana celular porosa (figura 2.1). El citoplasma contiene el material nuclear. Además no existen membranas internas que aislen estructuras organizadas. Los organismos que poseen estas características son conocidos como procarióticos.

2.1 TIPO DE MICROORGANISMOS

- BACTERIAS

Las bacterias son el mayor componente de la

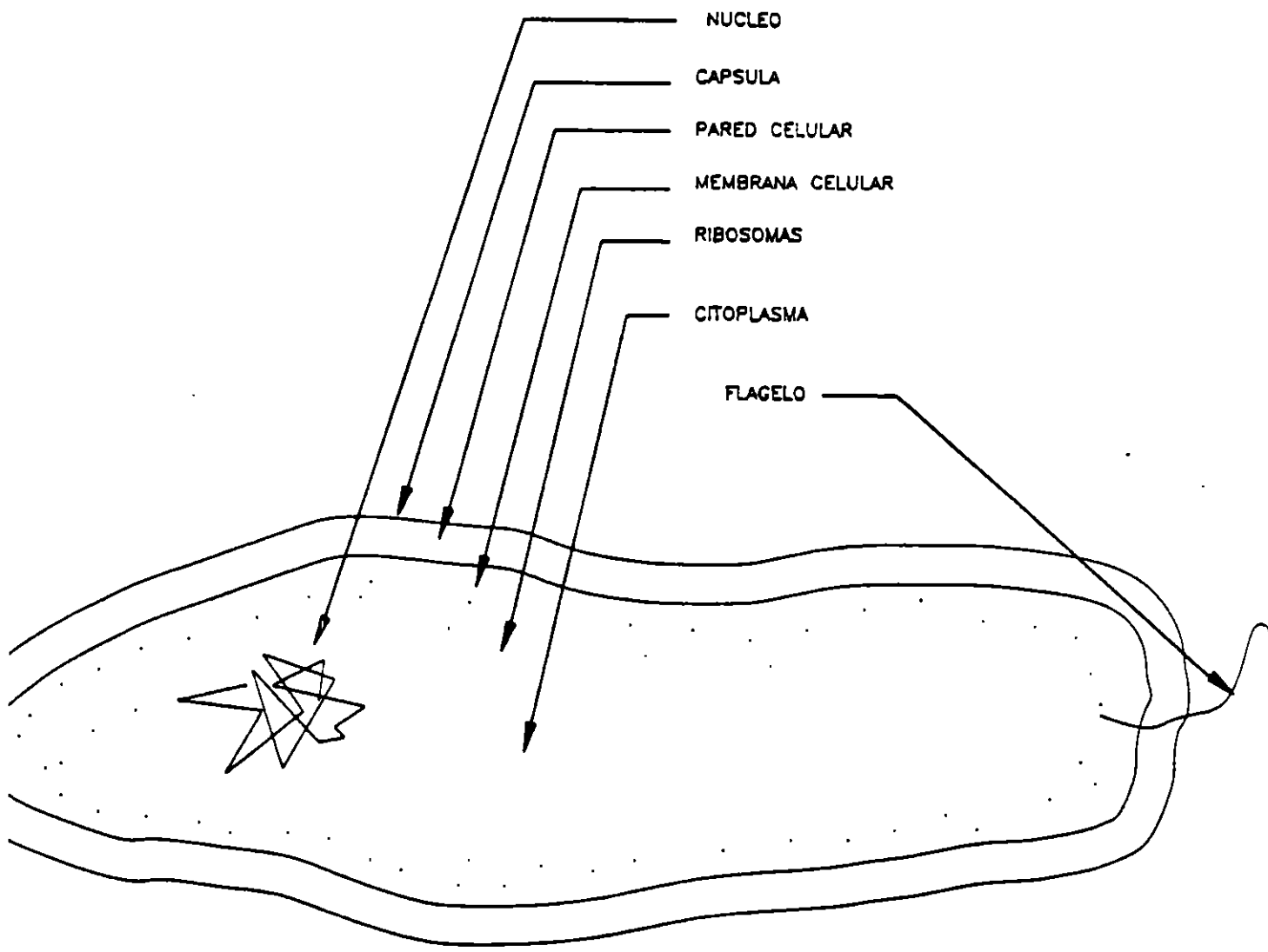


FIGURA 2.1 UNA TIPICA CELULA BACTERIANA

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

comunidad microbiana en todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Normalmente se encuentran valores de 10^6 bacterias/ml o mayores en aguas crudas. Debido a su gran número y tamaño pequeño, se han desarrollado técnicas especializadas que permiten estudiar estos organismos en su habitat natural, para inferir información que pueda ser utilizada por los ingenieros involucrados en el diseño y operación de plantas.

Debido al tamaño de las bacterias, entre 0.2 y 1.5 μm , su identificación es imposible por medios visuales simples. Utilizando un microscopio de alta resolución es factible observar sus diferentes formas y tamaños, así como al utilizar técnicas específicas de sus finos apéndices y algunos organelos internos. Este hecho facilita reconocer la morfología de las bacterias, siendo un paso importante en la identificación bacteriana.

MORFOLOGIA BACTERIANA

Las bacterias se limitan a cuatro formas básicas: de esfera, bastón recto, bastón curvo, espiral y algunas formas filamentosas. Las bacterias esféricas son conocidas como cocos y sus diámetros son de 0.2 a 4 μm . Los cocos pueden ser agrupados de acuerdo con su arreglo espacial, el cual se determina por su modo de división. El coco se divide por fisión; cuando la bacteria se incrementa en tamaño, se contrae y finalmente se parte en dos. Si un organismo no se parte en dos después de la fisión y permanece como un par, se conoce como diplococo. Si se continúa

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

dividiendo a lo largo del mismo plano sin separarse formando una cadena, toma el nombre de estreptococo; un indicador bacterial estreptococo fecal es de este tipo. Finalmente, si la división toma lugar en tres dimensiones, formando un cubo de ocho cocos se le conoce como sarcina.

Los bastones rectos representan la morfología más común de las bacterias tanto en el ambiente natural como en las aguas residuales de plantas de tratamiento. Esto incluye muchas de las bacterias encontradas comunmente, tales como las *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Escherichia* y *Salmonella*.

Los bastones curvos forman una simple curva parecida a la letra C; son conocidos como Vibrios; en este grupo se incluyen la bacteria causante del cólera, el *Vibrio cholera*, y un organismo capaz de reducir sulfatos a sulfuros, conocido como Desulfovibrio.

Finalmente, otra forma de las bacterias es la de tornillo o espiral, conocidas como *Spirillum*. Estas bacterias se observan casi exclusivamente en muestras de agua y rutinariamente en muestras tomadas de digestores anaerobios.

Para hacer que las bacterias sean visibles bajo la luz del microscopio, se emplea una variedad de técnicas de teñido para colorear a la bacteria por entero, la estructura interna o la externa. Una de estas técnicas fue desarrollada por Christian Gram en 1884. Después de teñir una población mezclada de bacterias y

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

examinarlas bajo el microscopio, las bacterias que aparecen moradas se llaman Gram positivos y las que aparecen rojas Gram negativos. Es normal referirse a poblaciones bacterianas en términos de bacilos de Gram negativos y cocos Gram positivos.

Un flagelo es una estructura en forma de látigo que sirve de medio de locomoción o movilidad a las bacterias. La presencia o ausencia de flagelo, el número y la distribución espacial alrededor de la bacteria son características de la especie. La mayoría de las bacterias flageladas son de forma de bastón; se distinguen tres formas de flagelo, un simple flagelo situado en uno o en ambos extremos de la bacteria, un copete de flagelos en uno o en ambos extremos y un gran número de ellos alrededor de toda la bacteria.

Además del flagelo, muchas bacterias Gram negativos tienen una fina cubierta de pelos cortos que pueden observarse en el microscopio electrónico. Estos pelos, menores de $1 \mu\text{m}$ de largo y $0.01 \mu\text{m}$ de diámetro, son conocidos como fibrinas o pili. Este pelo confiere a la bacteria la habilidad de adherirse una con otra, siendo muy importante para la formación de lodo activado floculante.

Algunas bacterias están rodeadas de una cubierta denominada material extracelular o cápsula, predominantemente compuesta por polisacáridos. La presencia de bacterias con esta característica es importante en el proceso de lodos activados; este material polisacárido se involucra en el mecanismo de

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

floculación del proceso. El polisacárido actúa como una red que envuelve a otros microorganismos. Este tipo de bacterias tienen ventajas de sobrevivencia, como es la resistencia a la desecación y al ataque de bacteriófagos. También en periodos de depredación, son capaces de degradar su propio material. Tales ventajas son utilizadas en los sistemas de tratamiento de aguas, donde las condiciones de depredación de nutrientes son comunes, por ejemplo, en el sedimentador secundario del proceso de lodos activados.

Las bacterias poseen algunas estructuras intracelulares, que sirven de indicador de su estado nutricional, dando información de la composición del influente a la planta o de condiciones de operación de la misma. La estructura intracelular comúnmente encontrada en bacterias de aguas residuales está compuesta de material de reserva.

Como resultado de cambios en las condiciones ambientales, tales como depredación de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo principalmente) o desecación, muchas bacterias son capaces de iniciar cambios fisiológicos y morfológicos formando estructuras en estado latente. Una de estas estructuras es conocida como espora y es una adaptación para sobrevivir por tiempos prolongados bajo condiciones adversas como calor, congelamiento, tóxicos químicos y radiaciones.

Las esporas se forman en el centro o en un extremo de la bacteria y son altamente refráctiles, generalmente

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

tiñen con dificultad, por lo que requieren tintes poderosos. La célula madre donde se origina la espora, conocida como esporangio, desaparece una vez que se forma la espora; las preparaciones de teñido muestran diferentes etapas del proceso de esporulación.

Otra estructura latente similar a la espora es el quiste; la diferencia radica en que la bacteria se envuelve a sí misma con una capa protectora.

- PROTOZOARIOS

Los protozoarios son organismos eucarióticos, con amplia variedad en forma y modo de vida. Generalmente son unicelulares, móviles y se clasifican de acuerdo con su morfología, particularmente por su modo de locomoción. Muchos protozoarios requieren de un huésped para poder vivir y completar su ciclo de vida. No todos los protozoarios se asocian con procesos de tratamiento de aguas residuales. Debido a su gran tamaño, los protozoarios se identifican fácilmente por observación en un microscopio con luz.

Se definen tres grupos importantes en lo que se refiere a procesos de tratamiento de aguas residuales.

- Flagelados
- Sarcodina
- Ciliados

CONTENIDO	NOTAS
<p>PROTOZOARIOS FLAGELADOS</p> <p>Poseen uno o más flagelos, que son utilizados para locomoción y alimentación.</p> <p>SARCODINA</p> <p>Posee pseudópodos que utiliza para moverse y para alimentarse por medio de flujo protoplasmático. Tienen una gran diversidad; algunas carecen de estructura esquelética (amibas), mientras que otras han desarrollado conchas formadas con materiales de proteínas, silicatos y carbón.</p> <p>CILIADOS</p> <p>Son los mayores en términos de número de especies, con más de 7000. Por esto dan gran diversidad a los lodos activados. Se caracterizan por los cilios que aparecen sobre la superficie de la célula que les sirven de locomoción. Además, los cilios se distribuyen alrededor de lo equivalente a una boca llamada citosoma. De este modo se autoayudan formando corrientes con los flagelos para introducir el alimento por el citosoma. Se dividen en cuatro grandes grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - HOLOTRICHIA (cilios uniformes de nado libre) - ESPINOTRICHIA (cuerpo aplanado, cilios locomotores) - PERITRICHIA (ciliados fijos en forma de campana) 	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

- SUCTORIOS (ciliados a temprana edad)

Los primeros se refieren a protozoarios de nado libre, los cuales poseen cilios uniformes en sus cuerpos.

Los segundos tienen un cuerpo aplanado con cilios locomotores encontrados por debajo del cuerpo; el cilio también les sirve para alimentarse, provocando corrientes hacia el citosoma.

El tercer grupo se reconoce inmediatamente por su cuerpo en forma de campana invertida que está montado en un tallo. El otro extremo del tallo se fija a un material particulado, tal como un floc de lodos, y sirve para anclar al protozoario. En ciertas especies este tallo es contráctil. El amplio final de la campana sirve como una apertura oral donde se tienen cilios que ayudan a atrapar alimento. Los ejemplos típicos de este grupo son *el Vorticella* y *el Opercularia*, ampliamente conocidos en el proceso de lodos activados.

Finalmente el cuarto grupo se refiere a protozoarios que solo son ciliados a temprana edad, donde los cilios sirven para dispersarse de sus congéneres. Poco después se pierden los cilios y se desarrollan un tallo y tentáculos para alimentarse. El tallo no es contráctil y atrapa materia particulada, mientras que los tentáculos son capaces de capturar el alimento, desmenuzándolo y succionándolo para formar vacuolas.

Las figuras 2.2 a 2.6 muestran protozoarios y la figura 2.7 una forma de alimentación de los protozoarios.

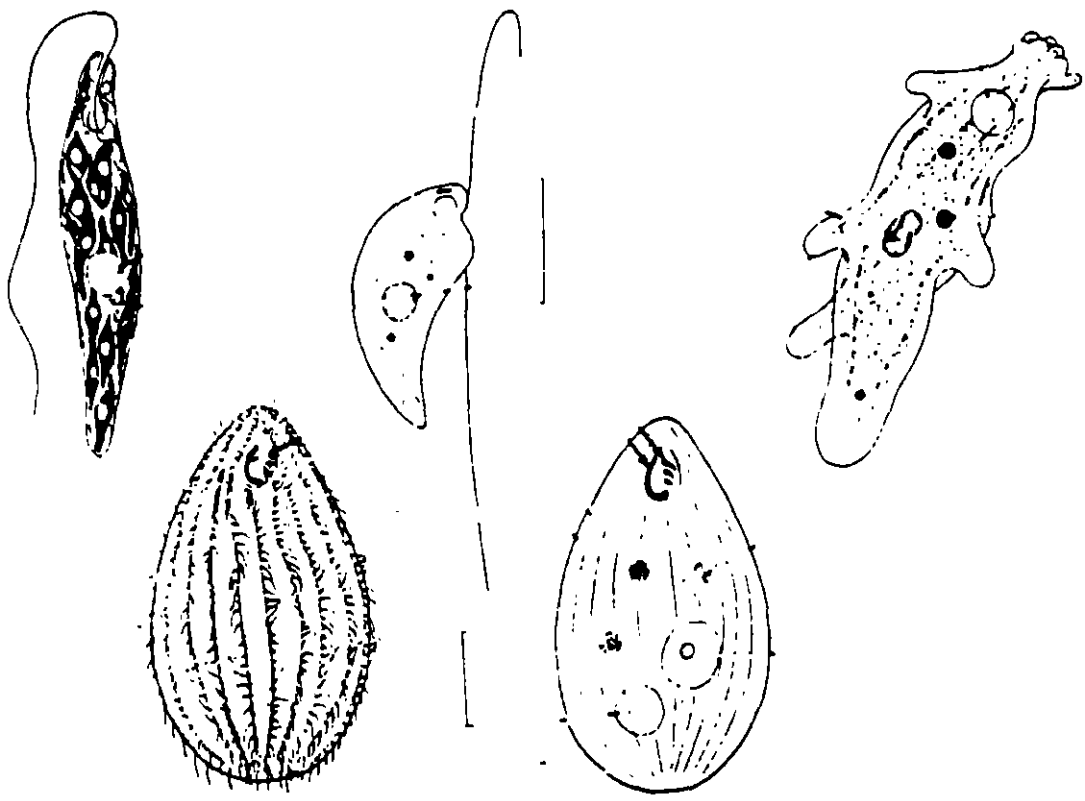
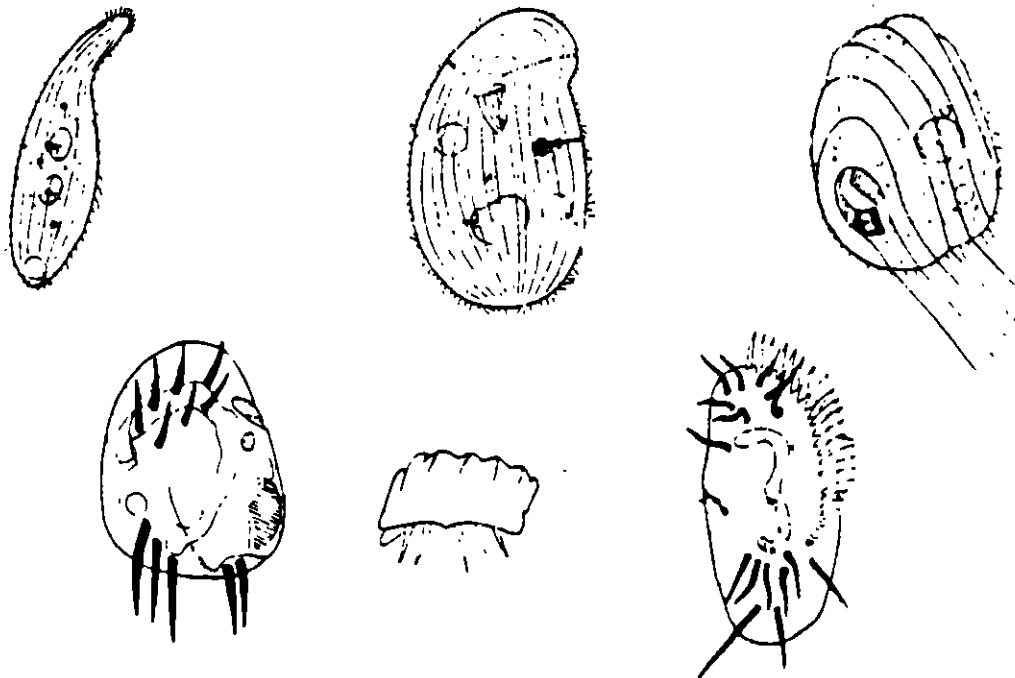


FIGURA 2.2 PRINCIPALES FORMAS DE PROTOZOARIOS EN PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



GURA 2.3 CILIADOS COMUNES EN PROCESOS AEROBIOS DE TRATAMIENTO

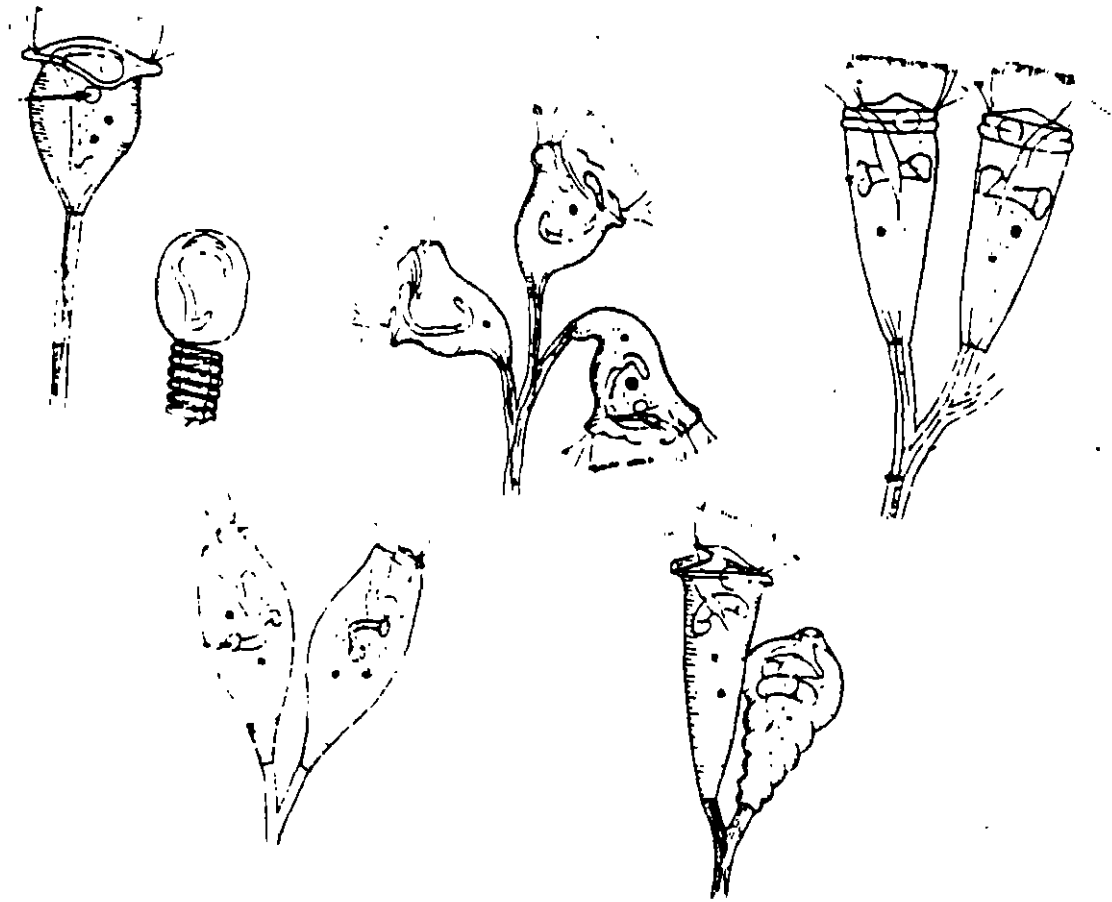
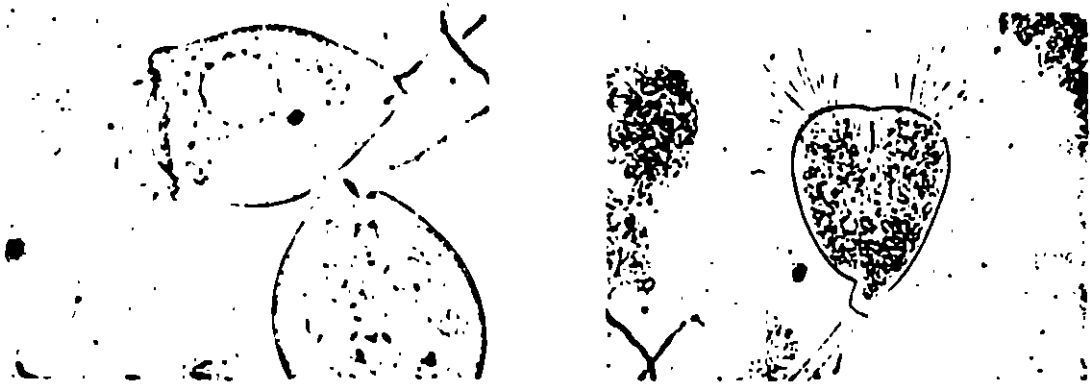


FIGURA 2.4 CILIADOS "PERITRICH" EN PROCESOS AEROBICOS DE TRATAMIENTO



GURA 2.5 MICROFOTOGRAFIAS DE CILIADOS (VORTICELLA Y SUCTORIA)



GURA 2.6 MICROFOTOGRAFIA DE CILIADOS FIJOS

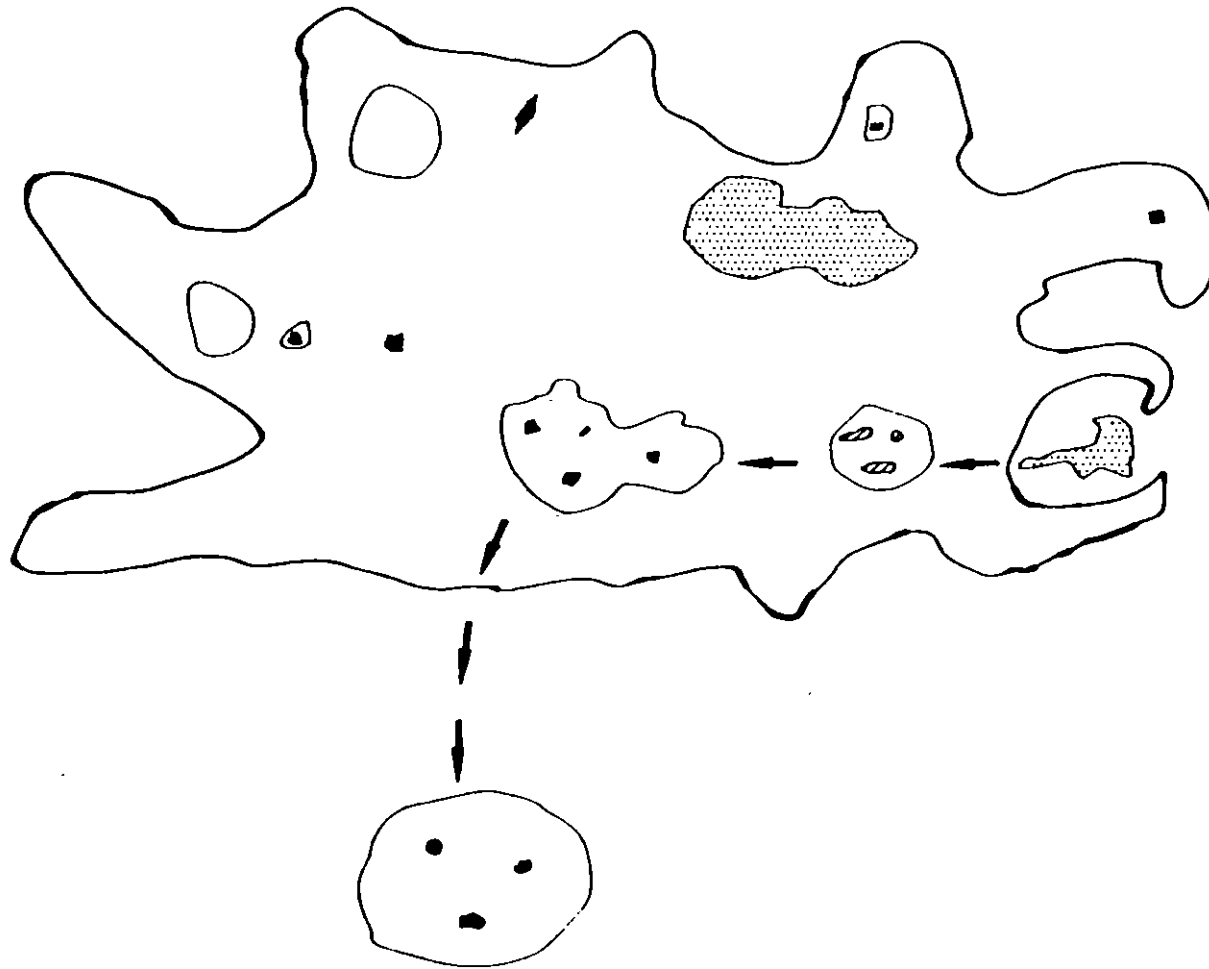


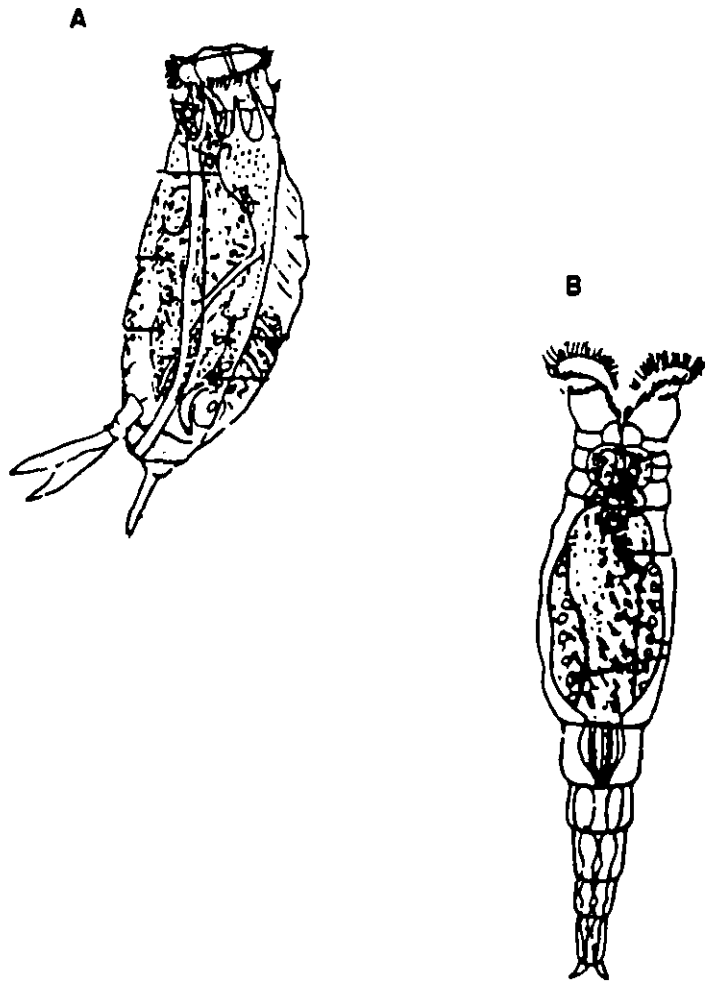
FIGURA 2.7 ALIMENTACION DE PROTOZOARIOS (FAGOCITOSIS)

CONTENIDO	NOTAS
<p>- VIRUS</p> <p>Los virus no intervienen en los procesos de tratamiento; su importancia es solamente sanitaria.</p> <p>Los Enterovirus son encontrados comúnmente en los influentes y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Dentro de los virus que causan enfermedades y pueden ser transmitidos por el agua están los siguientes:</p> <p>El Poliovirus es asociado con la poliomielitis y afecta el sistema nervioso central; es uno de los virus más estables y puede ser capaz de causar enfermedad por relativamente largos periodos en agua y alimento contaminados. La principal forma de transmisión es la ingestión de agua contaminada; las moscas son mecanismos vectores de esta enfermedad. La vacuna contra este virus ha reducido la incidencia de la poliomielitis y el reporte de casos ha disminuido. Las epidemias ocurren solo en sectores de población donde no se ha aplicado la inmunización.</p> <p>El virus causante del resfriado común, meningitis aséptica y conjuntivitis es el Coxsackie A, mientras que el Coxsackie B provoca diferentes enfermedades, incluyendo algunas del corazón. El principal modo de transmisión es la inhalación e ingestión de fuentes contaminadas.</p> <p>El adenovirus se asocia con enfermedades del tracto respiratorio y conjuntivitis. Los virus de este tipo que</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>han podido ser aislados de las aguas residuales y lodos, son causantes de fiebre relacionada con enfermedades de la faringe y ojos (conjuntivitis). Los adenovirus entéricos causan diarrea aguda y son asociados a excreciones fecales de infantes con gastroenteritis viral.</p> <p>El causante común de gastroenteritis aguda viral, en todos los grupos de edades, normalmente es el Rotavirus. Las epidemias de estas enfermedades han sido asociadas con fuentes de agua contaminada. En agua cruda y en los efluentes de agua clorada de plantas de tratamiento de lodos activados se han encontrado altas concentraciones de este virus.</p> <p>El agente causal de la hepatitis infecciosa es el virus de Hepatitis A; enfermedad sistémica que afecta al hígado; se transmite en forma oral a través de aguas residuales contaminadas y posee la habilidad de sobrevivir a bajos niveles de cloro residual. Las epidemias han surgido de abastecimientos municipales contaminados. El personal de plantas de tratamiento de aguas residuales tiene una incidencia alta de exposición a este virus debido a su contacto diario con aguas residuales.</p>	
<p>- HONGOS</p> <p>Tienen poca importancia en los procesos de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, sin embargo son causantes de enfermedades, por lo que su interés es sanitario.</p> <p>La mayor parte de los hongos aislados de las aguas</p>	

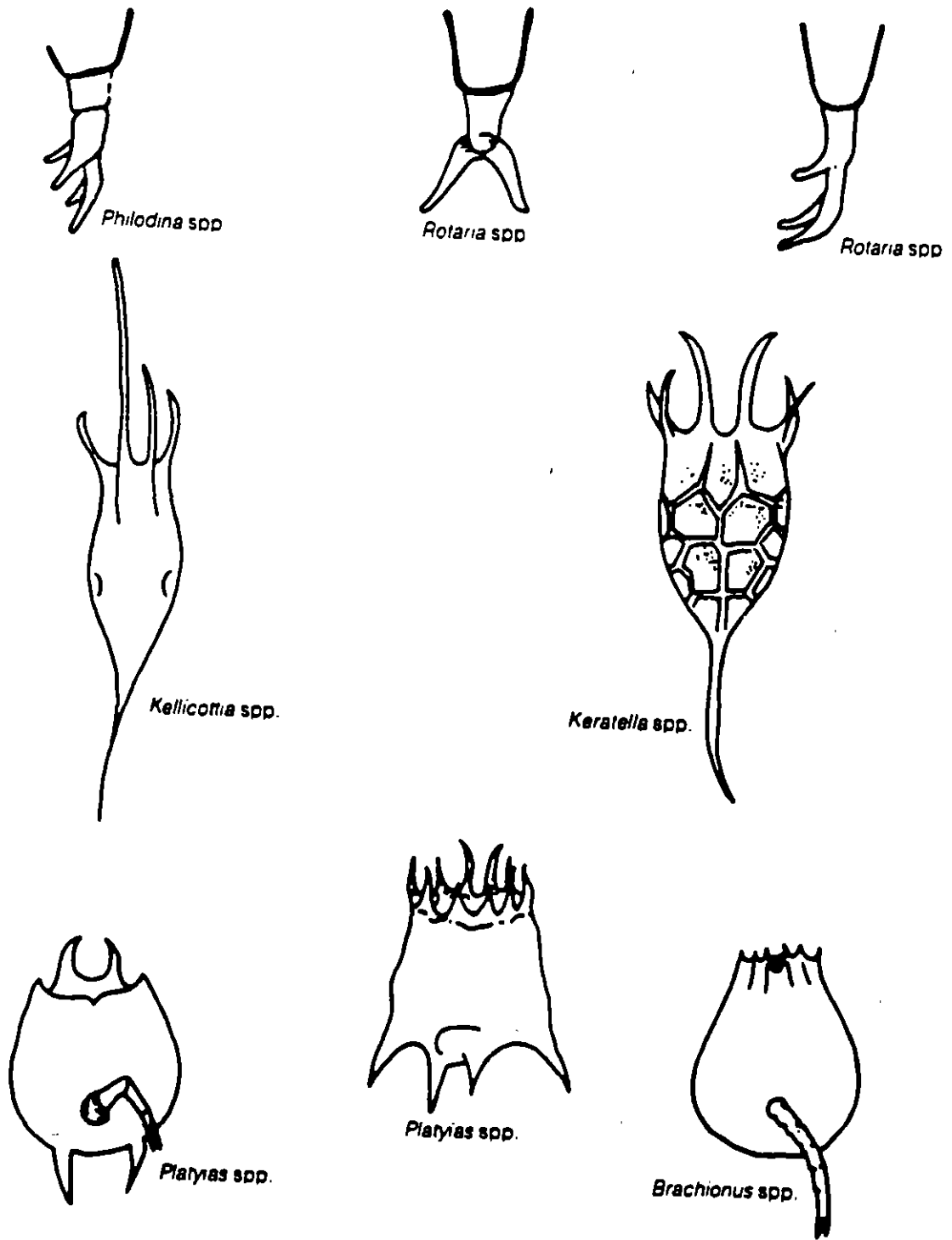
CONTENIDO	NOTAS
<p>residuales son asociados con enfermedades de personas con baja resistencia a las infecciones. Poco menos de 50 especies de todos los hongos conocidos son capaces de causar enfermedades al hombre. La mayor parte de los hongos patógenos afectan solamente la piel, pelo y uñas (superficialmente); algunos pueden infectar cualquier parte del cuerpo (micosis sistémica).</p> <p>La aspergilosis la causa el <i>Aspergillus fumigatus</i>; afecta al oído, conductos nasales, pulmones y piel; la infección puede clínicamente referirse como tuberculosis. El composteo de lodos es la mayor fuente de infección potencial para el personal de aguas residuales.</p> <p>La <i>Candida albicans</i>, una levadura, produce infecciones pulmonares, bronquitis, vaginitis, uretritis e infecciones superficiales de la piel y uñas. También involucra las infecciones de membranas mucosas de la boca. La adecuada higiene personal reduce el riesgo de adquirir este patógeno.</p> <p>- ROTIFEROS</p> <p>Realizan importantes funciones benéficas en la estabilización de desechos orgánicos. Estimulan la actividad y descomposición de la microflora, ayudan a la penetración de oxígeno y a la recirculación de nutrientes minerales. Son diferentes a los protozoarios; se encuentran pocas veces en gran número en procesos de tratamiento de agua. Solamente en sistemas de aeración extendida son la forma animal predominante.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>Los rotíferos usan mayores cantidades de flocs de lodos activados que los protozoarios y pueden sobrevivir aun después de que las bacterias de nado libre han sido depredadas por los protozoarios.</p> <p>Se encuentran en todos los habitats acuáticos y son la forma más simple y más pequeña de los macro invertebrados. Son un pequeño grupo de organismos con cerca de 2000 especies identificadas.</p> <p>La vibración de sus cilios semejan ruedas que giran, de ahí su nombre, rotíferos.</p> <p>Se dividen en dos clases; los que poseen una gónoda son monogónodos, y los que tienen dos , los digónodos (Figura 2.8); su tamaño varía de 40 a 500 μm; su vida promedio es de 6 a 45 días. La mayor parte de los rotíferos son incoloros aunque cuando ingieren alimento dan la impresión de tener color. Poseen tres distintas regiones del cuerpo: la cabeza, el tronco y los pies.</p> <p>Algunos rotíferos se alimentan de bacterias, detritus y protozoarios; otros de fitoplancton o algas. Las variaciones en concentración y características del agua cruda se reflejan en el número y tipo de rotíferos en el proceso de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>La mayoría de los digónodos nadan por la acción de las corrientes creadas por los cilios; los miembros más antiguos se desplazan lentamente, esto es observado frecuentemente en sistemas de lodos activados. En este</p>	



**FIGURA 2.8 ROTIFEROS TIPICOS
MONOGONADA (A) Y DIGONADA (B)**

CONTENIDO	NOTAS
<p>proceso, consumen grandes cantidades de bacterias, ayudando a esta población a mantenerse saludable y activa. Además, ayudan a disminuir la turbidez del efluente al alimentarse de bacterias que no forman flocs.</p> <p>Los rotíferos ayudan a la formación de flocs, mediante su forma de alimentarse, pues dejan huecos por donde puede existir mejor transferencia de oxígeno; además en procesos aerobios, el gran consumo de bacterias y sólidos ayuda a disminuir la DBO. También viven en las paredes de los tanques de aeración, evitando el excesivo crecimiento de la película biológica que se forma en las paredes.</p> <p>Una planta de lodos activados bien operada normalmente tiene predominio de uno de los tipos de rotíferos. Cada modificación al proceso también tendrá su propio grupo de rotíferos, así el operador posee un medio rápido de saber si la operación es correcta; esto se logra mediante la práctica en la observación microscópica.</p> <p>Los rotíferos son estrictamente aerobios y se encuentran normalmente en ambientes con poca contaminación y con al menos 2 mg/l de oxígeno; algunos rotíferos como el género <i>Brachionus</i> puede encontrarse solamente en ambientes de agua limpia; otros toleran ambientes semi/limpios y pocos toleran alta contaminación. Las figuras 2.9 y 2.10 muestran algunos rotíferos.</p>	



GURA 2.9 ROTIFEROS COMUNES EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

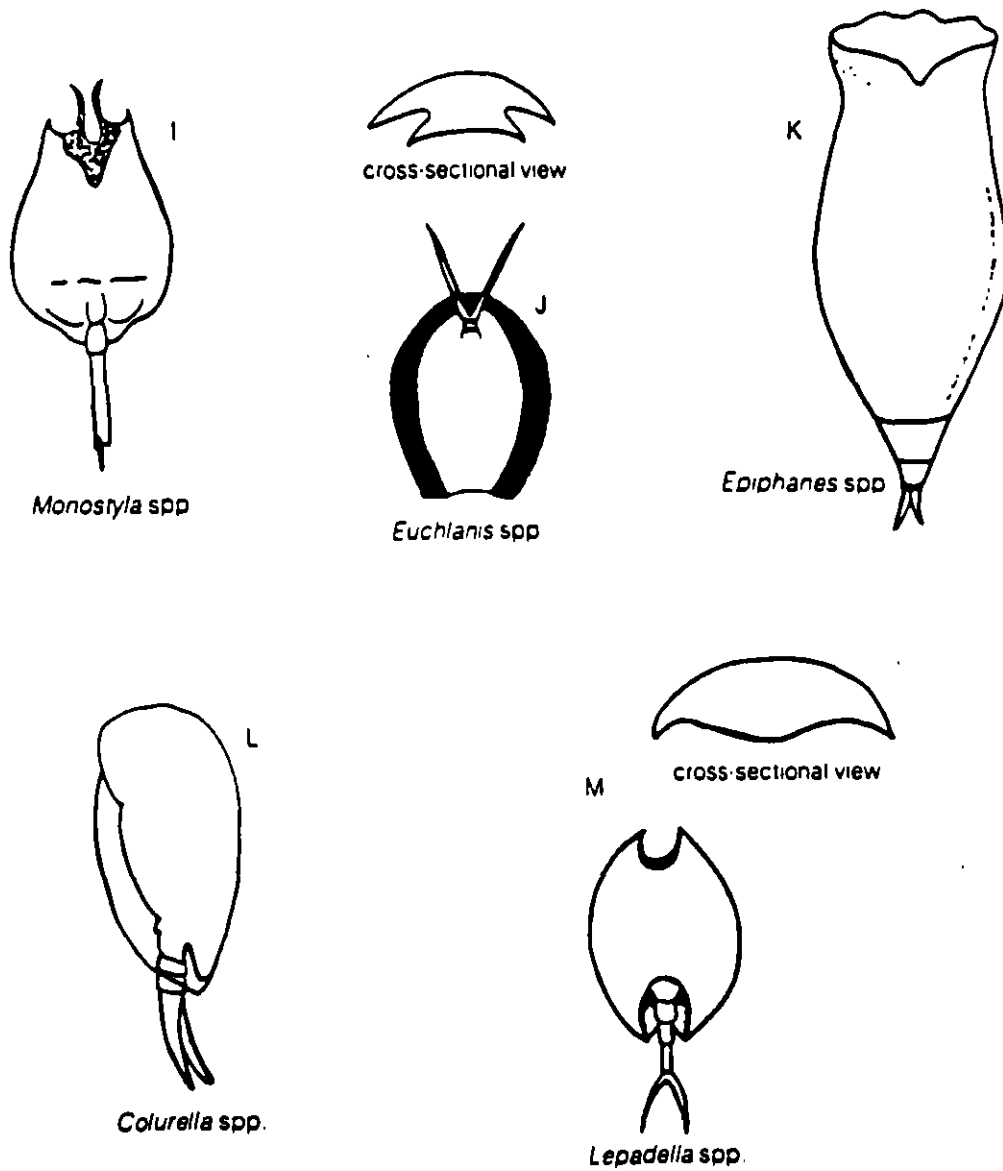


FIGURA 2.10 ROTIFEROS COMUNES EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CONTENIDO	NOTAS
<p data-bbox="212 405 487 441">- NEMATODOS</p> <p data-bbox="212 489 1073 827">Los nemátodos de vida libre son macroinvertebrados terrestres (animales sin columna vertebral ni huesos), son capaces de vivir en habitats de agua limpia. Debido a que los suelos están infestados con nemátodos, estos macroinvertebrados pueden introducirse fácilmente a las plantas de tratamiento de aguas residuales y estar presentes en procesos aerobios en gran número y con alta diversidad.</p> <p data-bbox="212 875 1073 1039">Incluyen una gran variedad de gusanos; son microscópicos y su tamaño varía de 0.5 a 3.00 mm de longitud, por 0.02 a 0.05 mm de ancho. La mayoría de las especies son similares en apariencia.</p> <p data-bbox="212 1087 1073 1379">Los nemátodos son gusanos no segmentados, aunque aparentemente poseen segmentos debido al espesor de la cutícula de la epidermis. Tienen cuerpo cilíndrico que se adelgaza en los extremos; la boca y labios se localizan en el extremo anterior y poseen esófago y tracto digestivo, así como sistemas muscular, nervioso y reproductivo.</p> <p data-bbox="212 1428 1073 1759">La presencia de nemátodos en aguas o aguas residuales se origina en las corrientes superficiales que llegan a los cuerpos de agua y alcantarillados. Viven en ambientes aerobios donde existe abundancia de alimento. Su dieta se integra de algas, plantas acuáticas, bacterias, materia orgánica en descomposición, protozoarios, rotíferos y otros nemátodos. La boca es especializada, es capaz de morder, triturar, rasgar y despedazar las partículas de</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

alimento.

Los nemátodos encontrados en plantas de tratamiento de aguas residuales se clasifican en dos grandes familias: Diplogasteroidea y Rhabditoidea; las diferencias físicas que se pueden observar en la figura 2.10-A son básicamente la forma de la boca, esófago y labios, así como los extremos (grueso o delgado).

La identificación de nemátodos se basa en reconocer sus características anatómicas, como la forma de la boca, labios, cutícula y extremos; la identificación se hace por medio de comparaciones con ilustraciones en libros especializados.

Los efluentes de las plantas muestran una gran cantidad de nemátodos, particularmente los de proceso de lodos activados debido a su movilidad y resistencia a la cloración; generalmente el número de nemátodos encontrado en lodos activados es mucho menor comparado con el de filtros rociadores.

Los nemátodos encontrados en lodos activados, generalmente están adheridos al floc; su número es pequeño, el ambiente turbulento del proceso de lodos activados no da facilidades para la reproducción sexual; también el ciclo de vida de la mayoría de los nemátodos de vida libre es mayor que la edad de lodos de casi todos los procesos de lodos activados; esto impide en muchos casos que las hembras desoven para que los huevecillos puedan ser recirculados.

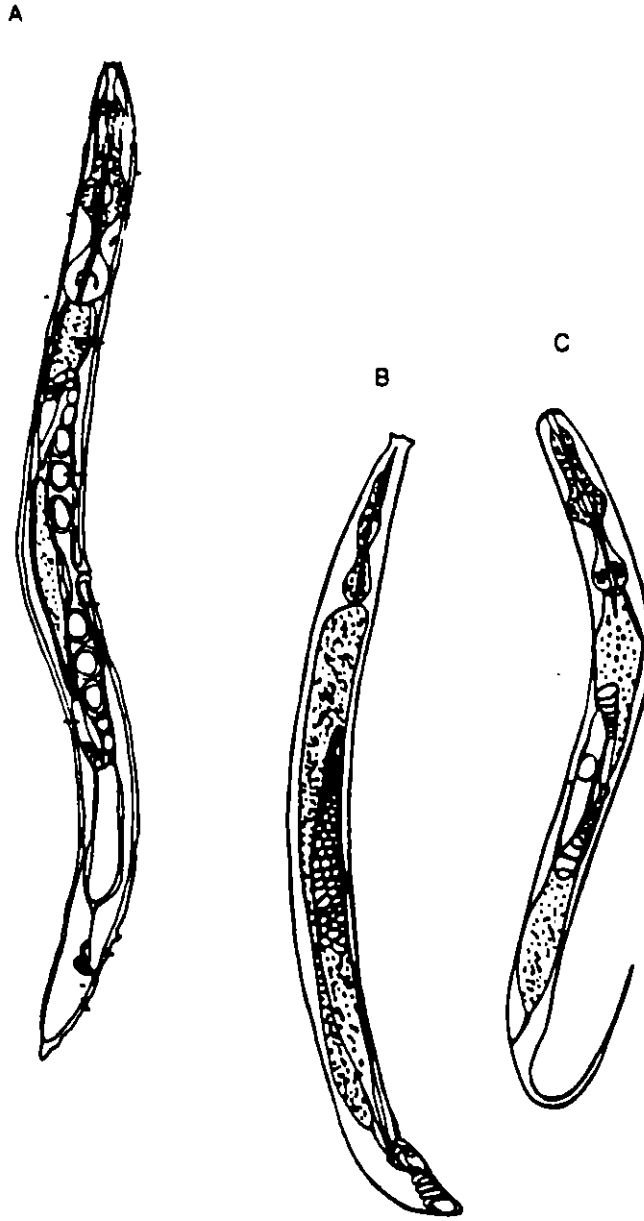


FIGURA 2.10A ESTRUCTURA DE NEMATODOS (A) Y DIFERENCIA ENTRE LAS DOS FAMILIAS PRINCIPALES DE NEMATODOS (B Y C)

CONTENIDO	NOTAS
<p>Los factores que afectan la población de nemátodos incluyen: concentración de oxígeno disuelto, temperatura, concentración de DBO, hongos, etc.</p> <p>La figura 2.11 muestra la similitud de huevos de helmintos.</p>	
<p>2.2 DINAMICA DE LA POBLACION</p>	
<p>El contenido de un reactor de lodos activados se integra de una masa o flocs aerados, rodeada del agua residual influente o licor mezclado. Los flocs de lodos activados están formados por microorganismos, materia coloidal orgánica e inorgánica, y partículas mayores, que se mantienen juntas en una masa orgánica compleja.</p>	
<p>Un gran número de protozoarios se fija al floc con sus tallos; los ciliados libres y flagelados se encuentran en el licor mezclado o en la masa orgánica. Algunos hongos son observados ocasionalmente y son de poca importancia en el proceso de tratamiento. Los bacteriófagos se identifican en grandes cantidades (tan altas como $2 \times 10^4 \text{ ml}^{-1}$) y comúnmente su único papel es la remoción de bacterias, incluyendo un gran número de especies patógenas.</p>	
<p>La población microbiana en un reactor de lodos activados es altamente especializada con baja diversidad de especies, de los cuales las bacterias dominantes son bacilos Gram-negativo. Todas ellas son organismos</p>	

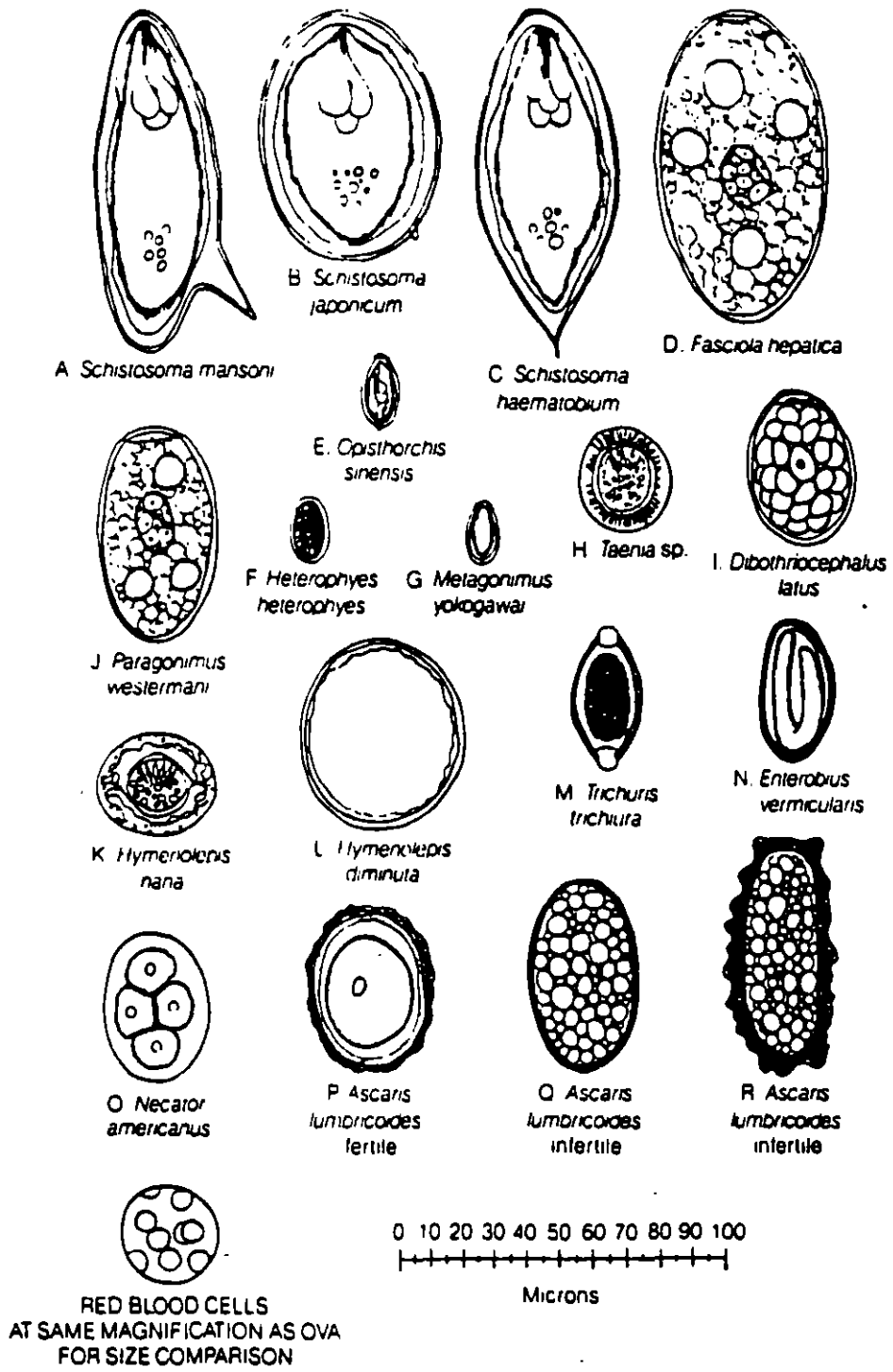


FIGURA 2.11 HUEVECILLOS DE HELMINTIOS

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

heterótrofos con la excepción de las bacterias autótrofas del nitrógeno.

Los organismos heterótrofos son aquellos que requieren para su crecimiento un aporte continuo de compuestos orgánicos para la mayoría de las reacciones biosintéticas. Por otro lado, los autótrofos son capaces de obtener el carbono que requieren para las reacciones biosintéticas a partir de dióxido de carbono.

El objetivo principal de una planta de lodos activados de operación convencional es la remoción de DBO; esto lo realizan casi exclusivamente las bacterias heterótrofas, sin embargo, muchos protozoarios son capaces de alimentarse saprófitamente. Las comunidades de población protozoaria reducida muestran remoción baja de DBO. Tabla 2.1

Las bacterias heterótrofas y los protozoarios saprófitos forman el nivel trófico inferior de la cadena alimenticia, y son fuente de alimento de otros protozoarios y rotíferos. El papel más importante de los protozoarios es que actúan como agente **limpiador** al alimentarse de bacterias de nado libre. Esta acción da como resultado un efluente con baja DBO y sólidos suspendidos; también ayudan a remover patógenos.

Como el diámetro del floc biológico varía de 50 a 500 μm , existe un gradiente de concentración de DBO y de oxígeno del exterior del floc donde serán mayores, al interior del floc, donde tal vez no exista DBO residual ni oxígeno (figura 2.12) . Consecuentemente a medida

Tabla 2.1 EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO CON O SIN CILIADOS (PROTOZOARIOS)

PARAMETRO ANALIZADO	SIN CILIADOS	CON CILIADOS
DBO₅ mg/l	53 - 70	7 - 24
DQO mg/l	198 - 250	124 - 142
NITROGENO ORGANICO mg/l	14 - 21	7 - 10
SS mg/l	86 - 118	26 - 34
CUENTA DE BACTERIAS VIABLES 10⁶/ml	106 - 160	1 - 9

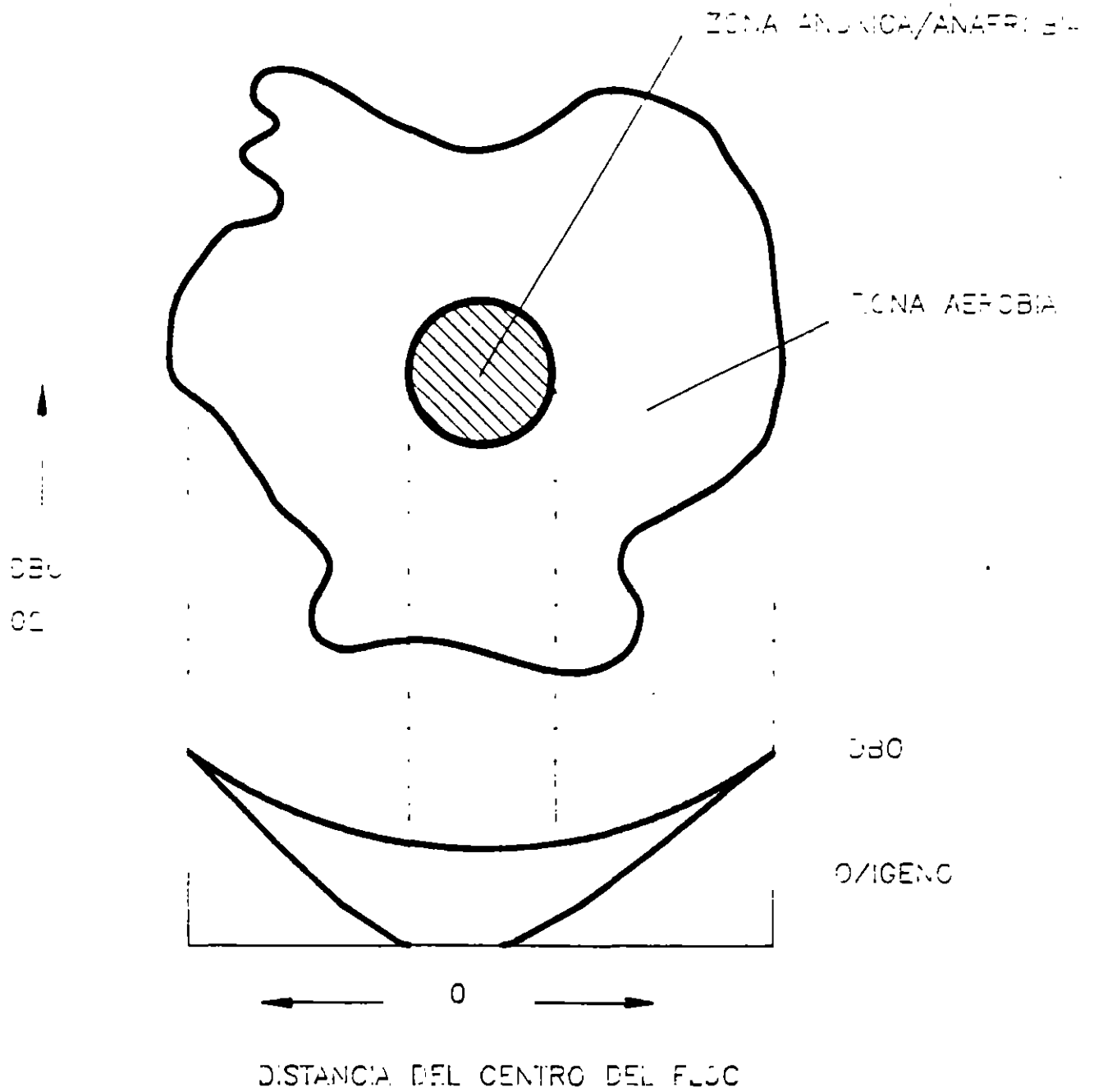


FIGURA 2.12 GRADIENTE DE OXIGENO EN FLOCS DE LODOS ACTIVADOS

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

que las bacterias se acercan al centro del floc, son depredadas como fuente de nutrientes.

Además de su papel para remover la DBO, los flocs juegan otro importante papel al promover la sedimentación en los tanques de sedimentación secundaria. Bajo las condiciones de tranquilidad del sedimentador, se forman grandes y compactos flóculos que sedimentan rápidamente y permiten alta concentración de sólidos en el fondo. Es importante purgar el sistema para reducir el manto de lodos en el sedimentador y permitir la recirculación con alta concentración.

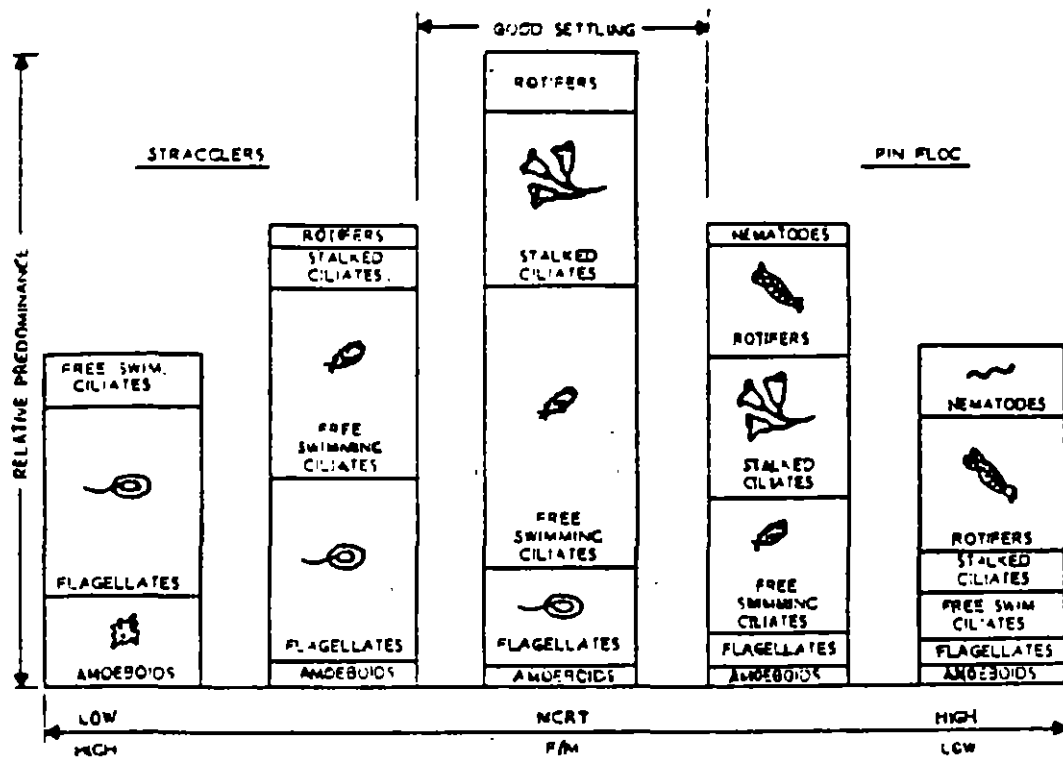
El por qué flocculan los microorganismos y el mecanismo exacto de este fenómeno es desconocido; muchos modelos de diferente complejidad han sido propuestos; uno de los más atractivos es el modelo del **esqueleto de filamentos**, el cual supone que en el reactor, las bacterias filamentosas forman una red o esqueleto al que se fijan las bacterias que forman flocs. Los protozoarios se fijan y colonizan el floc; existen evidencias que también ellos excretan una mucosa pegajosa que ayuda a formar un floc más fuerte(figura 2.13).

La operación de plantas de lodos activados involucra la recirculación del lodo sedimentado; los microorganismos que sedimentan rápido y bien en el sedimentador, son regresados al aerador, permitiendo el rompimiento relativo del floc. Los que no sedimentan bien, son devorados por los protozoarios o descargados

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

en el efluente de la planta. Esto significa que existe una presión selectiva para las bacterias floculantes; las bacterias de nado libre requieren tasas de crecimiento muy altas para que su población permanezca estable.

La figura 2.14 muestra la Diversidad de especies en un proceso de lodos activados y su relación con el funcionamiento del sistema.



GURA 2.14 DIVERSIDAD DE ESPECIES Y PARAMETROS EN LODOS ACTIVADOS

CONTENIDO	NOTAS
<p>4. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO</p> <p>4.1 EQUIPOS EN SEDIMENTADORES</p> <p>SEDIMENTADORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS</p> <p>Los sedimentadores realizan la función de remover sólidos suspendidos; si la unidad de proceso está antes del tratamiento secundario, se denominan sedimentadores primarios; si son parte del proceso de tratamiento biológico, se conocen como sedimentadores secundarios.</p> <p>Los sedimentadores se clasifican por su forma en: circulares, cuadrados, rectangulares, hexagonales, y octagonales. Los más comunes son los circulares y los rectangulares.</p> <p>SEDIMENTADORES CIRCULARES</p> <p>Los sedimentadores circulares (figuras 4.1, 4.2 y 4.5) se caracterizan por modelos de flujo radiales ya sea de entrada o salida. Son seleccionados y diseñados continuamente para tratamiento primario y secundario. Sus diámetros varían desde pocos metros (tres) hasta grandes tanques de cien metros. El lado recto para tanques primarios varía de 2.5 a 4 m, y para secundarios de 3 a 5 m o más. Existen diversos tipos de configuraciones; se clasifican por su alimentación,</p>	

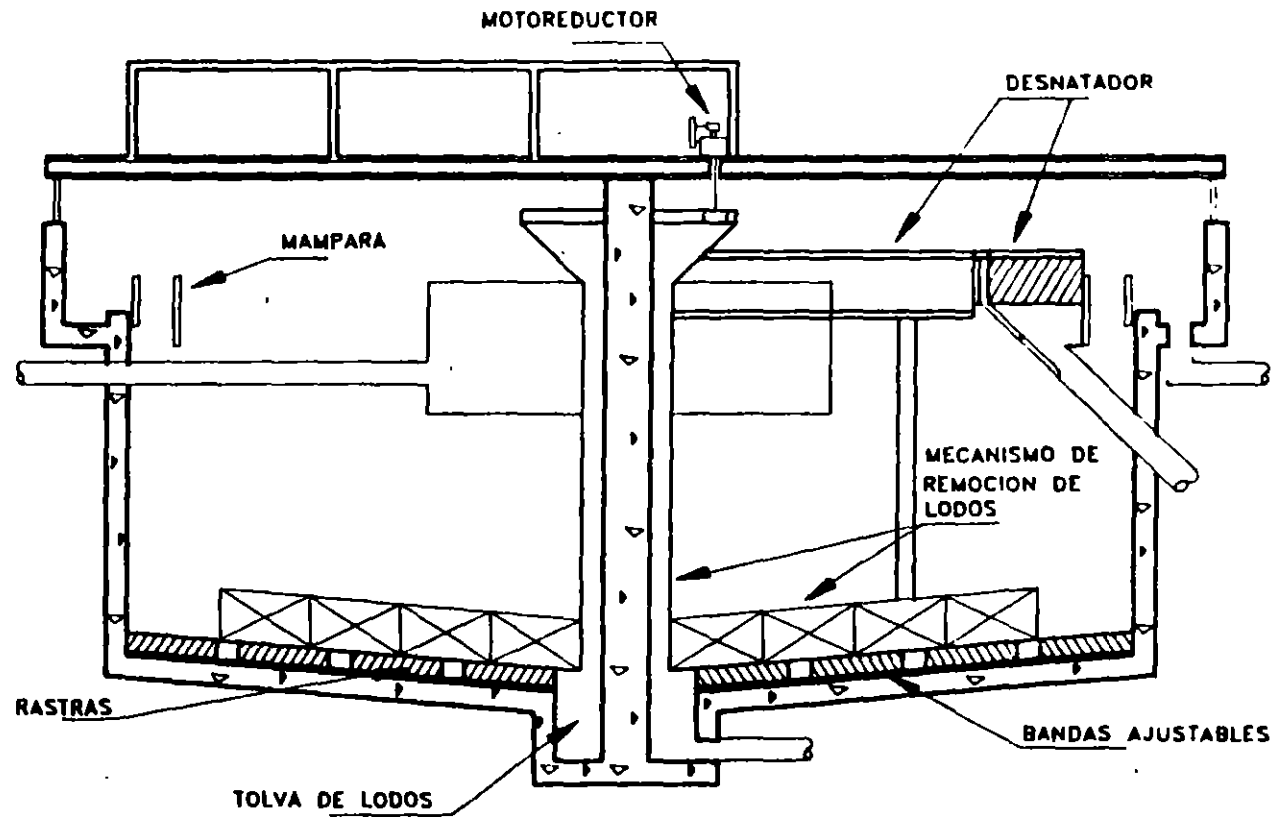


FIGURA 4.1 SEDIMENTADOR CIRCULAR CON RECOLECCION MECANICA DE LODOS

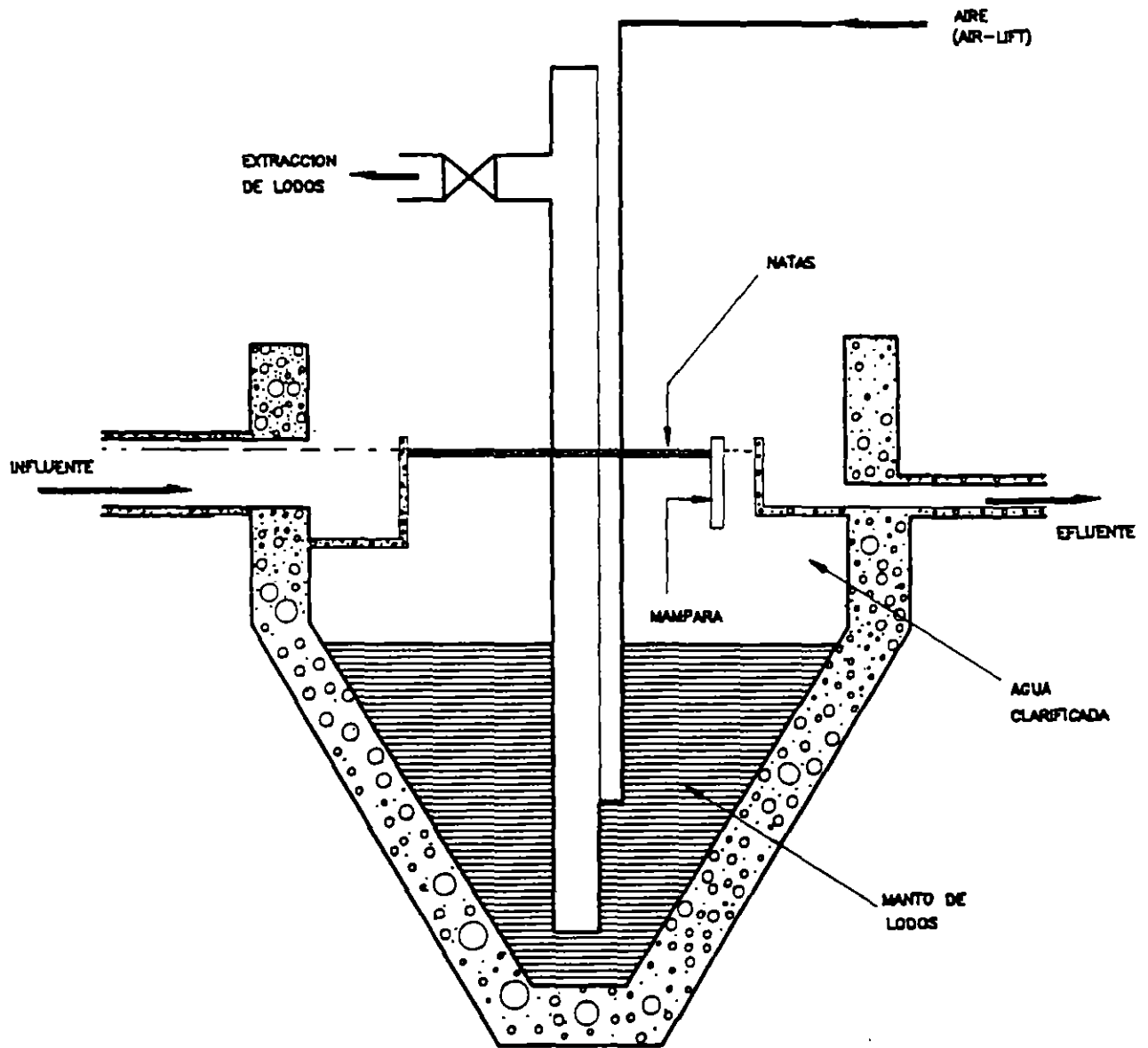


FIGURA 4.2 SEDIMENTADOR CIRCULAR CON RECOLECCION DE LODOS POR GRAVEDAD.

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
<p>en central o periférica.</p> <p>Los equipos principales en estos tanques son las rastras giratorias con puente fijo o móvil. La función principal de las rastras es empujar el lodo del fondo del sedimentador de manera concéntrica hasta alcanzar una tolva ubicada en el centro del tanque (a un lado de la columna central), de donde son extraídos en forma hidráulica o por bombeo.</p> <p>La operación es muy sencilla, generalmente son automáticos; se debe tener cuidado en el arranque del sedimentador, pues si hay lodos acumulados puede presentarse una rotura de la armadura. El desnatador trabaja con un mecanismo automático, se debe checar que el motorreductor esté funcionando normalmente y que el desnatador no se atore. Realmente la operación importante de los sedimentadores es el control de la extracción o purga de lodos para evitar problemas de septicidad y crecimiento o desaparición del manto de lodos.</p> <p>Este tipo de rastra colectora de lodos de tipo giratorio se considera como un excelente mecanismo para remover lodos primarios, secundarios y para remoción de cal u otros químicos en tratamientos terciarios. Ofrece la ventaja de ser un mecanismo simple en funcionamiento, y muy fácil en cuanto a operación y mantenimiento.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

SEDIMENTADORES RECTANGULARES

Los sedimentadores rectangulares se usan más en grandes plantas de tratamiento de aguas residuales. Muchos ingenieros proyectistas los consideran económicos por sus paredes comunes a otros tanques y por la conveniencia de tener una galería de bombeo en un extremo del tanque. Los detalles de diseño incluyen: profundidad, orificios de entrada, mamparas, desnatadores, rastras, canaletas, andadores, etc. Este número de variables hace que exista una gran variedad en el diseño de los tanques.

La mayor parte de estos tanques tienen una profundidad de 2m, pero para lodos activados esta profundidad es mayor. La relación largo a ancho generalmente está entre 1.5:1 y 15:1. Para prevenir cortocircuitos se tienen anchos mínimos de 3 m, y relación largo-ancho mínima de 3:1.

La alimentación se hace en un extremo, y la recolección de agua sedimentada en el extremo opuesto. El lodo se deposita en el fondo del sedimentador, es acarreado por medio de rastra a un extremo donde se han construido tolvas y se extrae por medios mecánicos o hidráulicos.

Los mecanismos colectores de lodos para tanques rectangulares pueden ser de dos tipos: rastras de cadenas o puentes viajeros.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

RASTRA DE CADENAS

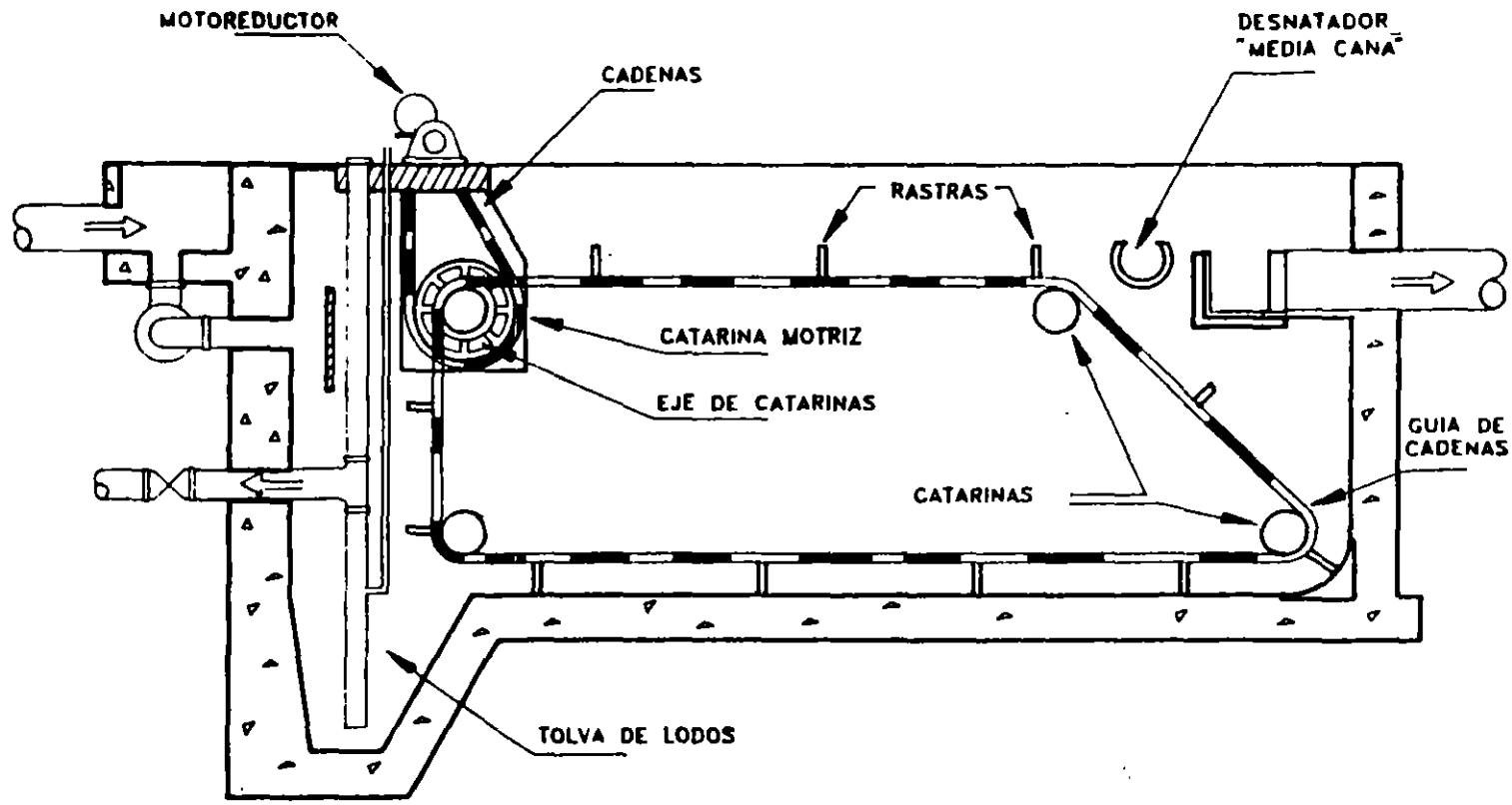
Las rastras de cadenas (figuras 4.3 y 4.4) constan de una serie de rastras cuyos extremos se fijan a dos cadenas paralelas que se mueven mediante un sistema de catarinas por medio de un motorreductor. Este movimiento es lento, evitando la turbulencia del lodo depositado en el fondo al ser arrastrado a tolvas colocadas en el extremo del sedimentador. En sedimentadores primarios y en algunos secundarios, las rastras también sirven, al regresar, como desnatadores, llevando en su viaje, al extremo opuesto de las tolvas, las natas que son colectadas generalmente en una **media caña** de operación manual y retiradas del sedimentador.

Una desventaja es su difícil mantenimiento; cuando es requerido se debe vaciar el sedimentador. Comparando con otros sistemas, el mantenimiento de rastras, cadenas, catarinas, motorreductores, flechas y baleros es más serio y, por tanto, de mayor duración y tal vez también desfavorable en costos.

PUNTES VIAJEROS

Los puentes viajeros están equipados con una sola rastra que puede ser nivelada. El puente se mueve hacia adelante y hacia atrás sobre rieles colocados en ambos lados del sedimentador. El mecanismo funciona de **ida** para extraer lodos del fondo y de **vuelta** como desnatador.

El puente viajero con rastra o con mecanismo de



7/17

FIGURA 4.3 SEDIMENTADOR RECTANGULAR CON RASTRAS Y CADENAS CON RECOLECCION DE NATAS

43

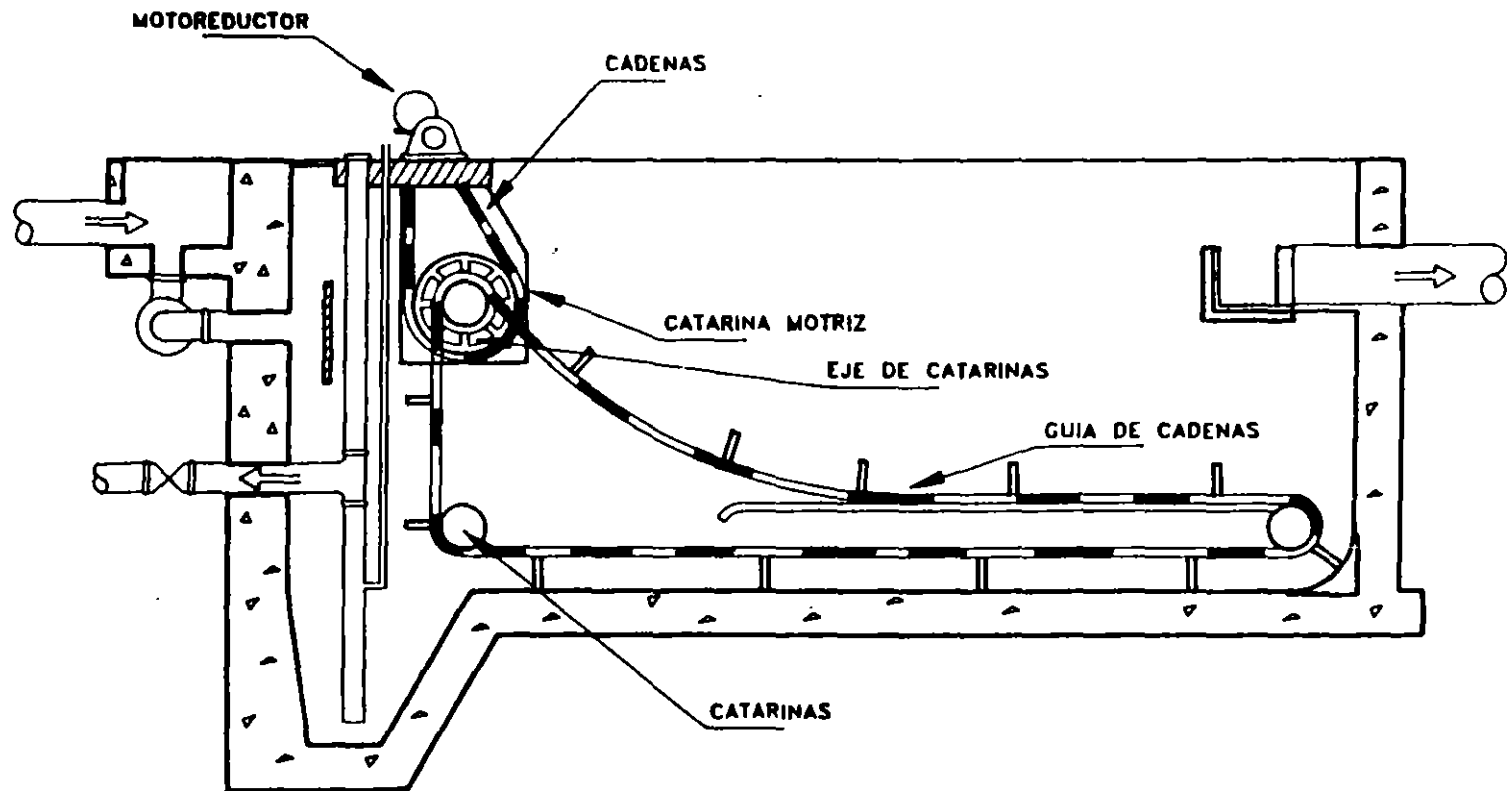


FIGURA 4.4 SEDIMENTADOR RECTANGULAR CON RASTRAS Y CADENAS SIN REMOCION DE NATAS

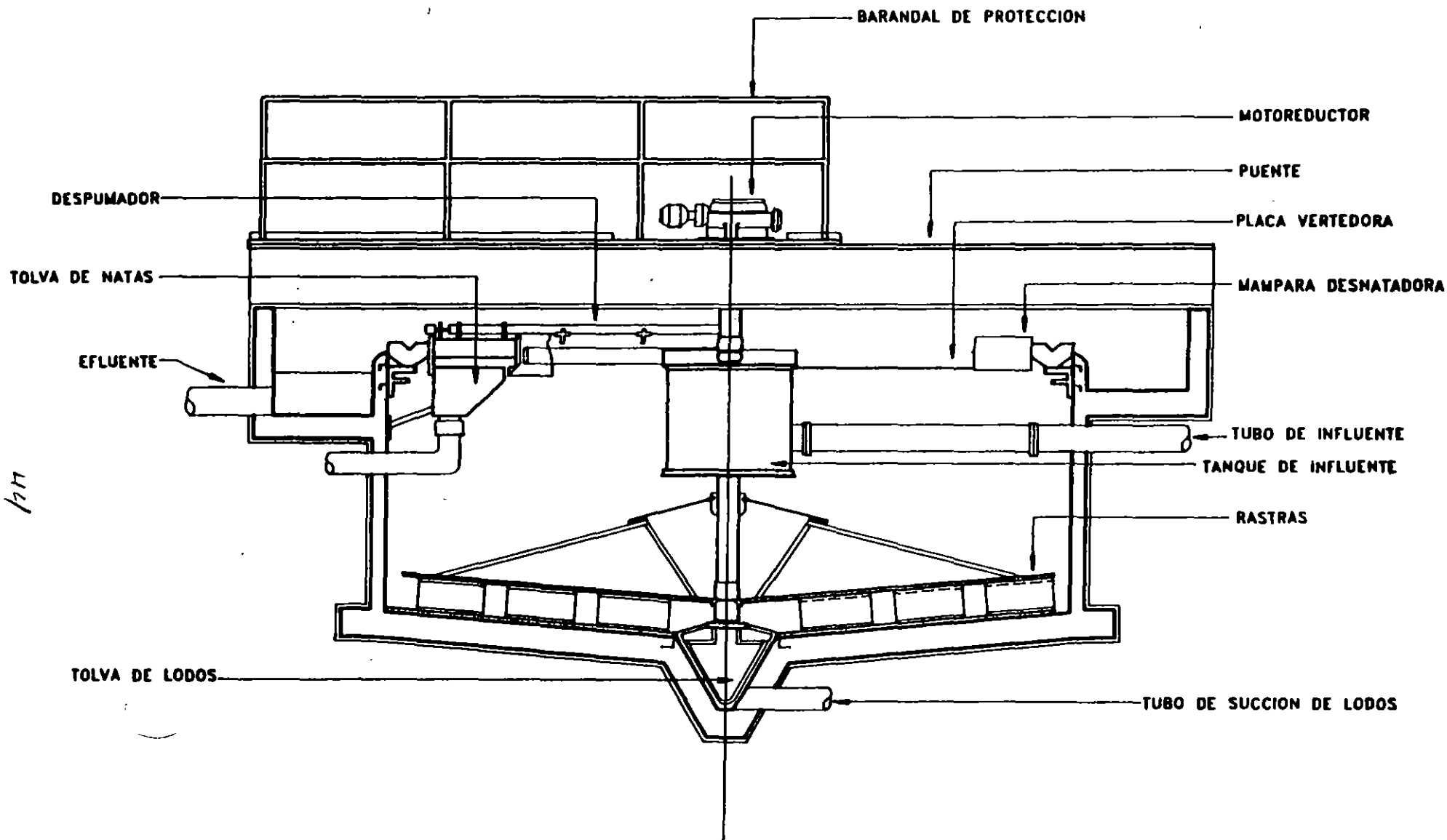


FIGURA 4.5 TÍPICO SEDIMENTADOR CIRCULAR

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
<p>succión fue desarrollado para resolver problemas de mantenimiento, como los mencionados para rastras con cadenas. No requieren que el sedimentador se vacíe para su mantenimiento o reparación.</p> <p>Los puentes viajeros con rastra, raras veces se utilizan en plantas de lodos activados; los puentes viajeros con sistema de succión son más comunes.</p>	
<h3>4.2 SISTEMAS DE AERACION</h3>	
<p>Se consideran el corazón de las plantas de lodos activados. Los microorganismos aerobios no pueden vivir sin la transferencia de oxígeno al tanque de aeración.</p>	
<p>La simulación de lo que sucede en las corrientes donde en forma natural el agua se oxigena con la velocidad y cambios de dirección del río y otros factores, se logra artificialmente con dos tipos de sistemas, uno con base en aeradores mecánicos, y el otro mediante aeración por difusión.</p>	
<h3>AERADORES MECANICOS</h3>	
<p>La aplicación más usual de aeradores mecánicos incluye varias modificaciones al proceso de lodos activados, zanjias de oxidación, unidades de forma oval o de anillo, lagunas aeradas, etc. Los aeradores mecánicos también son usados en otras unidades de proceso, como en sistemas de preaeración, tanque de homogeneización,</p>	

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
<p>sistemas postaeración, lagunas de pulimiento y aeración de cuerpos naturales de agua.</p> <p>Los principales requisitos para aceptar equipos de aeración mecánica son los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Se debe tener suficiente transferencia de oxígeno a un costo razonable.2. La capacidad de mezclado debe ser suficiente.3. Los aerosoles y rocío causado por la aeración no deben contaminar el aire; esto es importante en plantas cercanas a zonas residenciales.4. Los aeradores requieren bajo mantenimiento, flexibilidad de operación y control del equipo. <p>Los aeradores mecánicos dan una combinación de aeración y mezcla del líquido. Algunos producen la interfase gas-líquido tomando aire de la atmósfera y dispersándolo en burbujas; otros dispersan el líquido en el aire en forma de gotas; algunos producen películas delgadas de agua que entran en contacto con el aire, y otros generan gotas de agua y burbujas de aire. Un grupo específico de aeradores mecánicos usan la difusión inyectando el aire de la superficie al líquido; se llaman aeradores mecánicos combinados. La tabla 4.1 muestra la diversidad de aeradores mecánicos, divididos en dos grandes grupos, los de eje vertical y los de eje horizontal. Las figuras 4.6 a 4.12 muestran diagramas de aeradores mecánicos. La eficiencia de</p>	

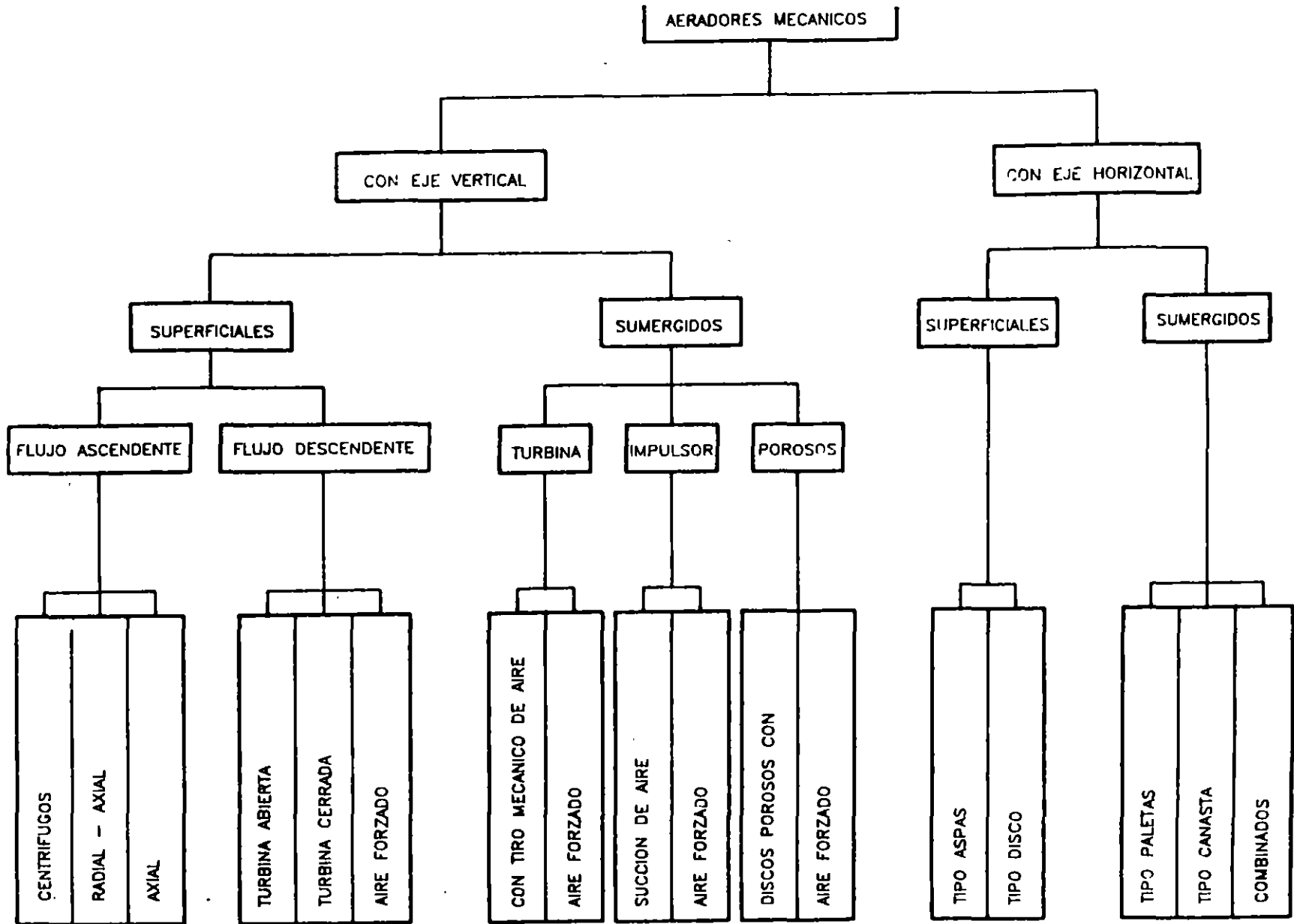


TABLA 4.1

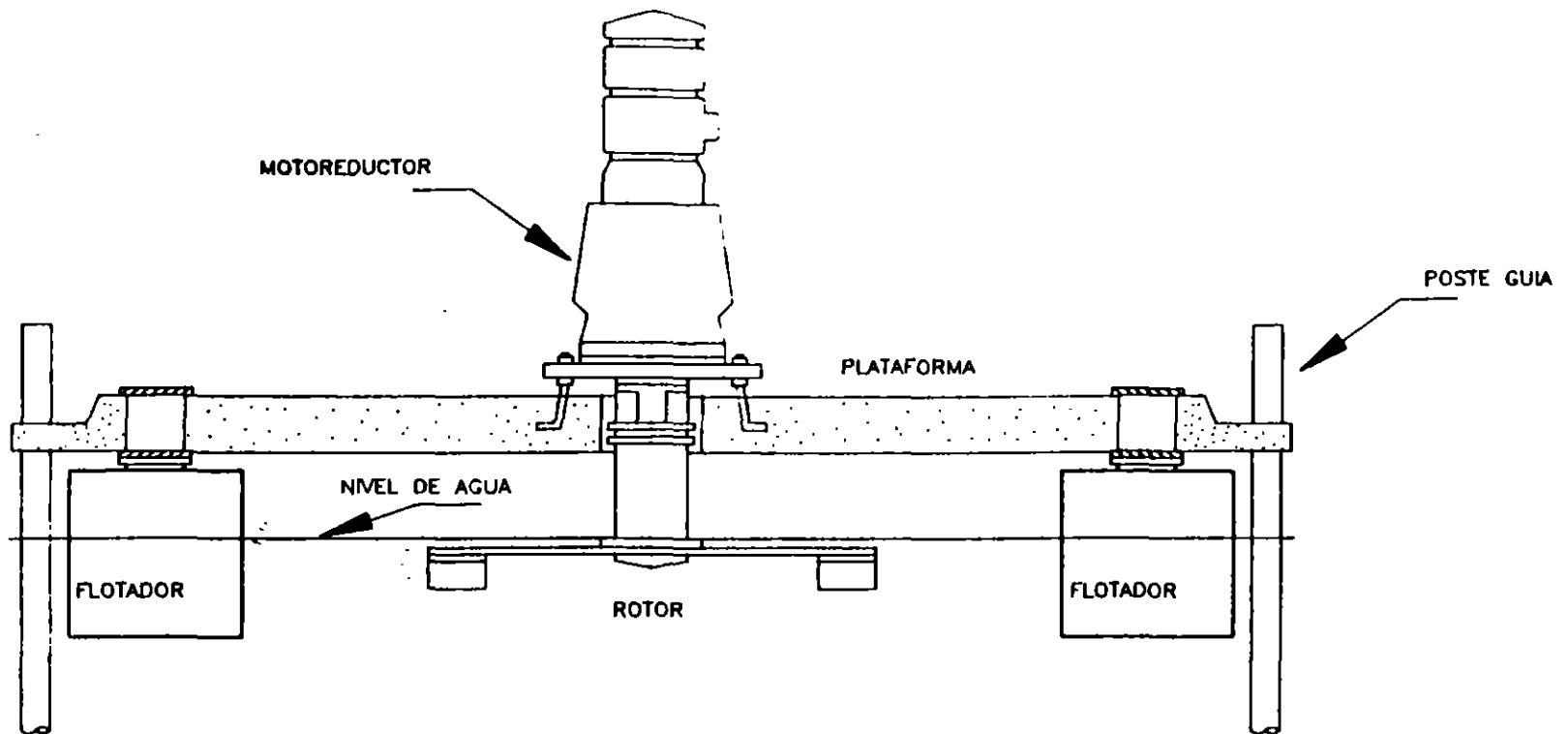


FIGURA 4.6 AERADOR MECANICO DE EJE VERTICAL Y BAJA VELOCIDAD.

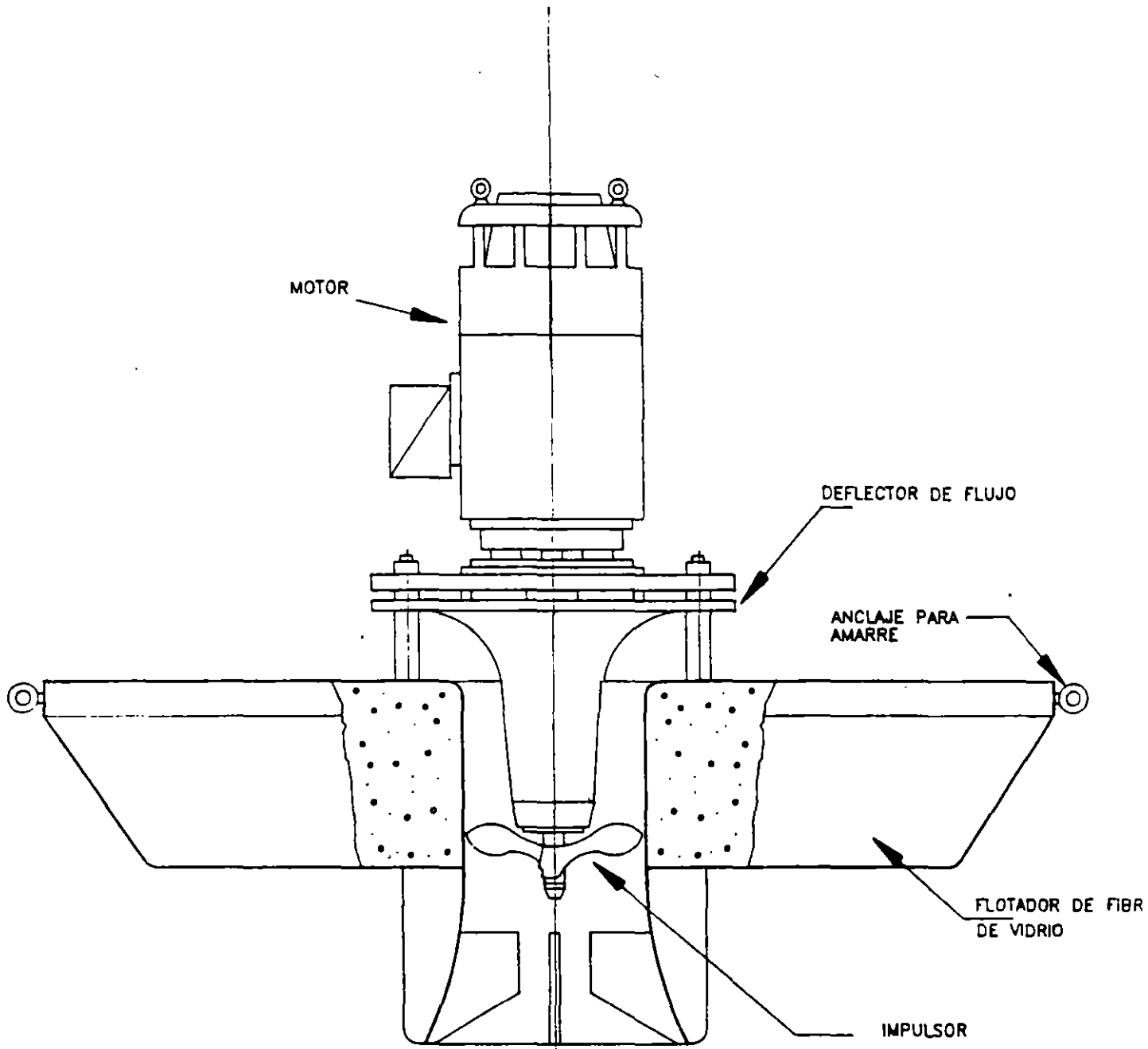


FIGURA 4.7 AERADOR SUPERFICIAL FLOTANTE DE EJE VERTICAL Y ALTA VELOCIDAD, CON IMPULSOR

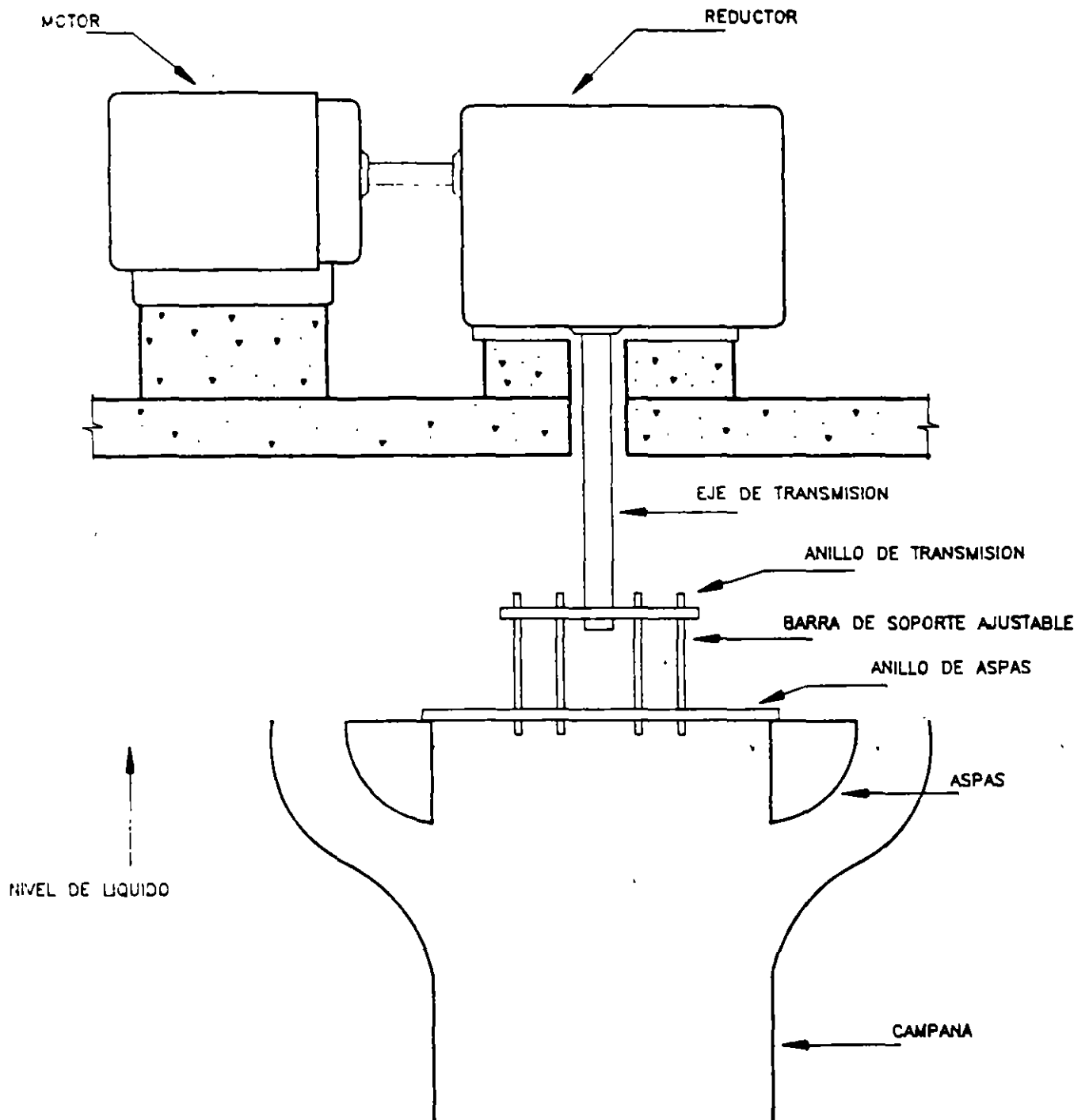


FIGURA 4.8 AERADOR MECANICO DE EJE VERTICAL TIPO ASPAS

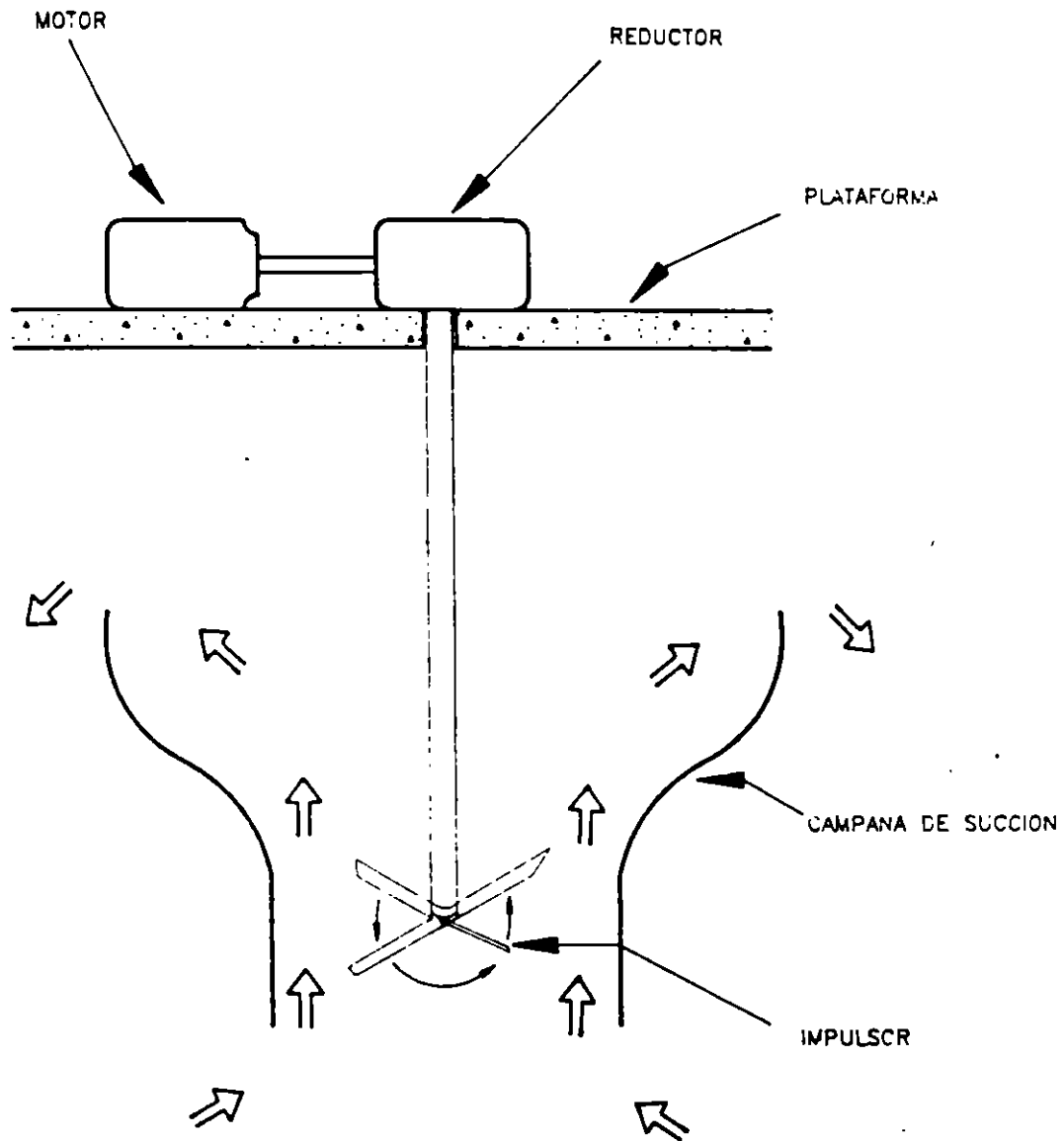
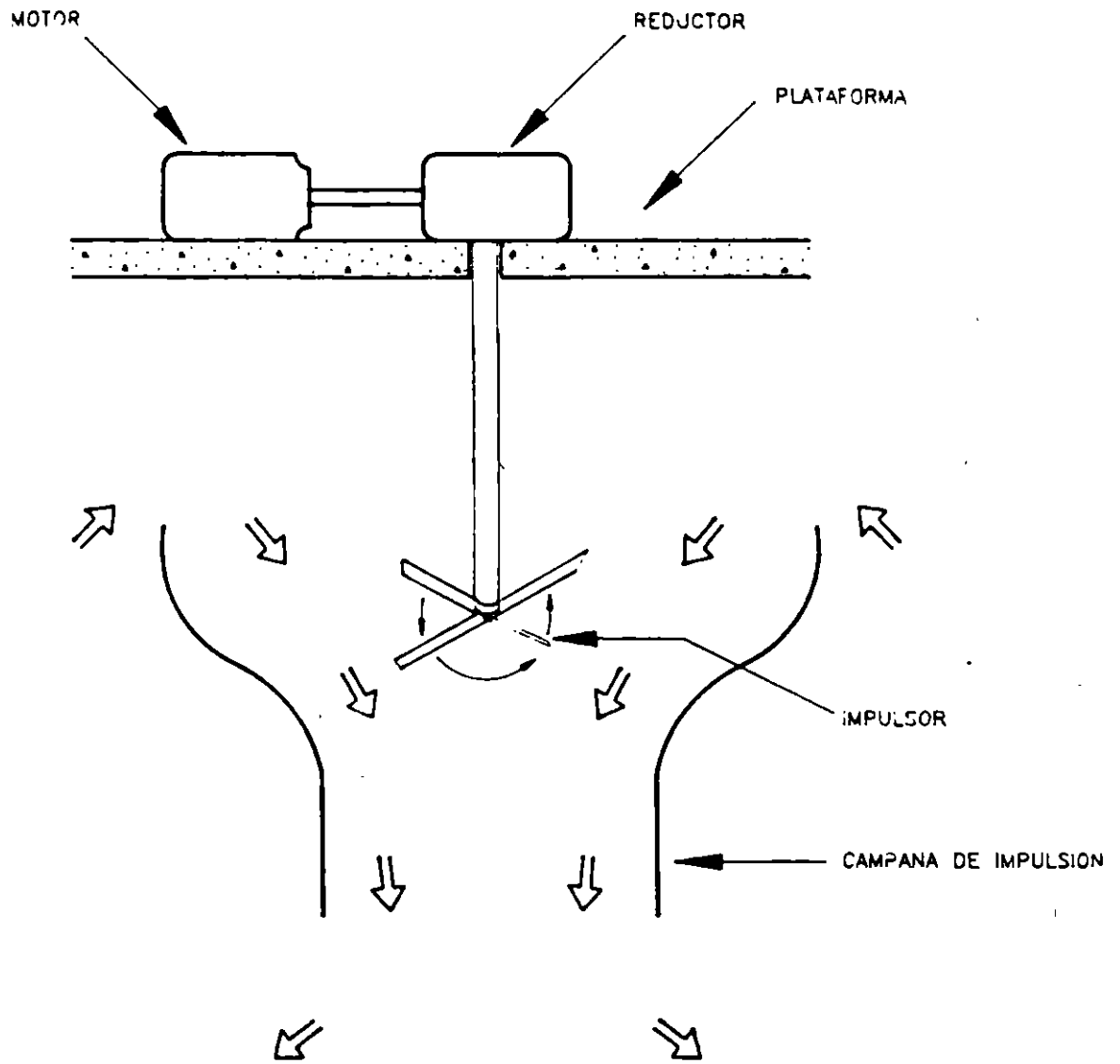


FIGURA 4.9 AERADOR MECANICO EJE VERTICAL DE TURBINA FLUJO ASCENDENTE



**FIGURA 4.10 AERADOR MECANICO EJE VERTICAL
IMPULSOR DE FLUJO DESCENDENTE**

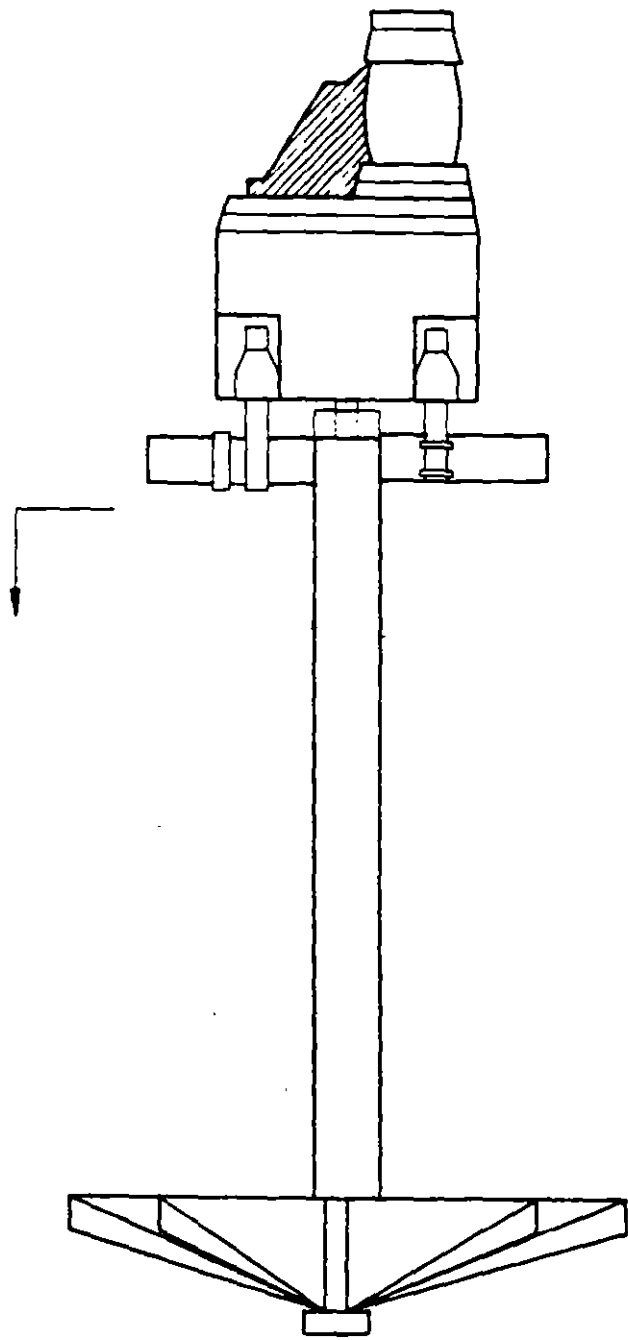


FIGURA 4.11 AERADOR MECANICO SUMERGIDO DE BAJA VELOCIDAD

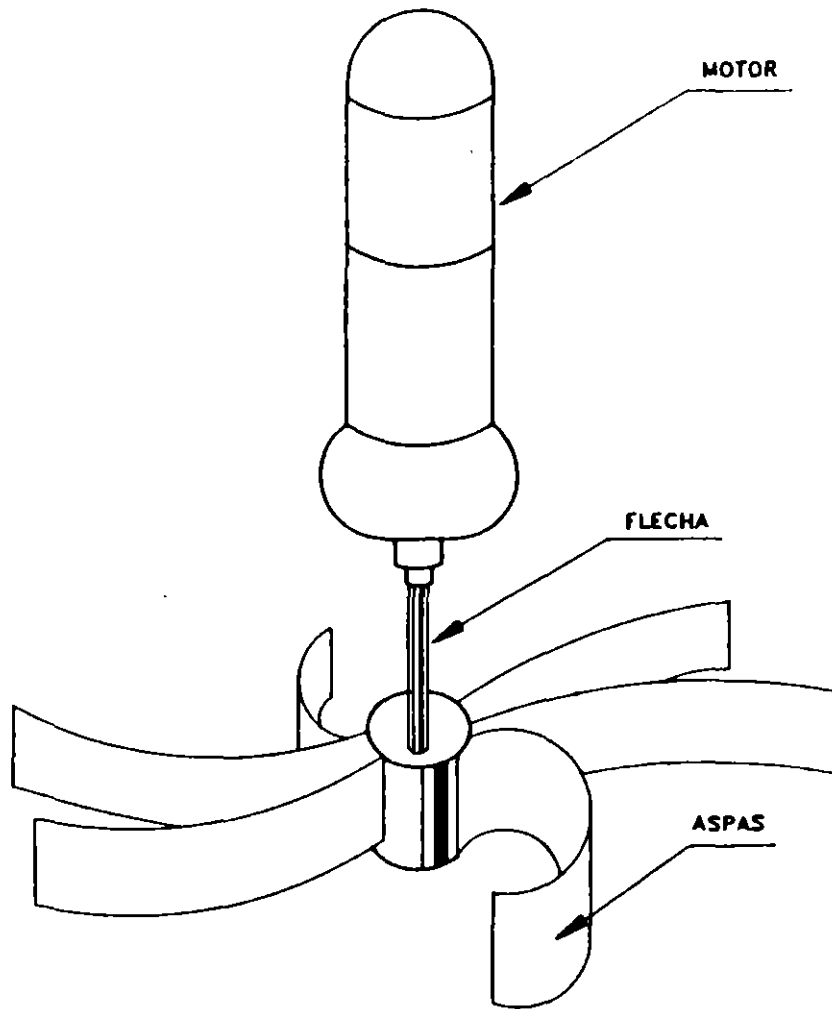


FIGURA 4.12 AERADOR MECANICO AXIAL CON ASPAS ABIERTAS

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

transferencia de oxígeno se puede consultar en la tabla 4.2.

CONSIDERACIONES EN LA OPERACION Y MANTENIMIENTO

La operación efectiva del equipo de aeración mecánica debe minimizar el consumo de energía y maximizar su funcionamiento. La operación y mantenimiento se enfocará al control de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido aerado; proporcionar la mezcla mínima requerida en el sistema y proporcionar el servicio e inspección necesaria sin interrumpir la operación.

Generalmente la concentración de oxígeno disuelto se establece entre 1 y 2 mg/l, a temperaturas cercanas a los 20 °C; el consumo de energía para proporcionar 4 mg/l de oxígeno en lugar de 2 mg/l puede aumentar entre un 35 y 40%. Debido a que el consumo de energía en aeración es uno de los mayores costos de operación de la planta no se debe sobreoxigenar el licor mezclado del aerador. Las técnicas de control dependen totalmente del equipo de aeración, y se muestran en la tabla 4.3.

El mantenimiento de aeradores mecánicos involucra lo siguiente:

1. Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión

Tabla 4.2 RANGOS DE EFICIENCIA DE AERACIÓN PARA DIVERSOS AERADORES MECÁNICOS.

TIPO DE AERADOR	EFICIENCIA DE AERACION kg O ₂ /kw-h	
	STANDAR	CAMPO
Superficiales centrífugos de baja velocidad.	1.2-3.0	0.7-1.4
Superficiales centrífugos con tubo de succión.	1.2-2.8	0.7-1.3
Superficiales axiales de alta velocidad.	1.2-2.2	0.7-1.2
Flujo descendente con turbina abierta.	1.2-2.4	0.6-1.2
Flujo descendente con turbina cerrada.	1.2-2.4	0.7-1.3
Turbina sumergida.	1.2-2.0	0.7-1.1
Impulsor sumergido.	1.2-2.4	0.7-1.1
Rotor superficial.	0.9-2.2	0.5-1.1

Tabla 4.3 TECNICAS DE CONTROL DE LA CONCENTRACION DE OXIGENO CON AERADORES MECANICOS.

TIPO DE AERADOR	TECNICA			
	SUMERGENCIA	VELOCIDAD	AIRE	ENCENDIDO APAGADO
Superficiales centrífugos de baja velocidad	SI	SI	NO	SI
Superficiales axiales de alta velocidad	NO	NO	NO	SI
Flujo descendente turbina abierta	POSIBLE	POSIBLE	NO	SI
Flujo descendente turbina cerrada	POSIBLE	POSIBLE	NO	SI
Flujo descendente turbina cerrada con aire forzado	NO	NO	SI	SI
Turbina sumergida	NO	NO	SI	NO
Impulsor sumergido	NO	NO	NO	SI
Rotor superficial y disco	SI	SI	NO	SI
Eje horizontal aeración mecánica	NO	NO	SI	SI

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
<p>de cables eléctricos y mecanismos de fijación, revisión del desgaste de bandas, etc.</p> <ol style="list-style-type: none">2. Registro de datos de uso de energía, sumergencia de aeradores, gasto de aeradores, gasto de aire (si aplica).3. Registro de datos de tiempos de uso, tiempos de reparación.4. Análisis de la falla de equipos, interrupciones de la operación, mantenimiento de sopladores y tubería con equipos combinados.	
<h3>AERACION POR DIFUSION</h3>	
<p>La aeración por difusión ha sido empleada en tratamiento de aguas residuales desde principios de siglo. Los primeros sistemas introducían aire a través de tubos abiertos o tuberías perforadas colocadas en el fondo del aerador. El deseo de mejorar la eficiencia llevó al desarrollo de difusores de placa porosa que producen pequeñas burbujas y se obtienen altas eficiencias en la transferencia de oxígeno.</p>	
<p>La aeración por difusión es definida como la inyección de gas (aire u oxígeno) a presión bajo la superficie líquida. Todos los equipos que se describirán alcanzan esta definición.</p>	
<p>La industria del tratamiento de aguas residuales ha</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

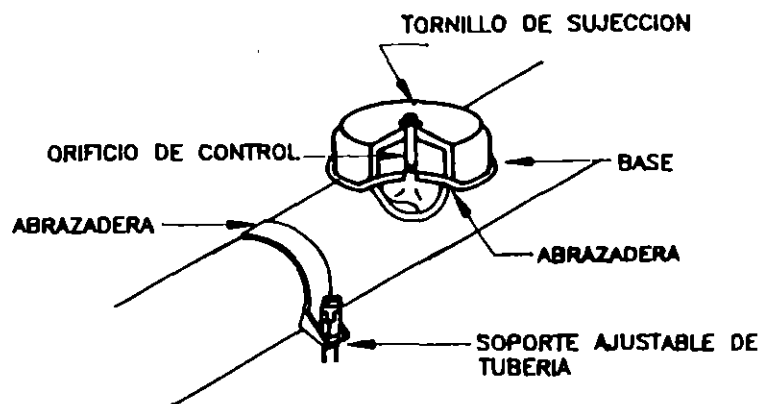
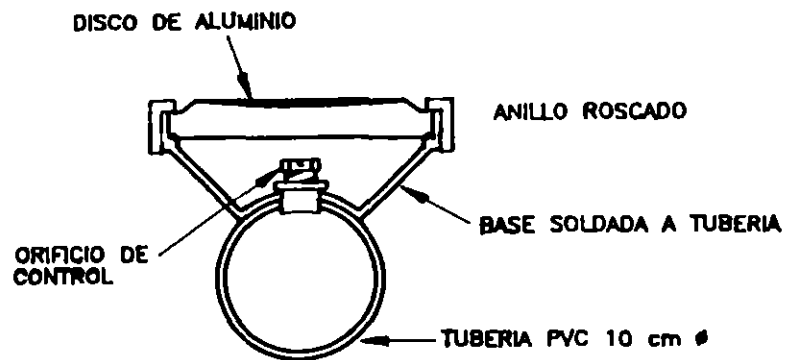
introducido una gran variedad de equipos de difusión de aire. La clasificación tradicional mencionaba los difusores de burbuja gruesa, y los de burbuja fina. Esta clasificación aparentemente da idea de la eficiencia de transferencia de oxígeno; sin embargo, no existe un valor para diferenciar si una burbuja es gruesa o fina. Por esta razón, la clasificación actual se hace por las características físicas de los difusores, dividiéndolos en tres categorías: Difusores porosos, Difusores no porosos, y otros mecanismos de difusión.

DIFUSORES POROSOS

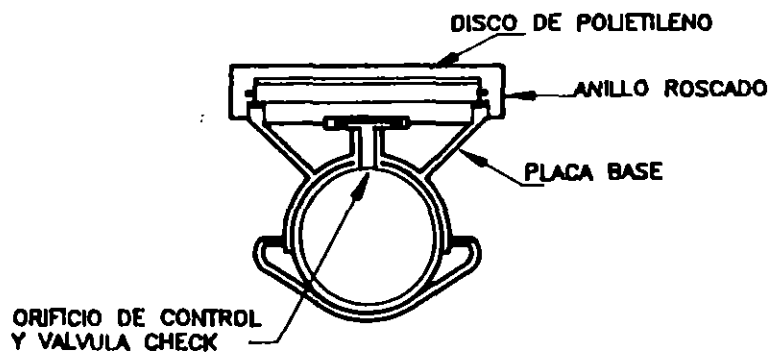
Su uso les ha ganado renovada popularidad debido a la relativamente alta eficiencia de transferencia de oxígeno mostrada (figuras 4.13 y 4.14). Se han utilizado numerosos materiales para fabricar este tipo de difusores: materiales rígidos de cerámica o plástico, y materiales flexibles de plástico o tela. De acuerdo con su forma, se pueden encontrar difusores porosos de placa, domos, discos y tubos.

DIFUSORES NO POROSOS

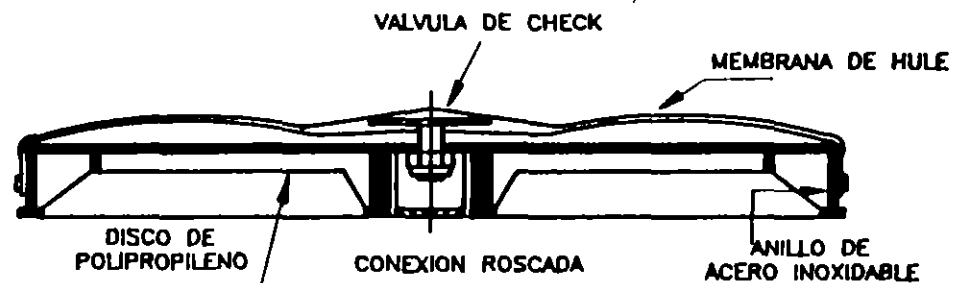
Difieren de los porosos por tener grandes orificios (comparados con los poros) o agujeros que no se obstruyen fácilmente. Se encuentran en una amplia variedad de materiales y formas. Los difusores de orificio fijo varían desde simples huecos taladrados hasta ranuras especialmente configuradas en tuberías metálicas o plásticas. Los difusores con orificio y válvula caen también en esta categoría, así como los



(b)



(a)



(c)

FIGURA 4.13 DIFUSORES ROSOS: a) disco, b) domo, c) disco perforado

CONTENIDO	NOTAS
<p>difusores estáticos y las mangueras perforadas. Figuras 4.15 y 4.16.</p> <p>OTROS SISTEMAS DE DIFUSION</p> <p>Dentro de la clasificación se separaron los mecanismos híbridos como los sistemas de Jet , mecanismos aspirantes como las bombas aspiradoras de propela, y la aeración en tubos U ; se pueden observar en las figuras 4.17 a 4.20.</p> <p>Los factores que afectan el funcionamiento de los difusores son: tamaño de la burbuja y características del medio, uniformidad de la distribución del aire, tamaño y forma del difusor, gasto por difusor, profundidad de colocación del difusor, geometría del tanque, arreglo de difusores, etc. Las figuras 4.21 y 4.22 muestran arreglos de difusores.</p> <p>SOPLADORES</p> <p>Un soplador es un mecanismo de una o varias etapas diseñado para producir grandes volúmenes de aire o gas a una presión cercana a la atmosférica. Un compresor se clasifica como un mecanismo diseñado para producir pequeños volúmenes de aire a altas presiones. Ambas máquinas realizan la misma función; la aplicación y rangos de presión son la diferencia entre soplador y compresor.</p> <p>Los sopladores son la mayor fuente de consumo de energía en plantas de lodos activados. Cualquier</p>	

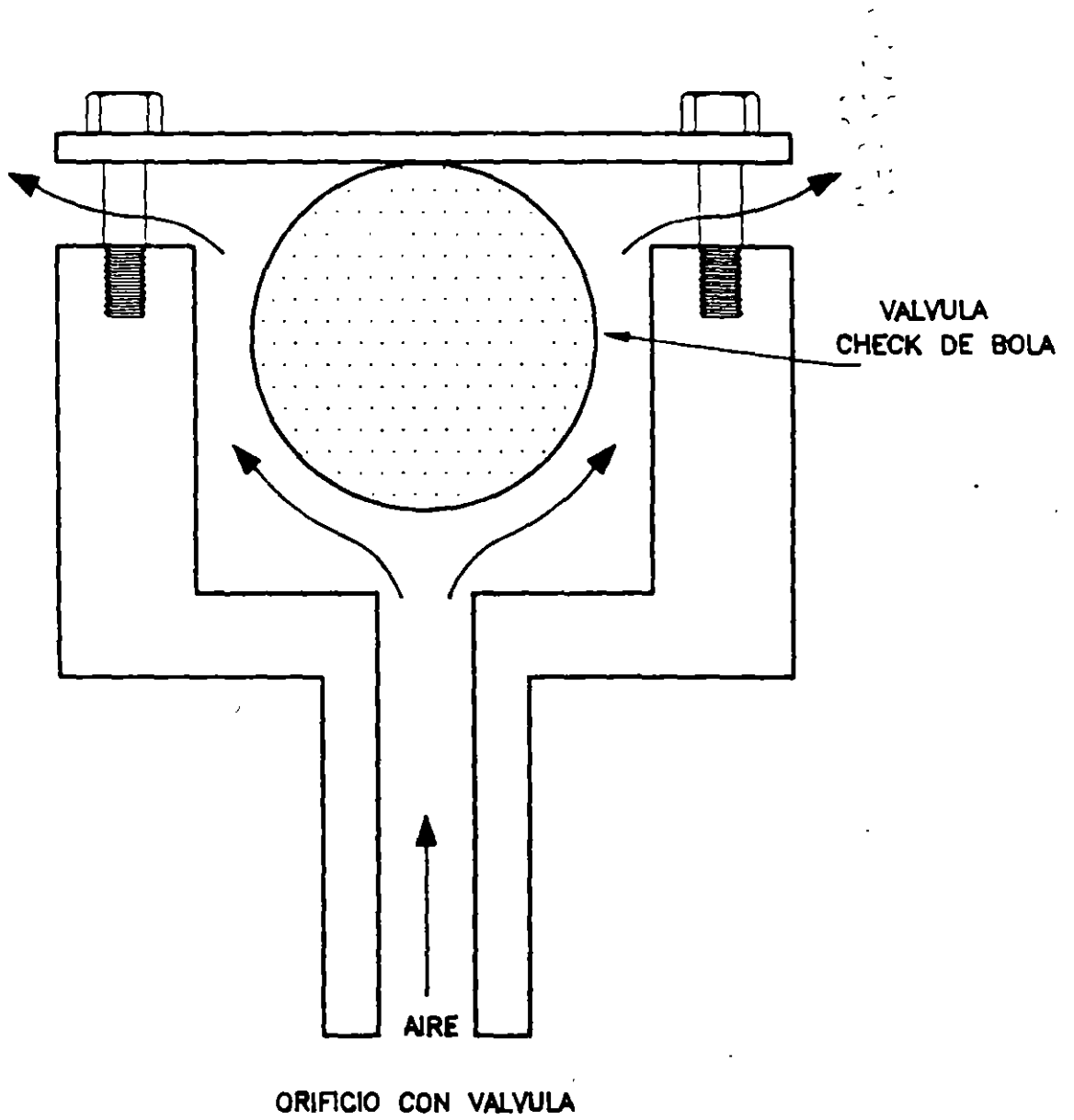


FIGURA 4.15 DIFUSORES NO POROSOS

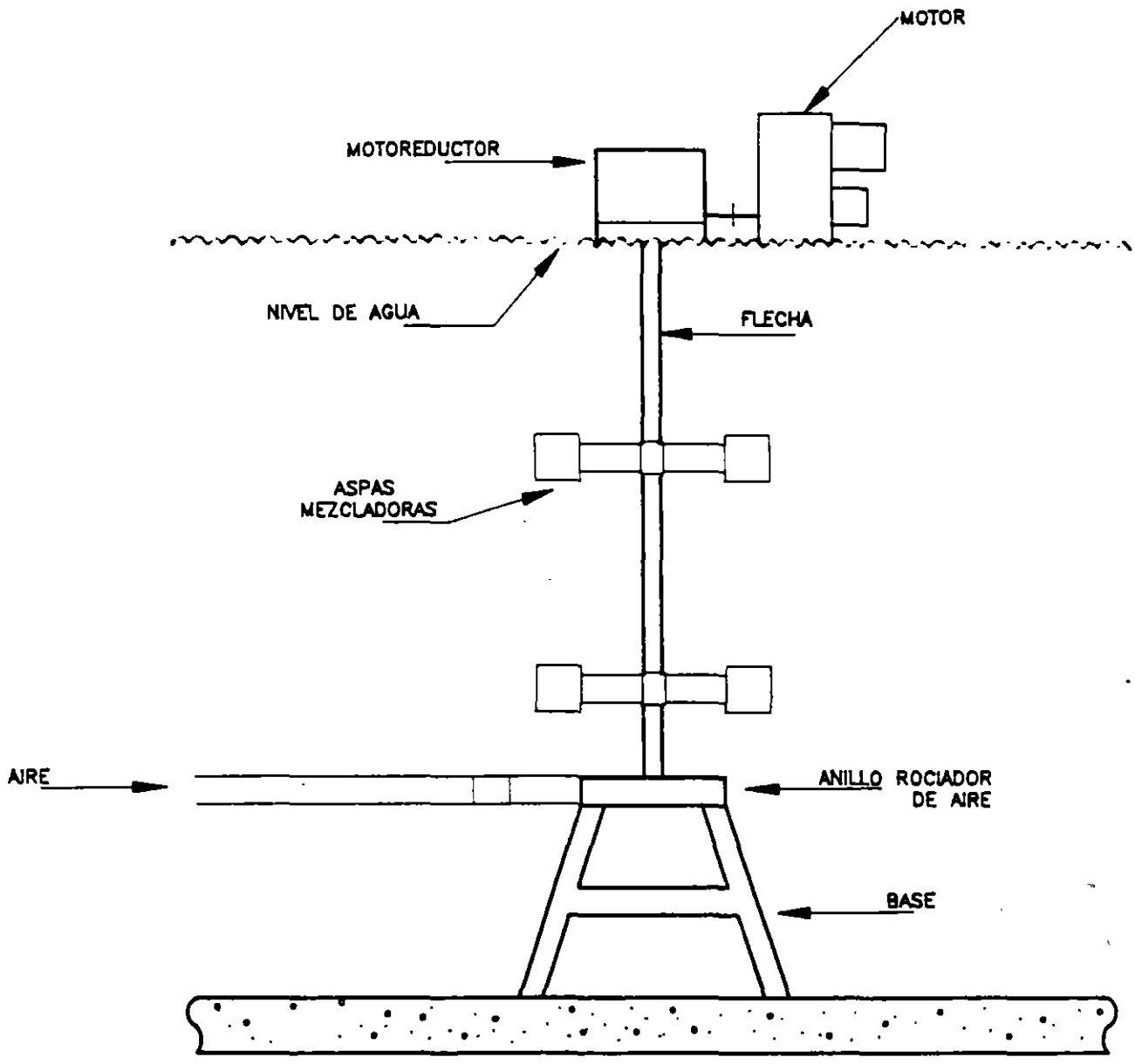


FIGURA 4.17 AERADOR DE TURBINA CON AIRE FORZADO (ROCIADOR)

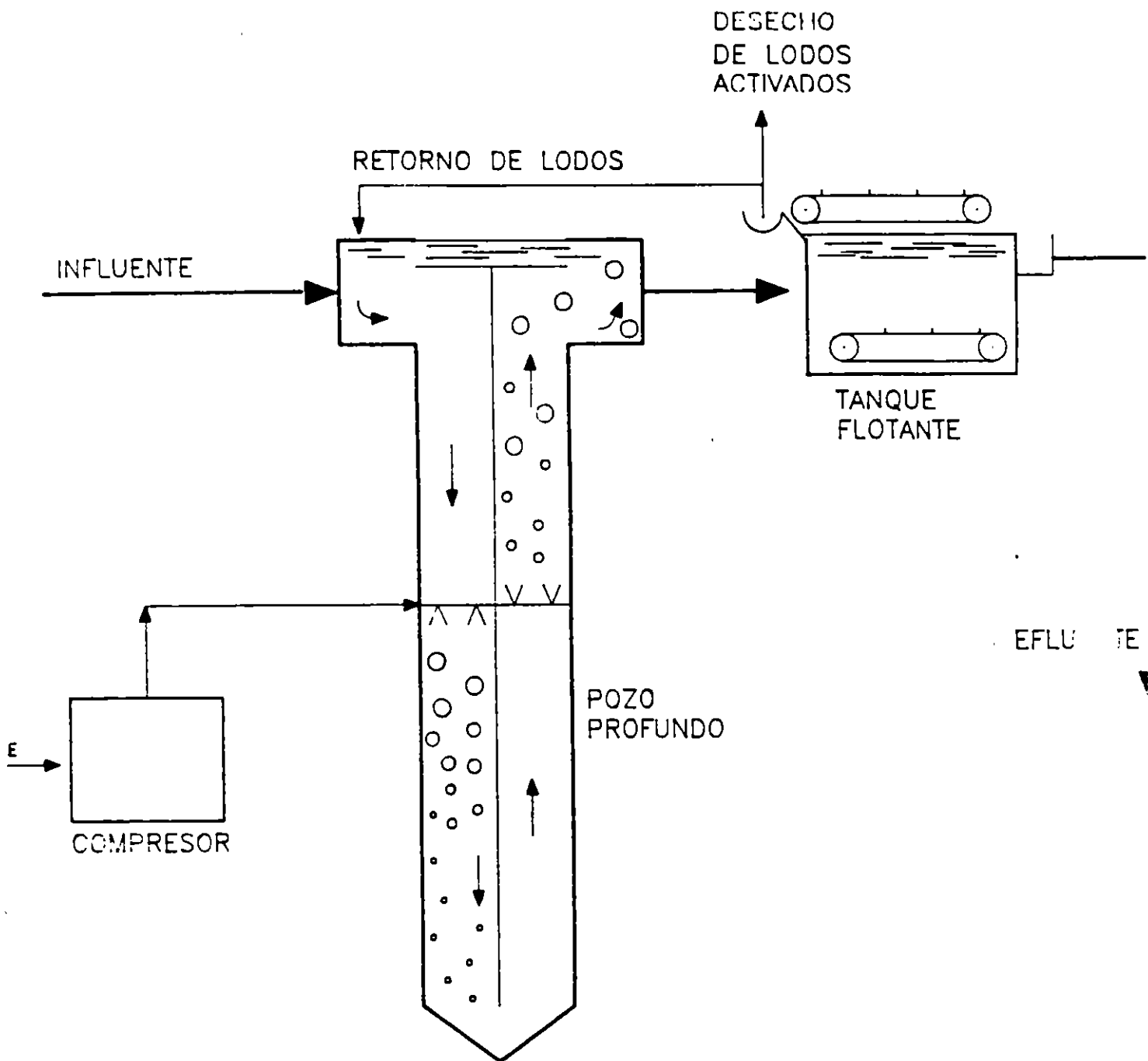


FIG. 4.18 AERACION EN TUBO "U"

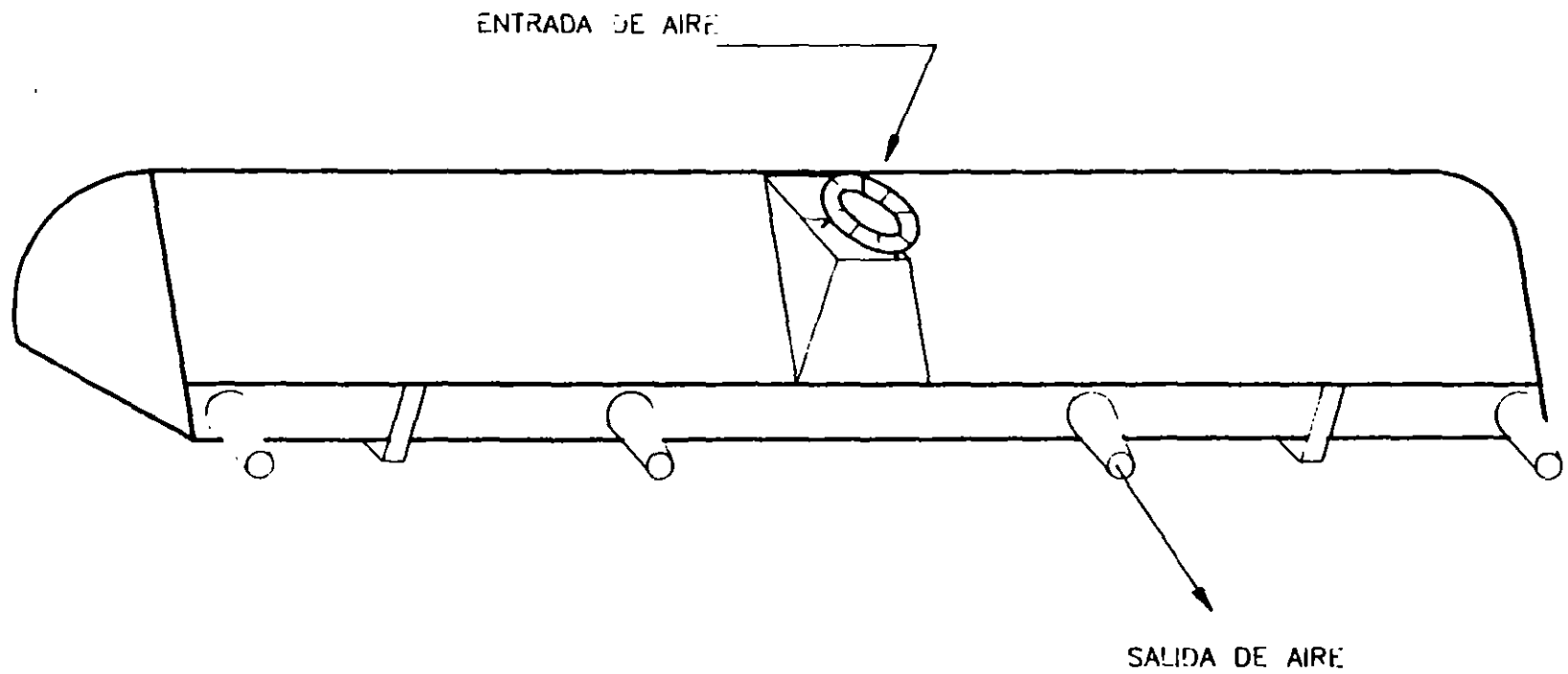


FIGURA 4.19 AERADOR TIPO JET DIRECCIONAL

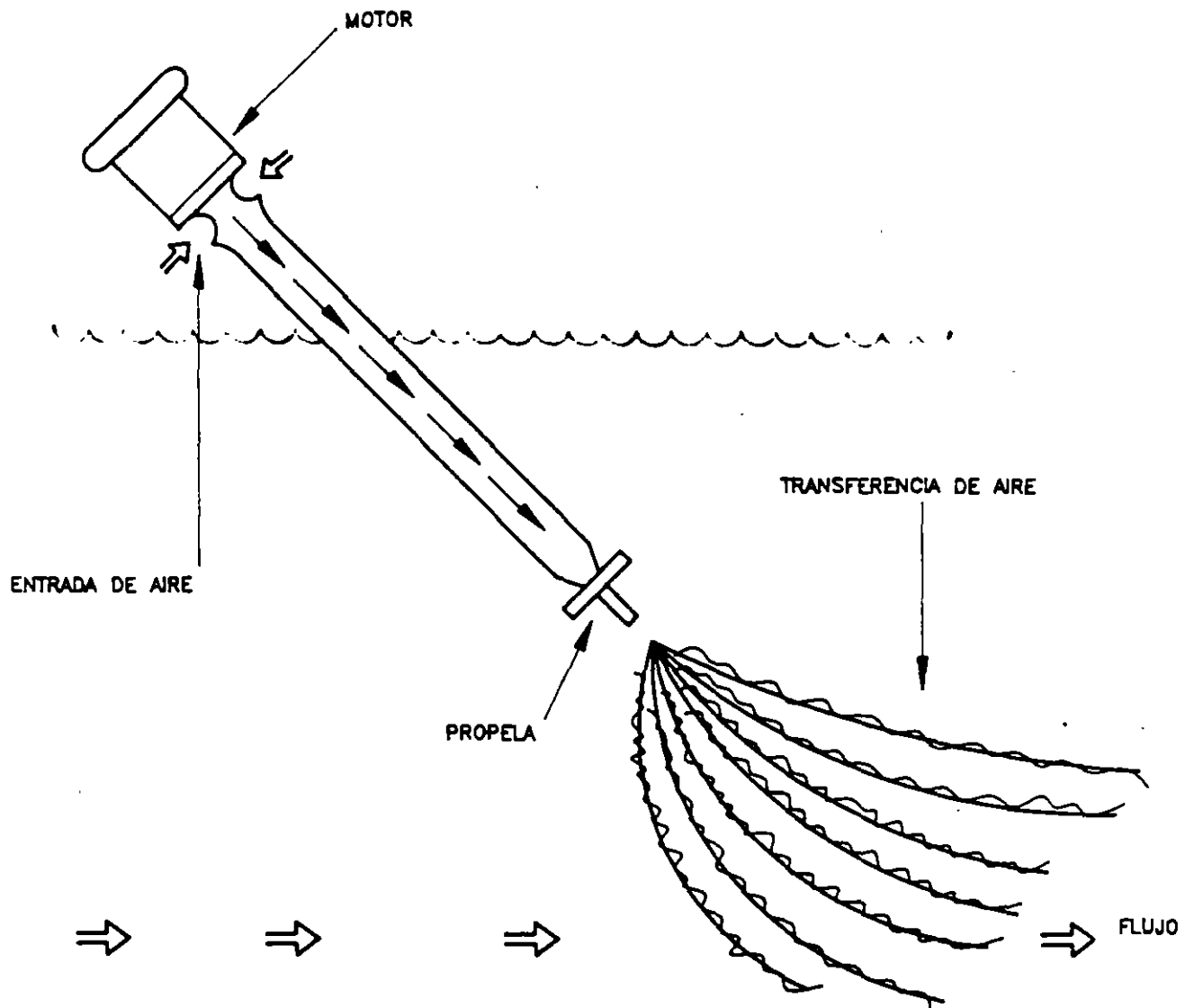
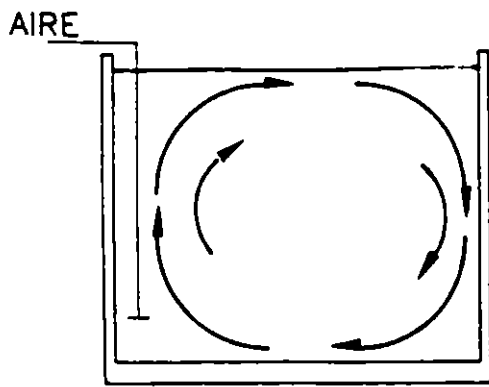
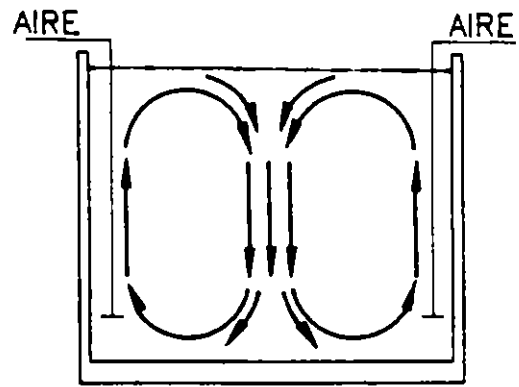


FIGURA 4.20 MECANISMO ASPIRANTE DE PROPELA (TIPO CAÑON)

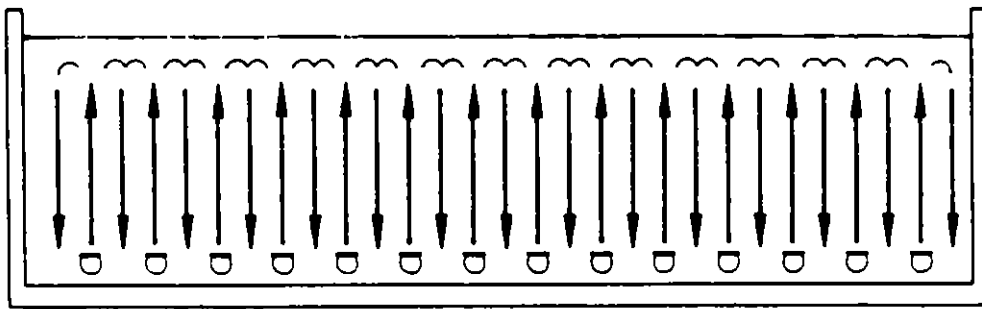


FLUJO SIMPLE

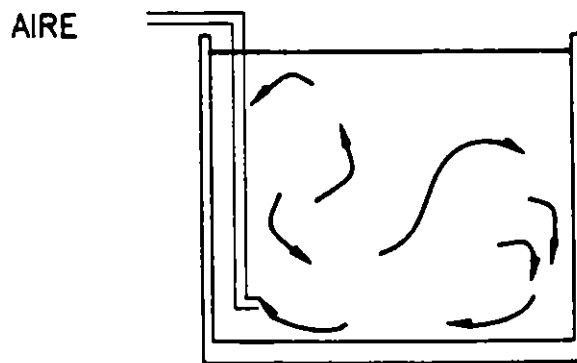


FLUJO DOBLE

ARREGLO DE FLUJO EN ESPIRAL



PISO CON DIFUSORES



AERACION TIPO JET

FIGURA 4.21 DIFERENTES ARREGLOS DE DIFUSORES "MODELO DE FLUJO"

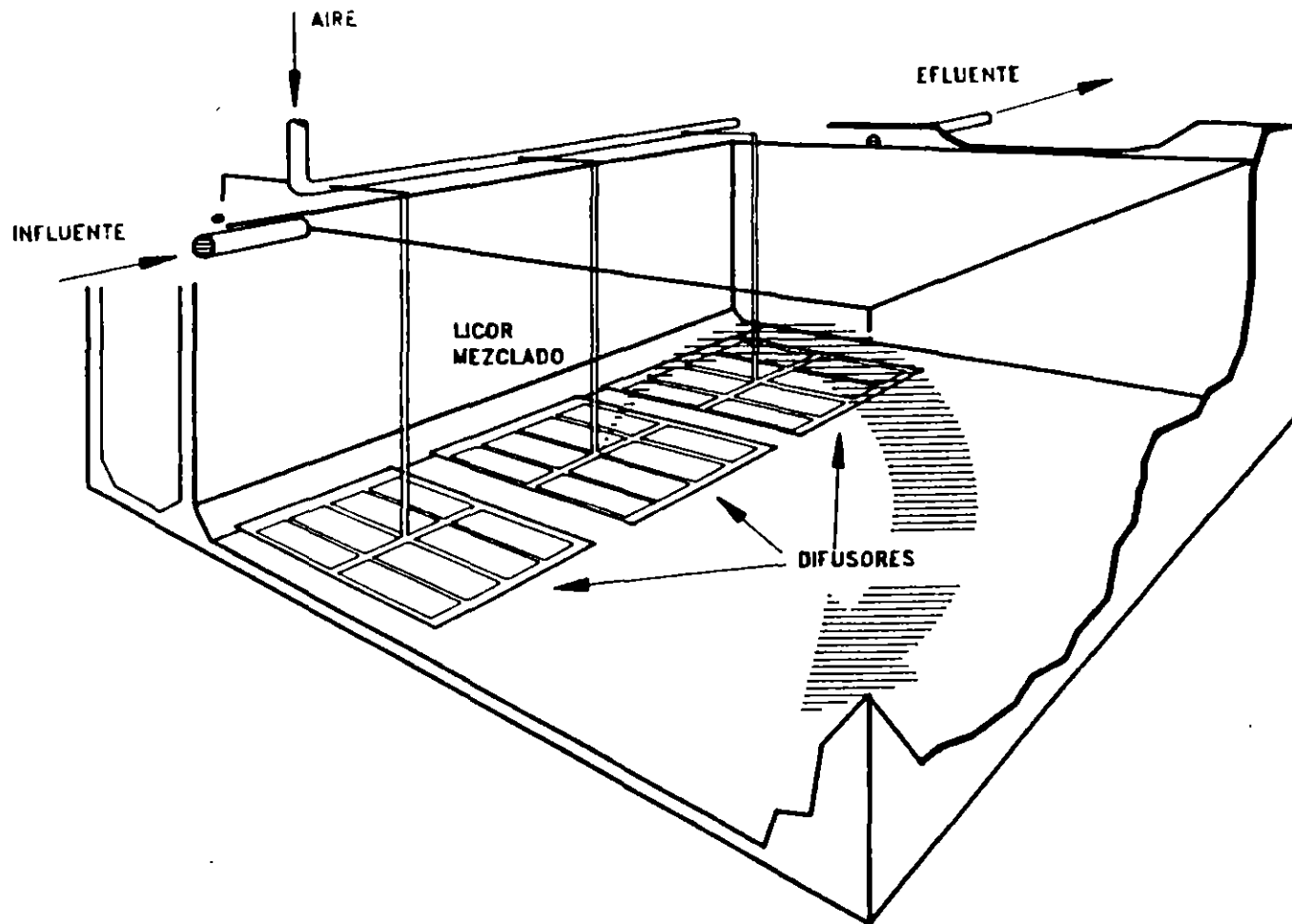


FIGURA 4.22 ARRE .O TIPICO DE DIFUSORES

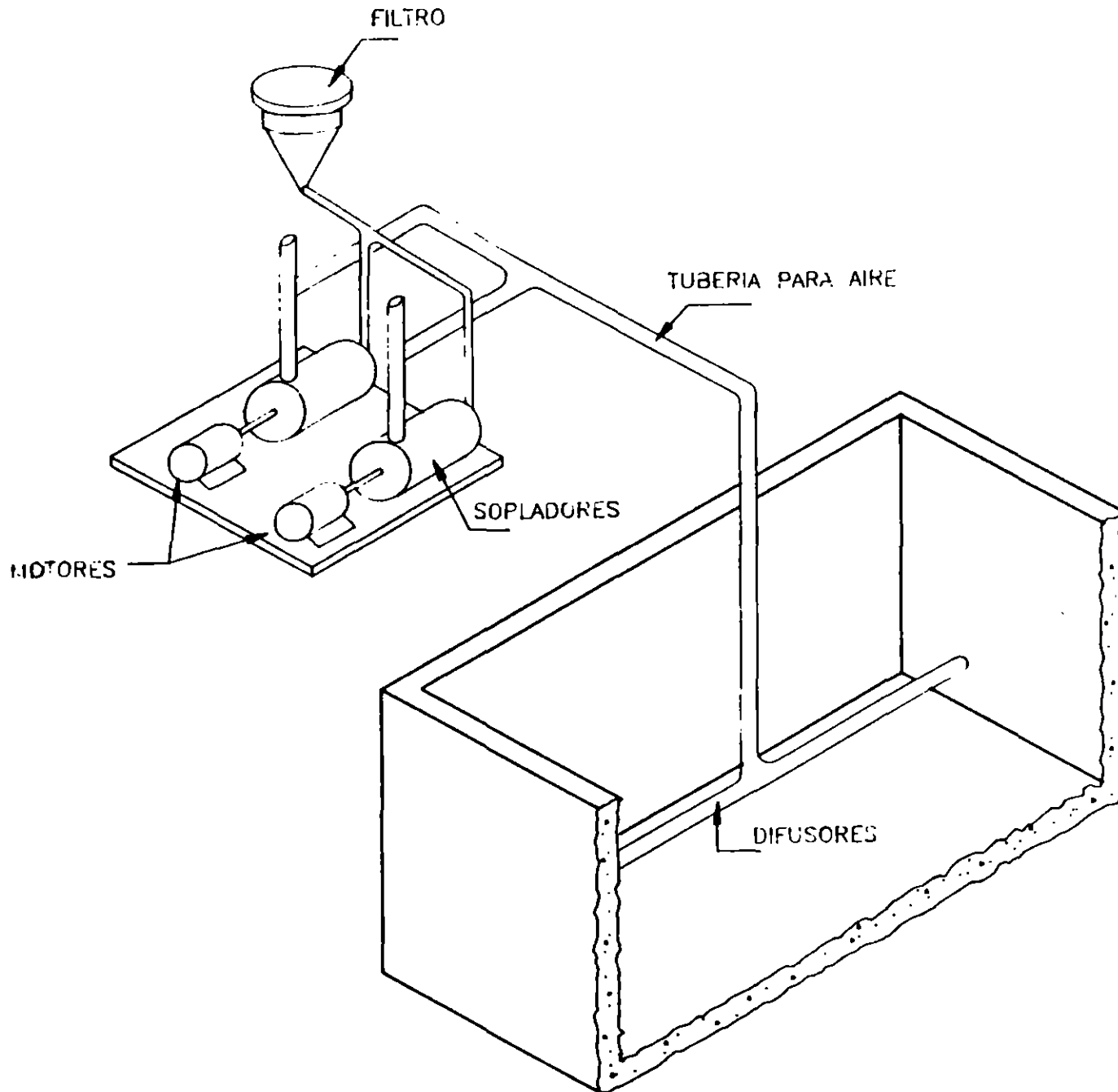


FIGURA 4.23 SISTEMA DE SOPLADORES Y DIFUSORES

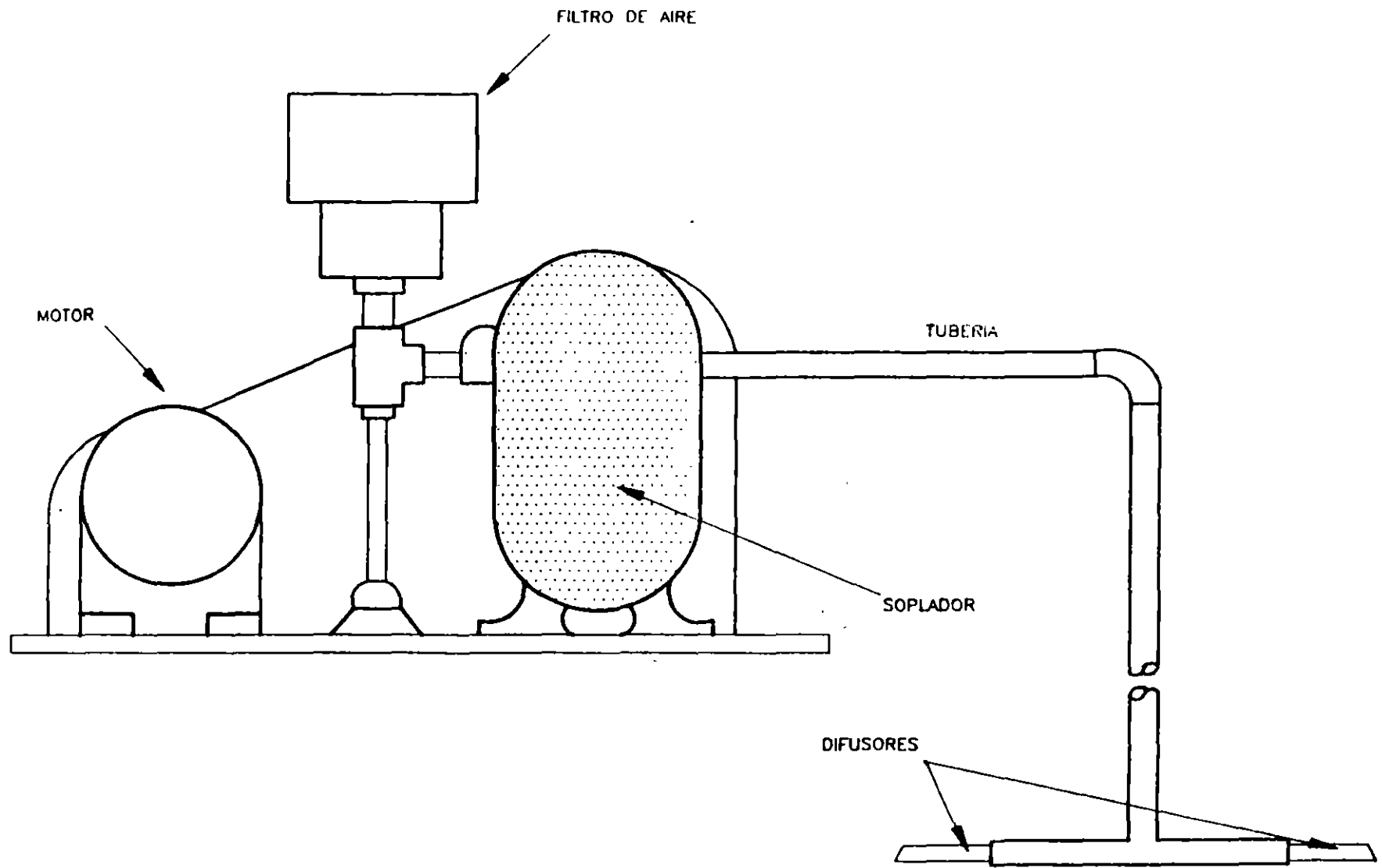


FIGURA 4.24 TÍPICO SISTEMA DE AERACION POR DIFUSION.

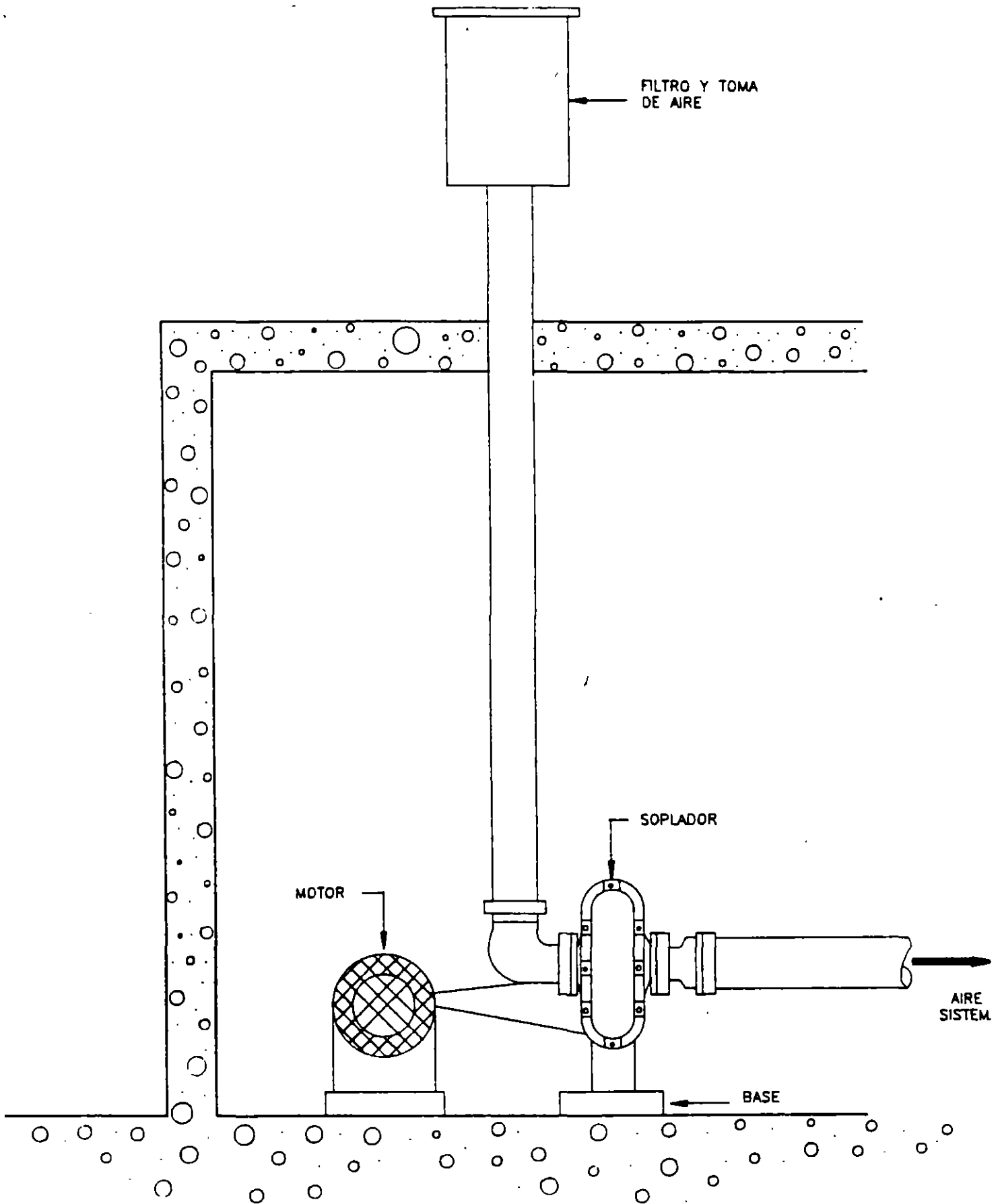


FIGURA 4.25 SISTEMA DE SOPLADORES Y DIFUSORES CON FILTRO DE AIRE EXTERIOR

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

intento por minimizar el consumo de energía incide directamente en los costos directos de la planta. La adecuada operación de un soplador y el sistema de aeración pueden llevar a altas eficiencias en el uso de los equipos.

Existen dos tipos de sopladores comúnmente utilizados en plantas de tratamiento, los de desplazamiento positivo y los dinámicos. Los de desplazamiento positivo funcionan comprimiendo un volumen fijo de aire (gas) y encerrándolo para elevar la presión. Los dinámicos funcionan con impulsores que imparten velocidad y presión continua al aire (gas). Las figuras 4.23 a 4.25 muestran diferentes sistemas y sopladores.

El operador debe aplicar algún método para regular la capacidad del soplador. Estos métodos son:

1. Control de la válvula de alivio o **by pass**; este método no ahorra energía y es para pequeñas instalaciones.
2. Control de válvula de entrada de aire; este método es para sopladores dinámicos; es el método más eficiente y económico para regular la capacidad del soplador. No debe usarse en sopladores de desplazamiento positivo porque si se cierra la válvula de entrada, el mecanismo se daña al trabajar en seco. Este simple método de control consiste en colocar una válvula mariposa a la entrada del soplador, reduciendo hasta un 45% la capacidad de operación normal.

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE PROCESO

CONTENIDO	NOTAS
<p>3. Difusores ajustables en la descarga de compresores radiales con impulsores, pueden dar cierta capacidad de regulación sin reducir la presión de descarga. Este mecanismo también da un 45% de reducción de la capacidad nominal del soplador.</p> <p>4. El uso de motores de velocidad variable es un método eficiente de regulación para sopladores de desplazamiento positivo. Un pequeño cambio de velocidad de rotación puede producir un cambio relativamente grande en la presión de descarga del soplador. Debido a que operan en un pequeño rango de presiones, el uso de motores de velocidad variable no es económico.</p> <p>5. En plantas pequeñas de aguas residuales, un solo soplador en funciones y otro en espera son suficientes. En grandes plantas es común encontrar una serie de sopladores funcionando a la vez, con uno de reserva.</p>	
<p>El control de sopladores en serie requiere un análisis de funcionamiento de acuerdo con las curvas características del sistema.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

5. FUNDAMENTOS Y CONTROL DE LA OPERACION

El estudio realizado por la CNA sobre el inventario de plantas de tratamiento arroja datos significativos: más del 50% de las plantas inventariadas no operan o requieren rehabilitación, y del 50% que están en operación seguramente un alto porcentaje se encuentra en malas condiciones de operación y mantenimiento, no alcanzando los parámetros fijados por las autoridades para sus efluentes. De aquí se ve la necesidad de programas de mantenimiento y operadores bien capacitados para mejorar la eficiencia de las plantas.

Una planta de aguas residuales es tan eficiente como lo son sus operadores.

La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales es tan buena como hábil es su personal de operación, pero para que esto sea totalmente válido se requieren apoyos de otras áreas, principalmente recursos económicos.

Este curso-taller pretende presentar de manera concisa y accesible los principios básicos del proceso de lodos activados y sus modificaciones, así como describir las técnicas de operación que pueden utilizarse para optimizar el funcionamiento de la planta.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

5.1 MONITOREO DEL PROCESO

Para conocer realmente el proceso, su problemática y soluciones, es necesario que la planta sea monitoreada adecuadamente. El monitoreo del proceso representa la diferencia entre una planta por donde solo corre el agua, y otra en donde se trata el agua.

Cualquiera puede abrir o cerrar una válvula, arrancar o parar una bomba, pero solo un operador capacitado sabrá CUANDO abrir o cerrar una válvula o CUANDO arrancar o parar una bomba, y CUANDO y CUANTO se debe recircular y purgar.

Es necesario monitorear adecuadamente cualquier proceso biológico de tratamiento; el de lodos activados requiere también del monitoreo continuo para conocer las posibles causas de un mal funcionamiento de la planta, para determinar los parámetros de operación y conocer las eficiencias del proceso o de cada unidad que lo compone.

Se presentan a continuación dos métodos de monitoreo: el visual y el analítico; ambos son usados para operar con mayor eficacia una planta de tratamiento de lodos activados.

INDICADORES VISUALES

Un operador puede usar indicadores físicos y visuales para conocer las condiciones de funcionamiento de su

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

planta de tratamiento y proceder a su adecuada operación. Los indicadores visuales más comunes en sistemas de lodos activados son:

- Color
- Olor
- Espumas
- Algas
- Rocío en aeradores
- Claridad del efluente
- Burbujeos
- Material flotante
- Acumulación de solidos
- Trayectoria de flujos
- Turbulencias
- Tacto

COLOR

El color puede ser indicativo de un lodo viejo o de uno saludable; un lodo activado aerado en buenas condiciones presenta un color café achocolatado. Un lodo oscuro o negro podrá indicar que no se transfiere el suficiente oxígeno al tanque de aeración y que el lodo es anaeróbico.

Un color poco usual que se observe en el tanque de aeración puede indicar alguna sustancia extraña descargada en el sistema de alcantarillado (por ejemplo, colorantes de la industria textil o sangre de un rastro).

OLOR

El licor mezclado tiene un olor característico como a humedad.

El olor puede indicar si la planta está trabajando bien; una planta bien operada no debe generar olores

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

objetables. Una muestra de lodos activados saludables del tanque de aeración tiene un ligero olor; si el lodo se vuelve séptico, su color cambia a oscuro y el olor irá aumentando hasta ser similar al del huevo podrido (ácido sulfhídrico gaseoso).

ESPUMA

La espuma indica que los niveles de sólidos no son adecuados, o bien que el lodo no tiene la edad requerida.

La espuma también es indicio de las condiciones de operación de la planta. La formación de espuma blanca en el efluente de la planta indica alta concentración de sólidos, y la formación de grandes cantidades de espuma en el tanque de aeración, signo de que el lodo activado es demasiado joven, y que se debe disminuir la purga de lodos; por el contrario, la formación de espuma espesa y oscura indica un lodo viejo, por lo que la purga debe aumentarse. La presencia de espuma puede deberse en algunas ocasiones a sustancias químicas descargadas al alcantarillado.

ALGAS

El crecimiento de algas puede indicar altos niveles de nutrientes.

El excesivo crecimiento de algas en las paredes de los tanques o en las canaletas recolectoras significa que el influente a la planta tiene altos niveles de nutrientes.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

Las algas necesitan nitrógeno y fósforo para crecer y algunas formas de algas tienen la habilidad de tomar el nitrógeno de la atmósfera; esto quiere decir que aun con poco nitrógeno y alto contenido de fósforo se pueden presentar problemas de algas. Si se agrega ácido fosfórico como fuente de nutrientes, esta fuente debe reducirse o cancelarse.

ROCIO EN AERADORES

Los aeradores mecánicos fijos o flotantes deben sumergirse a una profundidad adecuada; si existe poco rocío del aerador, significa que el nivel de sumergencia no es adecuado; bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque pueden deberse a esta misma causa.

CLARIDAD DEL EFLUENTE

Un efluente turbio es obviamente un indicador de problemas operacionales.

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta, Sin embargo, este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

Si el acarreo de sólidos se presenta solamente en una sección de la canaleta, es probable que se tengan cortocircuitos en el sedimentador o que los vertedores

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

estén desnivelados. Si el acarreo ocurre a lo largo de toda la canaleta (y vertedores), es indicativo de que el lodo tiene propiedades de sedimentación muy pobres; este problema se discute a fondo en otra sección del curso.

BURBUJEO

El burbujeo del sedimentador indica que el manto de lodos es demasiado profundo.

Las burbujas en el sedimentador secundario denotan que el lodo está siendo retenido durante mucho tiempo y que se debe incrementar la recirculación. Si el manto de lodos es demasiado profundo, el lodo en las capas más profundas se convertirá en anaeróbico (séptico) y producirá ácido sulfhídrico, metano y dióxido de carbono, que al desprenderse como gas formará burbujas. Este fenómeno causa problemas operacionales, pues al desprenderse las burbujas se arrastran sólidos a la superficie .

MATERIAL FLOTANTE

Excesivas cantidades de espuma indican niveles altos de grasas y aceites y/o sobre-aeración.

El material flotante o capa de lodos del sedimentador secundario es indicador de altas concentraciones de grasas y aceites en el influente a la planta; esto interfiere con la sedimentación secundaria y puede causar bajas eficiencias de remoción de DBO₅. Una

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

capa de nata en el sedimentador significará que se está inyectando demasiado aire, y que las burbujas formadas arrastran los flóculos fuera del sedimentador. El oxígeno disuelto en el tanque de aeración debe revisarse continuamente para mantenerlo entre 1 y 2 mg/l.

ACUMULACION DE SOLIDOS

La acumulación de sólidos indica un mezclado ineficiente.

La acumulación de sólidos, sobre todo en las esquinas o en zonas intermedias entre aeradores o zonas profundas, indican un mezclado ineficiente del licor mezclado del tanque de aeración. Este problema puede identificarse muestreando el tanque con equipo para pruebas de fondo, o con un palo para sentir los depósitos de lodo. Los montículos de lodos depositados pueden ser causados también por la operación ineficiente de las cámaras desarenadoras, o de los sedimentadores primarios, lo que permite que la arena llegue hasta el aerador.

La colocación adecuada de mamparas, en ocasiones resuelven el problema de mezcla pobre. La acumulación de sólidos es indeseable porque reduce el volumen efectivo del aerador; por tanto, afecta la eficiencia del proceso. Los montículos de lodos dan como resultado zonas de actividad anaerobia que se traducirán en problemas de sedimentación y olor.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

TRAYECTORIA DE FLUJOS

La observación de la trayectoria del flujo puede ser utilizada para detectar cortocircuitos.

Los cortocircuitos en tanques es otro problema que algunas veces se detecta visualmente. Un cortocircuito es cuando el influente pasa al tanque directamente de la estructura de entrada a la estructura de salida; esto lleva a la reducción de tiempos de retención por debajo de los de diseño, o sea una pobre operación. Algunos cortocircuitos se detectan al observar como se mueve la espuma del aerador, los sólidos suspendidos o el material flotante. La colocación de mamparas, a menudo elimina este problema.

TURBULENCIA

Zonas de baja turbulencia pueden deberse a difusores obstruidos.

La turbulencia en el tanque de aeración puede usarse para identificar problemas; un tanque completamente mezclado debe presentar una turbulencia homogénea.

Turbulencias heterogéneas (no uniformes) pueden ser causadas por difusores obstruidos, colocación desigual de aeradores superficiales, o insuficiente aeración de algún equipo. Las zonas de baja turbulencia indican el lugar preciso de difusores obstruidos.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

TACTO

El tacto puede usarse para verificar equipo en operación.

El tacto es una importante herramienta para monitoreo de equipos en funcionamiento; si los motores de las bombas, sopladores o algún otro motor de los equipos del proceso se sienten más calientes de lo normal, se deben verificar para evitar un daño y costo mayor. La excesiva vibración en bombas y tuberías pueden ser una señal de advertencia de un mal funcionamiento de los equipos; se debe identificar la causa de la vibración para corregirla y evitar problemas futuros.

INDICADORES ANALITICOS

Los indicadores analíticos son la principal herramienta del personal de operación para monitorear el funcionamiento de su planta de tratamiento. Los resultados analíticos se usan no solo para conocer las eficiencias del proceso, sino también para resolver problemas de operación mediante el cálculo de parámetros que sirven como base para el funcionamiento adecuado del sistema. La figura 5.1 y la tabla 5.1 indican puntos recomendados para el muestreo, parámetros y valores esperados.

Los indicadores analíticos de mayor importancia en la operación de plantas de lodos activados son:

- Oxígeno disuelto (OD)

RUIDO
CHATS PAS

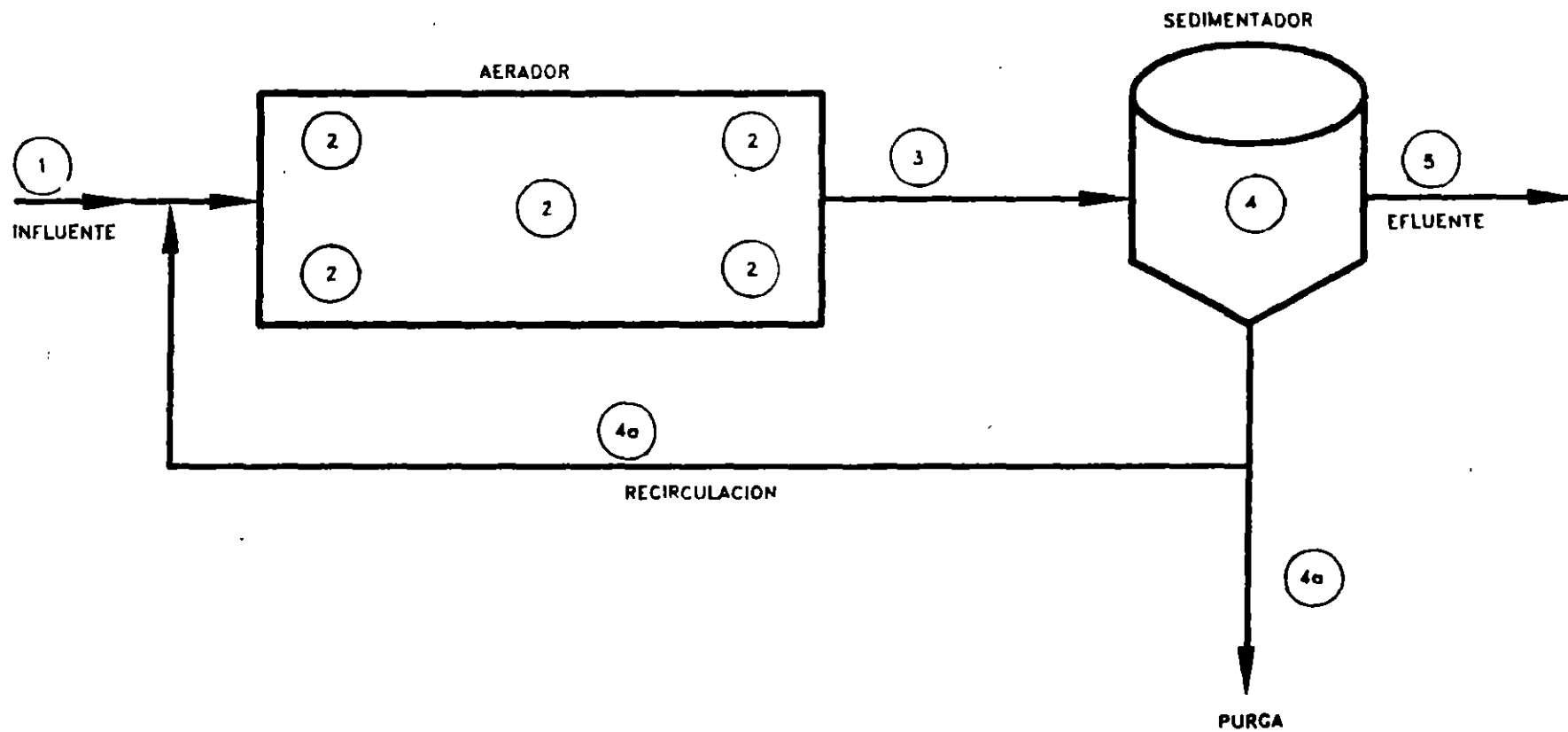


FIGURA 5.1 PUNTOS RECOMENDADOS PARA MUESTREO

TABLA 5.1 PARÁMETROS, PUNTOS DE MUESTREO RECOMENDADOS Y VALORES ESPERADOS, PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO.

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO	VALOR ESPERADO
DBO ₅ influente	1	1- 300 mg/l
DBO ₅ efluente	5	5- 30 mg/l
DQO influente	1	3- 900 mg/l
DQO efluente	5	15- 90 mg/l
Oxígeno disuelto	2	1.5- 4 mg/l
SSLM	2, 3	Variable
SSVLM	2,3	70- 80 % SSLM
SS influente	1	Variable
SS efluente	5	5- 30 mg/l
SS recirculación y purga	4a	Variable
DBO ₅ /DQO	1	± 0.5
pH	2,5	6.5- 8.5
sedimentabilidad	3	Graficar
Manto de lodos	4	0.3- 1.0 m

CONTENIDO	NOTAS
<ul style="list-style-type: none"> - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) - Demanda química de oxígeno (DQO) - Prueba de utilización de oxígeno - Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV) - Prueba de sedimentabilidad de 30 minutos - Nutrientes (nitrógeno y fósforo) - pH - Grasas y aceites - Temperatura - Análisis microscópicos - Profundidad del manto de lodos - Acidez y alcalinidad - Gastos - Tiempos de retención - Dosificación de químicos - Niveles y alturas en tanques <p>OXIGENO DISUELTO (OD)</p> <p>Una caída brusca del OD indica una carga orgánica influente alta.</p> <p>Los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aeración son un importante parámetro de operación; si el oxígeno disuelto en el aerador es muy bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de DBO₅ disminuirá. Concentraciones altas de OD pueden afectar negativamente la sedimentación secundaria y se estará desperdiciando energía. Un incremento del OD puede deberse a problemas de toxicidad aguda o crónica; se pensará en la primera si el incremento es rápido, y en la segunda si es lento.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

Se recomienda tener oxígeno disuelto **residual** de 1 a 2 mg/l en el aerador. Con lo cual se asegura un poco más del oxígeno que están utilizando las bacterias; el OD **residual** servirá para satisfacer las variaciones normales de la demanda de oxígeno.

DBO₅

Un efluente con altas concentraciones de DBO₅ indica problemas operativos.

Otro factor importante como indicador del proceso es la concentración de DBO, sobre todo en el influente al aerador y el efluente del sedimentador secundario.

La DBO₅ proporciona al operador la información relativa al funcionamiento de la planta, como es la eficiencia de remoción de DBO₅, también se obtiene la información de carga orgánica (alimento), altas remociones de DBO₅ indican que la planta funciona bien; bajas remociones denotan que existen problemas en la planta.

Se requieren registros diarios de DBO₅ para calcular parámetros de operación, siendo el más importante la relación alimento-microorganismos (F/M). Otro uso de este indicador es para calcular la cantidad de nutrientes en caso de requerirse en el proceso.

DQO

La demanda química de oxígeno puede usarse para

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

estimar la demanda bioquímica de oxígeno(DBO).

La DQO es una herramienta que cada vez tiene mayor uso, pues el análisis de laboratorio para su determinación es mucho más rápido que el de la DBO₅. En aproximadamente 4 a 5 horas se puede realizar, mientras que la DBO requiere cinco días. La espera de resultados por más de cinco días por la DBO₅ ha promovido el uso de la relación DQO/DBO; esta relación puede obtenerse monitoreando de manera sistemática los dos parámetros durante un largo periodo para llegar a establecer de manera bastante aproximada dicha relación. Una vez que se tiene esta relación, determinando el DQO se infiere el valor de la otra, ahorrándose el tiempo de espera de resultados. Principalmente por esta razón, la DQO es un importante indicador analítico en plantas de lodos activados, además de ser un índice de descargas industriales.

PRUEBA DE UTILIZACION DE OD

Esta prueba indica el nivel de actividad de los microorganismos.

Una prueba simple, pero valiosa para monitorear el estado de la planta es la prueba de utilización de oxígeno. Su determinación es fácil y rápida, y permite al operador conocer la actividad microbiana en el aerador, midiendo la velocidad de utilización del oxígeno por los microorganismos, con un oxímetro y comparando los resultados con lecturas normales en su

GRAFICA DE UTILIZACION DE OXIGENO

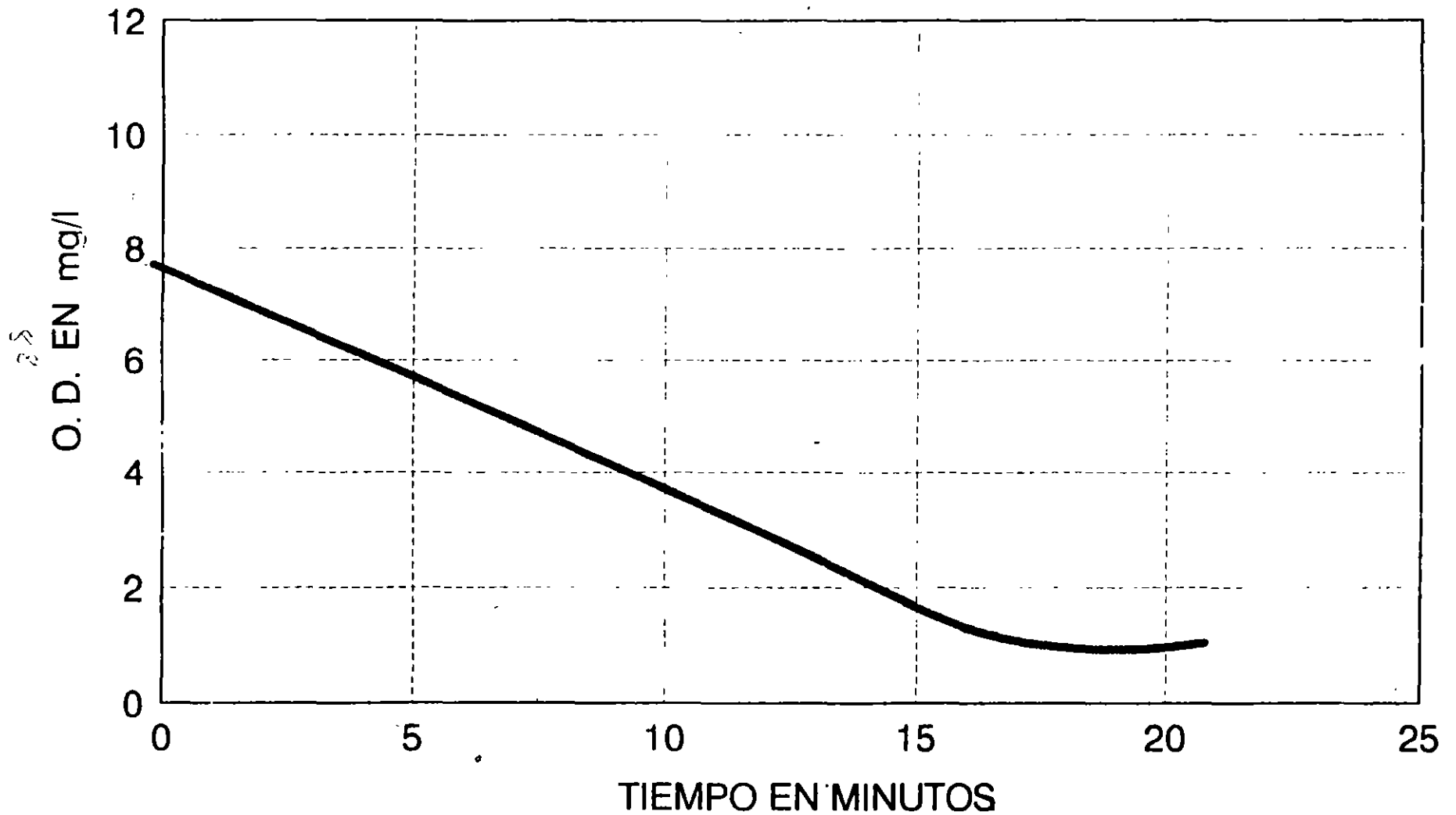


FIGURA 5.2 A

UTILIZACION TIPICA DE OXIGENO

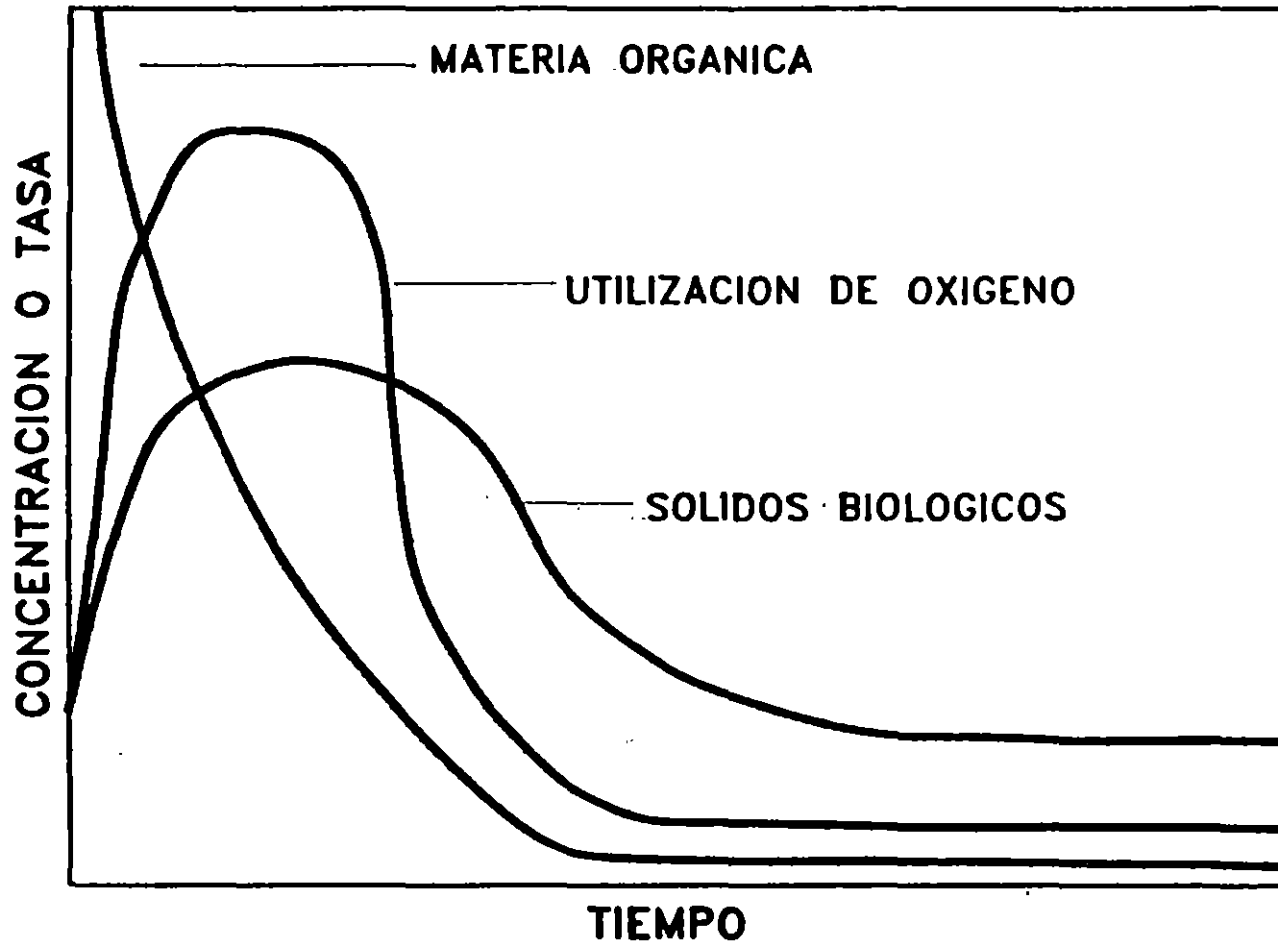


FIGURA 5.2 B

CONTENIDO	NOTAS
<p>planta de tratamiento. El operador puede determinar si los microorganismos tienen mayor actividad de lo normal o si están inhibidos. Las gráficas de las figuras 5.2a y 5.2b muestran el comportamiento de este indicador.</p> <p>SS y SSV</p> <p>Los sólidos suspendidos y sólidos suspendidos volátiles son indicadores del proceso que se han utilizado tradicionalmente, como parámetros de control.</p> <p>Los datos que se requieren de sólidos suspendidos en la planta se obtienen de las diferentes operaciones unitarias para hacer ajustes en cada una de ellas, y evaluar el funcionamiento de la planta continuamente.</p> <p>Los SSVLM indican la cantidad aproximada de microorganismos en el aerador.</p> <p>Los valores encontrados de los sólidos suspendidos totales y volátiles se usan para calcular los parámetros de control del proceso, tales como la relación alimento-microorganismos (F/M) y el tiempo medio de retención celular (TMRC), el cual a su vez es usado para calcular los niveles requeridos de SSVLM, gasto de recirculación de lodos y gasto del exceso de lodos.</p> <p>Para controlar el proceso de lodos activados se deben hacer ajustes periódicos a la recirculación y a la purga de lodos; esto se basa en el contenido de SS y SSV en el sistema de tratamiento.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

PRUEBA DE SEDIMENTABILIDAD DE 30 MINUTOS

La prueba de sedimentabilidad de 30 minutos ayuda a localizar los problemas en su origen.

Una de las herramientas más utilizadas por los operadores de plantas de lodos activados es la determinación de sedimentabilidad en muestras tomadas del aerador. Esta prueba se realiza en una probeta graduada (figura 5.3) de uno o dos litros (comúnmente de un litro), tomando la muestra directamente del aerador y dejándola sedimentar durante 30 minutos. La figura 5.4 es una curva ideal de sedimentabilidad.

Esta prueba es valiosa, porque ayuda al operador a reconocer que la planta está trabajando bien. Cuando existe algún problema, generalmente se refleja en la sedimentabilidad de los lodos.

Si los lodos sedimentan bien en la probeta de un litro (o dos), pero no en el clarificador, entonces se buscará el problema en este último. Una sedimentación deficiente en el clarificador puede deberse a un manto de lodos demasiado alto, desnitrificación, mal funcionamiento de los equipos, etc.

NUTRIENTES

Los microorganismos requieren N y P, Hx sí como diversos nutrientes para su desarrollo.

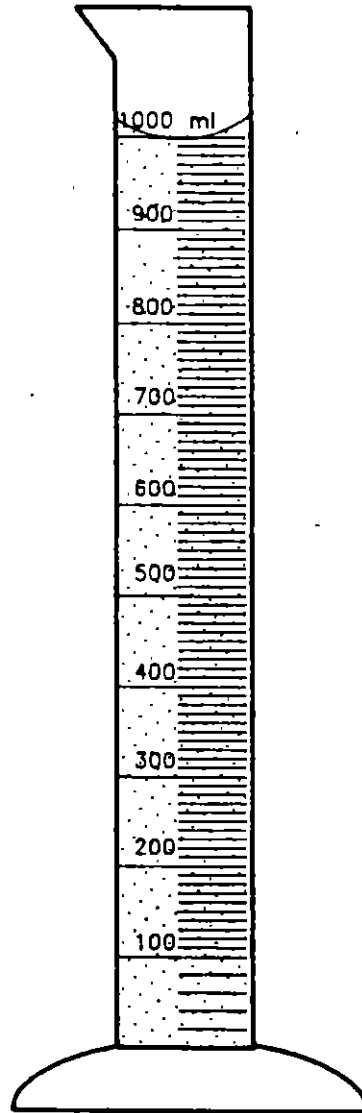


FIGURA 5.3 PROBETA GRADUADA DE 1 lt PARA LA PRUEBA DE SEDIMENTABILIDAD DE 30 MINUTOS

CURVA IDEAL DE SEDIMENTACION

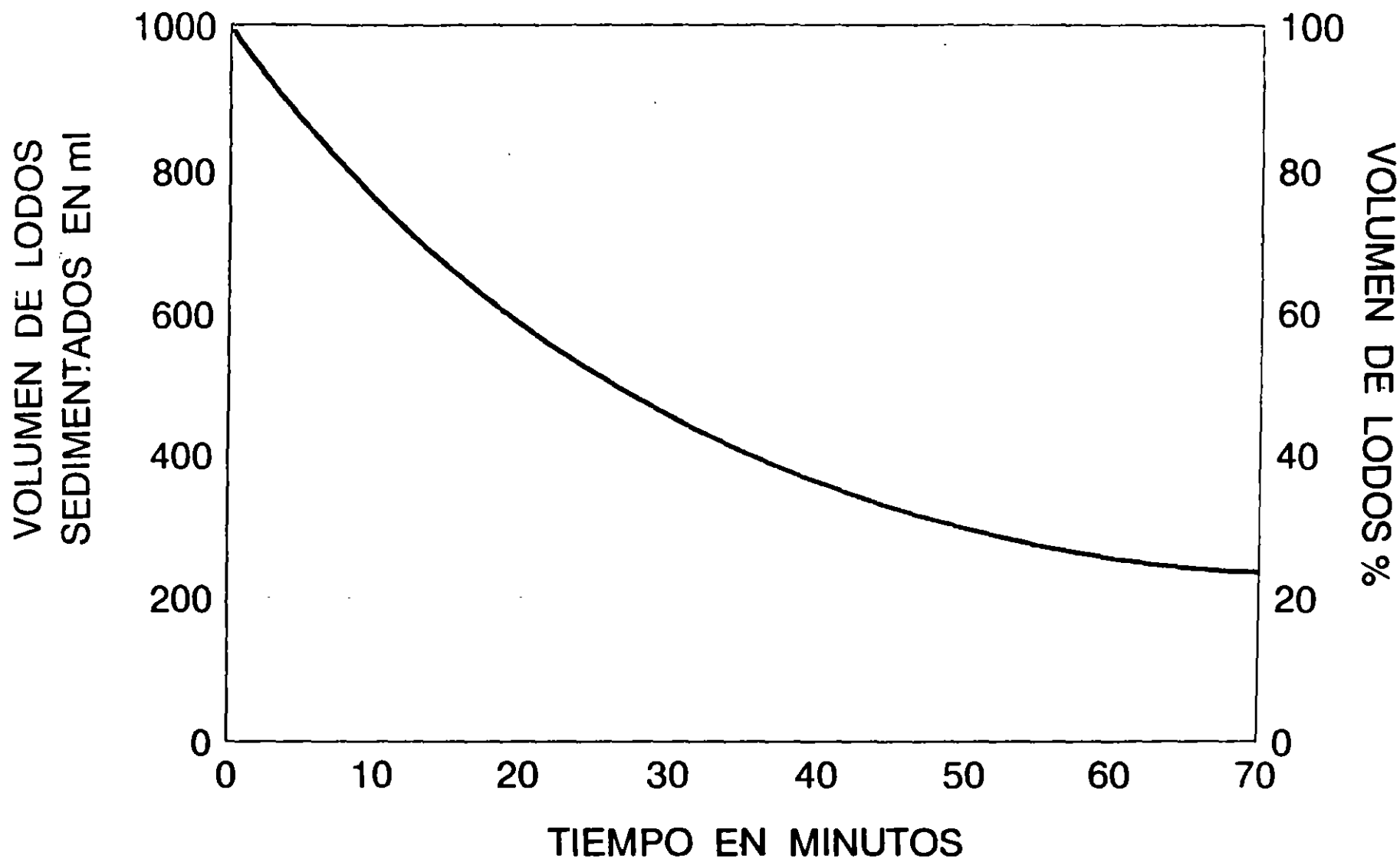


FIGURA 5.4

CONTENIDO	NOTAS
<p>Los niveles de N y P deben ser monitoreados en el efluente del clarificador para saber si están presentes y si se cumple con las condiciones de descarga de estos parámetros. La deficiencia de nitrógeno es particularmente indeseable, porque causa la formación de flocs dispersos o filamentosos, que difícilmente sedimentarán.</p> <p>Es necesario determinar estos parámetros en muestras filtradas para que no se contabilicen los sólidos biológicos presentes en la muestra. Si los sólidos biológicos no se retienen, el N y P de las células de los microorganismos se sumarán al N y P disponible como alimento. <u>Como regla general se sabe que a 100 kg de DBO, le corresponden 5 kg de N, y 1 kg de P para que exista una buena relación de nutrientes.</u></p> <p>pH</p> <p>Se debe mantener al pH entre 6.5 y 8.5 para asegurar la actividad microbiana en el tanque de aeración. El pH del influente a la planta y del tanque de aeración se registrará diariamente para conocer si se reciben ocasionalmente descargas que se salgan de los valores mencionados, y realizar las acciones de control necesarias.</p> <p>GRASAS Y ACEITES</p> <p>Las grasas y aceites afectan negativamente la transferencia de alimento en los microorganismos, así como a la sedimentación de sólidos.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

Este parámetro debe monitorearse tanto en aguas residuales municipales como en industriales, sobre todo cuando se conoce su existencia. Las grasas y aceites interfieren la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos. Cantidades excesivas de grasas y aceites empujarán los flocs a la superficie en los clarificadores.

TEMPERATURA

La temperatura afecta la actividad microbiana en los sistemas de tratamiento biológico; este factor es muy sensible. La velocidad de reacción enzimática se duplica cada 10 °C (aproximadamente); arriba de 35 °C, las enzimas son destruidas dando como resultado final, una baja en la eficiencia del proceso.

OBSERVACIONES MICROSCOPICAS

Las observaciones microscópicas son otra herramienta importante para la operación de la planta y para el monitoreo del sistema.

Las observaciones microscópicas se realizan para asegurarse de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana.

En general, los flocs biológicos de pequeños a medianos y sin crecimiento disperso indican un funcionamiento adecuado del sistema de lodos activados. La presencia de bacterias filamentosas y hongos indican condiciones ambientales desfavorables

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

para los microorganismos: altas cargas orgánicas, pH bajo, cantidades deficientes de nutrientes, falta de OD, etc. Los microorganismos superiores son más sensibles que las bacterias a estas condiciones adversas; la presencia de materiales tóxicos o falta de oxígeno llevan a la muerte a estos microorganismos, lo que es usado como señal de alarma cuando no son encontrados en las observaciones microscópicas. El floc debe mostrar una gran variedad de protozoarios. La presencia de demasiados microorganismos flagelados indican un lodo joven. Si el floc es pequeño y con gran número de rotíferos, el lodo es viejo.

Es deseable tener una gran variedad de microorganismos

La presencia variada de microorganismos en número y tipos de protozoarios indican un proceso balanceado. En muchos casos, el balance de microorganismos en el sistema indica problemas en el proceso mucho antes de que sean severos.

PROFUNDIDAD DEL MANTO DE LODOS

Es recomendable tener un manto de lodos de 1 m.

La altura del manto de lodos del sedimentador debe medirse diariamente; un manto de lodos muy grande hará trabajar deficientemente al clarificador e indica que los lodos no han sido extraídos para la recirculación o purgados, y que se están acumulando más rápido de lo que son extraídos. Un manto de lodos pequeño

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

provocará una sedimentación deficiente, quizá originado por un floc disperso o por la extracción excesiva del lodo del sedimentador.

Es deseable tener un manto de lodos concentrado en el fondo del sedimentador para reducir el volumen líquido que debe ser extraído para recirculación o purga.

ACIDEZ Y ALCALINIDAD

Acidez/alcalinidad, capacidad amortiguadora de las aguas residuales.

Los análisis de acidez y alcalinidad dan la información necesaria para determinar la capacidad amortiguadora del agua cruda y del agua tratada de la planta de tratamiento. Esto puede ser importante, ya que uno de los subproductos de la degradación biológica de la materia orgánica es el dióxido de carbono (CO_2) que puede formar ácido carbónico (H_2CO_3) cuando se mezcla con el agua, y puede bajar el pH si las aguas residuales no tienen la suficiente alcalinidad para amortiguar la formación del ácido. La información de estos parámetros es importante si la planta recibe descargas industriales que tengan alto o bajo pH y tal vez se requiera neutralización. Con base en estos parámetros se calculan los productos químicos para la neutralización. La figura 5.5 muestra la relación del pH con procesos biológicos.

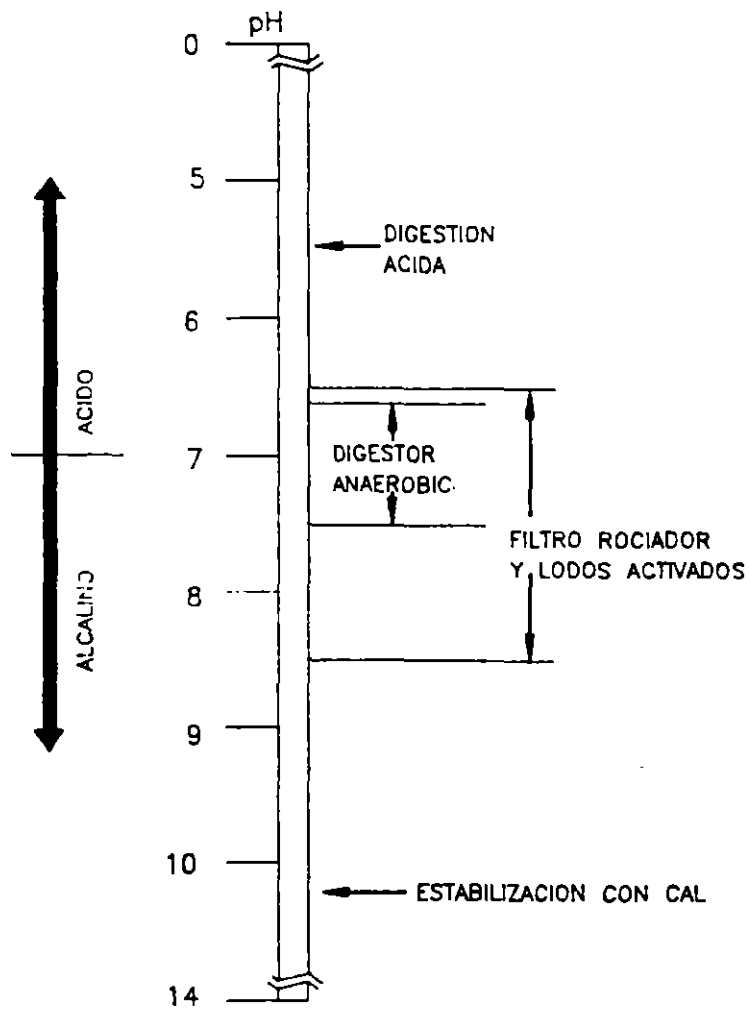


FIGURA 5.5 ESCALA DE pH Y PROCESOS BIOLÓGICOS

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

GASTOS

Se requieren datos precisos del gasto.

Es obvio que se requiera monitorear el gasto influente y efluente de la planta. Los gastos se necesitan para calcular cargas orgánicas, balance de sólidos, cálculo de parámetros de control como F/M y TMRC, tiempos de retención, ajuste de recirculación , purga y dosificación de nutrientes. Se requieren datos suficientes para el adecuado control de la planta de tratamiento, de ser posible un equipo medidor de gasto continuo. La figura 5.6 muestra variaciones típicas diarias de gasto y carga.

TIEMPO DE RETENCION

Los microorganismos necesitan tiempo para la digestión.

Los tiempos de retención adecuados al tipo de proceso son muy importantes en sistemas biológicos de tratamiento y pueden verificarse periódicamente. Las bacterias necesitan ciertos tiempos de retención en el tanque de aeración para asimilar y digerir la materia orgánica del agua residual.

Tiempos de retención demasiado grandes pueden llevar a problemas de sedimentación; tiempos muy cortos conducirán a bajas eficiencias de remoción de DBO₅; el sedimentador secundario también requiere cierto tiempo de retención, pero si es demasiado corto, el floc biológico no tendrá tiempo de sedimentar, y la

VARIACIONES TÍPICAS DE GASTO Y CARGA EN PLANTAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS

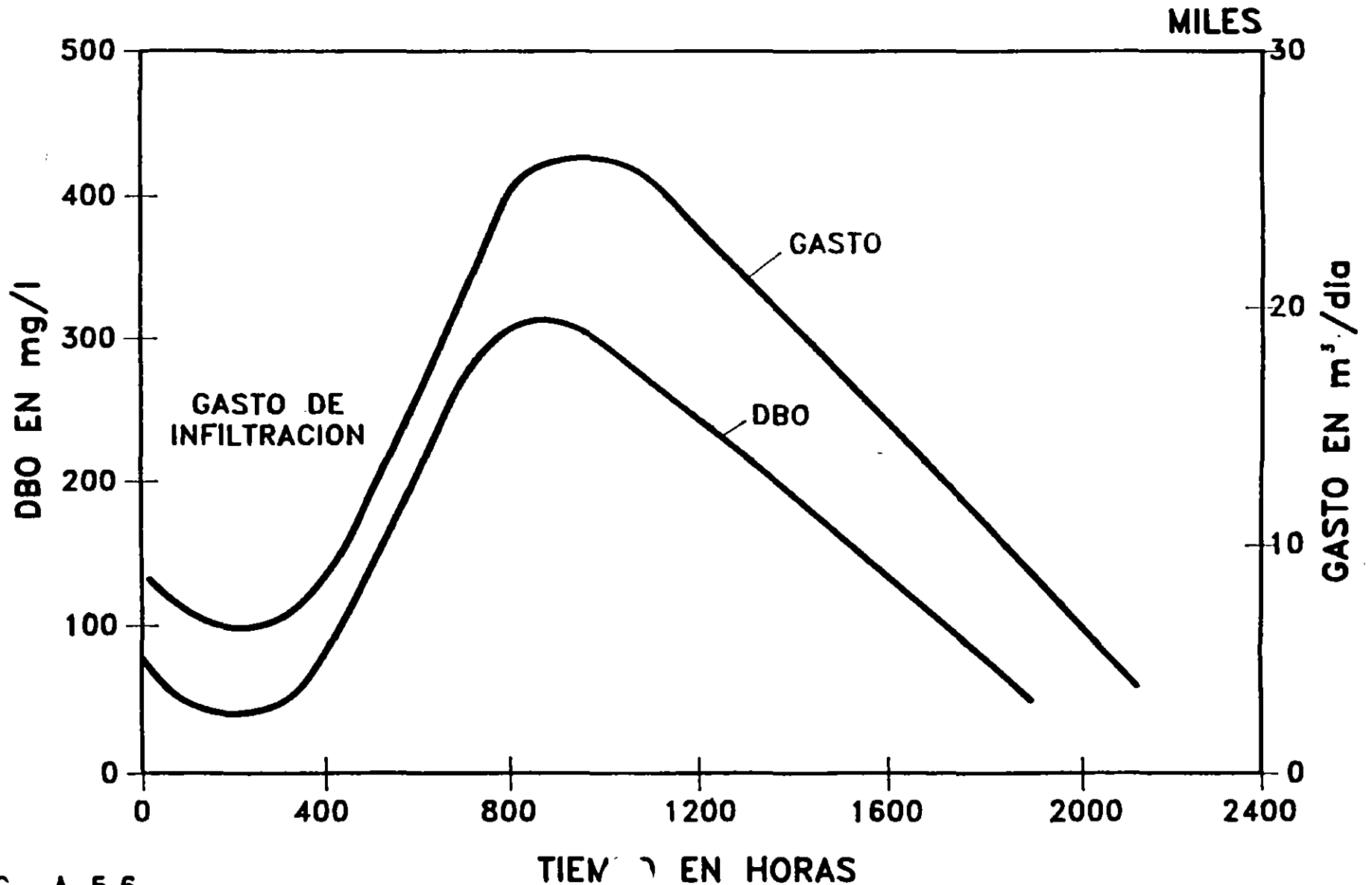


FIGURA 5.6

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

concentración de SS en el efluente será muy grande. Si los lodos permanecen en el tanque mucho tiempo, se vuelven sépticos; bajo condiciones anaerobias se pueden tener problemas de denitrificación. El cálculo del tiempo de retención en las unidades de proceso es particularmente importante cuando se alcanza o sobrepasa el gasto máximo de diseño.

DOSIFICACION DE PRODUCTOS QUIMICOS

En caso de usar productos químicos en el proceso (caso poco común), se requiere mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta.

NIVELES Y ALTURAS DE TANQUES

Se deben verificar periódicamente las fluctuaciones en nivel o profundidad de los tanques para algunas consideraciones en la operación.

5.2 CONTROL DEL PROCESO

La función principal del operador de plantas de tratamiento de aguas residuales es el monitoreo y control de su proceso de tratamiento, de tal manera que la producción de agua tratada tenga consistentemente la calidad que se espera de ella (alta calidad de acuerdo con el tipo de instalaciones), para cumplir con las condiciones particulares de descarga fijadas por las autoridades correspondientes.

Existen diversas técnicas para que el operador controle

CONTENIDO	NOTAS
<p>su planta, y obtenga el funcionamiento óptimo de su sistema de lodos activados.</p> <p>CARGAS: ORGANICA Y DE SOLIDOS SUSPENDIDOS</p> <p>El operador debe conocer cuanta materia orgánica degradan los microorganismos.</p> <p>Para controlar de manera efectiva el proceso de su planta de tratamiento, el operador necesita conocer las cargas de contaminantes. Los dos parámetros de mayor importancia que se deben cuantificar para aguas residuales municipales son la DBO₅ y los SS; para el tratamiento de aguas residuales de otro tipo, tal vez se requiera otro parámetro.</p> <p>La carga de DBO₅ es particularmente importante, pues con este parámetro se calcula la cantidad de alimento que entra al sistema y que será asimilado por los microorganismos en el tanque de aeración.</p> <p>Ecuación :</p> $\text{Carga} = \text{gasto} \times \text{concentración}$ $\text{carga orgánica} = Q \times S_0$	

CONTENIDO	NOTAS
<p>RELACION ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)</p> <p>Para formar un buen lodo en el aerador, que sedimente bien en el clarificador y se logre una buena eficiencia de remoción de DBO_5, se debe mantener un balance adecuado de la cantidad de DBO_5 (alimento) que entra al aerador, y la cantidad de microorganismos (SSLVM) presentes en el licor mezclado del aerador. Este balance se controla con el parámetro denominado relación F/M (alimento/microorganismos). La relación varía de acuerdo con el proceso de tratamiento o modificación al mismo.</p> <p>La relación F/M se calcula de la siguiente manera:</p> $F/M = \frac{\text{Alimento que entra al sistema por día}}{\text{Masa de microorganismos en el aerador}}$ $F/M = \frac{\text{kg de } DBO_5 \text{ influentes al aerador}}{\text{kg de SSLVM (en el aerador)}}$ <p>Cuando se usa la relación F/M como parámetro de control en una planta de tratamiento, se tiene el inconveniente de que la F (alimento) no se puede controlar, sobre todo en aguas residuales municipales; en algunas industrias se puede tener cierto grado de control con un tanque de homogenización, o controlando alguna descarga del proceso productivo de la industria.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

El parámetro M (microorganismos) es la parte controlable de la relación F/M; éste representa la masa de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aeración que se controla mediante la recirculación y purga de lodos activados.

Cuando el parámetro es utilizado como control de la planta, es responsabilidad del operador controlar la concentración de SSVLM; en otras palabras, el operador debe controlar la cantidad de microorganismos de acuerdo con el alimento disponible.

Si la relación F/M es demasiado alta, hay necesidad de disminuir la purga de lodos (y aumentar la recirculación) para que entren más microorganismos al sistema.

Si la relación F/M es muy baja, entonces se requiere aumentar la purga de lodos (para que disminuya la recirculación) y entren menos microorganismos al sistema. Algunos valores típicos de F/M de acuerdo con el tipo de proceso se puede observar en la tabla 5.2. En ella se incluyen otros parámetros para lodos activados. Las figuras 5.9 y 5.10 muestran las relaciones con otros parámetros de control.

Los parámetros para el cálculo deben obtenerse de la planta. la DBO_5 del influente al tanque de aeración y los SSVLM del tanque de aeración para tener un valor mas preciso y real de F/M.

RELACION F/M, CRECIMIENTO BIOLÓGICO Y REMOCION DE SUSTRATO

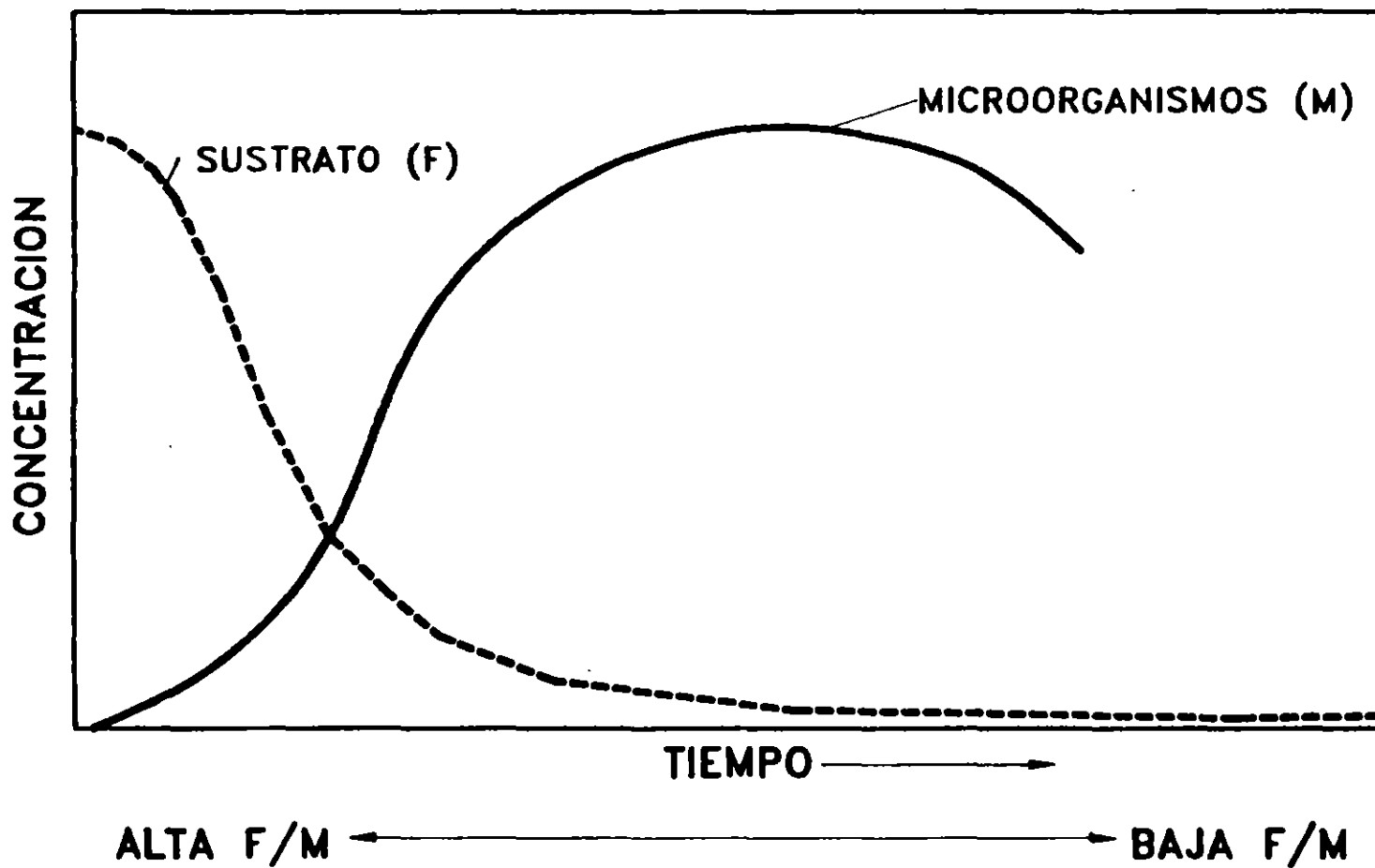


FIGURA 5.9

RELACION F/M , EDAD DE LODOS Y SSLM

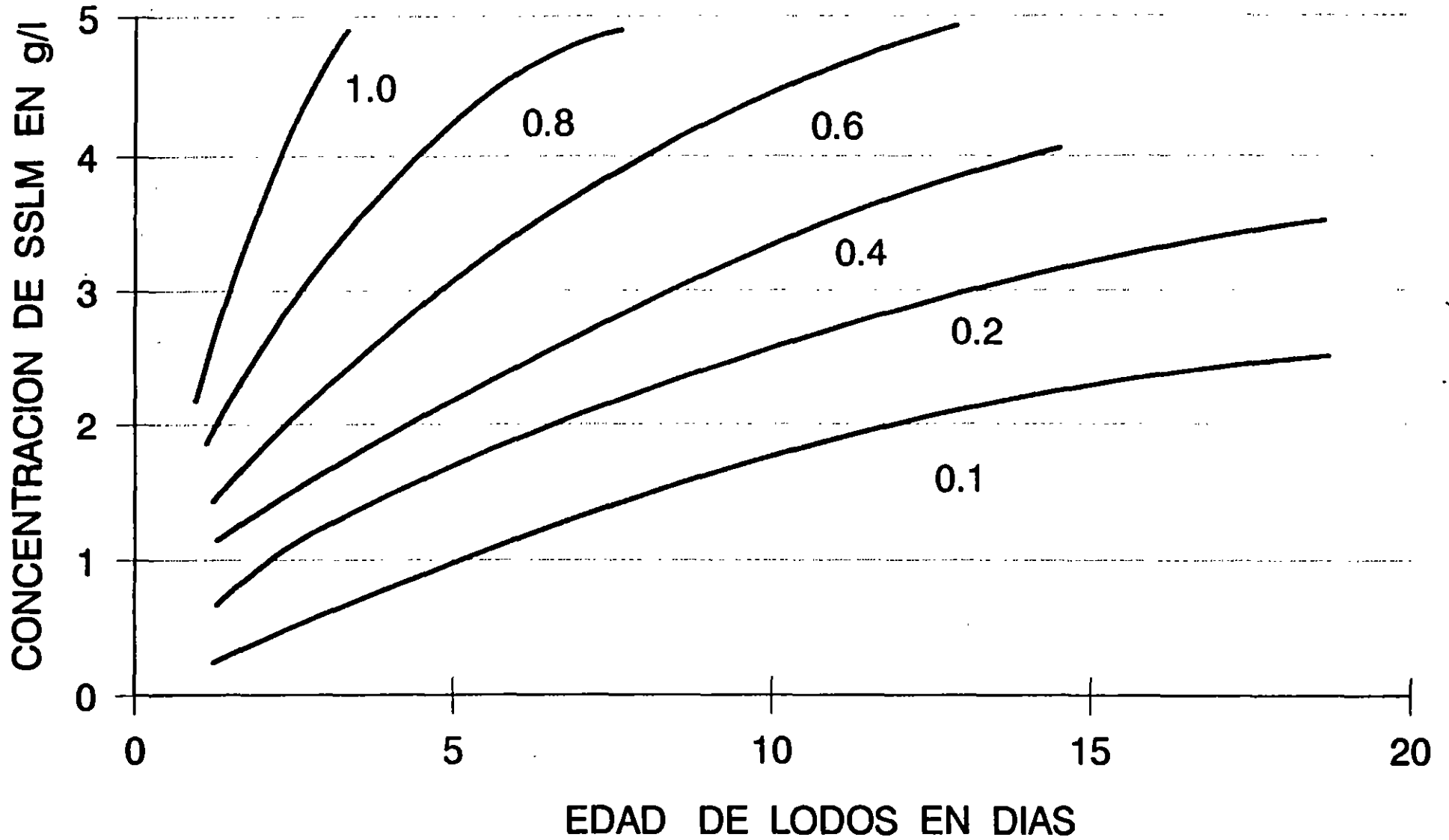


FIGURA 5.10

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

EDAD DE LODOS (TIEMPO MEDIO DE RETENCION CELULAR)

Otro parámetro de control es el tiempo medio de retención celular (TMRC) o edad del lodo activado. Es un parámetro que se debe mantener entre ciertos límites para que la operación de la planta sea eficiente. Los libros de texto definen de diferentes formas este concepto; en este curso se puede definir como:

$$TMRC = \frac{\text{kg de SSVLM}}{\text{kg SSV en el efluente de la planta}}$$

La edad de lodos es una medida del tiempo que los microorganismos son retenidos en el aerador. Este es un parámetro importante, ya que es el tiempo que los microorganismos disponen para degradar la materia orgánica; tiene un efecto significativo en la calidad del efluente.

Hay que dar el tiempo necesario para que los microorganismos estén en contacto con los desechos para que se realice el tratamiento. Si se da poco tiempo, el sistema biológico no podrá **digerir** toda la materia orgánica, resultando una baja eficiencia de remoción. Si se da demasiado tiempo, los microorganismos terminarán con todo el alimento disponible y empezarán a morir, resultando una alta fracción de material biológico no activo en los lodos activados, con lo que se perderán sólidos **finos** en el efluente.

CONTENIDO	NOTAS
<p>La edad de lodos (TMRC) afecta directamente a la sedimentación; un lodo joven puede generar un crecimiento biológico disperso caracterizado por sedimentación deficiente; un lodo viejo se caracteriza por baja actividad y densos flocs que sedimentan rápidamente con poca acción de arrastre, resultando un efluente turbio.</p> <p>La edad de lodos se controla con la purga y recirculación de los lodos activados.</p> <p>La edad de lodos (TMRC) se calcula dividiendo los SSV almacenados en el sistema (SSVLM), entre los SSV que salen del sistema. La edad se mantiene controlando la purga del sistema. Como guía de operación, la edad de lodos disminuye cuando la purga aumenta y, por el contrario, aumenta cuando se disminuye la purga.</p> <p>La mejor edad del lodo para una planta en particular, debe seleccionarse de acuerdo con la experiencia en la operación y observación al proceso. La tabla 5.2 da edades de lodos típicos para varias modificaciones del proceso de lodos activados.</p> <p>Un factor necesario de considerar al seleccionar la edad de lodos, es que cuando se tiene una edad de lodos grande (mayor cantidad de SSVLM en el tanque de aeración), la planta soporta mayores shocks de cargas, pues habrá mayor número de microorganismos en el aerador. Las figuras 5.11 y 5.12 muestran el comportamiento de la edad de lodos con otros</p>	

TABLA 5.2 PARÁMETROS EN PLANTAS DE LODOS ACTIVADOS.

Modificación al proceso	Tiempo medio de retención celular	F/M	SSLM mg/l	Tiempo de retención hidráulica, en horas	Recirculación %
Convencional	5- 15	0.2- 0.4	1500- 3000	4- 8	25- 50
Aeración reducida	5- 15	0.2- 0.4	1500- 3000	4- 8	25- 50
Aeración escalonada	5- 15	0.2- 0.4	2000- 3500	3- 5	25- 75
Estabilización-contaco	5- 15	0.2- 0.6	4000- 10 000	3- 6	25- 100
Aeración extendida	20- 30	0.05- 0.15	3000- 6000	18- 36	75- 150
Oxígeno puro	8- 20	0.25- 1.0	3000- 8000	1- 3	25- 50

EDAD DE LOS LODOS EN LA CURVA DE SEDIMENTACION

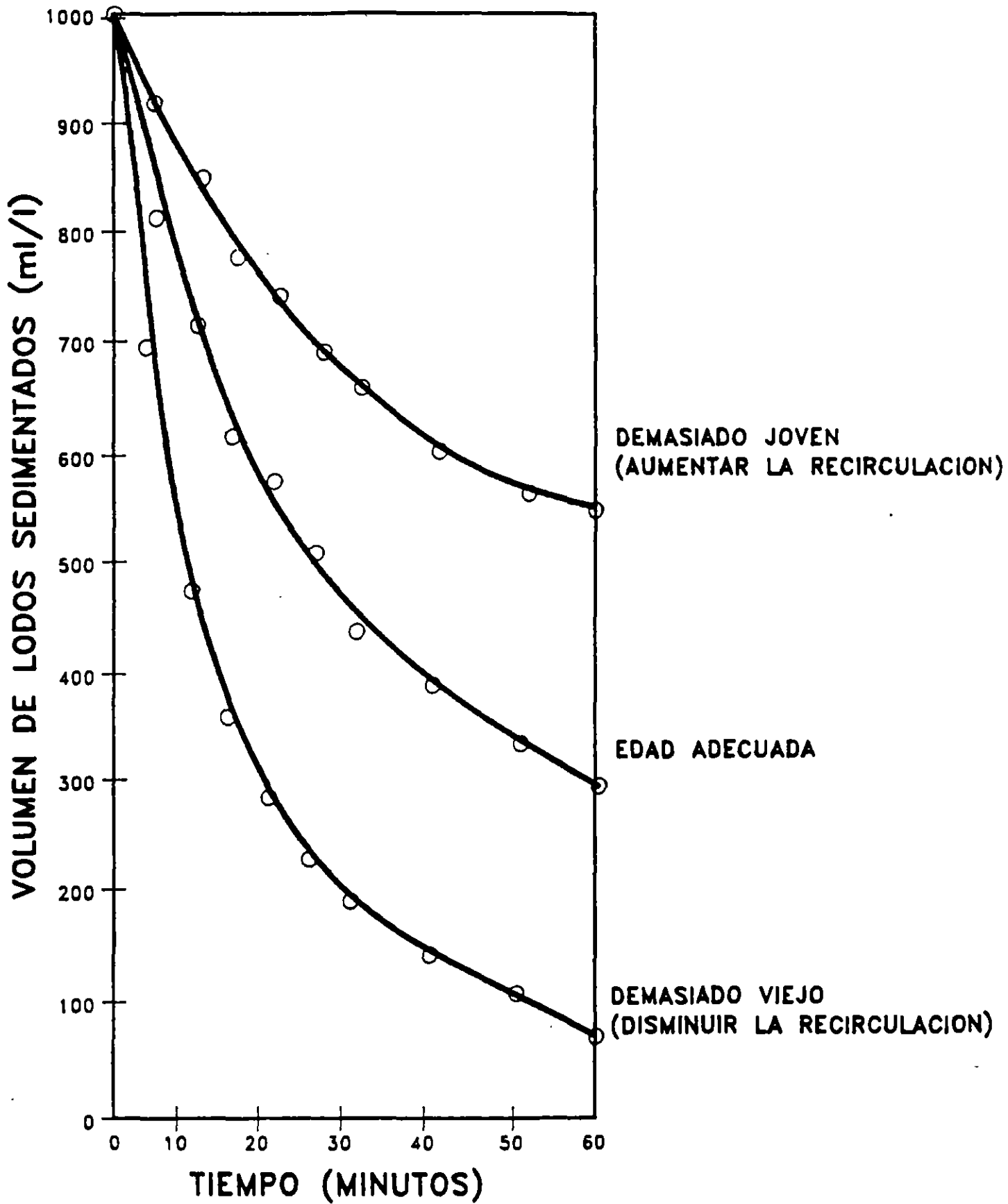
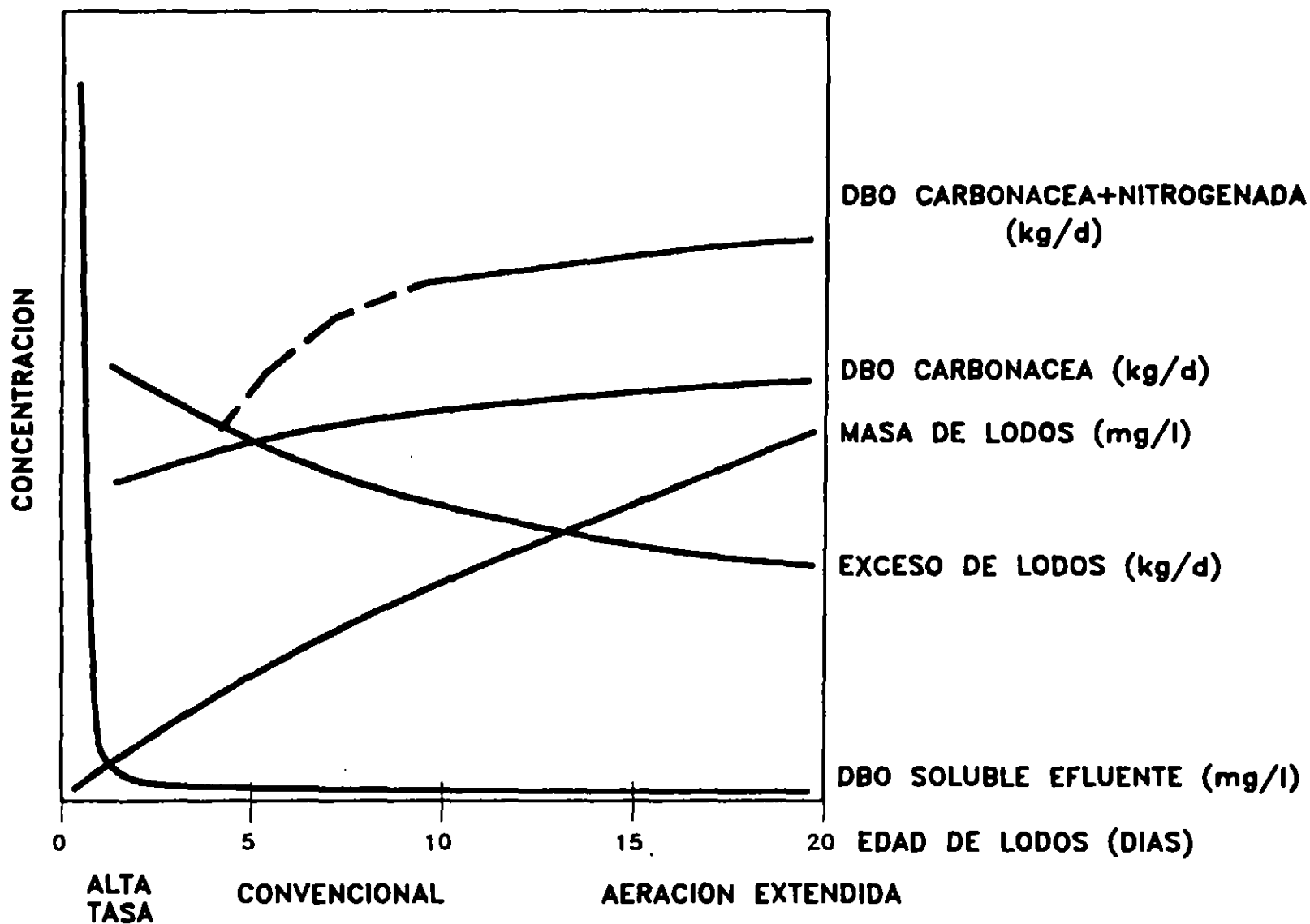


FIGURA 5.1

EDAD DE LODOS, PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS Y OTROS PARAMETROS



CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

parámetros. El tiempo medio de retención celular se calcula con la siguiente ecuación :

$$TMRC = \frac{kg\ SSVLM}{kg\ SSVR + kg\ SSV\ E}$$

Una vez que se han seleccionado los valores correctos de F/M y TMRC, se procede a programar la purga de lodos y mantener todos estos parámetros de control en los rangos deseables, sobre todo en el arranque de la planta.

CONTROL DE LA PURGA

El control de la purga es la primera herramienta de operación de una planta de lodos activados.

La determinación de la purga de lodos basada en la edad de lodos (TMRC), se calcula con la expresión:

$$Q\ purga = \frac{\frac{kg\ SSVLM}{TMRC} - kg\ SSV\ E}{SSVR}$$

CONTROL DEL GASTO DE RECIRCULACION

Para mantener la profundidad requerida del manto de

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

lodos en el sedimentador y el adecuado balance de sólidos, el gasto de recirculación del sedimentador al tanque de aeración debe ser medido y controlado. Una recirculación óptima depende de diversos factores, tales como: DBO₅ influente, velocidad de reproducción celular, temperatura, SSLM y SS en la recirculación. Sin embargo, el operador tiene poco o ningún control sobre algunos de estos factores. Las figuras 5.13 y 5.14 muestran la relación de recirculación en combinación con otros factores.

A pesar de depender de estos factores, el gasto de recirculación óptima puede calcularse basándose en requisitos de operación, variando de acuerdo a las estaciones del año. A continuación se presenta la expresión para el cálculo de un balance de sólidos del sistema:

Determinación del gasto de recirculación

$$QR = \frac{Q \times SSLM}{SS - SSLM}$$

INDICE VOLUMETRICO DE LODOS (IVL)

El resultado de la prueba de sedimentabilidad sirve para calcular el índice volumétrico de lodos; su uso es directo en la siguiente expresión :

$$IVL = \frac{\text{volumen de lodos sedimentados}}{\text{concentración de SSLM}} \times 1000$$

RECIRCULACION Y VOLUMEN DE LODOS SEDIMENTABLES

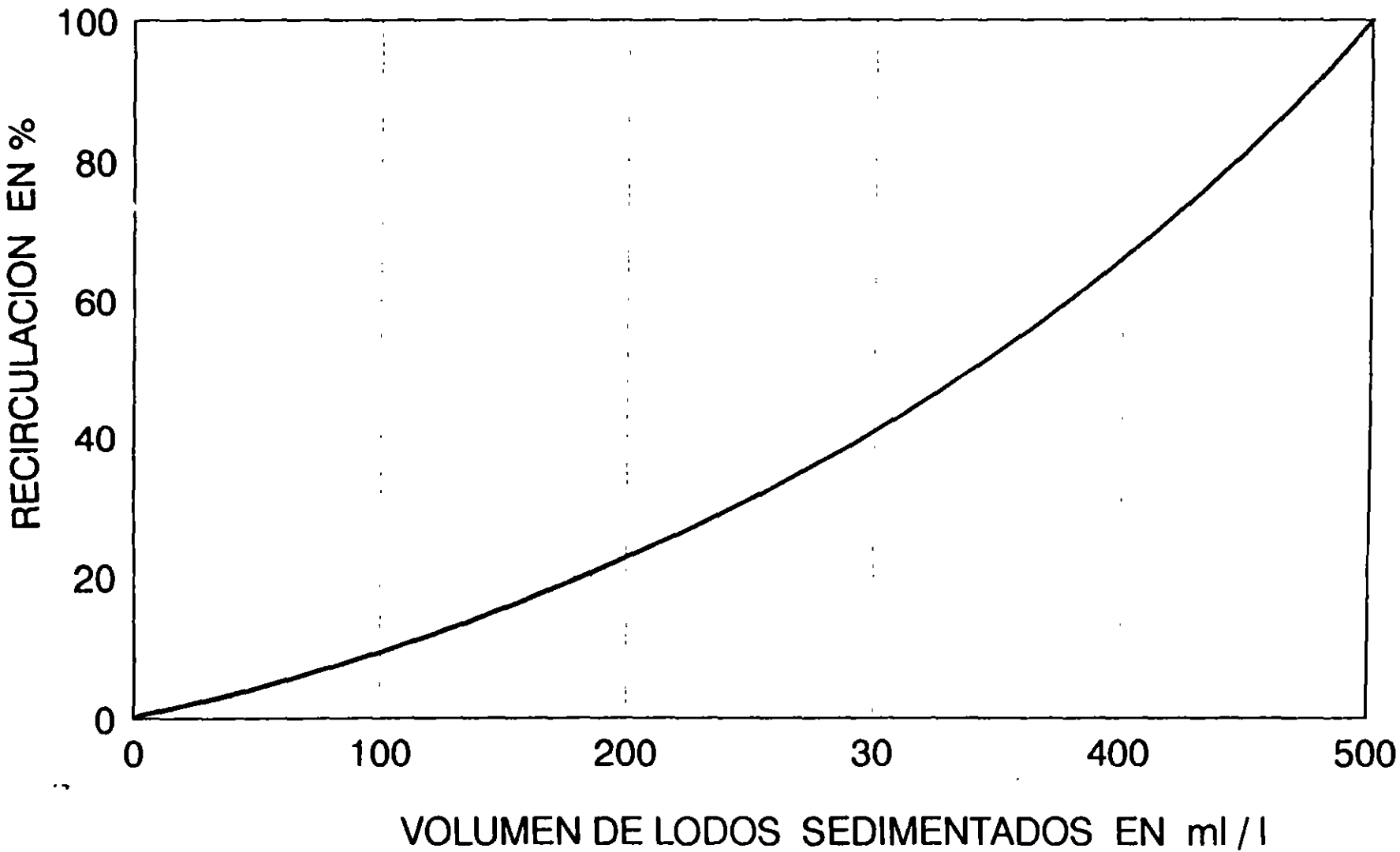


FIGURA 5.14

RECIRCULACION Y COMPORTAMIENTO DEL REACTOR Y SEDIMENTADOR

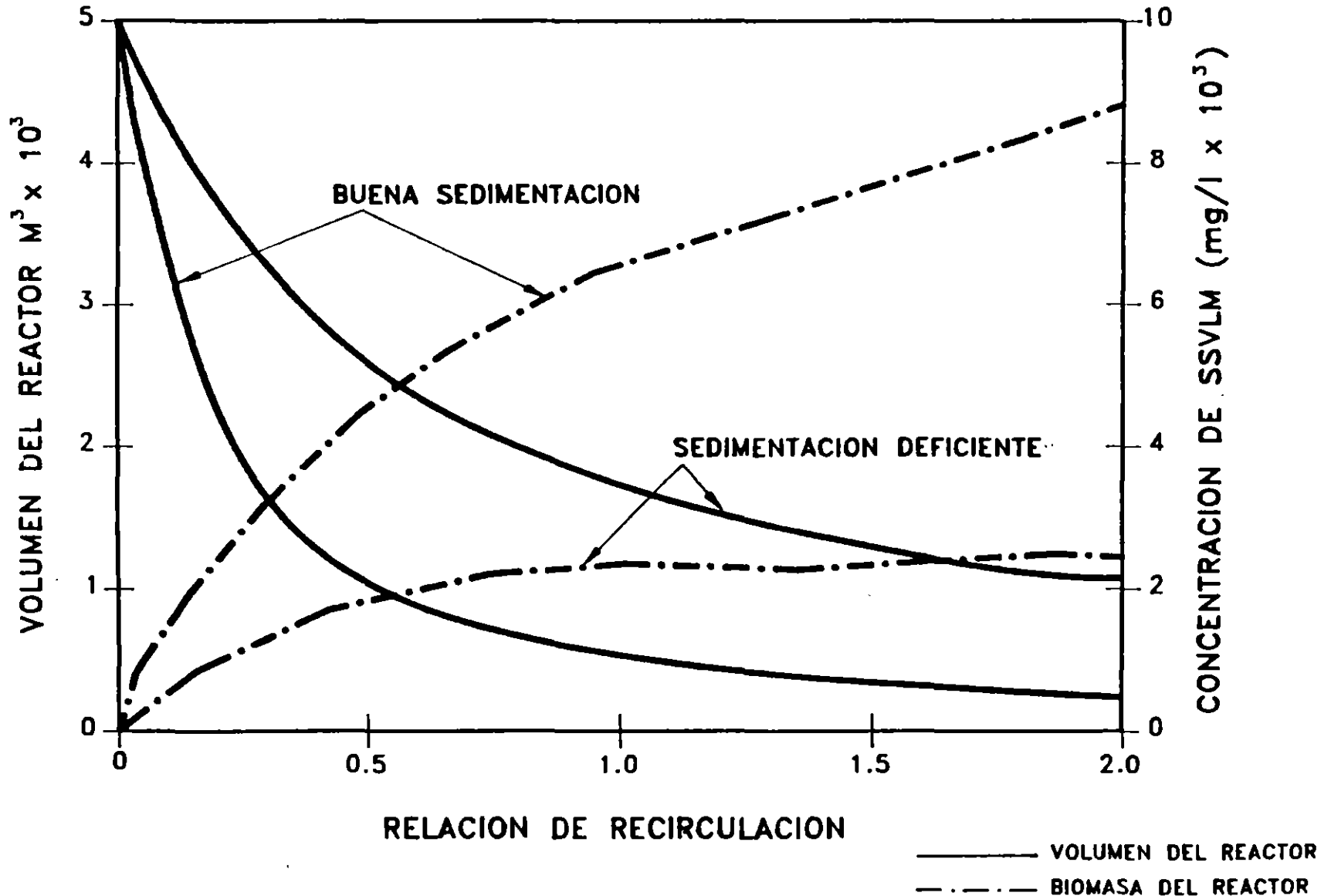


FIGURA 5.13

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

Donde el volumen de lodos sedimentados se determina en la probeta de 1 litro después de 30 min, y las unidades son ml/l.

La figura 5.15 muestra las relaciones de operación entre el índice volumétrico de lodos y otros factores.

5.3 TALLER DE CALCULOS.

CALCULO DE CARGAS; ORGANICA Y DE SOLIDOS

Ejemplo de cálculo:

El influente al tanque de aeración de una planta de tratamiento presentó los siguientes resultados:

- Gasto = 50 l/s
- DBO₅ = 180 mg/l
- SS = 140 mg/l
- So = concentración de DBO₅ en mg/l

Calcular la carga orgánica y la carga de sólidos:

$$carga = gasto \times concentración$$

$$carga\ orgánica = Q \times S_o$$

Handwritten notes: $40 \times 180 = 7200$ $\frac{7200}{1000} = 7.2$ $\frac{50 \times 140}{1000} = 7$ $\frac{7200}{1000} = 7.2$ $\frac{7000}{1000} = 7$ 14 14

$$carga\ orgánica = \frac{50 \times 86.4 \times 180}{1000}$$

RANGOS DE OPERACION DEL IVL, RELACION DE RECIRCULACION Y SSLM

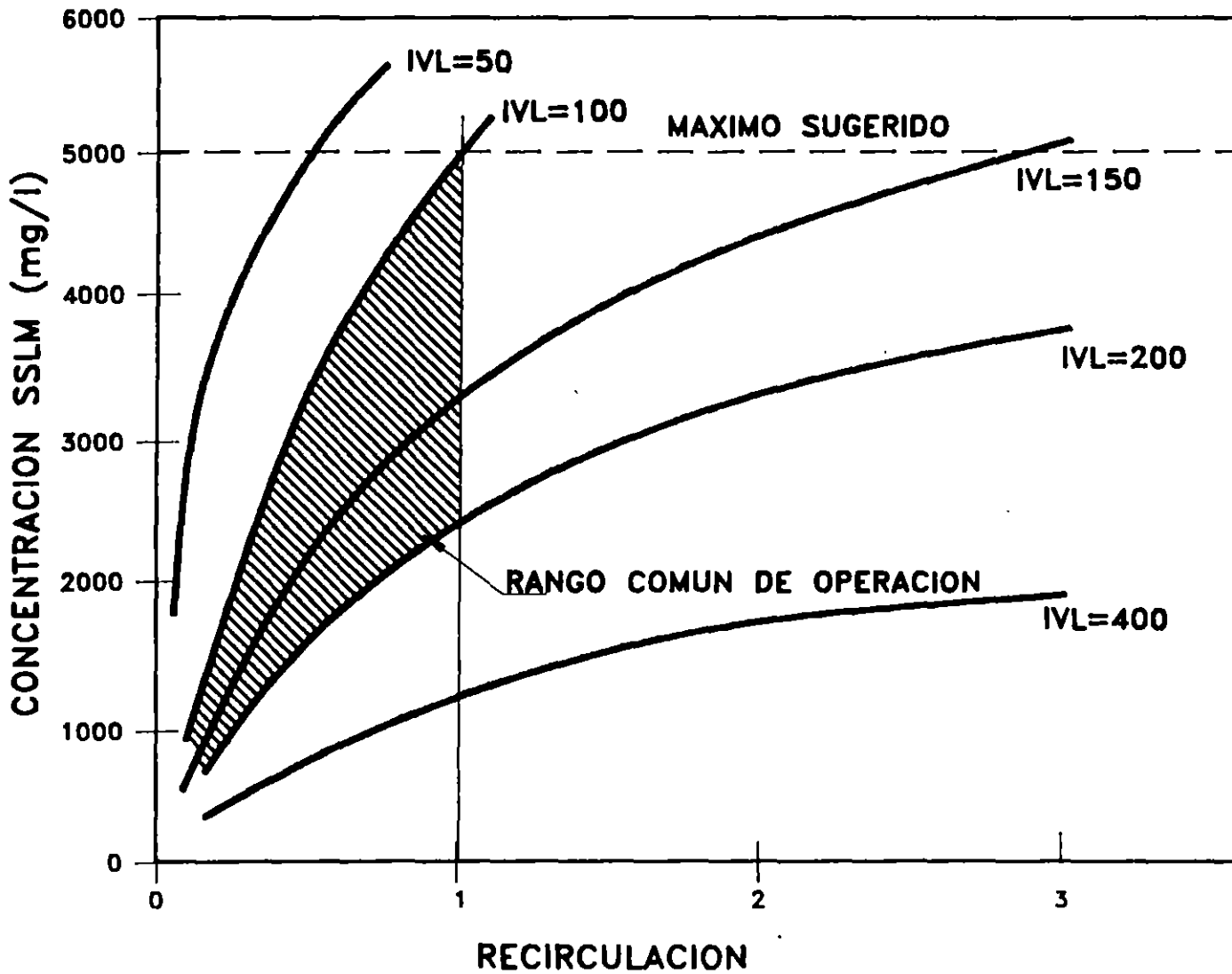


FIGURA 5.15

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

$$\text{carga orgánica} = 777.6 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{día}}$$

Carga de sólidos:

$$\text{carga de sólidos} = \frac{50 \times 86.4 \times 140}{1000}$$

$$\text{carga de sólidos} = 605 \frac{\text{kg SS}}{\text{día}}$$

RELACION ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)

Ejemplo de cálculo:

Calcule la relación F/M de acuerdo con los siguientes datos de una planta de tratamiento:

Gasto influente = 280 l/s

Carga orgánica

Influente al aerador = 150 mg/l

SSVLM = 2500 mg/l

Volumen del tanque

de aeración = 6340 m³

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

$$F/M = \frac{Q \times DBO_5}{V \times SSVLM}$$

$$F/M = \frac{280 \times 86.4 \times \frac{150}{1000}}{\frac{6340 \times 1000 \times 2500}{10^6}}$$

$$F/M = \frac{3628.8 \frac{kg DBO_5}{día}}{15850 kg SSVLM}$$

F/M = 0.23

**TIEMPO MEDIO DE RETENCION CELULAR
(EDAD DE LODOS)**

Ejemplo de cálculo:

En una planta de tratamiento se determinaron los siguientes parámetros:

FUNDAMENTOS Y CONTROL DE LA OPERACION

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

SSVLM = 2500 mg/l (en el aerador)
 SSVR = 8000 mg/l (en la recirculación)
 SSVE = 6 mg/l (en el efluente)
 Gasto efluente = 280 l/s
 Gasto en la purga = 5 l/s
 Volumen en el aerador = 6340 m³

$$TMRC = \frac{kg\ SSVLM}{kg\ SSVR + kg\ SSV\ E}$$

$$TMRC = \frac{6340 \times 1000 \times 2500}{\frac{5 \times 86.4 \times 8000}{1000} + \frac{280 \times 86.4 \times 6}{1000}} = \frac{15850}{3456 + 146}$$

$$= \frac{15850}{3602} = 4.4 \text{ días}$$

TMRC = 4.4 días

EXCESO DE LODOS O PURGA

Ejemplo de cálculo: Determinación de la purga de lodos basado en la edad de lodos (TMRC)

Determine el gasto de la purga de una planta de lodos activados, si se supone un TMRC de 5 días.

Se tienen los siguientes datos:

FUNDAMENTOS Y CONTROL DE LA OPERACION

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

SSVLM	=	2500 mg/l
SSVR	=	8000 mg/l
SSVE	=	6 mg/l
Gasto efluente	=	280 l/s
Volumen del tanque	=	6340 m ³
Edad de lodos TMRC	=	5 días

Sustituyendo en la ecuación:

$$QP = \frac{\frac{V \times SSVLM}{TMRC} - Q_e \times SSVE}{SSVR}$$

$$Q_{purga} = \frac{\frac{6340 \times 1000 \times 2500}{200000} - \frac{280 \times 86.4 \times 6}{1000}}{8000 \times 0.0864 \times 5}$$

$$Q_{purga} = \frac{3170 - 146}{8000 \times 0.0864} = \frac{3024}{691.2} = 4.37 \frac{l}{s}$$

Ejemplo de cálculo: gasto de la purga basado en ajuste de SSVLM

Primero debe verificar lo siguiente:

SSVLM (existente)	=	X
SSVLM (deseado)	=	Y
Diferencia	=	Z

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

Si la diferencia es negativa, debe detenerse la purga hasta que los SSVLM (existentes) rebasen el valor de los SSVLM deseados.

Si la diferencia es un número positivo, la purga de lodos se calcula como sigue:

$$Q = \frac{\text{kg SSV en la diferencia que serían sacados del aerador}}{0.0864 \times \text{concentración SSV en la purga}}$$

Se tienen los siguientes datos y valores deseados en una planta de tratamiento:

Volumen del tanque	=	757 m ³
SSV en la purga	=	7,000 mg/l
SSVLM (existentes)	=	10,000 mg/l
SSVLM (deseados)	=	5,000 mg/l
Diferencia	=	5,000 mg/l

$$Q_{\text{purga}} = \frac{\frac{757 \times 1000 \times 5000}{1000}}{0.0864 \times 7000}$$

$$Q_{\text{purga}} = 6.26 \text{ l/s}$$

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

RELACION DE RECIRCULACION

Ejemplo de cálculo:
 Determinación del gasto de recirculación

$$QR = \frac{Q \times SSLM}{SSR - SSLM}$$

Se tienen los siguientes datos:

- Q = 280 l/s
- SSLM = 2 500 mg/l
- SSR = 8 000 mg/l

$$QR = \frac{280 \times 0.0864 \times 2500}{(8000 - 2500) \times 0.0864} = 127.3 \text{ l/s}$$

= 100 x 127/280 = 45% del gasto influente.

Ejemplo 2:

- Q = 330 l/s
- SSLM = 2000 mg/l
- SSR = 7500 mg/l

$$QR = \frac{330 \times 0.0864 \times 2000}{(7500 - 2000) \times 0.0864}$$

QR = 120 l/s 120/330 x 100 = 36% del Q influente

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

INDICE VOLUMETRICO DE LODOS

Ejemplo de cálculo;

La lectura de una prueba de sedimentabilidad de 30 min. fue de 250 ml/l y la concentración de SSLM en el aerador fue de 2000 mg/l. Calcule el IVL.

$$IVL = \frac{250}{2000} \times 1000 = 125$$

IVL = 125

5.4 PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS

INTRODUCCION

Todas las plantas de tratamiento presentan problemas ocasional o continuamente; algunas veces no afectan sustancialmente al proceso, otras veces el funcionamiento de la planta es afectado en gran medida por causas puntuales o continuas.

El principal objetivo de cualquier intento de resolver problemas del funcionamiento del proceso es **IDENTIFICAR LA CAUSA DEL PROBLEMA**. Solamente después de identificar la verdadera causa del problema se puede dar la solución óptima. Esto parece obvio, pero es común que en las plantas de tratamiento

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

se aplique remedio tras remedio en lo que llamamos prueba y error, sin identificar la causa del problema. En otras palabras, casi siempre lo que se trata se resolver es el síntoma del problema y pocas veces se tiene éxito, mientras que la causa y verdadera solución permanece sin identificar. Los síntomas pueden ser usados como pistas que nos lleven a la determinación de la causa del problema.

En esta sección del curso se verán los problemas típicos que se pueden presentar, métodos para identificar las causas potenciales y acciones correctivas que se pueden aplicar.

TECNICAS GENERALES

Existen muy pocas reglas que puedan utilizarse para intentar diagnosticar problemas del proceso de lodos activados. Sin embargo, los problemas que se presentan súbitamente, en general son fáciles de identificar, mientras que los que se presentan en un tiempo largo, o que se desarrollan lentamente son difíciles de determinar.

Si se presenta algún problema en la planta, debe ser caracterizado, recopilando la mayor cantidad de información relativa a como se presentó. Una vez caracterizado, se intentará identificar el problema basándose en literatura consultada, interpretación de datos obtenidos, experiencias en la planta, y listado de múltiples causas posibles para ir eliminándolas de

FUNDAMENTOS Y CONTROL DE LA OPERACION

CONTENIDO	NOTAS
<p>acuerdo con toda la información. Una vez definida la causa o las principales causas, se implantarán las acciones correctivas que resuelvan el problema.</p>	
<p>Se resumen los pasos en la solución de problemas del funcionamiento del proceso.</p>	
<ol style="list-style-type: none">1. Anote y describa el problema.2. Caracterice los síntomas del problema y su periodicidad.3. Compare las características del problema con posibles causas asociadas.4. Si existen múltiples causas posibles asociadas al problema, realice un listado y elimine las que no apliquen.5. Una vez definida la causa o causas, lleve a cabo el programa de acciones para remediar el problema, eliminando las causas.	
<p>La matriz No. 1 enumera los problemas típicos que pueden surgir y sus posibles causas. En la matriz No.2 se enumeran las causas de los problemas y las acciones correctivas para resolverlos. La tabla 5.3 contiene problemas típicos en el sedimentador secundario.</p>	<p><i>FALTON MATRICES 1 y 2</i></p>

TABLA 5.3 PROBLEMAS TIPICOS EN EL SEDIMENTADOR.

RESUMEN

TIPO DE PROBLEMA	SINTOMAS	CAUSA
ABULTAMIENTO DE LODOS	Floc grande distribuido en todo el sedimentador, pobre compactación del manto de lodos, predominancia de organismos filamentosos.	Sobrecarga orgánica, relación F/M incorrecta, deficiencia de nutrientes.
FLOTACION DE LODOS	Sólidos biológicos flotan en la superficie del sedimentador.	Demasiado tiempo de retención en el sedimentador.
DEFLOCULACION	Pequeño floc flotante, sobrenadante turbio	Toxicidad, deficiencia de nutrientes, exceso de carga orgánica, condiciones anaerobias.
FLOC DISPERSO	Floc pequeño y ligero, sobrenadante claro	Edad de lodos baja
FLOC CABEZA DE ALFILER	Floc pequeño y pesado , efluente turbio, floc de rápida sedimentación	Edad de lodos alta
ARRASTRE DE SOLIDOS	Floc saludable que es empujado sobre el vertedor	Vertedores desnivelados, sobrecarga desnivelada, sobrecarga hidráulica, flujo desigual en múltiples.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

5.5 ARRANQUE DE LA PLANTA

El arranque de cualquier proceso biológico, entre ellos el de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr la estabilización y buen funcionamiento del proceso.

Un arranque típico se compone de dos fases: arranque mecánico y arranque del proceso; este curso se enfoca principalmente al proceso.

Como se ha visto, el proceso básico de tratamiento para lodos activados consiste en un tanque de aeración y un clarificador. Sus principales funciones se enlistan a continuación :

- a. Remoción de materia orgánica disuelta de las aguas residuales, convirtiendo esta materia en formas insolubles (material celular).
- b. Separación de la materia insoluble del licor mezclado, para obtener un efluente claro.
- c. Recirculación inmediata del material celular sedimentado al tanque de aeración.

Se puede pensar que el proceso de tratamiento por lodos activados ha sido alcanzado hasta que se establecen y normalizan estas funciones.

CONTENIDO	NOTAS
<p>PREPARACION PREVIA AL ARRANQUE</p> <p>Para tener éxito en el arranque de la planta, se requiere una planeación cuidadosa. El proceso de lodos activados es demasiado complicado para que se realice solo, y los factores ambientales que se han visto y que afectan al proceso son muchos como para iniciar el arranque sin preparación previa. Las actividades requeridas antes de arrancar son: análisis del agua residual, estimación de cargas orgánicas y de sólidos al inicio, inoculación, revisión del equipo mecánico y familiarización con la planta incluyendo capacitación; se incluye el formato de requisitos.</p> <p>REQUISITOS DEL ARRANQUE (PARA EL PROCESO)</p> <p>A continuación se da un formato que se puede utilizar como guía para verificar las actividades previas al arranque. Cada organismo operador deberá incluir aspectos que considere relevantes para cada planta en particular.</p> <p>En cuanto a otras actividades previas se tienen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Listado de equipos de la planta.- No arrancar si faltan instalaciones y detalles de construcción.- Revisar hidráulicamente los tanques.	

CONTENIDO	NOTAS
<p>- Revisar todos los equipos antes de arrancar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos de aeración. - Bombas. - Mecanismos de sedimentadores. <p>ARRANQUE</p> <p>Una vez que se han cubierto las actividades previas al arranque, suponiendo que todos los equipos mecánicos han sido probados y ajustados, que todos los tanques y tuberías están limpias, y el sedimentador secundario y el sedimentador están parcialmente llenos con el agua de las pruebas, los pasos a seguir son :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transporte del inóculo. - Agregar aguas residuales al tanque de aeración. - Arrancar el equipo de aeración. - Agregar el inóculo. - Arrancar el sedimentador. - Iniciar la recirculación. - Monitorear el proceso. <ul style="list-style-type: none"> * Oxígeno disuelto * Nutrientes * pH * DBO y DQO * Calidad del efluente * SSLM y SSVLM 	

CONTENIDO	NOTAS
<p>* Utilización de O D * Observaciones microscópicas. * Pruebas de sedimentabilidad.</p> <p>TRANSICION DEL ARRANQUE</p> <p>Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal; por esta razón, a continuación se enlistan algunas formas de conocer si ya se ha llegado a la operación normal de la planta.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grafique la eficiencia de remoción contra el tiempo (días). Los valores similares de eficiencias esperadas durante varios días, tal vez indiquen que ya se está en una operación normal. - Grafique las concentraciones de DBO soluble contra el tiempo. La concentración caerá hasta valores esperados. - Revise y grafique si es necesario, los datos de SSVLM y determine si se conserva la concentración deseada. - Asegúrese que la purga de lodos ha sido establecida y que se tiene la relación F/M óptima, así como la edad de lodos. - Compruebe que la utilización de OD está en los rangos comunes. 	

CONTENIDO	NOTAS
<ul style="list-style-type: none"> - Realice observaciones microscópicas y determine si los indicadores visuales son aceptables. - Ajuste la recirculación a su valor normal (vea el cálculo del gasto de recirculación). - Certifique que se han alcanzado las metas de calidad de acuerdo con el diseño a fin de alcanzar niveles aceptables de DBO y sólidos suspendidos. 	
<p>PROBLEMAS TIPICOS EN EL ARRANQUE</p>	
<p>En el arranque puede presentarse cualquier número de problemas, por eso los preparativos previos al arranque son importantes. Aún así, es casi seguro que surja algún problema. A continuación se presentan los problemas típicos más comunes en el proceso de arranque de plantas de tratamiento. Los problemas en equipos no se han incluido, pues cada proveedor lo debe resolver.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Espuma. - Sedimentación deficiente con presencia de sólidos finos. - Baja remción de DBO₅. - Temperatura y condiciones climáticas desfavorables. 	

PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

ACTIVIDADES PARA EL ARRANQUE

1. MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA RESIDUAL

DBO₅ _____ mg/l
DQO _____ mg/l
pH _____ unidades
NH₃-N _____ mg/l
O-P _____ mg/l

OTROS ANALISIS:

2. ESTIMACION DE CONDICIONES DE ARRANQUE

GASTO _____ l/s

RELACION F/M _____

NUTRIENTES REQUERIDOS

N _____ kg/día

P _____ kg/día

NEUTRALIZACION REQUERIDA

ACIDO _____ l/d

BASE _____ l/d

3. INOCULACION

	FUENTE		
	1	2	3
Proceso similar			
Agua residual similar			
Observación microscópica			
Utilización de oxígeno			
Fuente seleccionada			

Sitio de extracción del inóculo tanque de aeración, lodos de recirculación o digester aerobio

SSV DEL INOCULO _____ mg/l

Kg DE INOCULO REQUERIDO _____ kg

m³ DE INOCULO _____ m³

TRANSPORTE LIMPIO ()SI ()NO

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

7. HIGIENE Y SEGURIDAD

En EUA, la frecuencia de lesiones (incapacitación por lesiones por millón de horas-hombre trabajados), en trabajadores de plantas de tratamiento de aguas residuales es sustancialmente mayor que para trabajadores de otras industrias. En México ocurre algo similar, aunque no se tienen estadísticas relacionadas con plantas de tratamiento.

El riesgo a enfermedades, principalmente la hepatitis, siempre se ha relacionado con plantas de tratamiento de aguas residuales. Las lesiones y enfermedades llevan a padecimientos y pérdidas de los recursos humanos. Además se tiene un impacto negativo en la eficiencia de la planta, la moral de los empleados, las relaciones públicas, y finalmente una incidencia en los costos.

La dirección efectiva de las plantas de tratamiento reflejan la excelencia en operación, incluyendo aspectos de higiene y seguridad. La higiene y seguridad se deben iniciar y mantener para prevenir enfermedades y accidentes en la planta. Los directivos necesitan mostrar interés en el establecimiento de programas de control de accidentes, incluyendo prevención de emergencias y de enfermedades ocupacionales.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

PROGRAMAS

La mayor parte de los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento de aguas residuales contienen tres elementos:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

Un buen programa proporcionará primeros auxilios y servicios médicos, además de un manual con información sobre prevención de accidentes y lesiones.

La principal función del Comité de Higiene y Seguridad es la promoción del programa; algunas otras actividades del son:

- Realizar inspecciones.
- Proporcionar y sugerir capacitación.
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones.
- Desarrollo del manual de higiene y seguridad.

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades; un programa de capacitación incluirá:

- Peligros en las plantas de aguas residuales.
- Higiene y salud industrial para el personal.
- Equipos de protección, incluyendo protección respiratoria.
- Manejo y almacenamiento de materiales.

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

- Uso seguro de herramientas y equipos.
- Protección y control de incendios.
- Primeros auxilios, incluyendo respiración artificial.
- Mantenimiento industrial.
- Reporte de accidentes y enfermedades.
- Investigación de accidentes y enfermedades.
- Seguridad en instalaciones eléctricas.
- Procedimientos de entrada a espacios confinados y rescate.
- Planeación de emergencias.

MEDIDAS DE HIGIENE

Los trabajadores relacionados con el manejo de aguas residuales y lodos generados en los procesos de tratamiento, están expuestos al contacto con microorganismos, por lo que su riesgo de contraer enfermedades infecciosas es alto; las siguientes enfermedades son comunes para quienes trabajan en plantas de tratamiento:

- Hepatitis A infecciosa.
- Infecciones virales.
- Infestación de parásitos.
- Enfermedades gastrointestinales.
- Anormalidades en fosas nasales, oídos y piel por infecciones.

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal. A continuación se dan algunas recomendaciones para personas que trabajan cerca de

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

aguas residuales o lodos.

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpian bombas o equipos, se maneje agua residual, rejillas, lodos o arena, u otras tareas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Usar guantes siempre que se tenga una lesión en las manos, como quemadura, cortada, raspón, etc, para evitar el contacto directo de microorganismos con el torrente sanguíneo.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas.
- Se recomienda el uso de dos gavetas por trabajador; una para guardar ropa de calle y limpia y para la ropa de trabajo.
- Informar cualquier lesión por pequeña que sea incluyendo raspones. para que se apliquen primeros auxilios,
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

CONTENIDO	NOTAS
<p>Para asegurar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir vacunación contra:</p> <ul style="list-style-type: none">- Hepatitis A.- Hepatitis B.- Influenza.- Sarampión.- Paperas.- Neumonía.- Rubeola.- Tétanos y difteria. <p>SUSTANCIAS PELIGROSAS</p> <p>Se requiere desarrollar un programa de identificación, manejo y control de sustancias peligrosas, como son los productos químicos. Se debe conocer su peligro potencial y su manejo adecuado para tomar las precauciones necesarias.</p> <p>Las prácticas recomendadas para los trabajadores que manejan este tipo de sustancias, a fin de salvaguardar su integridad física, son:</p> <ul style="list-style-type: none">- Uso de equipos de protección.- Procedimientos adecuados en el mantenimiento y almacenamiento de sustancias peligrosas.- Uso de aspiradoras y equipos de limpieza para el área de almacenamiento y lugares de trabajo.	

CONTENIDO	NOTAS
-----------	-------

- Areas prohibidas para fumar en lugares donde se manejen sustancias inflamables y explosivas.
- Separación de áreas de baños y comedores, de áreas de almacenamiento.
- Uso de etiquetas en los recipientes que incluyan información de su manejo, y primeros auxilios.
- Colocación de señales de precaución y alerta para los trabajadores.
- Carteles con instrucciones de emergencia en lugares críticos.
- Acciones para emergencias, como incendios, derrames y fugas, acompañadas de instrucciones para primeros auxilios.
- Capacitación para uso y manejo de sustancias peligrosas.

ESPACIOS CONFINADOS

Un espacio confinado es un área accesible, con cualquiera de las siguientes desventajas características: accesos limitado para entrar y salir; ventilación natural desfavorable; espacio escaso para trabajadores. La mayor parte de las muertes, lesiones y enfermedades se presentan en espacios confinados y por exposiciones a gases tóxicos o deficiencias de oxígeno en la atmósfera.

CONTENIDO	NOTAS
------------------	--------------

Los peligros que puede tener un trabajador en espacios confinados son:

- Deficiencia de oxígeno en la atmósfera.
- Atmósfera inflamable.
- Atmósfera tóxica.
- Temperaturas extremas.
- Derrumbe de materiales.
- Ruidos amplificados
- Resbalones por pisos húmedos.
- Caída de objetos.

Las precauciones que se deben observar en estos espacios incluyen:

- Pruebas y monitoreo de los gases en la atmósfera del espacio confinado.
- Ventilación continua general, o local con ventiladores manuales.
- Equipos de protección personal, principalmente para respiración.
- Señales y etiquetas de precaución y de peligro.
- Capacitación del personal que trabaja en espacios confinados.
- Revisión médica periódica.
- Autorizaciones para entrar a espacios confinados.

CONTENIDO	NOTAS
<ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento de espacios confinados. - Personal capacitado en diferentes partes de la planta. - Procedimientos por escrito para trabajar, y poder realizar actividades de rescate. - Equipos de respiración disponibles. <p>MEDIDAS DE PROTECCION</p> <p>Deben ser consideradas desde el diseño de las instalaciones; en forma resumida las más importantes son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cercado de la planta de tratamiento o de unidades donde el público no debe tener acceso. - Facilidades de estacionamiento y andadores que lleven a las oficinas de la planta. - Areas de almacenamiento fuera del alcance de personal extraño. - Iluminación adecuada al trabajo que se desarrolle. - Ventilación para prevenir ambientes explosivos. - Protección contra incendios tanto de oficinas como de almacenes, sala de sopladores, sala de cloración, etc. 	

CONTENIDO	NOTAS
<ul style="list-style-type: none">- Agua potable suficiente para las actividades normales de la planta, incluyendo abastecimiento a laboratorios, baños, regaderas, etc.- Cercas de protección y señales de alerta en instalaciones eléctricas.- Implantación de medidas de seguridad en el laboratorio.	
<p>Se hará mención de algunas actividades que se consideran peligrosas, para las cuales deben seguirse procedimientos establecidos para que puedan llevarse a cabo:</p>	
<ul style="list-style-type: none">- Trabajos bajo la superficie, en alcantarillados, registros, estaciones de bombeo, desarenadores, túneles, trincheras, tanques, etc.- Levantar objetos que por su forma, tamaño, peso, etc, pueden causar lesiones en la espalda, o accidentes.- Uso de escaleras; las caídas en ellas son una de las principales causas de lesiones.- Trabajos en áreas de producción y manejo de instalaciones de gas.	
<p style="text-align: center;">- 7 - 9</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>8. GLOSARIO</p> <p>ACLIMATACION. Ajuste a un cambio en el ambiente, como respuesta dinámica de los organismos.</p> <p>AERACION. Contacto íntimo del agua con el aire, conseguido por diferentes medios: rociando el líquido en el aire, burbujeo de aire en el agua, o agitación del líquido en contacto con el aire.</p> <p>AERACION MECANICA. Introducción de oxígeno atmosférico en el líquido por acción mecánica de paletas, turbinas, rocío u otro sistema.</p> <p>AGUA CRUDA. Agua residual que no ha recibido ningún tratamiento.</p> <p>AGUAS RESIDUALES. Agua usada y desechada por la comunidad o por la industria, y que posee materia disuelta y en suspensión.</p> <p>AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. Aguas de desecho originadas principalmente en casas habitación, oficinas e instituciones; normalmente no contienen agua subterránea, agua superficial ni agua de lluvia.</p> <p>AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Aguas de desecho de fuentes o de procesos industriales.</p> <p>AMBIENTE. Generalmente se refiere a las condiciones</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>dinámicas de vida que prevalecen en cierta área en estudio.</p>	
<p>BACTERIAS. Grupo de organismos unicelulares faltos de clorofila que realizan una gran variedad de procesos de tratamientos biológicos incluyendo oxidación biológica, digestión de lodos, nitrificación y denitrificación.</p>	
<p>BACTERIA AEROBIA. Bacteria que requiere oxígeno elemental libre para poder vivir.</p>	
<p>BACTERIA ANAEROBIA. Bacteria que crece solamente en ausencia de oxígeno elemental libre.</p>	
<p>BACTERIA FACULTATIVA. Bacteria que puede adaptarse por sí misma a crecer, y metabolizar en presencia o ausencia de oxígeno libre.</p>	
<p>BACTERIA PATOGENA. Bacterias que causan enfermedades en el organismo huésped por su crecimiento como parásito.</p>	
<p>CARGA ORGANICA. Contenido de DBO, expresado generalmente como kilos de DBO por unidad de tiempo, de las aguas que pasan por un sistema de tratamiento o un cuerpo de agua.</p>	
<p>CLARIFICADOR. Cualquier tanque sedimentador circular o rectangular para remover sólidos sedimentables en agua o aguas residuales.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>COCOS. Bacterias en forma de esfera.</p>	
<p>CONCENTRACION. Cantidad de una sustancia disuelta en una unidad de volumen de solución, o aplicada a una unidad de peso de sólidos, normalmente expresada en miligramos por litro.</p>	
<p>CONO IMHOFF. Recipiente graduado en forma de cono para medir el volumen de sólidos sedimentables mediante sedimentación en cierto tiempo.</p>	
<p>CORTOCIRCUITO. Condición hidráulica que ocurre en ciertas partes del tanque por donde el tiempo de paso es menor al tiempo medio de retención hidráulica.</p>	
<p>DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO). Cuantificación de la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de materia orgánica en determinado tiempo, temperatura y condiciones específicas. Se determina como la disponibilidad de materia como alimento biológico y la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos durante la oxidación.</p>	
<p>DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO). Cuantificación del oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica carbonácea en las aguas residuales, usando sales inorgánicas de dicromato o permanganato como oxidante en una prueba de aproximadamente dos horas.</p>	
<p>DESECHOS TOXICOS. Desechos que pueden causar</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>una respuesta adversa cuando entran en contacto con entidades biológicas.</p>	
<p>DESNATADOR. Mecanismo para remover grasa flotante y natas en la superficie de un tanque.</p>	
<p>DIFUSOR. Mecanismo de diversos diseños para transferir oxígeno del aire al líquido.</p>	
<p>EFICIENCIA. Resultados de cualquier operación en relación a la energía y esfuerzo realizado para alcanzar tales resultados. Es la relación con la cantidad total (normalmente de contaminantes) que sale del sistema y la cantidad total que entra, expresada en porcentaje.</p>	
<p>EFLUENTE. Líquido que fluye fuera de un proceso o espacio confinado.</p>	
<p>EFLUENTE TERCIARIO. Porción líquida de aguas residuales que sale del tratamiento terciario.</p>	
<p>EPIDEMIA. Enfermedad que ocurre simultáneamente en un alto porcentaje de la población. Normalmente a nivel local.</p>	
<p>EXCESO DE LODOS. Lodos removidos del sistema de lodos activados para evitar el crecimiento excesivo de la masa biológica.</p>	
<p>FLUJO PISTON. Flujo en el cual las partículas del fluido son descargadas de un tanque o tubería en el mismo orden en que entran.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>GASTO MEDIO. Promedio aritmético del volumen del líquido que pasa en determinado tiempo en un punto dado.</p>	
<p>INDICE VOLUMETRICO DE LODOS. Relación del volumen de lodos sedimentados (en ml), de una muestra de 1000 ml del licor mezclado durante 30 min y la concentración del licor mezclado (mg/l) multiplicados por 1000.</p>	
<p>JET. Chorro de agua y/o aire a presión que emana de un orificio o tubo.</p>	
<p>LICOR MEZCLADO. Mezcla de aguas residuales crudas o sedimentadas con lodos activados contenidas en el tanque de aeración, parte medular del proceso.</p>	
<p>LODO FILAMENTOSO. Lodo activado caracterizado por el excesivo crecimiento de bacterias filamentosas con características de sedimentación deficiente.</p>	
<p>MANTO DE LODOS. Acumulación de lodos hidrodinámicamente suspendidos dentro de un cuerpo de agua o aguas residuales (normalmente se presenta en los sedimentadores).</p>	
<p>METABOLISMO. Proceso bioquímico de organismos vivos en el cual se utiliza alimento y se generan desechos.</p>	
<p>MICROORGANISMOS. Pequeños organismos, plantas o animales, normalmente microscópicos</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>invisibles, como algas, bacterias, hongos, protozoarios y virus.</p>	
<p>MONITOREO. Observación rutinaria, muestreo y análisis de parámetros determinados para estimar índices de comportamiento y eficiencias de tratamiento.</p>	
<p>NITROGENO ORGANICO. Nitrógeno químicamente ligado en moléculas orgánicas, tales como las proteínas, aminas, y aminoácidos.</p>	
<p>NUTRIENTES. Cualquier sustancia que sea asimilada por los organismos y promueva su crecimiento, generalmente aplicado a fósforo y nitrógeno, aunque también existen otros elementos esenciales y elementos traza.</p>	
<p>ORGANISMO AUTOTROFO. Célula que utiliza materia inorgánica para su crecimiento y energía.</p>	
<p>ORGANISMOS FILAMENTOSOS. Bacterias, hongos y algas que crecen en colonias en forma de hilos que dan como resultado una masa biológica que no sedimenta bien.</p>	
<p>ORTOFOSFATOS. Sales que contienen fósforo como $(PO_4)^{3-}$, nutriente requerido para el crecimiento de plantas y animales.</p>	
<p>OXIGENO DISUELTO (OD). Es el oxígeno disuelto en el agua, agua residual u otro líquido; usualmente se expresa en mg/l.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>PROCESO BIOLÓGICO. Proceso mediante el cual las actividades metabólicas de las bacterias y otros microorganismos desdoblan la materia orgánica compleja en sustancias más simples y estables.</p>	
<p>PROCESO DE LODOS ACTIVADOS: Proceso de tratamiento biológico de las aguas residuales en el cual la mezcla de agua residual con lodos activados es agitado y aerado. El lodo activado es separado del agua tratada mediante sedimentación, y desechado o recirculado al sistema.</p>	
<p>PROTOZOARIOS. Pequeños animales unicelulares que incluyen amibas, ciliados y flagelados.</p>	
<p>RECIRCULACION DE LODOS. Lodos activados sedimentados que son regresados al tanque de aeración y mezclados con el agua cruda o sedimentada influente.</p>	
<p>RELACION ALIMENTO-MICROORGANISMOS (F/M). Relación utilizada en el proceso de lodos activados, expresada como kg DBO₅ por kg de sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado por día. (kg DBO₅/kg x SSVLM día).</p>	
<p>SEDIMENTADOR SECUNDARIO: Tanque de sedimentación que sigue al proceso biológico diseñado para remover por gravedad, la mayor parte de la materia en suspensión. También es conocido como clarificador.</p>	
<p>SEPTICIDAD. Condición producida por el crecimiento</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>de organismos anaerobios.</p>	
<p>SOBRENADANTE. Estrato superior del líquido en tanques de aguas residuales (sedimentadores, espesadores, etc.)</p>	
<p>SOLIDOS DISUELTOS. Sólidos en solución que no pueden ser removidos por filtración.</p>	
<p>SOLIDOS SEDIMENTABLES. Materia en las aguas residuales que no puede permanecer en suspensión durante cierto periodo de sedimentación.</p>	
<p>SOLIDOS SUSPENDIDOS. Sólidos insolubles que flotan en la superficie, o que están en suspensión en el agua, aguas residuales u otros líquidos. Residuos no filtrables (métodos estándar).</p>	
<p>SOLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LICOR MEZCLADO (SSLM). Concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado del proceso de lodos activados, expresados en miligramos por litro (mg/l).</p>	
<p>SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN EL LICOR MEZCLADO (SSVLM). Fracción de los sólidos suspendidos en el licor mezclado del proceso de lodos activados que pueden ser carbonizados a 550 °C. Son indicadores de la concentración de microorganismos para realizar la oxidación biológica.</p>	
<p>SOLIDOS TOTALES. La suma de sólidos disueltos y suspendidos presentes en el agua o aguas residuales.</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>TANQUE DE CONTACTO. Tanque utilizado en el tratamiento de agua o aguas residuales para promover el contacto entre lodos biológicos o productos químicos con el líquido.</p>	
<p>TIEMPO DE RETENCION. Tiempo en que el flujo de agua o de aguas residuales es retenido en un tanque para almacenamiento, o paso para llevar a cabo reacciones biológicas, físicas o químicas; también se conoce como tiempo de contacto o tiempo de detención.</p>	
<p>TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS. También conocido como tiempo de retención celular.</p>	
<p>TIEMPO MEDIO DE RETENCION CELULAR. Es el tiempo promedio que una unidad de masa celular permanece en el sistema de lodos activados. Se calcula como los sólidos suspendidos totales del licor mezclado en el sistema (tanque de aeración más sedimentador secundario) dividido entre la purga del sistema.</p>	
<p>TRANSFERENCIA DE OXIGENO. Intercambio de oxígeno entre las fases líquida y gaseosa. Cantidad de oxígeno absorbido por el líquido comparado con la cantidad introducida en el líquido a través de un mecanismo de oxigenación, usualmente expresada en porcentaje.</p>	
<p>TRATAMIENTO CONVENCIONAL. Procesos de tratamiento de agua o aguas residuales conocidos y establecidos, excluyendo los tratamientos terciarios o avanzados. Generalmente consisten en tratamiento</p>	

CONTENIDO	NOTAS
<p>primario y secundario.</p> <p>TRATAMIENTO SECUNDARIO. Concepto comúnmente aplicado a tratamientos que consisten en clarificación seguida de un tratamiento biológico.</p> <p>TRATAMIENTO Terciario. Tratamiento de aguas residuales que sigue a la etapa de tratamiento biológico o secundario. Este término generalmente implica la remoción de nutrientes, como fósforo y nitrógeno y un alto porcentaje de sólidos suspendidos. El término está siendo remplazado por el de tratamiento avanzado.</p> <p>TOXICIDAD. Efecto adverso que tiene una sustancia en cierta concentración sobre un organismo vivo.</p> <p>VIRUS. La forma de vida más pequeña (10-300 μm de diámetro) capaz de producir infecciones y enfermedades al hombre y a los animales.</p> <p>VOLATIL. Capacidad de una sustancia para ser evaporada a bajas temperaturas.</p>	

Table 3 Waste Treatment Systems, Their Use and Effectiveness

Treatment System	Use	Effluent Reduction
Sedimentation or gravity separation	Primary treatment or by-product recovery	Grease, 15-20% removal BOD ₅ , 20-30% removal SS, 20-50% removal
Dissolved air flotation (DAF)	Primary treatment or by-product recovery	Grease, 60% removal, to 100 to 200 mg/l BOD ₅ , 30% removal SS, 30% removal
DAF with pH control and flocculants added	Primary treatment or by-product recovery	Grease, 95-99% removal BOD ₅ , 90% removal SS, 98% removal
Anaerobic & aerobic lagoons	Secondary treatment	BOD ₅ , 95% removal
Anaerobic & aerated & aerobic lagoons	Secondary treatment	BOD ₅ , to 99% removal
Anaerobic contact process	Secondary treatment	BOD ₅ , 90-95% removal
Activated sludge	Secondary treatment	BOD ₅ , 90-95% removal
Extended aeration	Secondary treatment	BOD ₅ , 95% removal
Anaerobic lagoons & rotating biological contactor	Secondary treatment	BOD ₅ , 90-95% removal
Chlorination	Finish and disinfection	
Sand filter	Tertiary treatment & secondary treatment	BOD ₅ , to 5-10 mg/l SS, to 3-8 mg/l
Microstrainer	Tertiary treatment	BOD ₅ , to 10-20 mg/l SS, to 10-15 mg/l
Electrodialysis	Tertiary treatment	TDS, 90% removal
Ion exchange	Tertiary treatment	Salt, 90% removal
Ammonia stripping	Tertiary treatment	90-95% removal
Carbon adsorption	Tertiary treatment	BOD ₅ , to 98% removal as colloidal & dissolved organic
Chemical precipitation	Tertiary treatment	Phosphorus, 85-95% removal, to 0.5 mg/l or less
Reverse osmosis	Tertiary treatment	Salt, to 5 mg/l TDS, to 20 mg/l
Spray irrigation	No discharge	Total
Flood irrigation	No discharge	Total
Ponding and evaporation	No discharge	Total