

21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"



PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE RASTROS TIPO INSPECCION FEDERAL DE AVES

T E S I S QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL PRESENTA: JORGE LUIS RIVERA MARTINEZ

28/11/00

ASESOR: ING. SALVADOR ACEVEDO MARQUEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DE RASTROS
TIPO INSPECCION FEDERAL DE AVES**

A mis padres.

Manuel Rivera Sánchez (q.e.p.d.) y Ana María Martínez Maciel, por todo su esfuerzo, apoyo y dedicación que me brindaron para lograr la realización de mis estudios.

A mis hermanos.

Rosa María, Manuel y Alejandro por todo el apoyo y las experiencias que vivimos juntos.

A mis amigos.

Por todo lo que aprendimos y convivimos juntos.

A mis maestros.

Por todos sus conocimientos que me transmitieron.

Al Ing. Salvador Acevedo Márquez.

Por su valioso apoyo y asesoría en la realización de este trabajo.

A los profesores:

Ing. Hermenegildo Arcos Serrano.

Ing. Alberto Dávila Cabrera.

Ing. Isidro Lara González.

M. en I. Raúl Pineda Olmedo.

Por su colaboración en la revisión de este trabajo.

INDICE

INDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1.- RASTROS TIPO INSPECCION FEDERAL.....	4
1.1.- Definición.....	5
1.2.- Diseño y construcción de un rastro tipo inspección federal.....	5
1.2.1.- Documentación y planos con que deberán contar un establecimiento tipo inspección federal.....	5
1.2.2.- Localización de los establecimientos.....	5
1.2.3.- Abastecimiento de agua, drenaje y sistema de disposición de desechos y aguas residuales.....	5
1.2.4.- Diseño y construcción.....	7
1.2.5.- Iluminación, ventilación y refrigeración.....	7
1.2.6.- Equipo e instalaciones de las áreas de elaboración de productos.....	9
1.2.7.- Facilidades para el lavado de manos, esterilizadores, bebederos, mangueras y áreas de sanitización.....	10
1.2.8.- Procesado de productos comestibles.....	10
1.2.9.- Instalaciones sanitarias para los empleados.....	10
1.2.10.- Oficina para el médico veterinario oficial o aprobado.....	12
1.2.11.- Código de colores para tuberías.....	12
1.2.12.- Instalaciones requeridas para el sacrificio de aves.....	14
CAPITULO 2.- GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	16
2.1.- Medición de caudales.....	17
2.1.1.- Recipiente y cronómetro.....	17
2.1.2.- Método California.....	17
2.1.3.- Vertedores.....	18
2.2.- Muestreo de aguas residuales.....	21
2.2.1.- Muestra simple.....	21
2.2.2.- Muestra compuesta.....	21
2.2.3.- Procedimiento de muestreo.....	21
2.2.4.- Muestreo en tomas.....	22
2.2.5.- Muestreo de descargas libres.....	22
2.2.6.- Muestreo en canales y colectores.....	22
2.2.7.- Preservación de las muestras.....	22
2.3.- Parámetros a determinar en laboratorio.....	22
2.3.1.- NOM-AA-7-1980 "Aguas-Determinación de la temperatura".....	23
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	23
2.- Fundamento.....	23
3.- Procedimiento.....	23
4.- Interpretación de resultados.....	23
5.- Informe.....	23
2.3.2.- NOM-AA-8-1980 "Aguas-Determinación del pH".....	23
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	23
2.- Fundamento.....	23
3.- Preparación de soluciones patrón para la calibración.....	23
4.- Muestreo y almacenamiento.....	23
5.- Interferencias.....	23
6.- Procedimiento.....	24
7.- Precisión del método.....	24
8.- Observaciones.....	24

2.3.3.- NOM-AA-28-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno".....	26
1.- Objetivo.....	26
2.- Campo de aplicación.....	26
3.- Principio.....	26
4.- Reactivos.....	26
5.- Muestreo.....	27
6.- Procedimiento.....	27
7.- Precisión y exactitud.....	30
8.- Apéndice.....	30
2.3.4.- NOM-AA-30-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno".....	30
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	30
2.- Resumen del método.....	30
3.- Reactivos.....	30
4.- Preparación de soluciones.....	31
5.- Preparación y conservación de la muestra.....	31
6.- Procedimiento.....	31
7.- Cálculos.....	32
8.- Repetibilidad.....	32
9.- Apéndice.....	32
2.3.5.- NOM-AA-34-1981. "Análisis de agua-Determinación de sólidos".....	33
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	33
2.- Fundamento.....	33
3.- Procedimiento A.....	33
4.- Procedimiento B.....	34
5.- Procedimiento C.....	35
6.- Apéndice.....	36
2.3.6.- DGN-AA-1977. "Determinación de sólidos sedimentables en agua".....	36
1.- Objetivo.....	36
2.- Campo de aplicación.....	36
3.- Fundamento.....	36
4.- Procedimientos.....	36
5.- Interpretación de resultados.....	37
6.- Cálculos.....	37
2.3.7.- NOM-AA-5-1980. "Aguas-Determinación de Grasas y Aceites".....	37
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	37
2.- Resumen del método.....	37
3.- Reactivos.....	37
4.- Muestreo y almacenamiento.....	38
5.- Procedimiento.....	38
6.- Cálculos y resultados.....	39
7.- Apéndice.....	39
2.3.8.- DGN-AA-6-1973. "Determinación de materia flotante en aguas residuales".....	39
1.- Alcance.....	39
2.- Preparación del espécimen.....	39
3.- Procedimiento.....	39
4.- Interpretación de resultados.....	39
2.3.9.- NOM-AA-26-1980. "Aguas-Determinación de Nitrógeno total".....	40
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	40
2.- Fundamento.....	40
3.- Muestreo.....	40
4.- Preparación de soluciones.....	40

5.- Procedimiento.....	41
6.- Cálculos.....	42
7.- Reproducción de la prueba.....	42
8.- Informe.....	42
2.3.10.- NOM-AA-29-1981. "Aguas-Determinación de fósforo total".....	42
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	42
2.- Fundamento.....	43
3.- Muestreo.....	43
4.- Método del azul de molibdeno.....	43
5.- Método de fosfovanadomolibdato.....	46
6.- Interferencias.....	48
7.- Notas al procedimiento.....	48
2.3.11.- NOM-AA-42-1987. "Calidad del agua-Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.....	48
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	48
2.- Principio.....	48
3.- Reactivos.....	48
4.- Muestreo.....	52
5.- Preservación y almacenamiento.....	53
6.- Procedimiento.....	53
7.- Cálculos.....	54
8.- Reporte de la prueba.....	58
9.- Confiabilidad.....	58
CAPITULO 3.- METODOS DE TRATAMIENTO.....	59
3.1.- Tratamiento preliminar.....	60
3.1.1.- Rejas y cribas de barras.....	60
3.1.2.- Cribas finas.....	60
3.1.3.- Desmenuzadores.....	60
3.1.4.- Desarenadores.....	61
3.1.5.- Eliminación del material retenido en las rejas y el desarenador.....	61
3.1.6.- Tanques de preaeración.....	61
3.2.- Tratamiento primario.....	61
3.2.1.- Tanques sépticos.....	61
3.2.2.- Tanques de doble acción.....	62
3.2.3.- Tanques de sedimentación simple.....	62
3.3.- Tratamiento secundario.....	64
3.3.1.- Procesos aerobios.....	65
3.3.1.1.- Lodos activados.....	65
3.3.1.2.- Modificaciones del proceso de lodos activados.....	67
3.3.1.3.- Lagunas aireadas.....	67
3.3.1.4.- Balsas de estabilización de aguas residuales.....	68
3.3.1.5.- Filtros percoladores.....	68
3.3.1.6.- Biodiscos.....	69
3.3.2.- Procesos anaerobios.....	70
3.3.2.1.- Proceso anaerobio de contacto.....	70
3.3.2.2.- Filtros anaerobios.....	71
3.3.2.3.- Reactor anaerobio con flujo ascendente y manta de lodo (UASB).....	71
3.3.3.- Tanques para la sedimentación secundaria.....	72
3.4.- Tratamiento terciario o avanzado.....	72
3.4.1.- Eliminación de sólidos en suspensión.....	72
3.4.2.- Adsorción en carbón activo.....	73

3.4.3.- Intercambio iónico.....	73
3.4.4.- Osmosis inversa.....	73
3.4.5.- Electrodiálisis.....	74
3.4.6.- Procesos de oxidación química (cloración y ozonación).....	74
3.4.6.1.- Cloración de las aguas residuales.....	74
3.4.6.2.- Ozonación de las aguas residuales.....	75
CAPITULO 4.- TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES.....	76
4.1.- Composición de los lodos.....	77
4.2.- Métodos de tratamiento de los lodos.....	77
4.2.1.- Espesamiento.....	77
4.2.2.- Digestión con o sin calentamiento.....	78
4.2.3.- Secado sobre lecho de arena (cubierto o descubierto).....	78
4.2.4.- Acondicionamiento químico.....	79
4.2.5.- Elutriación.....	79
4.2.6.- Filtración al vacío.....	80
4.2.7.- Secado con calor.....	80
4.2.8.- Incineración.....	81
4.2.9.- Oxidación húmeda (Proceso Zimmermann).....	81
4.3.- Disposición de los lodos.....	82
4.3.1.- Disposición en agua.....	82
4.3.2.- Disposición en la tierra.....	82
CAPITULO 5.- PROPUESTA DEL METODO DE TRATAMIENTO.....	85
5.1.- Caracterización del agua residual.....	86
5.2.- Disposición final o descarga.....	86
5.2.1.- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-022-Ecol/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de matanza de animales y empacado de cárnicos.....	86
1.- Objetivo.....	86
2.- Campo de aplicación.....	86
3.- Especificaciones.....	86
4.- Muestreo.....	87
5.- Métodos de prueba.....	88
6.- Vigilancia.....	88
7.- Sanciones.....	88
8.- Concordancia con Normas Internacionales.....	88
9.- Vigencia.....	88
5.2.2.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.....	88
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	89
2.- Especificaciones.....	89
3.- Métodos de prueba.....	94
4.- Verificación.....	94
5.- Grado de concordancia con Normas y recomendaciones Internacionales.....	94
6.- Observancia de esta Norma.....	94
Transitorio.....	94
5.2.3.- 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.....	95
1.- Objetivo.....	95

2.- Campo de aplicación.....	95
3.- Especificaciones.....	96
4.- Muestreo.....	97
5.- Métodos de prueba.....	98
6.- Vigilancia.....	98
7.- Sanciones.....	98
8.- Concordancia con Normas Internacionales.....	98
9.- Vigencia.....	98
5.2.4.- Norma Oficial Mexicana NOM-002-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.....	98
1.- Objetivo y campo de aplicación.....	99
2.- Especificaciones.....	99
3.- Métodos de prueba.....	102
4.- Grado de concordancia con Normas Internacionales.....	102
5.- Observancia de esta Norma.....	102
Transitorios.....	102
5.3.- Propuesta del tratamiento.....	103
5.3.1.- Objetivos de los tratamientos de aguas residuales.....	103
5.3.1.1.- Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover contaminantes.....	103
5.3.1.2.- Operaciones y procesos unitarios para el tratamiento y disposición de los lodos.....	103
5.3.2.- Tren del agua.....	104
5.3.2.1.- Cribado.....	104
5.3.2.2.- Sedimentador primario.....	107
5.3.2.3.- Diseño de la planta de lodos activos.....	110
5.3.2.4.- Sedimentador secundario.....	122
5.3.2.5.- Cloración.....	124
5.3.2.6.- Resumen de cálculos.....	126
5.3.2.7.- Cálculo de la pérdida de carga por fricción.....	129
5.3.3.- Tren de lodos.....	131
CONCLUSIONES.....	133
GLOSARIO DE TERMINOS.....	135
BIBLIOGRAFIA.....	140

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El agua como se encuentra en la naturaleza lleva consigo sustancias tanto disueltas como en suspensión que va adquiriendo a lo largo del recorrido de su ciclo natural. Así mismo se define a la contaminación del agua como: La presencia de elementos o sustancias extrañas, en partes del ciclo, no deseados, tales que pueden afectar a la salud o bienestar del hombre, o ser una posible amenaza de la naturaleza. Lo anterior comentado nos permite diferenciar dos tipos de contaminación:

1.- Contaminación natural:

Es el resultado del equilibrio dinámico de la tierra, actividad geofísica y ciclos naturales del agua.

2.- Contaminación antropogénica:

Es el resultado de las actividades y presencia del hombre. El producto de la contaminación antropogénica son las aguas residuales las cuales pueden ser originadas por:

a) Desechos humanos y animales.

Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre.

b) Desechos caseros.

Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso común en las labores domésticas. Los desechos de cocina contienen partículas de alimentos y grasas.

c) Corrientes pluviales.

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. Estos escurrimientos pluviales van al alcantarillado o drenajes que sirven para coleccionar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante de las aguas residuales. El volumen de las corrientes pluviales varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas.

d) Infiltraciones de aguas subterráneas.

El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para coleccionar las aguas residuales, va soterrado, y en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de infiltraciones. Los drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, sino que son siempre considerables. El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarilla que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas.

e) Desechos industriales.

Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas residuales de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas regiones se coleccionan los desechos industriales junto con los otros componentes de las aguas residuales de la población para su tratamiento y eliminación finales. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas residuales de la comunidad, o que dañan las alcantarillas y otras estructuras. Por esa

razón no pueden agregarse directamente a las aguas residuales, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado.

Por ser de gran interés este trabajo se orientará a las actividades agropecuarias, sobre todo al sector avícola, por ser de los más dinámicos. Este sector requiere especial atención ya que, si bien la generación de aguas residuales por la producción de huevo y engorda de animales se debe solo al lavado eventual de sus instalaciones, el problema principal reside en la matanza de aves ya que se llegan a producir hasta 12 litros de agua residual por animal sacrificado.

En México no existen Normas específicas para matanza de aves, por lo que la mayoría de los rastros de aves carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Así mismo las aguas residuales provenientes de los rastros de aves constituyen uno de los problemas más difíciles de solucionar para las autoridades responsables del medio ambiente, ya que este tipo de aguas de desecho, se caracterizan por tener altos contenidos de materia orgánica.

Para esquematizar este trabajo se considerará un rastro que tiene una matanza de 10,000 pollos al día, con un volumen de aguas residuales de 120 m³/día. Las aguas residuales tratadas se verterán en aguas y bienes nacionales.

CAPITULO 1

RASTROS TIPO INSPECCION FEDERAL

1.- RASTROS TIPO INSPECCION FEDERAL.

1.1.- Definición.

Rastro son las instalaciones en las que se sacrifican, procesan y/o almacenan con fines industriales, animales de las especies bovina, equina, ovina, caprina, porcina, aves o cualquier otra especie no acuática, destinada al consumo humano para el comercio en la República Mexicana o para su exportación. Existen 2 tipos de rastros, los municipales y los tipo inspección federal. Los rastros tipo inspección federal, son establecimientos que reúnen condiciones técnicas y sanitarias adecuadas para el sacrificio de animales para abasto de las especies bovina, porcina, equina y avícola, así como para el procesamiento, conservación y distribución de carnes y sus derivados. Estas unidades operan bajo la autorización y estricta supervisión de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR).

1.2.- Diseño y construcción de un rastro tipo inspección federal.

1.2.1.- Documentación y planos con que deberá contar un establecimiento tipo inspección federal.

- a) Copia del acta notarial constitutiva.
- b) Los siguientes planos arquitectónicos de la planta y por triplicado en escala 1 : 100
 - General.
 - Hidráulico.
 - Eléctrico.
 - Drenajes.
 - Cortes y fachadas.
 - Ubicación de equipo.
 - Flujo de operación.
- c) Especificaciones de construcción.
- d) Tipo de refrigeración empleada.
- e) Resultados mensuales de los análisis bacteriológicos y resultados semestrales de los análisis fisicoquímicos del agua empleada en la planta.
- f) Relación de equipo.
- g) Relación de los productos químicos que se utilizarán en la planta, indicando el uso de los mismos, aprobados por la Secretaría o la Secretaría de Salud.
- h) Programa de control de insectos y roedores o cualquier otra fauna nociva.
- i) Programa de limpieza y desinfección.
- j) Programa de control de calidad.
- k) Composición química del material de empaque autorizado y certificado por la Secretaría de Salud, para utilizarse en contacto directo con alimentos.
- l) Leyendas de las etiquetas utilizadas en el material de empaque.

1.2.2.- Localización de los establecimientos.

La ubicación del establecimiento queda supeditada a las posibilidades del cuerpo receptor de sus desagües, lo que será dictaminado en cada caso por las autoridades competentes. Al proyectar una planta se considerará el espacio que pueda permitir su futura expansión sin afectar otras áreas. Las plantas de sacrificio, procesamiento y almacenamiento de la carne deberán localizarse de acuerdo con lo establecido por las autoridades competentes. Los lugares tales como almacén de productos no comestibles y las trampas o depósitos para recuperación de grasas, estarán alejadas de la planta.

1.2.3.- Abastecimiento de agua, drenaje y sistema de disposición de desechos y aguas residuales.

1.2.3.1.- Abastecimiento de agua potable.

El agua de los sistemas públicos será aceptable para el abastecimiento de las plantas, requiriéndose dispositivos de cloración automática con sistema de alarma u otro método autorizado por la Secretaría, para asegurar un suministro continuo de agua potable. El establecimiento contará con líneas de agua caliente, fría y de vapor. El agua deberá distribuirse por toda la planta en cantidad suficiente, con una presión mínima de 3.6 kg/cm².

1.2.3.2.- Suministro de agua no potable.

Sólo se autoriza el uso de agua no potable para la protección contra incendios y el sistema de los condensadores de refrigeración; esta línea deberá estar separada de la línea de agua potable. Se evitarán las líneas de agua no potable dentro de las áreas de productos comestibles.

1.2.3.3.- Interruptores de vacío.

En las líneas de vapor y de agua se instalarán interruptores de vacío.

1.2.3.4.- Drenaje de la planta.

Todos los pisos de las áreas en que se lleven a cabo operaciones con agua estarán bien drenados. Debe proporcionarse una entrada para el drenaje por cada 45 m². La inclinación será de 2 cm por metro lineal hacia las entradas del drenaje. En los sitios en donde se emplee una cantidad limitada de agua, la inclinación puede ser de 1 cm por metro lineal. Los pisos deberán inclinarse uniformemente hacia los drenajes sin tener lugares más bajos donde se depositen líquidos.

1.2.3.5.- Requisitos especiales para los drenajes.

Debajo de los rieles donde se preparen los animales para abasto, existirán cunetas u hondonadas con bordes para el drenaje del piso que serán de 60 cm de ancho y de una pieza, con una inclinación del piso de 1 cm por metro lineal por lo menos. Los drenajes deberán fluir en dirección contraria al movimiento de la línea de procesamiento.

1.2.3.6.- Líneas de drenaje de los sanitarios.

Las líneas de drenaje de los excusados y de los mingitorios, no deberán conectarse con otras líneas de drenaje dentro de la planta, ni descargar en trampas de recuperación de grasas.

1.2.3.7.- Dimensiones y construcción de las líneas de drenaje.

Los drenajes tendrán un diámetro de 10 cm como mínimo. Las líneas del drenaje dentro de la planta estarán construidas de hierro colado, pvc u otro material autorizado por la Secretaría.

1.2.3.8.- Trampas y respiraderos de las líneas de drenaje.

Cada dren del piso, incluyendo los utilizados para la sangre, contarán con una trampa de obturador profundo en forma de P, de U o de S. Las líneas de drenaje estarán ventiladas apropiadamente, comunicadas con el exterior y equipadas con mamparas de tela de alambre efectivas contra los roedores.

1.2.3.9.- Líneas troncales.

Las líneas troncales en las que desemboquen varias líneas del drenaje, deberán ser proporcionalmente más amplias para disponer eficientemente de las descargas que reciben.

1.2.3.10.- Instalación para la disposición de los desechos de la planta.

Todo establecimiento contará con algún sistema o medio para el desecho de productos decomisados o no aptos para consumo humano, conforme a los requisitos establecidos para tal efecto por las autoridades competentes.

1.2.3.11.- Sistema de desechos de la planta.

Para evitar la contaminación, todos los desechos fecales y aguas residuales de los establecimientos deberán sujetarse a lo que establezcan las disposiciones y autoridades competentes.

1.2.3.12.- Sistemas para la recuperación de grasas.

Las cisternas para la recuperación de grasas estarán lejos de las áreas donde se encuentren productos comestibles y de los lugares en donde se carguen o descarguen dichos productos; las cuales contarán con fondo inclinado para facilitar su aseo. La zona exterior que rodea la cisterna estará pavimentada con material impermeable y dotada de drenaje propio; además contará con facilidades de trabajo como tanque de desfogue para trasladar las grasas hasta el punto de disposición de ellas.

1.2.3.13.- Disposición de plumas, sangre y material similar de desecho.

Los materiales de desecho como plumas, sangre y estiércol, se eliminarán mediante un sistema aprobado por las autoridades correspondientes, que contemplen tratamientos que garanticen su inocuidad al ambiente. Los planos o especificaciones indicarán cómo se llevará a cabo tal procedimiento.

1.2.4.- Diseño y construcción.

1.2.4.1.- Pisos.

Estarán contruidos con material impermeable, antiderrapante y resistente a la acción de los ácidos grasos.

1.2.4.2.- Angulos de encuentro.

Los ángulos de encuentro de los pisos con paredes, paredes con paredes y paredes con techos de todas las naves serán redondeados.

1.2.4.3.- Muros interiores.

Deberán ser lisos, de fácil lavado, resistentes a los ácidos grasos, de colores claros, contruidos con materiales impermeables como cemento endurecido y pulido u otros materiales no tóxicos ni absorbentes, autorizados por la Secretaría. Tendrán protecciones contra los daños ocasionados por los carros conducidos a mano.

1.2.4.4.- Bordos o soleras de las ventanas.

En las áreas de producción, las soleras estarán a 2 m sobre el nivel del piso como mínimo, con una inclinación de 45° con respecto a la pared para facilitar su limpieza.

1.2.4.5.- Puertas y pasillos.

Los pasillos de comunicación y puertas serán lo suficientemente anchos para evitar el contacto entre el producto y los muros. Es necesario contar con pasillos de 1.50 m de ancho.

Las puertas por las que pasen rieles, tendrán un ancho de 1.40 m, las que deberán ser lisas, de acero inoxidable u otro material autorizado por la Secretaría. Las puertas de doble acción, tendrán un tablero o mirilla de vidrio reforzado o de plástico transparente a una altura de 1.60 m del piso.

1.2.4.6.- Control de insectos y roedores.

Todas las ventanas, puertas y aberturas que comuniquen al exterior, estarán equipadas con mamparas de tela de alambre inoxidable o, en su defecto, con cortinas de aire contra insectos. Se aplicarán métodos efectivos para eliminar insectos y roedores del establecimiento.

1.2.4.7.- Escaleras.

En áreas donde se manejen productos comestibles, las escaleras estarán revestidas de materiales impermeables con escalones sólidos, antideslizantes y contarán con bordes laterales de material similar.

1.2.4.8.- Accesos, estacionamientos, áreas de carga y descarga, así como el área de lavado y desinfección de camiones.

Estas áreas serán de concreto o pavimentadas y con un drenaje apropiado.

Se contará con instalaciones cerradas totalmente para carga y descarga, de manera que estas operaciones se encuentren perfectamente protegidas del ambiente exterior.

Se proporcionará un área de 12 m de largo por 4 m de ancho, con paredes de 3 m de alto y pisos impermeables para el lavado de los camiones.

1.2.4.9.- Cuarto de lavado de equipo.

El establecimiento deberá contar con un área cerrada con sistema de extracción de vapor para el lavado de canastillas y equipo.

1.2.5.- Iluminación, ventilación y refrigeración.

1.2.5.1.- Iluminación.

La intensidad de la iluminación artificial en las salas de trabajo, será de 50 candelas como mínimo, y en los lugares de inspección, no menos de 100 candelas.

1.2.5.2.- Area de inspección ante-mortem.

En los corrales o las áreas en que se efectúe la inspección ante-mortem, la iluminación será de 30 candelas en corrales, debiendo tomar la lectura de la iluminación a 90 cm del suelo.

1.2.5.3.- Corral de animales sospechosos.

La iluminación será de 30 candelas. Si los dispositivos de sujetamiento se encuentran separados, también se requerirán 30 candelas sobre ellos y la lectura se tomará a 90 cm del suelo.

1.2.5.4.- Area de inspección post-mortem.

1.2.5.4.1.- Inspección en riel.

Son necesarias 100 candelas.

1.2.5.4.2.- Carro para la inspección de vísceras.

Se requerirán 100 candelas en el fondo de la charola inferior.

1.2.5.4.3.- Mesa de cubierta móvil para la inspección de vísceras.

Son necesarias 100 candelas en la parte superior de la mesa.

1.2.5.4.4.- Refrigeradores para canales.

Se requerirán 20 candelas al nivel de los brazos de las canales.

1.2.5.4.5.- Refrigeración para vísceras.

Se contará con 30 candelas en el nivel más bajo del almacenamiento del producto y 100 candelas en el área de reinspección.

1.2.5.4.6.- Salas de proceso.

Las salas donde se sacrifiquen, evisceren y procesen los animales para abasto, deberán tener 50 candelas de iluminación como mínimo, y en los lugares de inspección será de 100 candelas.

1.2.5.5.- Dispositivos protectores.

Las lámparas en donde se maneje de manera expuesta la carne, estarán provistas de una defensa protectora de material no estrellable, que evite la contaminación del producto en caso de cualquier ruptura.

1.2.5.6.- Ventilación.

En las áreas de trabajo y descanso, se proporcionará una ventilación mecánica que produzca una renovación del aire no inferior a tres veces por hora el volumen del local. Los lugares que dependan completamente de medios artificiales de ventilación, tendrán capacidad para producir seis cambios completos de aire por hora como mínimo. Las entradas de aire estarán provistas de filtros, para evitar la entrada de insectos, polvo y otros contaminantes.

1.2.5.7.- Cámaras de refrigeración y otras áreas frías.

La superficie exterior del material térmico aislante que se utilice en los refrigeradores, cumplirá con lo especificado en la Norma para muros interiores. Cuando se utilicen estanterías, estas serán de material inoxidable y de fácil lavado. El riel para pollos estará a una altura de 85 a 90 cm de la superficie de operaciones y a una distancia de 18 a 25 cm de la línea vertical del gancho sujetador.

La temperatura mínima de refrigeración será de 0°C y la máxima de 4°C. Las cámaras frigoríficas deberán contar con termómetros de máxima y mínima en lugares visibles, así como con un sistema de alarma que se accione desde el interior para seguridad del personal.

Podrá utilizarse cualquier sistema de refrigeración o congelación, siempre que su aplicación no altere las características organolépticas de los productos. Cuando el sistema de enfriamiento o congelación sea por medio de circulación de líquidos y sus dispositivos se encuentren ubicados en la parte superior de las paredes, próximos al techo, deberán protegerse para evitar el goteo del agua de condensación hacia el suelo o sobre los productos almacenados. Los difusores de piso se colocarán dentro de áreas con bordes y estarán drenadas en forma separada, a menos que se sitúen junto a los drenes del piso.

En las cámaras frigoríficas no se permite el almacenaje de ningún producto sobre el piso. En áreas de deshuese la temperatura máxima será de 10°C y se constatará mediante un termómetro o un termógrafo ubicado en esta área.

Para áreas de conservación de congelación, la temperatura óptima es a partir de menos 18°C y se constatará mediante un termómetro o termógrafo ubicado en esta área. En áreas de procesamiento de productos cárnicos, la temperatura máxima será de 15°C y se constatará por medio de un termómetro o termógrafo ubicado en esta área.

1.2.6.- Equipo e instalaciones de las áreas de elaboración de productos.

Las paredes, techos y puertas serán de fácil acceso debiendo estar libres de huecos, depresiones y grietas.

El equipo que tenga contacto directo con el producto será de material inoxidable, liso, libre de agujeros y hendiduras, así como desmontable para su limpieza e inspección.

1.2.6.1.- Materiales aceptables.

A excepción de las planchas para cortar la carne, el equipo será de material resistente a la corrosión, como el acero inoxidable y el PVC. El metal galvanizado es indeseable, porque no resiste la acción corrosiva de los productos alimenticios y los compuestos detergentes.

Si se utilizan plásticos y resinas, estos deberán ser resistentes al calor y a los abrasivos, a prueba de estrellamientos, no tóxicos y sin componentes que puedan contaminar la carne.

1.2.6.2.- Baleros.

Todos los baleros deberán estar protegidos para evitar que la grasa lubricante contamine los productos.

1.2.6.3.- Uniones soldadas.

Dentro de la zona de producción, todas las partes soldadas deberán ser continuas, lisas, parejas y a nivel con las superficies adyacentes.

1.2.6.4.- Equipo de desagüe propio.

El equipo deberá instalarse de manera que el desagüe se descargue directamente al sistema de drenaje.

1.2.6.5.- Conductos.

Serán de fácil aseo, cilíndricos, con bordes y uniones bien redondeadas.

1.2.6.6.- Separación del equipo de muros y pisos.

Para su fácil limpieza e inspección, todo el equipo se instalará a 30 cm de los muros y pisos o estará unido herméticamente a estos.

1.2.6.7.- Equipo para el control del agua de desecho.

El equipo para controlar el agua de desecho, deberá instalarse de modo que esta pueda llevarse a través de una conexión ininterrumpida hasta la zona de tratamiento. Las válvulas en las líneas de drenaje serán fácilmente lavables.

1.2.6.8.- Escapes de aire o chimeneas de cubiertas o tapas.

Los escapes de los depósitos cubiertos de cocinado o sobre los tanques cocedores, se construirán de manera que impidan el retorno de los vapores a los depósitos y cumplan con las Normas establecidas por las autoridades correspondientes.

1.2.6.9.- Altura de las mesas de trabajo.

Deberán estar a una altura mínima de 85 cm sobre el piso. Las mesas más elevadas contarán con plataformas antideslizantes de plástico o metal, con el fin de que los empleados trabajen sobre ellas.

Las mesas que deban tener agua en su superficie estarán provistas de bordes de 2.5 cm como mínimo.

1.2.6.10.- Mesas o planchas para corte y deshuese.

Las planchas o cubiertas empleadas en las mesas de corte o deshuese, serán de una pieza de plástico, acero inoxidable o cualquier otro material, que sea impermeable e inalterable por los ácidos grasos y de dimensiones cortas para facilitar su limpieza. Estarán apoyadas sobre pilares o pies metálicos cilíndricos protegidos contra el óxido.

1.2.6.11.- Cuarto para el lavado del equipo.

Se proporcionará un cuarto separado para el aseo de carros de mano, utensilios, canastillas, charolas y demás equipo, el cual contará con luz y ventilación adecuadas, piso impermeable bien drenado, muros y techos impermeables.

1.2.7.- Facilidades para el lavado de manos, esterilizadores, bebederos, mangueras y áreas de sanitización.

1.2.7.1.- Lavabos.

Cada área de procesamiento o zona de trabajo, contará por lo menos con un lavabo por cada 10 personas. Los lavabos deberán contar con agua caliente y fría a través de una llave de combinación que las mezcle, la cuál estará colocada aproximadamente a 30 cm sobre el borde superior del lavabo, debiendo ser accionada por un pedal o por la presión de la rodilla o cualquier otro sistema en el cual no se usen las manos. La tarja será lo suficientemente grande para evitar que salpique el agua, debiéndose proveer surtidores de jabón líquido, toallas desechables y un receptáculo con tapa para las toallas usadas. Los lavabos se conectarán directamente al sistema de drenaje.

1.2.7.2.- Esterilizadores.

Serán de acero inoxidable y de tamaño suficiente para la inmersión completa en agua a 82.5°C de cuchillos, sierras u otros implementos y estarán localizados junto a los lavabos de las áreas de sacrificio y deshuese, así como en los sitios de inspección. El agua de los esterilizadores debe tener circulación continua.

1.2.7.3.- Bebederos.

Deberán proporcionarse en las grandes salas o naves de trabajo y en los vestidores.

1.2.7.4.- Conexiones para las mangueras.

Las mangueras destinadas para la limpieza contarán con conexiones adecuadas y convenientemente localizadas.

1.2.7.5.- Áreas de sanitización en puntos de entrada a sacrificio y deshuese.

Estas áreas tendrán lavamanos con funcionamiento de pie o rodilla, jabonera, toallero, recipiente para toallas desechables, lavabotas y vado sanitario.

1.2.8.- Procesado de productos comestibles.

1.2.8.1.- Dimensiones.

Las áreas donde se prepare y procese la carne, serán lo suficientemente amplias de acuerdo al equipo instalado, contando con espacio para los operarios y con pasillos para el tránsito de los carros de transporte de productos.

1.2.8.2.- Flujo de las operaciones.

El producto deberá fluir en forma funcional, evitando congestionamientos o retrocesos innecesarios en el procesamiento del mismo.

1.2.8.3.- Áreas de corte y deshuese.

Para un cuidado apropiado del producto y para facilitar el control de microorganismos, las operaciones de deshuese y empacado de carne deberán efectuarse en áreas con una temperatura no mayor a los 10°C.

1.2.8.4.- Producto congelado.

El producto etiquetado como "congelado", deberá ubicarse en congeladores lo suficientemente amplios para su almacenamiento, sobre plataformas de plástico o tubos galvanizados para evitar la contaminación.

1.2.8.5.- Cuarto de incubación para productos enlatados esterilizados.

Las plantas con operaciones de enlatado, contarán con un cuarto de incubación para las muestras de productos cármicos enlatados y procesados. Por lo menos el 1 % del total del producto enlatado y procesado de cada lote de cocción de las retortas, se retendrá por 10 días mínimo a 37°C. El cuarto contará con un graficador de temperatura, instalado en el muro exterior.

1.2.8.6.- Almacén de materiales de empaque.

Cada planta deberá contar con un local totalmente cerrado, seco y lo suficientemente amplio para almacenar artículos como cajas, papel y latas, los que se colocarán en estantes a 30 cm del piso.

1.2.9.- Instalaciones sanitarias para los empleados.

1.2.9.1.- Vestidores.

Para los obreros de cada sexo, se requiere un local apropiado para vestidores con capacidad de 1 m² por persona, cuyas instalaciones deberán contar con los siguientes requisitos:

- Se ubicarán en lugares de fácil acceso, separados de las áreas de sacrificio y/o elaboración.
- Los accesos estarán pavimentados.
- Contarán con pisos impermeables con un declive del 2 % hacia el drenaje.
- Las paredes tendrán 2.50 m de altura mínima a partir del piso y serán de colores claros. Las uniones entre paredes, piso y techo serán redondeadas.
- Las aberturas estarán protegidas con telas contra insectos.
- Se proporcionarán bancos suficientes de 30 cm de ancho, para que se puedan sentar simultáneamente hasta el 20 % de los empleados del establecimiento.
- Estarán separados de los cuartos de excusados.

1.2.9.2.- Casilleros o guardarropa.

Cada empleado contará con un casillero o canastilla que permita observar el contenido.

1.2.9.3.- Regaderas.

Se proporcionará una regadera por cada 15 operarios, con agua caliente y fría.

El área de regaderas se comunicará directamente con los vestidores, debiendo contar con los mismos requisitos de construcción que éstos.

Los gabinetes con regaderas tendrán un borde de material impermeable de aproximadamente 20 cm de altura y el piso deberá presentar una inclinación del 2 % hacia el drenaje.

1.2.9.4.- Excusados.

No existirá paso directo de una sala o nave de trabajo al cuarto de excusados, los cuales estarán separados de los vestidores mediante muros o divisiones completas, con puertas sólidas y automáticas que cubran completamente las comunicaciones.

El número de excusados necesarios, se determinará de acuerdo a la tabla 1.1.

Tabla 1.1

No. de personas del mismo sexo.	Excusados requeridos.
1 a 15	1
16 a 35	2
36 a 55	3
56 a 80	4
Por cada 30 personas.	1

Los mingitorios podrán sustituir hasta la tercera parte del número determinado de excusados.

Deberán proporcionarse mingitorios en los cuartos de excusados para hombres; si son de tipo adosado a la pared, deben contar con canal de drenaje en el piso debajo de ellos.

1.2.9.5.- Lavabos.

Los lavamanos del área de excusados serán de tipo individual, con un tamaño mínimo de 40 x 40 x 20 cm, debiendo instalar un lavabo por cada 30 personas, los cuales estarán provistos de agua fría y caliente con mezcladores. El accionamiento de las llaves deberá efectuarse con el pie o con la rodilla. Deberá proveerse de cepillos para las uñas, jabón líquido y toallas desechables, o en su defecto, equipos de aire caliente. En ningún caso, los drenajes de los lavabos estarán conectados con los de las áreas de producción y/o sacrificio.

1.2.9.6.- Ventilación de los servicios sanitarios.

Cuando los excusados y ventiladores carezcan de luz natural y ventilación, deberán proveerse de un ventilador extractor de aire y de un conducto que comunique al exterior.

1.2.9.7.- Comedores.

Se proporcionarán instalaciones adecuadas para que los obreros consuman sus alimentos y contar con recipientes de materiales de fácil lavado y desinfección para la basura y desperdicios alimenticios.

1.2.9.8.- Antecámaras de sanitización en las áreas de producción.

A la salida de los servicios sanitarios, a la entrada de las áreas donde se manipulen y/o elaboren productos comestibles, así como en aquellos lugares por donde obligatoriamente pase el personal, deberán instalarse antecámaras de sanitización con los siguientes componentes:

Lavabotas; lavamanos con llaves mezcladoras accionadas mediante el pie o la rodilla; jaboneras; toallas desechables y un pediluvio con 3 cm mínimo de profundidad, que contenga una solución antiséptica con renovación permanente.

1.2.9.9.- Area de productos no comestibles.

Las instalaciones sanitarias de áreas de productos no comestibles, estarán independientes de cualquier otra área que elabore productos comestibles, de la bodega de cueros, del área de desembarco de animales y/o lugares semejantes.

1.2.9.10.- Lavandería.

El establecimiento deberá contar con un área cerrada y con equipo apropiado para el lavado y secado de ropa de trabajo del personal. La ropa que requiera de un equipo especializado de lavado, tal como la utilizada en las cámaras de congelación, podrá ser lavada y secada en lavanderías que cuenten con dicho equipo, siempre y cuando exista un convenio previo entre las empresas, el cual será autorizado por la Secretaría y en el que se indique el manejo que se proporcionará a la ropa.

1.2.10.- Oficina para el médico veterinario oficial o aprobado.

Deberá destinarse una oficina independiente para el médico veterinario oficial o aprobado, de por lo menos 8 m² para guardar enseres para la inspección, un escritorio, sillas, un casillero de metal para cada inspector auxiliar, un gabinete metálico con cerradura para guardar documentos y otros artículos, un baño, regadera y dispositivos para lavarse.

La entrada será independiente de cualquier otra oficina de la empresa o de algún cuarto de descanso para empleados u obreros. Se requiere un mínimo de iluminación de 40 candelas en el cuarto de casilleros, baños y oficinas, excepto en la superficie del escritorio que debe ser mínimo de 50 candelas. Deberá proporcionarse ventilación y temperatura adecuadas, así como un servicio eficiente de limpieza y mantenimiento.

1.2.11.- Código de colores para tuberías.

Para la identificación de las tuberías deberán pintarse franjas o anillos de 3 cm de ancho.

En las tuberías del exterior de los edificios se pintarán anillos cada 2 m, y en las del interior deberán pintarse cada metro.

Tuberías que conducen gas y petróleo crudo o aceite combustible.

Amarillo ocre. Línea de gas o petróleo crudo (aceite combustible).

Tubería del sistema de aspersión.

Rojo. Línea de aspersión seca.

Rojo, franja azul claro. Línea de aspersión húmeda.

Tubería de aire.

Azul claro. Línea de aire comprimido.

Azul claro, franja blanca. Línea de vacío.

Tuberías de agua.

Verde oscuro. Agua tratada con sustancias químicas.

Verde oscuro, franja amarilla.	Agua caliente.
Verde oscuro, franja azul.	Agua potable.
Verde claro.	Agua de pozo.
Verde claro, franja blanca.	Agua del condensador al desagüe.
Verde claro, franja aluminio.	Agua de la ciudad.
Verde claro, franja negra.	Agua del condensador al rebombeo.
Verde claro, franja naranja.	Agua de pozo cegado o condensado.
Tuberías de vapor.	
Gris plateado.	Abastecimiento vapor 448 lbs.
Gris plateado, franja negra.	Abastecimiento vapor 125 lbs.
Gris plateado, franja roja.	Abastecimiento vapor 45 lbs.
Gris plateado, franja verde.	Abastecimiento vapor menos de 45 lbs.
Gris plateado, franja amarilla.	Vapor condensable o de retorno.
Tuberías de refrigeración.	
Blanco.	Abastecimiento salmuera.
Blanco, franja roja.	Salmuera de retorno.
Azul oscuro.	Abastecimiento de amoníaco.
Azul oscuro, franja naranja.	Amoníaco de retorno 2 lbs.
Azul oscuro, franja amarilla.	Amoníaco de retorno 18 lbs.
Azul oscuro, franja blanca.	Amoníaco líquido.
Tuberías diversas.	
Gris, franja verde.	Líneas colaterales o de conexión.
Gris, franja roja.	Agua del tinaco.
Gris, franja amarilla.	Líneas de sangre.
Gris.	Líneas de encurtido.
Gris, franja negra.	Líneas de manteca.
Morado.	Líneas de cebo.
Morado, franja amarilla.	Líneas de grasa (lubricantes).

Morado, franja aluminio.	Líneas de manteca refinada.
Morado, franja azul claro.	Líneas a la cisterna de desagüe o de recuperación de grasas.
Negro.	Líneas de alcantarillas.
Negro, franja blanca.	Líneas de desagüe del techo.
Negro asfalto.	Cocedores.
Beige, rayas amarillas.	Máquinas en el cuarto respectivo.

Tuberías de instalación eléctrica.

Las tuberías de la instalación eléctrica serán del color de la pared.

1.2.12.- Instalaciones requeridas para el sacrificio de aves.

1.2.12.1.- Cobertizos, áreas de maniobras de camiones y muelles de carga para aves.

Los cobertizos tendrán techos impermeables, pisos pavimentados o de concreto y espacio para un flujo continuo ordenado que facilite la inspección ante-mortem, deberá contar con ventiladores para dispersar el calor. Las áreas de estacionamiento para los camiones y desembarcaderos, estarán pavimentadas con pendientes y sistemas de drenaje, para evitar encharcamientos y facilitar la limpieza.

1.2.12.2.- Area de desembarque, de matanza y de desplume.

Para impedir que las aves, plumas y sustancias indeseables pasen a otras partes del establecimiento, la sala de recepción de animales vivos estará separada del resto del edificio por paredes, con puertas impermeables de cierre automático y con acceso únicamente para los sistemas de transportación de las aves. El área de sacrificio estará separada del resto del establecimiento, por medio de paredes impermeables y puertas de cierre automático, con acceso únicamente para los sistemas de transportación de aves. Se proporcionará un área reducida con instalaciones para captar la sangre. El desplume y escaldado se realizará en áreas separadas de aquellas donde se efectúen operaciones como el eviscerado, para lo que se utilizarán paredes impermeables y puertas de cierre automático, con acceso únicamente hacia los sistemas de transportación de aves. Los transportadores serán de acero inoxidable u otro material similar, que estarán diseñados para presentar a las aves sacrificadas y sus vísceras, de manera que se permita una inspección eficiente.

Se colocará un canal de captación por debajo de la línea de transportación, que se localizará a partir del área en que las aves son abiertas para su inspección, hasta el punto donde se retiren totalmente las vísceras de los canales. El canal de captación deberá lavarse continuamente, interna y externamente, por medio de un aspersor de agua con suficiente presión.

1.2.12.3.- Instalaciones para el procesamiento de vísceras.

El procesamiento de vísceras se mantendrá al mismo ritmo que el volumen de sacrificio. Se efectuará una adecuada remoción, inspección y lavado de las vísceras antes de su envío a las salas de refrigeración. Los materiales utilizados en el área de eviscerado no deberán ser corrosivos ni tóxicos. La ubicación y construcción de estas instalaciones, deberán brindar protección adecuada contra la contaminación por otras operaciones en el establecimiento.

1.2.12.4.- Instalaciones para manipular desechos no comestibles.

Las instalaciones para manipular los desechos no comestibles serán lo suficientemente grandes y estarán ubicadas fuera de las áreas de proceso, para permitir una remoción limpia, ordenada y sin que se apilen o entren en contacto con los productos comestibles.

1.2.12.5.- Riel para pollos.

El riel para pollos estará a una altura de 85 a 90 cm de la superficie de operaciones y a una distancia de 18 a 25 cm de la línea vertical del gancho sujetador.

1.2.12.6.- Riel para pavos.

El riel para pavos estará a una altura de 85 a 90 cm de la superficie de operaciones a 35 o 40 cm de distancia de la línea vertical del gancho sujetador.

1.2.12.7.- Canal de captación.

El canal de captación en el piso se ubicará por debajo del riel y a una distancia de 15 cm del operador, para evitar que este pueda introducir los pies accidentalmente.

Los canales de captación estarán delimitados y serán lo suficientemente anchos para coleccionar todos los materiales sólidos o líquidos que se desprendan de las canales.

1.2.12.8.- Protecciones.

Para evitar salpicaduras, se instalarán hojas de material inoxidable a lo largo de la línea de eviscerado.

1.2.12.9.- Tolvas.

Las paredes laterales de las tolvas tendrán suficiente inclinación, con el fin de que el material depositado en ellas se deslice inmediatamente hasta el lugar en donde será retirado mecánicamente.

CAPITULO 2

GENERACION DE AGUAS RESIDUALES

2.- GENERACION DE AGUAS RESIDUALES.

La generación de aguas residuales es parte fundamental del estudio, ya que nos permite realizar un análisis comparativo entre los resultados de las pruebas de campo y laboratorio de las muestras tomadas de los efluentes de los rastros avícolas y los parámetros autorizados por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. Para lo cual es muy importante llevar a cabo una adecuada medición de caudales, muestreo y análisis de efluentes.

2.1.- Medición de caudales.

Existen algunos métodos simples para la medición de caudales de una manera fácil, aunque no muy precisa. La necesidad de conocer el gasto en alcantarillados con descarga libre, con el mínimo de equipo o construcción de estructuras de medición, llevó al uso de métodos aproximados como son el de recipiente-cronómetro y el conocido como California. Además pueden ser aplicados por personal de campo, con una capacitación previa muy sencilla. La precisión de estos métodos no es muy buena, lo que los hace que deban ser temporales y que se utilicen sólo para conocer de manera aproximada, los gastos de descarga. Posteriormente, si se requiere, deberá instalarse algún otro sistema de medición permanente, para fines de monitoreo continuo.

2.1.1.- Recipiente y cronómetro.

Este método es muy simple, se mide el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido, así tendremos una medida directa del gasto.

$$Q = \text{vol.} / t$$

donde:

vol. = volumen del recipiente (l)

t = tiempo de llenado (s)

Q = gasto (l/s)

Este método se aplica a alcantarillados o descargas con caída libre y gastos pequeños. El recipiente se calibra poniéndole una marca para un volumen conocido, se realizan las lecturas dejando llenar el recipiente hasta la marca, registrando el tiempo de llenado con un cronómetro, si el tiempo de llenado es menor de 10 segundos, la lectura se vuelve imprecisa.

2.1.2.- Método California.

En este método se utiliza un tubo, el cual debe trabajar parcialmente lleno (como canal), y estar en posición horizontal (pendiente cero), si el tubo no es horizontal, se puede agregar un tramo con una longitud de al menos seis diámetros de la tubería principal sin pendiente.

La fórmula desarrollada empíricamente para el método California, requiere dos datos: el diámetro de la tubería (d) y la distancia que existe entre la superficie del líquido y la clave del tubo (a), se mide donde inicia la descarga. Ver figura 2.1. Está basada en datos experimentales para tuberías que varían su diámetro entre 76 y 250 mm (3" a 10"), se tiene buena precisión en este rango. También ha sido utilizada con éxito en tuberías hasta de 914 mm (36"). La expresión es:

$$Q = 4,690 (1 - a/d)^{1.88} (d)^{2.48}$$

O bien:

$$Q = 8.69 d^{0.60} H^{1.88}$$

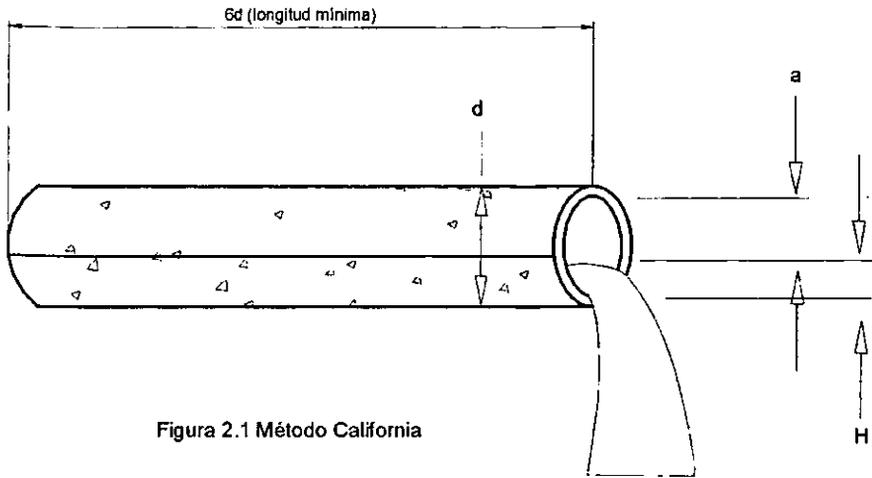


Figura 2.1 Método California

2.1.3.- Vertedores.

Un vertedor puede ser definido como cualquier obstrucción regular sobre la cual pase el flujo. Aunque los vertedores son dispositivos extremadamente simples, también son muy precisos en la medición de flujos en canales abiertos. Sin embargo, no deben ser utilizados en flujos que contengan sólidos sedimentables, porque los sólidos tienen la tendencia de sedimentarse atrás del vertedor. Así, su uso para medición de caudales de aguas residuales es generalmente limitado para medir flujos de efluentes que son bajos en sólidos sedimentables. Una excepción al comentario anterior, es el uso de vertedores proporcionales.

Existe una gran variedad de vertedores, en cuanto a su geometría, por ejemplo: rectangulares con y sin contracciones, triangulares, trapezoidales y proporcionales. Otra clasificación se refiere al grosor de la pared vertedora, existiendo vertedores de pared gruesa y vertedores de pared delgada. El flujo sobre vertederos representa una situación hidráulica compleja, sin embargo, existen ecuaciones relativamente simples que describen las relaciones entre carga y gasto.

2.1.3.1.- Vertedores rectangulares sin contracciones.

Los vertedores rectangulares sin contracciones, consisten en una cresta recta, horizontal sobre la cual fluye el líquido. Las dos variables de mayor importancia que afectan el perfil hidráulico del vertedor son: La carga sobre el vertedor (H) y la falta de ventilación por abajo de la vena líquida. La ecuación de Francis es la más popular para el cálculo de vertedores rectangulares sin contracciones y con descarga libre, su forma es:

$$Q = 1,838 LH^{1.5}$$

donde:

Q = Gasto, (l/s)

L = Longitud del vertedor, (m)

H = Carga sobre el vertedor, (m)

2.1.3.2.- Vertedores rectangulares con contracciones.

Para vertedores rectangulares con contracciones la ecuación de Francis cambia a:

$$Q = 1,838 (L-0.2H) H^{1.5}$$

donde:

Q = Gasto a través del vertedor, (l/s)

L = Longitud de la cresta, (m)

H = Carga sobre el vertedor, (m)

2.1.3.3.- Vertedores triangulares.

Los vertedores triangulares, son muy populares como medidores de flujo para gastos pequeños. Una de las variables de estos vertedores es su ángulo de abertura, el más común es de 90°. La relación carga-gasto para este tipo de vertedores es de la forma:

$$Q = KH^{2.5}$$

donde:

Q = Gasto

H = Carga sobre el vertedor

K = Constante del vertedor según el ángulo de abertura.

Debido a que el vertedor triangular no tiene longitud de cresta, la carga requerida para pequeños gastos es mayor que para otros vertedores, esto es una ventaja para la medición de descargas pequeñas, por esta razón, el vertedor triangular de pared delgada es el más preciso para medir descargas pequeñas hasta de 30 l/s, y tiene una precisión razonable para medir gastos hasta de 300 l/s.

2.1.3.4.- Vertedor proporcional.

Este vertedor toma su nombre de la característica de que el gasto (Q) es proporcional a la carga (h). La ventaja de este vertedor es que si aumenta el gasto y por tanto la carga sobre el vertedor, la velocidad permanece constante. Esto se logra por la variación en la forma geométrica del vertedor que hace cambiar constantemente el área de paso a través de él.

En la figura 2.2 se pueden observar las variables de las ecuaciones de cálculo para vertedores proporcionales.

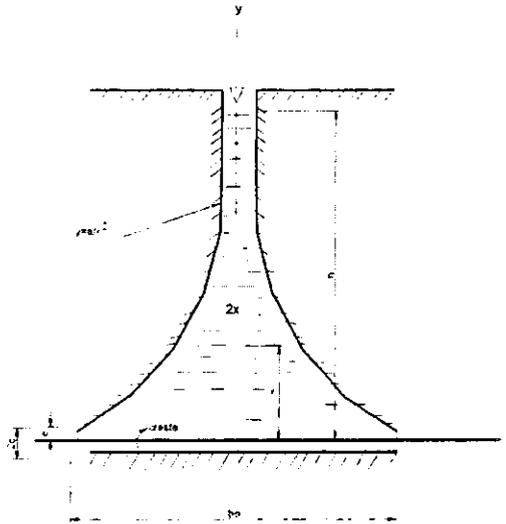


Figura 2 2 Vertedor proporcional.

$$x = (a/y)^{1/4}$$

donde:

x = valores en el eje x para construcción del vertedor (m)

a = variable que depende del ancho (b_0) y altura ($w = 2c$) de la base del vertedor

h = valores del eje y o carga sobre el vertedor (m) (a partir del eje x)

$$a = (b_0 c)/4$$

$$Q = \pi (2g)^{1/4} \mu a^{1/4} h$$

donde:

μ = coeficiente que considera el efecto de contracción de la lámina vertiente.

Tabla 2.1

Valores de μ	
h en m	μ
0.061	0.656
0.122	0.628
0.183	0.617
0.244	0.610
0.305	0.606
0.458	0.607
0.610	0.608
0.760	0.610
0.915	0.611

2.2.- Muestreo de aguas residuales.

Un buen procedimiento de muestreo es la clave para realizar los análisis de laboratorio. Una muestra debe tomarse de tal manera que muestre las condiciones representativas que imperan en ese momento.

Dos tipos de muestras pueden ser recolectadas dependiendo del propósito a que se designen: muestra simple y muestra compuesta.

2.2.1.- Muestra simple.

El muestreo simple representa las características instantáneas del agua residual. De ser posible este muestreo debe de realizarse cuando se presentan las condiciones máximas de gasto (gasto pico). La toma de muestras debe de hacerse en diferentes puntos, localizados estratégicamente a lo largo del proceso, de tal manera que sigan la secuencia del recorrido del agua. Los tiempos de toma de muestras deberán de ser tales, que tomen en cuenta el tiempo de retención del agua en cada instalación. La idea, a grandes rasgos, consiste en seguir las modificaciones de calidad que sufre una partícula de agua a lo largo de su recorrido.

2.2.2.- Muestra compuesta.

El muestreo compuesto generalmente representa las características del agua residual durante un período de tiempo (lo ideal es que este periodo de tiempo sea de un día). El procedimiento consiste en tomar muestras simples, por ejemplo cada hora durante las veinticuatro horas del día y posteriormente formar una muestra compuesta. El día de muestreo puede tomarse al azar o bien prefijarse según los días de la semana para un determinado mes.

Un volumen aproximadamente de 3 litros de muestra compuesta es suficiente para realizar los análisis de laboratorio.

2.2.3.- Procedimiento de muestreo.

Identificación de las muestras.

Se debe tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas, colgadas o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

- Identificación de la descarga.
- Número de muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Punto de muestreo.
- Temperatura de la muestra.
- Profundidad de muestreo.
- Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.
- Hoja de registro.

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo. Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar. Descripción cualitativa del olor y del color de las aguas residuales muestreadas.

Consideraciones.

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes. Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

2.2.4.- Muestreo en tomas.

Se recomienda, se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que pueden contener, deben de ser de la menor longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas en la descarga. Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable. Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

2.2.5.- Muestreo de descargas libres.

Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento:

El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes y efectuar el muestreo.

Toma directamente la muestra de su recipiente.

La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que este siga representativo.

2.2.6.- Muestreo en canales y colectores.

Se recomienda tomar muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado. Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad. El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua para muestrear antes de efectuar el muestreo. El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra. Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe de cuidar que esta siga siendo representativa.

Cierre de los recipientes de muestreo.

Las tapas o cierres de los recipientes deben de fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

2.2.7.- Preservación de las muestras.

Hay que preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277 K (4°C).

Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible, que no exceda 3 días.

2.3.- Parámetros a determinar.

Los parámetros a determinar son los siguientes:

- Temperatura.
- pH.
- DBO₅
- DQO.
- Sólidos.
- Sólidos sedimentables.
- Grasas y aceites.
- Materia flotante.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Número más probable de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *escherichia coli* presuntiva.

Descripción de las pruebas.

2.3.1.- NOM-AA-7-1980 “Aguas-Determinación de la temperatura”.

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial establece el método de prueba para determinar la temperatura en aguas.

2.- Fundamento.

La temperatura se mide con un instrumento apropiado, debidamente calibrado y debe efectuarse en el lugar de muestreo.

3.- Procedimiento.

Determinar la temperatura de la muestra extraída por inmersión directa del instrumento medidor de temperatura, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes.

4.- Interpretación de resultados.

Las lecturas se obtienen directamente de la escala del aparato medidor de temperatura, y se informan en grados Kelvin (K) con aproximación de 0.1 K.

5.- Informe.

Debe incluir los siguientes datos:

Identificación completa de la muestra.

Referencia a este método.

Las temperaturas obtenidas, en K.

Fecha del análisis.

2.3.2.- NOM-AA-8-1980. “Aguas-Determinación del pH”.

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial establece el método para determinar el valor del pH de las aguas residuales y naturales (superficiales y marinas).

2.- Fundamento.

El método se basa en que al poner en contacto dos soluciones de diferente concentración de iones hidrógeno, se establece una fuerza electromotriz. Si una de las soluciones tiene una concentración de iones conocida (pH), por medio de la fuerza electromotriz producida, se puede conocer el pH de la otra solución (solución problema), ya que esta fuerza electromotriz es proporcional al pH de la solución problema.

3.- Preparación de soluciones patrón para la calibración.

Los reactivos que se mencionan, deben ser de grado analítico, cuando se hable de agua, se entiende agua destilada.

3.1.- Las cantidades de productos indicados en la tabla No. 2.2 deben prepararse tan pronto como se necesiten disolviendo el material en agua a 298 K (25°C) y diluyendo la solución hasta 1,000 cm³. Se usa agua con una conductividad específica de 2 siemens a 298 K (25°C) y un pH de 5.6 a 6.0.

3.2.- Para la preparación de soluciones de bórax y fosfatos se hierva y enfría el agua, con el objeto de eliminarse el CO₂ y obtener un pH de 6.7 a 7.3. El fosfato ácido potásico y el fosfato monosódico se deben secar en una estufa a 383 K - 403 K (110°C - 130°C) durante 2h.

4.- Muestreo y almacenamiento.

Colectar las muestras de laboratorio en frascos de plástico y cierre hermético. Transportarlas con refrigeración, y analizarlas inmediatamente al llegar al laboratorio.

5.- Interferencias.

5.1.- Cuando la muestra de agua tenga una concentración alta de iones sodio (pH arriba de 10) se debe tener cuidado, ya que los electrodos ordinarios de vidrio pueden producir lecturas erróneas, por lo cual el aparato debe estar provisto de un diagrama de "corrección de sodio", o bien, se pueden utilizar electrodos especiales.

5.2.- Las grasas y aceites pueden interferir con la respuesta de los electrodos, por lo que se recomienda lavarlos con agua jabonosa y posteriormente con solución de ácido clorhídrico (1+9).

6.- Procedimiento.

6.1.- Ajustar y calibrar el aparato siguiendo el procedimiento indicado en el manual del mismo, retirar el recipiente con la solución patrón y lavar los electrodos con agua quitando el exceso con un material adecuado de acuerdo a las instrucciones del fabricante del aparato, evitando friccionar la superficie de los electrodos.

6.2.- Efectuar la determinación del pH en la muestra a la temperatura de 298 K (25°C) o a la que fue calibrado con las soluciones patrón, de acuerdo con las indicaciones del manual del aparato.

Nota 1.- Se pueden efectuar determinaciones a otras temperaturas siempre y cuando el medidor de pH esté equipado con los mecanismos compensadores adecuados.

7.- Precisión del método.

La diferencia máxima permisible en pruebas efectuadas por duplicado no debe exceder de 0.1.

8.- Observaciones.

Valor del pH.

Es la acidez o alcalinidad del agua expresada en términos de la relación entre la fuerza electromotriz (E) en volts., entre un electrodo de vidrio y uno de referencia cuando se sumergen en agua, y la fuerza electromotriz (Es) en volts., entre los mismos electrodos, cuando se sumergen en una solución reguladora de referencia. La relación se calcula como sigue:

$$\text{Valor del pH} = \text{pHs} + (E - E_s) \left(\frac{F}{2.3026 RK} \right)$$

En donde:

F = No de faradios.

R = La constante de los gases.

K = La temperatura absoluta (temperatura en grados Celsius + 273.16)

pHs = El valor del pH asignado de la solución reguladora de referencia.

Tabla 2.2 Preparación de soluciones patrón.

Solución patrón (Molalidad)	pH a 298 K (25°C)	Masa de reactivo (En gramos) necesario por 1,000 cm ³ solución acuosa a 298 K (25°C).
Patrones primarios:		
Tartrato ácido de potasio (KHC ₄ H ₄ O ₆) (Saturada a 298 K 25°C)	3.557	6.4 (a)
Citrato monopotásico 0.05 (KH ₂ C ₆ H ₅ O ₇)	3.776	11.41
Bifalato de potasio 0.05 (KHC ₈ H ₄ O ₄)	4.008	10.12
Fosfato de potasio monobásico 0.025 (KH ₂ PO ₄) + Fosfato de sodio dibásico 0.025 (Na ₂ HPO ₄)	6.865	3.388 (b) (c) + 3.533
Fosfato de potasio monobásico 0.008695 (KH ₂ PO ₄) + Fosfato de sodio dibásico 0.03043 (Na ₂ HPO ₄)	7.413	1.179 (b) (c) + 4.302
Tetraborato de sodio decahidratado 0.01 (Bórax) (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	9.180	3.80
Bicarbonato de sodio 0.025 (NaHCO ₃) + Carbonato de sodio 0.025 (Na ₂ CO ₃)	10.012	2.092 + 2.640
Patrones secundarios:		
Tetraoxalato dihidratado 0.05	1.679	12.61
Hidróxido de calcio (saturado a 298 K (25°C) (Ca(OH) ₂)	12.454	1.5 (a)

(a) Solubilidad aproximada.

(b) Secar los reactivos a 383 K - 403 K (110°C - 130°C) por 2 horas.

(c) Preparar con agua recién hervida, fría (libre de CO₂).

Tabla 2.3 Valores estandar de pH.

Temperatura K (°C)	Patrones primarios						Patrones secundarios		
	Tartrato (Saturado)	Citrato (0.05 m)	Bifalato (0.05 m)	Fosfato (1:1)	Fosfato (1:3.5)	Bórax (0.01 m)	Carbonato (0.025 m)	Tetraoxalato	Hidróxido de calcio saturado
273 (0)		3.863	4.003	6.984	7.534	9.464	10.317	1.666	13.423
278 (5)		3.840	3.999	6.951	7.500	9.395	10.245	1.668	13.207
283 (10)		3.820	3.998	6.923	7.472	9.332	10.179	1.670	13.003
288 (15)		3.802	3.999	6.900	7.448	9.276	10.118	1.672	12.810
293 (20)		3.788	4.002	6.881	7.429	9.225	10.062	1.675	12.627
298 (25)	3.557	3.776	4.008	6.865	7.413	9.180	10.012	1.679	12.454
303 (30)	3.552	3.766	4.015	6.853	7.400	9.139	9.966	1.683	12.289
308 (35)	3.549	3.759	4.024	6.844	7.389	9.102	9.925	1.688	12.133
311 (38)	3.548		4.030	6.840	7.384	9.081		1.691	12.043
313 (40)	3.547	3.753	4.035	6.838	7.380	9.068	9.889	1.694	11.984
318 (45)	3.547	3.750	4.047	6.834	7.373	9.038	9.856	1.700	11.841
323 (50)	3.549	3.749	4.060	6.833	7.367	9.011	9.828	1.707	11.705
328 (55)	3.554		4.075	6.834		8.985		1.715	11.574
333 (60)	3.560		4.091	6.836		8.962		1.723	11.449
343 (70)	3.580		4.126	6.845		8.921		1.743	
353 (80)	3.609		4.164	6.859		8.885		1.766	
363 (90)	3.650		4.205	6.877		8.850		1.792	
368 (95)	3.674		4.227	6.886		8.833		1.806	

m = Indica solución molar.

2.3.3.- NOM-AA-28-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno".

1.- Objetivo.

Esta Norma establece la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en agua por el método de incubación durante cinco días.

2.- Campo de aplicación.

Este método cubre la determinación en aguas naturales y residuales.

3.- Principio.

Este método se basa en la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en el agua y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de 5 días de incubación a 293 K (20°C).

4.- Reactivos.

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser reactivos grado analítico, a menos que se indique otra cosa. Cuando se hable de agua, se debe entender agua destilada.

4.1.- Solución amortiguadora de fosfato.

Disolver 8.5 g de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4), 33.4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$), 21.75 g de fosfato dibásico de potasio (K_2HPO_4) y 1.7 g de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 500 cm^3 de agua y aforar a 1 dm^3 , el pH de esta solución amortiguadora debe ser 7.2 sin ajuste alguno.

4.2.- Solución de sulfato de magnesio.

Disolver 22.5 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) en agua y diluir a 1 dm^3 .

4.3.- Solución de cloruro de calcio.

Disolver 27.5 g de cloruro de calcio anhidro (CaCl_2) en agua y diluir a 1 dm^3 .

4.4.- Solución de cloruro férrico.

Disolver 0.23 g de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) en agua y diluir a 1 dm^3 .

4.5.- Solución de ácido sulfúrico 0.1 N.

Diluir 4.9 g (aproximadamente 3 cm^3) de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado de densidad 1.841 g/cm^3 en agua y aforar a 1 dm^3 .

4.6.- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N.

Disolver 1.0 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua y aforar a 1 dm^3 .

5.- Muestreo.

5.1.- Las porciones para análisis se toman de la muestra obtenida de acuerdo a las Normas de muestreo.

5.2.- Conservación de las muestras.

Las muestras deben preservarse bajo refrigeración a 277 K (4°C) y analizarse antes de 24 horas.

6.- Procedimiento.

6.1.- Método directo.

6.1.1.- Este método se emplea en muestras cuyo DBO en 5 días no exceda de 7 mg/dm^3 que por consiguiente no es necesario diluir.

6.1.2.- Llevar la muestra a 293 K (20°C) aproximadamente y aerear durante 30 minutos por medios mecánicos o con un compresor con trampa adecuada para grasas, para aumentar el contenido de oxígeno disuelto hasta el punto de sobresaturación.

6.1.3.- Neutralizar las muestras a un pH aproximado de 7.0 con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 N o hidróxido de sodio 0.1 N (NaOH) llenar dos o más botellas para DBO, con la muestra, dejando que se derrame. Analizar una botella de oxígeno disuelto inmediatamente para determinar "oxígeno disuelto inicial" y las otras botellas se incuban por 5 días a 293 K (20°C) manteniendo siempre un sello hidráulico.

6.1.4.- Después de 5 días determinar la cantidad de oxígeno disuelto en las muestras incubadas.

6.1.5.- Expresión de resultados.

La DBO_5 se determina según la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5, \text{ en } \text{mg/dm}^3 = \text{ODI} - \text{ODF}$$

En donde:

ODI = oxígeno disuelto inicial, en mg/dm^3

ODF = oxígeno disuelto en las muestras incubadas después de 5 días, en mg/dm^3

6.2.- Método de dilución.

6.2.1.- Preparación del agua de dilución.

6.2.1.1.- Calcular la cantidad de agua de dilución dependiendo del número de muestras. Efectuar dos diluciones diferentes como mínimo para cada muestra.

6.2.1.2.- En un garrafón previamente lavado con agua, agregar 1 cm³ de cada una de las siguiente soluciones: solución amortiguadora de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro férrico, por cada dm³ de agua.

6.2.1.3.- Aerear hasta completa saturación.

Las diluciones recomendables de las muestras son:

Tabla 2.4

Tipo de desecho	DBO ₅ (estimada) en mg/dm ³	% de dilución
Desecho industrial concentrado	500 – 5,000	0.1 – 1.0
Aguas residuales domésticas	100 – 500	1.0 – 5.0
Efluentes tratados	20 – 100	5.0 – 25.0
Aguas de río contaminadas	5 – 20	25.0 – 100.0

6.2.2.- Medir directamente en 3 botellas de 300 cm³ tipo DBO volúmenes apropiados de la muestra por cada dilución, usando una pipeta volumétrica de punta alargada y llenar las botellas con el agua de dilución justamente para que el tapón pueda colocarse sin dejar burbujas de aire.

6.2.3.- Para la determinación de la DBO₅ se efectúan los siguientes pasos:

6.2.3.1.- Determinación del oxígeno disuelto inicial en una de las botellas de DBO.

6.2.3.2.- Determinación de oxígeno disuelto a los 15 minutos.

En otra botella determinar el oxígeno disuelto a los 15 minutos de haber mezclado la muestra con el agua de dilución. (Ver 8)

6.2.3.3.- Determinación del oxígeno disuelto a los 5 días.

La última botella se mete a la incubadora a 293 K (20°C) durante 5 días manteniendo el sello hidráulico en el término de ese tiempo y determinar la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra.

6.2.3.4.- La DBO₅ se calcula según la siguiente fórmula:

$$DBO_5 \text{ mg/dm}^3 = (OD_{15} - ODF) / \% \text{ dilución}$$

* Expresados en decimales

$$100 \% = 1$$

$$10 \% = 0.1$$

6.3.- Inoculación.

6.3.1.- El objetivo del inóculo es introducir en la muestra una población biológica capaz de oxidar la materia orgánica que contenga.

Cuando tales microorganismos ya están presente, como en las aguas residuales domésticas o efluentes no clorados y en aguas superficiales, no es necesario inocular las muestras.

Cuando haya razón para suponer que la muestra contiene muy pocos microorganismos, como resultado de la cloración, temperatura elevada o pH extremo, el agua de dilución debe ser inoculada.

6.3.2.- La selección del inóculo apropiado es un factor importante en la determinación de la DBO en muchos casos particularmente en desechos de procesadoras de alimentos, se puede obtener un inóculo satisfactorio usando el líquido sobrenadante de las aguas residuales domésticas, el cual ha sido incubado a 293 K (20°C) en un recipiente destapado durante 24 - 36 horas. Muchos desechos industriales contienen compuestos orgánicos que no están sujetos a la oxidación por el inóculo de las aguas residuales domésticas, en estos casos se puede usar un inóculo preparado del suelo, aclimatado y desarrollado en el laboratorio, o el agua receptora colectada abajo del punto de descarga del desecho particular, (de tres a cinco Km. abajo). Los dos últimos son los de mayores posibilidades. El agua receptora usada como fuente de inóculo indudablemente dará la mejor estimación del efecto de un desecho en tal agua. Debe ser colectada en un punto en donde se haya formado una biota capaz de usar como alimento los compuestos orgánicos particulares presentes. En algunos casos estos pueden asegurar la selección de un inóculo satisfactorio muchos kilómetros abajo del punto de descarga del desecho, lo cual no es práctico con desechos periódicos difícilmente susceptibles a la oxidación biológica, es más práctico formar un inóculo aclimatando el desecho o agua receptora con pequeños incrementos diarios del desecho particular junto con el agua residual doméstica, hasta que se desarrolle un inóculo satisfactorio.

6.3.3.- Preparación del agua de dilución con inóculo.

Se prepara el agua de dilución con el inóculo más satisfactorio para el desecho particular en estudio. Solamente experiencias pasadas pueden determinar la cantidad efectiva del inóculo que se agrega por dm^3 , sin embargo puede servir como ilustración usar 1 - 10 cm^3 de agua residual doméstica por dm^3 de agua de dilución ó 10 - 50 cm^3 de agua de río por dm^3 de agua de dilución incubándose durante 36 h.

El agua de dilución inoculada debe usarse el mismo día que se prepare.

6.3.4.- Incubación con inóculo.

Calcular el porcentaje de inóculo que se requiere para producir por lo menos una DBO (5 días) de 0.5 mg/dm^3 . Calcular las diluciones del desecho particular del agua como se ilustran en la tabla 2.4. Se disminuye la concentración del desecho lo suficiente para tomar en cuenta la utilización del oxígeno por el inóculo. Medir la cantidad de desecho que se requiera, al igual que en la tabla 2.4. Agregar a la muestra aproximadamente la mitad de la cantidad de agua de dilución que se requiere. Esto es necesario para asegurar que el desecho concentrado no es causa de toxicidad a los organismos del inóculo. Proceder como se indica en 5.1 y continuar según procedimiento.

6.3.5.- Cálculos.

$$\text{DBO}_5 \text{ mg}/\text{dm}^3 = (\text{OD}_{15} - \text{ODF}) / * \% \text{ de dilución.} \quad (\text{A})$$

donde:

OD_{15} , y ODF están dados en mg / dm^3 .

* Expresado en decimales.

6.3.5.1.- Corrección por demanda de inóculo.

El valor de la corrección por la demanda del inóculo se obtiene determinando la DBO del mismo. Determinar el abatimiento de oxígeno del inóculo estableciendo una serie separada de diluciones de éste y seleccionando aquella que consuma del 40 - 70 % de oxígeno al quinto día, uno de estos abatimientos se usa luego para calcular la corrección debida a la pequeña cantidad de inóculo al agua de dilución.

$$\text{DBO inóculo mg} / \text{dm}^3 = (\text{B}_1 - \text{B}_2) / * \% \text{ de dilución.} \quad (\text{B})$$

*Referido al inóculo.

donde:

B_1 = Oxígeno disuelto del agua de dilución inoculada antes de la incubación, en mg / dm^3 .

B_2 = Oxígeno disuelto del agua de dilución inoculada después de la incubación, en mg / dm^3 .

La corrección por inóculo de la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día utilizando inóculo queda expresada por:

$$\text{DBO}_5 \text{ mg} / \text{dm}^3 = A - B$$

Donde A = Incubación con inóculo, y B = Corrección por demanda de inóculo.

7.- Precisión y exactitud.

No existe un patrón de comparación para definir la exactitud de la prueba de la DBO.

Para la precisión de las determinaciones del OD en la prueba de la DBO expresada como la división normal en cm^3 de tiosulfato de sodio 0.025 N se tienen los datos siguientes:

La desviación normal de la prueba de la DBO en aguas residuales o en efluentes tratados puede variar de 0.07 a 0.11 cm^3 de la demanda titulada de oxígeno. La que también es válida para los desechos de industrias alimentarias o de carácter orgánico no tóxico.

8.- Apéndice.

Demanda inmediata de oxígeno disuelto.

Las sustancias oxidables por el oxígeno molecular, tales como hierro ferroso, sulfito y sulfuro lo mismo que el aldehído provocan una disminución en el oxígeno disuelto que debe ser determinada.

De esta naturaleza bien sea usando el OD inicial calculado o aplicando la suma de la demanda inmediata de oxígeno (DIOD) y la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO_5) debe entenderse que la demanda inmediata de oxígeno disuelto no representan necesariamente una oxidación inmediata por el oxígeno disuelto molecular, sino que puede representar una oxidación por yodo liberado, en el paso de la acidulación del método Winkler.

Para determinar la demanda inmediata de oxígeno disuelto se preparan dos botellas con una dilución apropiada de la muestra con agua de dilución. Se determina el OD de una de las botellas y a los 15 minutos (se ha seleccionado arbitrariamente el abatimiento del OD en una dilución normal de la muestra al cabo de 15 minutos, como la demanda inmediata de oxígeno disuelto), se determina el valor del OD de la otra botella.

La demanda inmediata de oxígeno disuelto se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{DIOD mg} / \text{dm}^3 = \text{ODI} - \text{OD}_{15}$$

2.3.4.- NOM-AA-30-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

La presente Norma establece el método para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, industriales y residuales.

2.- Resumen del método.

El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amónico en presencia de un complejo ferroso de ortofenastrolina como indicador interno. (Ver inciso 9.1.3).

3.- Reactivos.

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser reactivos analíticos, a menos que se indique otra cosa. Cuando se hable de agua, se debe entender agua destilada.

3.1.- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

3.2.- Sulfato ferroso amónico hexahidratado $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

3.3.- Acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

3.4.- Indicador de 1 , 10 fenantrolina ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)

3.5.- Sulfato de plata (Ag_2SO_4).

3.6.- Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

3.7.- Sulfato mercurico ($HgSO_4$)

4.- Preparación de soluciones.

4.1.- Solución de dicromato de potasio 0.25 N.

Disolver 12.2588 g de dicromato de potasio (previamente secado a 378 K \pm 1 K (105°C \pm 1°C) durante dos horas), aforar con agua a 1,000 cm³ en un matraz volumétrico y homogeneizar.

4.2.- Solución de dicromato de potasio 0.025 N.

Transferir con pipeta 100 cm³ de la solución anterior a un matraz volumétrico, aforar con agua a 1,000 cm³ y homogeneizar.

4.3.- Solución de sulfato ferroso amónico 0.25 N.

Disolver 98.0 g de sulfato ferroso amónico en aproximadamente 800 cm³ de agua, agregar cuidadosamente 20 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, enfriar, aforar a 1,000 cm³ en un matraz volumétrico y homogeneizar.

4.3.1.- Normalización de la solución de sulfato ferroso amónico 0.25 N.

Tomar 25 cm³ de la solución de dicromato de potasio 0.25 N.

Diluir con agua hasta 275 cm³, agregar cuidadosamente 50 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, homogeneizar, enfriar y titular con la solución de sulfato ferroso amónico 0.25 N utilizando 8 gotas de 1 , 10 fenantrolina como indicador hasta el cambio de color del azul verdoso a café rojizo.

4.4.- Solución de sulfato ferroso amónico 0.025 N.

Determinar la masa con aproximación al 0.0001 g de 9.8 g de sulfato ferroso amónico y continuar como se indica en 4.3.

4.4.1.- Normalización de la solución de sulfato ferroso amónico 0.025 N.

Tomar 25 cm³ de la solución de dicromato de potasio 0.025 N y proceder como se indica en 4.3.1 y titular con sulfato ferroso amónico 0.025 N.

4.5.- Solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata.

Determinar la masa de 9.51 g de sulfato de plata y disolverlos en 1,000 cm³ de ácido sulfúrico concentrado.

4.6.- Solución indicadora 1 , 10 fenantrolina.

Disolver en agua 1.485 g de 1 , 10 fenantrolina y 0.695 g de sulfato ferroso heptahidratado, aforar a 100 cm³ y homogeneizar.

5.- Preparación y conservación de la muestra.

5.1.- La forma de extraer la muestra para realizar esta determinación, se establece en las Normas Oficiales Mexicanas en vigor.

5.2.- La muestra debe ser analizada inmediatamente, después de su toma, en caso contrario debe conservarse en refrigeración a 277 K (4°C).

6.- Procedimiento.

6.1.- Para niveles mayores de 50 mg/dm³ de demanda química de oxígeno.

6.1.1.- Transferir al matraz Erlenmeyer de 500 cm³, una muestra de 50 cm³. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (ver inciso 9.1.5) y algunas perlas de vidrio. Añadir 25.0 cm³ de la solución de dicromato de potasio 0.25 N y mezclar mediante un movimiento circular. (Ver 9.1.6 y 9.1.7)

6.1.2.- Conectar el matraz Erlenmeyer al condensador y hacer circular el agua de enfriamiento.

6.1.3.- Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 cm³ de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogeneizar. (Ver 9.1.8 y 9.1.9).

6.1.4.- Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 cm³ de agua. (Ver 9.1.10).

6.1.5.- Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximadamente de 300 cm³, retirar el matraz del condensador y enfriar a la temperatura ambiente.

6.1.6.- Agregar 8 gotas de 1, 10 fenantrolina como indicador y titular con la solución valorada de sulfato ferroso amónico 0.25 N hasta el cambio de color del azul-verdoso a café rojizo.

6.1.7.- Llevar simultáneamente un testigo preparado con 50 cm³ de agua y todos los reactivos utilizados en el procedimiento.

6.2.- Para niveles menores de 50 mg/dm³ de demanda química de oxígeno.

6.2.1.- Se procede como se indica de 6.1.1 a 6.1.7, pero haciendo uso de las soluciones de dicromato de potasio y sulfato ferroso amónico 0.025 N. (Ver 9.1.11).

7.- Cálculos.

La demanda química de oxígeno, expresada en mg/dm³, se calcula con la siguiente ecuación:

$$DQO = (((V1 - V2) \times N \times 8) / V3) \times 1,000$$

donde:

DQO = Demanda química de oxígeno, en mg/dm³

V1 = Volumen de la solución de sulfato ferroso amónico requerido para la titulación del testigo, en cm³

V2 = Volumen de la solución de sulfato ferroso amónico requerido para la titulación de la muestra, en cm³

V3 = Volumen de la muestra, en cm³

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amónico, utilizada en la determinación.

8 = Equivalente del oxígeno.

8.- Repetibilidad.

La diferencia entre las determinaciones efectuadas por duplicado no debe exceder del 5 % de demanda química de oxígeno. En caso contrario, se debe repetir la determinación.

9.- Apéndice.

9.1.- Observaciones.

9.1.1.- Este método se recomienda como un complemento de la demanda bioquímica de oxígeno, pero no es un sustituto de ésta.

9.1.2.- Generalmente la determinación de la demanda química de oxígeno se utiliza en el tratamiento y control de las aguas de desecho industrial y sólo en ocasiones particulares puede relacionarse con la demanda bioquímica de oxígeno.

9.1.3.- El indicador 1 , 10 fenantrolina también se le conoce como ferroín u ortofenantrolina.

9.1.4.- El sulfato de plata requiere un tiempo aproximado de dos días para su completa disolución. La solución formada debe mantenerse en la obscuridad para evitar su descomposición.

9.1.5.- El sulfato mercúrico se agrega para eliminar la interferencia que representan los cloruros, obteniéndose un complejo de cloruro mercúrico soluble que inhibe la reactividad del ion cloruro. Si la muestra contiene 40 mg de cloruros o menos, se agregan 0.4 g de sulfato mercúrico, en caso de que la concentración de cloruros sea mayor, se debe agregar sulfato mercúrico en una cantidad tal, que se tenga una relación sulfato mercúrico cloruro de 10 : 1 (mg de sulfato mercúrico / mg de cloruro).

9.1.6.- Si la muestra tomada para la determinación es menor de 50 cm³ se debe completar a ese volumen con agua.

9.1.7.- Debe enfriarse rápidamente para evitar las pérdidas de la posible materia volátil que contenga la muestra.

9.1.8.- El sulfato de plata actúa en la reacción como catalizador, incrementando la oxidación de algunos compuestos orgánicos refractarios.

9.1.9.- La mezcla debe agitarse perfectamente antes de llevarla a calentamiento; de no ser así ocurren sobrecalentamientos locales que proyectan la mezcla fuera del condensador.

9.1.10.- Para algunas aguas residuales el período de reflujo de 2 horas resulta excesivo o insuficiente, para reducirlo o aumentarlo es necesario experimentar con un mismo tipo de muestra en diferentes tiempos de digestión.

9.1.11.- El volumen de la muestra que se utilice para niveles inferiores de 50 mg debe ser tal, que la cantidad de dicromato de potasio reducido durante la digestión no exceda del 50 %, en caso contrario se debe repetir la determinación con un volumen menor de muestra.

2.3.5.- NOM-AA-34-1981. "Análisis de agua-Determinación de sólidos".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

La presente Norma establece los métodos para la determinación del contenido de sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles, en aguas naturales y residuales.

2.- Fundamento.

Los métodos se basan en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.

3.- Procedimiento A.

3.1.- Para sólidos totales y sólidos totales volátiles.

3.1.1.- En función de la cantidad de sólidos probables, tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg de sólidos totales, generalmente 100 cm³ de muestra es un volumen adecuado.

3.1.2.- Transferir la muestra a la cápsula que previamente ha sido puesta a masa constante a 823 K (550°C). (G).

3.1.2.1.- Secar la muestra en la estufa a 376 K - 378 K (103 - 105°C), hasta peso constante. (Véase 6).

Nota: Con el objeto de abatir el tiempo de la prueba, se recomienda una pre-evaporación, reduciendo a la muestra a un volumen mínimo tal, que se eviten proyecciones o pérdidas de la misma. La muestra una vez pre-evaporada se introduce en la estufa y se lleva a sequedad hasta peso constante.

3.1.3.- Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su masa (G1).

3.2.- Expresión de resultados.

3.2.1.- El contenido de sólidos totales, se calcula con la siguiente fórmula:

$$ST = ((G1 - G) / V) \times 1,000$$

donde:

$$ST = \text{Sólidos totales, en mg/dm}^3$$

G1 = Masa de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg.

G = Masa de la cápsula vacía, en mg.

V = Volumen de muestra, en cm³

3.2.2.- Para conocer el contenido de sólidos totales volátiles, se procede de la manera siguiente:

3.2.2.1.- La cápsula conteniendo el residuo se introduce a la mufla a 823 K (550°C) durante 15 a 20 minutos. Sacar la cápsula, enfriar en desecador y determinar su masa (G2). (Ver inciso 6).

3.2.2.2.- El contenido de sólidos totales volátiles, se calcula con la siguiente expresión:

$$STV = ((G1 - G2) / V) \times 1,000$$

donde:

$$STV = \text{Sólidos totales volátiles, en mg/dm}^3$$

G2 = Masa de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg.

V = Volumen de muestra, en cm³

4.- Procedimiento B.

4.1.- Para sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles.

4.1.1.- Preparación del medio filtrante.

4.1.1.1.- Colocar un disco de fibra de vidrio en el crisol Gooch con la superficie rugosa hacia arriba, teniendo cuidado de que el disco cubra completamente las perforaciones del Gooch.

4.1.1.2.- Colocar el crisol y el disco en un aparato de filtración, aplicando vacío. Lavar el disco con agua, dejando que el agua se drene totalmente.

4.1.1.3.- Suspender el vacío y llevar el crisol a masa constante en la mufla a una temperatura de 823 K +/- 25 K (550°C +/- 25°C) durante 15 a 20 minutos. Sacar el crisol, dejar enfriar y determinar su masa (G3).

4.1.2.- Preparación de la muestra.

4.1.2.1.- Colocar el crisol con el disco en el aparato de filtración y aplicar vacío.

4.1.2.2.- Humedecer el disco con agua.

4.1.2.3.- Medir con una probeta o pipeta volumétrica según proceda, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.

4.1.2.4.- Filtrar la muestra a través del disco y aún aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 cm³ de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.

4.1.2.5.- Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 376 K a 378 K (103 a 105°C) durante una hora. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su masa (G4).

4.1.3.- Expresión de resultados.

4.1.3.1.- El contenido de sólidos suspendidos totales, se calcula con la siguiente fórmula:

$$SST = ((G4 - G3) / V) \times 1,000$$

donde:

SST = Sólidos suspendidos totales, en mg/dm³

G4 = Masa del crisol con el residuo, en mg

G3 = Masa del crisol con el disco, en mg

V = Volumen de muestra, en cm³

4.1.3.2.- Para conocer el contenido de sólidos suspendidos volátiles, se procede de la manera siguiente.

4.1.3.2.1.- El crisol conteniendo el residuo y el disco se introducen a la mufla a una temperatura de 823 K +/- 25 K (550 +/- 25°C) durante 15 a 20 minutos.

Sacar el crisol dejar enfriar en desecador y determinar su masa. (G5)

4.1.3.2.2.- El contenido de sólidos suspendidos volátiles, se calcula con la siguiente expresión:

$$SSV = ((G4 - G5) / V) \times 1,000$$

donde:

SSV = Sólidos suspendidos volátiles, en mg/dm³

G5 = Masa del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg

V = Volumen de muestra, en cm³

5.- Procedimiento C.

5.1.- Para sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles.

5.1.1.- Determinar los sólidos disueltos totales por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

5.1.2.- Expresión de resultados.

5.1.2.1.- El contenido de sólidos disueltos totales, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{SDT} = \text{ST} - \text{SST}$$

donde:

SDT = Sólidos disueltos totales, en mg/dm^3

ST = Sólidos totales, en mg/dm^3

SST = Sólidos suspendidos totales, en mg/dm^3

5.1.3.- Para la determinación de sólidos disueltos volátiles, se emplea la siguiente expresión:

$$\text{SDV} = \text{STV} - \text{SSV}$$

donde:

SDV = Sólidos disueltos volátiles, en mg/dm^3

STV = Sólidos totales volátiles, en mg/dm^3

SSV = Sólidos suspendidos volátiles, en mg/dm^3

6.- Apéndice.

Se ha observado en la práctica que el tiempo de permanencia en la estufa a 376 K - 378 K (103°C - 105°C) durante una hora, es suficiente para obtener peso constante en el secado y de 15 a 20 minutos en la mufla para el calcinado.

2.3.6.- DGN-AA-4-1977. "Determinación de sólidos sedimentables en agua".

1.- Objetivo.

Esta Norma Oficial cubre los métodos de prueba volumétrico y gravimétrico, para determinar los sólidos sedimentables en agua.

Nota: La determinación gravimétrica no es equivalente a la determinación volumétrica en ningún caso por la variabilidad de densidades de los desechos de cualquier tipo, por lo tanto para fines del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, se informarán los resultados en ml/l.

2.- Campo de aplicación.

Estos métodos son aplicables en aguas residuales y naturales (superficiales y marinas).

3.- Fundamento.

Los métodos a que se refiere esta Norma, se basan en la propiedad que tienen los materiales sólidos, de asentarse en niveles progresivos de acuerdo a sus diferentes densidades.

4.- Procedimientos.

4.1.- Determinación volumétrica.

4.1.1.- Mezclar cuidadosamente la muestra original a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido.

4.1.2.- Llenar inmediatamente el cono de sedimentación hasta el aforo de un litro y dejar reposar durante 45 minutos para que se asienten las partículas, una vez transcurrido ese tiempo, agitar suavemente los lados del cono con un

agitador o por rotación para que se sedimenten los sólidos adheridos a las paredes y dejar reposar la muestra otros 15 minutos. Leer directamente en el cono Imhoff.

4.2.- Determinación gravimétrica.

4.2.1.- Inmediatamente después del paso 4.1.2. eliminar por decantación el agua del cono y verter el material sedimentado en un vaso de precipitados, recuperar totalmente las partículas sedimentadas agregando un poco de agua destilada al cono.

4.2.2.- Filtrar el material recuperado a través de un papel filtro previamente tarado, empleando un equipo de vacío.

4.2.3.- Pasar el material retenido junto con el papel filtro a una cápsula previamente tarada y secar en una estufa a 100 - 110°C (60 minutos aproximadamente) inmediatamente introducirla al desecador hasta peso constante; usando la balanza analítica, por diferencia de peso se conoce el contenido de sólidos sedimentables.

5.- Interpretación de resultados.

5.1.- El volumen de sólidos sedimentables por litro se lee directamente en el cono Imhoff y se informa en ml/l.

5.2.- El peso de sólidos sedimentables por litro se informa en mg/l.

6.- Cálculos.

6.1.- Para determinar el peso de sólidos sedimentables por litro se utiliza la siguiente fórmula:

$$S.Se. = (A-B) / V$$

donde:

S.Se. = Sólidos sedimentables, en mg/l.

A = Peso de papel filtro y cápsula con los sólidos sedimentables, en mg.

B = Peso de papel filtro y cápsula, en mg.

V = Volumen de muestra original, en l.

2.3.7.- NOM-AA-5-1980. "Aguas-Determinación de Grasas y Aceites".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial establece el método para determinar el contenido de grasas y aceites en aguas potables, superficiales o subterráneas, de desechos domésticos o industriales y salinas. El método es recomendable dentro de un intervalo de 5 a 1,000 mg/dm³ (mg/l) de materia extractable.

2.- Resumen del método.

El método consiste en acidificar una muestra para extraer las grasas y aceites en solución, la grasa es entonces separada por filtración y extraída con un solvente con ayuda del aparato Soxhlet, posteriormente se evapora el solvente y se cuantifica gravimétricamente el material extraído.

3.- Reactivos.

Los reactivos que se mencionan, deben ser grado analítico. Cuando se hable de agua se debe entender agua destilada.

3.1.- Acido clorhídrico concentrado o sulfúrico.

3.2.- Suspensión de tierra de diatomeas-silice (Hyflo-supercal o equivalente); 10 g/dm³ (g/l) de agua.

3.3.- Hexano normal con punto de ebullición de 342 K (69°C) ó freón (1, 1, 2 tricloro - 1, 2, 2 trifluoretano) de punto de ebullición de 320.5 K (47.5°C).

4.- Muestreo y almacenamiento.

4.1.- Es muy importante cuidar que la muestra sea representativa, ya que las características de las grasas y aceites es agruparse en las superficies de los cuerpos de agua, formando natas en determinadas zonas. El muestreo se hace con frascos de vidrio de boca ancha, de un litro de capacidad, es conveniente llenar bien el frasco.

En caso de grasas y aceites flotantes, la muestra se toma únicamente de la película superficial del agua.

En caso de aceites emulsionados, la muestra se toma de 20 a 30 cm de profundidad, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

4.2.- Mantener preservada la muestra a un pH de 2 ó menor con la adición de 5 cm³ (ml) de HCl concentrado y en refrigeración a 277 K (4°C), se recomienda no almacenarla más de 24 h.

5.- Procedimiento.

5.1.- Si la muestra no viene preservada, acidificar como se indica en el inciso 4.2.

5.2.- Preparar un filtro con el disco de tela de muselina sobreponiéndole el disco de papel filtro, colocar en el embudo Buchner, humedecer la tela y el papel.

5.3.- Con ayuda del vacío pasar aproximadamente 100 cm³ (ml) de la suspensión de tierras de diatomáceas (hasta la saturación de los poros); se lava con un dm³ (litro) o menos de agua y aplicar el vacío hasta que toda el agua haya sido filtrada.

5.4.- Pasar la muestra acidificada a través del filtro preparado. Aplicar el vacío hasta que toda el agua haya sido filtrada, recibiendo en un matraz Kitazato de 2 dm³ (1).

5.5.- Con una pinza transferir a un cartucho de extracción el papel filtro y el material adherido al disco de tela. Limpiar las caras y el fondo del recipiente colector, la tapa, y el embudo Buchner con pedazos de papel filtro remojado en el solvente que se va usar, teniendo cuidado de transferir todas las capas de grasa formadas, y de recoger todo el material sólido, agregando los pedazos de papel filtro dentro del cartucho de extracción, evitando el manejo manual.

5.6.- El filtrado del Kitazato es medido con una probeta para cuantificar el volumen de muestra.

5.7.- Colocar los cartuchos de extracción en vasos de precipitados, llevar a sequedad en una estufa eléctrica a 376 K (103°C) durante 30 minutos, colocar el cartucho en el aparato de extracción Soxhlet, con el matraz al cual previamente se le ha determinado su masa.

Nota: Identificar el número de muestra en el vaso de precipitados pero nunca marcar el cartucho.

5.8.- Adicionar solvente al matraz hasta la mitad de su capacidad. Colocar 1 cm de altura de algodón en la parte superior del refrigerante. Dejar en reflujo durante 4 horas a partir del primer ciclo de recirculación, controlando las condiciones de temperatura, hasta que de un ciclo cada 3 minutos aproximadamente. Una vez terminado el tiempo de reflujo vaciar y escurrir el solvente que queda en el extractor al matraz.

5.9.- Evaporar el solvente en baño maría a 358 K (85°C) y pasar el matraz a la estufa de vacío a una temperatura de 333 K (60°C) durante 30 minutos.

5.10.- Dejar enfriar el matraz en un desecador durante un periodo de 30 minutos y determinar su masa.

5.11.- Correr una prueba testigo en las mismas condiciones que se mencionan para una muestra, en los incisos del 5.1 al 5.10.

6.- Cálculos y resultados.

6.1.- La cantidad de grasas y aceites se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{mg/dm}^3 \text{ (mg/l) de grasas y aceites} = ((M2 - M1) \times 1,000) / V$$

donde:

M1 = Masa del matraz vacío a masa constante, en g

M2 = Masa del matraz con muestra, en g

V = Volumen de muestra en cm^3 (ml)

Nota: Si la prueba testigo muestra residuo, deberá restarse a la masa de grasa y aceite obtenido.

7.- Apéndice.

7.1.- Observaciones.

7.1.1.- Las muestras no deben preservarse con cloroformo o benzoato de sodio cuando se vayan a hacer determinaciones de grasas.

7.1.2.- Es preferible usar el triclorotrifluoretano en virtud de que no es inflamable.

7.1.3.- Se recomienda no usar muestras compuestas para la determinación.

2.3.8.- DGN-AA-6-1973. "Determinación de materia flotante en aguas residuales".

1.- Alcance.

Esta Norma cubre el método para determinar el contenido de materia flotante en aguas residuales.

2.- Preparación del espécimen.

2.1.- Usando el recipiente, se toma la muestra simple directamente de la descarga.

2.2.- En el caso de que la descarga sea inaccesible, se permite la toma de la muestra en el punto accesible del conducto más próximo a dicha descarga siempre y cuando éste no obstaculice la libre salida del material flotante de la misma.

2.3.- Se deja sedimentar la muestra durante 15 minutos.

3.- Procedimiento.

Se vierten aproximadamente las dos terceras partes superiores de la muestra a través de la malla, teniéndose cuidado de que la materia flotante que sobrenada, quede retenida en dicha malla.

Se permite el empleo de una cucharilla para arrastrar hacia la malla toda aquella materia flotante que todavía quedara sobre la superficie de la muestra que se esta vertiendo o aquella adherida a las paredes del recipiente.

4.- Interpretación de resultados.

4.1.- Inmediatamente después de filtrada la muestra, se procede al examen de la malla.

4.2.- La ausencia de material retenido en la malla observado a simple vista, se considera como ninguna materia flotante retenida en la malla.

2.3.9.- NOM-AA-26-1980. "Aguas-Determinación de Nitrógeno Total".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial establece el método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total en aguas residuales y naturales. Es aplicable para concentraciones mayores de 1.0 mg de nitrógeno/dm³.

2.- Fundamento.

Este método se basa en la determinación de la suma del nitrógeno del amoníaco libre y del nitrógeno orgánico, los cuales son convertidos a sulfato de amonio bajo las condiciones de digestión que se describen en esta Norma.

Mediante digestión en presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y sulfato mercúrico, el nitrógeno de compuestos orgánicos es convertido a sulfato de amonio. El amoníaco es destilado en medio alcalino, absorbido en solución de ácido bórico y determinado por titulación.

3.- Muestreo.

3.1.- Extraer la muestra.

3.2.- Analizar la muestra inmediatamente después de su toma para evitar la transformación del nitrógeno orgánico a amoníaco a causa de la actividad biológica. De no ser posible, preservar la muestra adicionándole 1 cm³/dm³ de ácido sulfúrico concentrado y mantenerla a 277 K (4°C).

4.- Preparación de soluciones.

4.1.- Solución amortiguadora.

Agregar 88 cm³ de una solución de hidróxido de sodio 0.1 N a 500 cm³ de solución de tetraborato de sodio (Na₂B₄O₇) 0.025 N y aforar a 1 dm³.

4.2.- Solución de sulfato mercúrico.

Disolver 8 g de óxido mercúrico rojo (HgO) en 50 cm³ de ácido sulfúrico (1:5) y aforar a 100 cm³ con agua.

4.3.- Solución de ácido sulfúrico-sulfato mercúrico-sulfato de potasio.

Disolver 134 g de sulfato de potasio (K₂SO₄) en 650 cm³ de agua, agregar 200 cm³ de ácido sulfúrico concentrado. Añadir 25 cm³ de solución de sulfato mercúrico y aforar a 1 dm³. Este reactivo deberá mantenerse a una temperatura mayor de 287 K (14°C) para evitar que cristalice.

4.4.- Solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio.- Disolver 500 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 25 g de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃ · 5H₂O) en agua y aforar a 1 dm³.

4.5.- Solución indicadora de fenoltaleína.

4.5.1.- Disolver 5 g de sal de fenoltaleína disódica en agua y aforar a un dm³. Si es necesario, añadir hidróxido de sodio 0.02 N gota a gota hasta que la solución alcance un ligero color rosado.

4.5.2.- Disolver 5 g de sal de fenoltaleína en 500 cm³ de alcohol etílico al 95 % ó isopropanol y aforar a 1 dm³ con agua. Si es necesario agregar hidróxido de sodio 0.02 N gota a gota hasta que la solución alcance un ligero color rosado.

4.6.- Solución de ácido sulfúrico 0.02 N.

4.7.- Solución de hidróxido de sodio 6 N.

4.8.- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N.

4.9.- Solución de hidróxido de sodio 0.02 N.

4.10.- Solución de ácido bórico.

Diluir 20 g de ácido bórico (H_3BO_3) en agua, agregar 10 cm^3 de la solución indicadora mixta y aforar a un dm^3 .

4.11.- Solución indicadora mixta.

Se mezclan los volúmenes de rojo de metilo al 0.2 % en etanol con un volumen de azul de metileno al 0.2 % en etanol. Esta solución debe prepararse por lo menos cada 30 días.

5.- Procedimiento.

5.1.- Nitrógeno amoniacal.

5.1.1.- Tomar una muestra dependiendo de las concentraciones esperadas, de acuerdo a la tabla 2.5, diluir con agua hasta 500 cm^3 . Preparar un testigo con 500 cm^3 de agua y darle el mismo tratamiento que a la muestra como sigue:

5.1.2.- Añadir 25 cm^3 de la solución amortiguadora de boratos y ajustar el pH a 9.5 con solución de hidróxido de sodio 6.0 N, utilizando potenciómetro o papel indicador para verificar. Transferir la solución a un matraz Kjeldahl.

5.1.3.- Conectar el matraz Kjeldahl al bulbo del aparato de destilación; destilar la muestra cuidando que la temperatura del condensador no pase de 302 K (29°C), recolectando el condensador con la punta del tubo del refrigerante sumergido en 50 cm^3 de la solución de ácido bórico del matraz receptor.

5.1.4.- La destilación se completa cuando se hayan recolectado 300 cm^3 de destilado aproximadamente, incluyendo los 50 cm^3 de la solución de ácido bórico con la solución indicadora mixta.

Retirar el matraz colector y titular con solución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta que la solución vire de un verde esmeralda a un café rojizo.

Tabla 2.5

Nitrógeno orgánico en muestra cm^3 / dm^3 de nitrógeno	cm^3 de muestra
0 - 5	500
5 - 10	250
10 - 20	100
20 - 50	50
50 - 100	25

5.2.- Nitrógeno orgánico.

5.2.1.- Dejar enfriar el residuo contenido en el matraz Kjeldahl, producto de la destilación. Añadir 50 cm^3 de la solución de ácido sulfúrico-sulfato mercúrico-sulfato de potasio. Conectar al aparato de digestión. Calentar la mezcla en el matraz Kjeldahl a una temperatura que no exceda de 644 K (371°C) hasta que los gases de SO_3 (vapores blancos) sean eliminados y la solución se tome incolora o amarillo pálido, a partir de este momento se mantiene el calentamiento durante 20 minutos más. La digestión se debe efectuar bajo condiciones satisfactorias de ventilación y extracción de gases.

5.2.2.- Dejar enfriar la solución, añadir 300 cm^3 de agua y 5 gotas de la solución indicadora de fenoltaleína.

5.2.3.- Sostener el matraz en posición ligeramente inclinada y agregar 50 cm^3 aproximadamente de solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio con lento escurrimiento por las paredes del matraz y sin mezclar, hasta que el matraz de digestión sea conectado al aparato de destilación, procurando formar dos capas.

5.2.4.- Conectar inmediatamente el matraz al bulbo del aparato de destilación. Agitar y verificar la alcalinidad de la solución de acuerdo al cambio de color de la misma (de incoloro a rosa). En caso de que no se haya alcanzado la alcalinidad, agregar un exceso de la solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio hasta la obtención de una coloración rosa. La muestra se destila, cuidando que la temperatura del condensador no pase de 302 K (29°C) recolectando el condensador con la punta del tubo del refrigerante sumergido en 50 cm³ de la solución de ácido bórico del matraz receptor.

5.2.5.- La destilación se completa cuando se hayan recolectado 300 cm³ de destilado aproximadamente, incluyendo los 50 cm³ de la solución de ácido bórico con la solución indicadora mixta. Retirar el matraz colector y titular con solución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta que la solución vire de un verde esmeralda a un café rojizo.

5.3.- Nitrógeno total.

Esta determinación puede hacerse directamente siguiendo el procedimiento descrito en el inciso 5.2.

6.- Cálculos.

El nitrógeno amoniacal, orgánico y total en mg/dm³ se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{Nitrógeno total en mg/dm}^3 = ((A - B) \times N) / V \times 14 \times 1,000$$

donde:

A = Volumen de solución de ácido sulfúrico empleado para titular la muestra, en cm³, correspondiente al nitrógeno amoniacal, orgánico o total.

B = Volumen de solución de ácido sulfúrico empleado para titular el testigo, en cm³.

N = Normalidad de la solución de ácido sulfúrico.

V = Volumen de muestra, en cm³.

14 = Equivalente del nitrógeno.

En el caso que B sea mayor que A, se repite la prueba. (Se recomienda emplear mayor volumen de muestra). O bien, el nitrógeno total en mg/dm³ = nitrógeno orgánico en mg/dm³ + nitrógeno amoniacal en mg/dm³.

7.- Reproducción de la prueba.

La diferencia entre las determinaciones efectuadas por duplicado, no deben exceder de +0.03 mg/dm³, para concentraciones de 1 a 5 mg/dm³ y de 0.13 mg/dm³ para concentraciones de 6 a 50 mg/dm³. En caso contrario, se recomienda repetir la determinación.

8.- Informe.

Debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa de la muestra.
- Referencia a este método de prueba.
- Nitrógeno total en mg/dm³.
- Fecha de la prueba.

2.3.10.- NOM-AA-29-1981. "Aguas-Determinación de Fósforo total".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece dos métodos espectrofotométricos para la determinación de fósforo (en forma de ortofosfatos) presente en el agua. Aplicables a aguas residuales y naturales. Cuando la concentración de ortofosfatos es de 1 a 20 mg/dm³ y/o el contenido de interferencias es alto, se recomienda usar el método del complejo amarillo de fosfovanadomolibdato; si la concentración es menor de 6 mg/dm³ se recomienda emplear el azul de molibdeno, también conocido como método de cloruro estanoso.

2.- Fundamento.

Los métodos se basan en transformar los compuestos fosforados a ortofosfatos, los cuales se hacen reaccionar con molibdato de amonio para formar el ácido molibdofosfórico.

2.1.- En el método del azul de molibdeno o del cloruro estanoso, el ácido molibdofosfórico se reduce para producir el complejo colorido conocido como azul de molibdeno. La intensidad de la coloración se determina por espectrofotometría.

2.2.- Por el método del ácido vanadomolibdofosfórico, el fósforo en presencia del vanadio da lugar al complejo de fosfovanadomolibdato, produciendo una coloración amarilla cuya intensidad se determina por espectrofotometría.

3.- Muestreo.

La muestra se extrae según los procedimientos adecuados.

4.- Método del azul de molibdeno.

4.1.- Reactivos.

Las sustancias que a continuación se mencionan deben ser grado analítico, a menos que se especifique otra cosa. Cuando se mencione el uso de agua, debe entenderse agua desionizada.

4.1.1.- Acido sulfúrico concentrado (H₂SO₄).

4.1.2.- Acido nítrico concentrado (HNO₃).

4.1.3.- Molibdato de amonio tetrahidratado ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O)

4.1.4.- Glicerol (C₃H₈O₃).

4.1.5.- Cloruro estanoso dihidratado (SnCl₂·2H₂O)

4.1.6.- Hidróxido de sodio (NaOH).

4.1.7.- Cloruro mercuríco (HgCl₂).

4.1.8.- Fosfato de potasio monobásico anhidro (KH₂PO₄).

4.1.9.- Sal disódica de fenoltaleína (C₂₀H₁₄O₄).

4.1.10.- Alcohol etílico (C₂H₆O).

4.1.11.- Metanol (CH₄O).

4.1.12.- Benceno (C₆H₆).

4.1.13.- Alcohol isopropílico (C₃H₈O).

4.2.- Preparación de soluciones.

4.2.1.- Solución indicadora de fenoltaleína.

Disolver 5 g de sal de fenolftaleína en 500 cm³ de alcohol etílico al 95 % y aforar a 1 dm³ con agua. Si es necesario agregar hidróxido de sodio 0.02 N gota a gota hasta que la solución alcance un ligero color rosado.

4.2.2.- Solución de ácido fuerte.

Agregar lentamente 300 cm³ de ácido sulfúrico concentrado a 600 cm³ de agua. Dejar enfriar y agregar 4.0 cm³ de ácido nítrico 69.71 % y diluir a 1 dm³.

4.2.3.- Solución de molibdato de amonio I.

4.2.3.1.- Disolver 25.0 g de molibdato de amonio tetrahidratado en 175 cm³ de agua.

4.2.3.2.- Agregar, con mucho cuidado 280 cm³ de ácido sulfúrico concentrado a 400 cm³ de agua y dejar enfriar. Añadir la solución de molibdato de amonio.

4.2.4.- Solución de molibdato de amonio II.

Disolver 40.1 g de molibdato de amonio en aproximadamente 500 cm³ de agua. Lentamente añadir 396 cm³ de la solución de molibdato de amonio I, enfriar y diluir a 1 dm³.

4.2.5.- Solución de cloruro estanoso I.

Disolver 2.5 g de cloruro estanoso dihidratado en 100 cm³ de glicerol. Asegurándose que el reactivo no haya sufrido alteración o descomposición alguna, usando de preferencia uno nuevo o recientemente abierto.

4.2.6.- Solución de cloruro estanoso II.

Mezclar 8 cm³ de la solución de cloruro estanoso I con 50 cm³ de glicerol. Este reactivo es estable durante seis meses.

4.2.7.- Solución de ácido sulfúrico (1:2).

4.2.8.- Solución de hidróxido de sodio 6 N.

4.2.9.- Solución patrón de fosfatos.

4.2.9.1.- Pesar 219.5 mg de fosfato de potasio monobásico anhidro. Previamente secado en estufa a 378 K (105°C), durante dos horas.

4.2.9.2.- Disolver en agua, transferir la solución a un matraz volumétrico y aforar a 1 dm³ con agua.

4.2.9.3.- De esta solución tomar 100 cm³, transferir a un matraz aforado de 1,000 cm³ y aforar con agua. Esta solución contiene 5.0 µg de P/cm³.

4.2.10.- Solución alcohólica de ácido sulfúrico.

Añadir cuidadosamente 20 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, a 980 cm³ de metanol.

4.2.11.- Solución de benceno-alcohol isopropílico.

Agregar 500 cm³ de alcohol isopropílico, a 500 cm³ de benceno.

4.3.- Procedimiento.

4.3.1.- Digestión.

4.3.1.1.- Efectuar al mismo tiempo e igual procedimiento, una prueba testigo con agua.

4.3.1.2.- Tomar una alícuota de muestra de 100 cm³ o menos, que contenga 200 µg de P como máximo.

4.3.1.3.- Transferir la alícuota de muestra seleccionada a un vaso de precipitados de 200 cm³ de forma alta y agregar 1 cm³ de ácido sulfúrico concentrado y 5 cm³ de ácido nítrico concentrado.

4.3.1.4.- Calentar hasta eliminación de vapores nitrosos y dejar enfriar.

4.3.1.5.- Adicionar aproximadamente 20 cm³ de agua, una gota de fenolftaleína. Neutralizar con hidróxido de sodio 6 N hasta ligero color rosa tenue.

4.3.1.6.- Filtrar si es necesario y aforar a 100 cm³ con agua.

Nota: En caso de que la muestra presente interferencias, como color o turbiedad, es necesario llevar a cabo una extracción por medio de la cual se eliminan. (Ver inciso 4.3.4).

4.3.2.- Desarrollo de color.

4.3.2.1.- Adicionar 4.0 cm³ de la solución de molibdato de amonio I y agitar para homogeneizar.

4.3.2.2.- Añadir 10 gotas de cloruro estano I, homogeneizar y dejar reposar.

4.3.2.3.- Medir la absorbancia de la muestra después de 10 minutos y antes de 12, usando el testigo para ajustar el Espectrofotómetro a cero de absorbancia (100 % de transmitancia), empleando una longitud de onda de 690 nm (ver inciso 7.1).

4.3.3.- Curva de calibración.

4.3.3.1.- Tomar de la solución patrón de 5.0 µg de P/cm³, alícuotas de acuerdo con la tabla 2.6.

Tabla 2.6

cm ³ de solución patrón	µg P
5	25
10	50
15	75
20	100
25	125
30	150
35	175
40	200

4.3.3.2.- Continuar con el procedimiento de la misma forma que para las muestras a partir del inciso 4.3.1.3.

4.3.3.3.- Elaborar la curva de calibración correspondiente graficando las lecturas de absorbancia en el eje de las abscisas contra las concentraciones de P en µg, en el eje de las ordenadas. (Continuar con los cálculos como se indica en el inciso 4.3.5).

4.3.4.- Extracción (En caso de interferencias).

4.3.4.1.- Una vez que se haya efectuado la digestión tomar una alícuota de 40 cm³ de muestra, o menor y llevarla a 40 cm³ con agua.

4.3.4.2.- Transferir a un embudo de separación de 500 cm³ y agregar 50 cm³ de solución benceno alcohol isopropílico.

4.3.4.3.- Agregar 15 cm³ de la solución de molibdato de amonio II, agitar durante 15 segundos y dejar reposar durante 10 minutos.

4.3.4.4.- Una vez separadas las capas acuosa y orgánica, drenar la capa acuosa.

4.3.4.5.- Tomar 25 cm³ de la capa orgánica y transferir a un matraz aforado de 50 cm³.

4.3.4.6.- Agregar aproximadamente 15 cm³ de solución alcohólica-ácida y diez gotas de la solución de cloruro estanoso II.

4.3.4.7.- Diluir hasta el aforo con solución alcohólica-ácida y dejar desarrollar el color azul.

4.3.4.8.- Medir en el Espectrofotómetro la absorbancia después de 15 minutos, pero antes de 30 minutos a una longitud de onda de 625 nm.

4.3.4.9.- Leer en una curva de calibración hecha con las soluciones patrón, las cuales se han sometido a una extracción como se indica en el inciso 4.3.4.

4.3.5.- Expresión de resultados.

4.3.5.1.- El contenido de fósforo presente en la muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg P/dm}^3 = C / V$$

donde:

C = μg de fósforo leída en la gráfica.

V = Volumen de la alicuota tomada para la determinación, en cm³.

4.3.5.2.- La diferencia entre los resultados obtenidos en pruebas efectuadas por duplicado no debe exceder de ± 1.0 mg/dm³ en caso contrario, se recomienda repetir la determinación.

5.- Método de fosfovanadomolibdato.

5.1.- Reactivos. (Ver inciso 4.1).

5.1.1.- Cloroformo (CHCl₃).

5.1.2.- Acido clorhídrico concentrado (HCl) (36.5 - 38 %)

5.1.3.- Solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (1:2) 47.5 - 48 % en masa.

5.1.4.- Molibdato de amonio (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O.

5.1.5.- Metavanadato de amonio (NH₄VO₃).

5.1.6.- Fosfato de potasio monobásico anhidro (KH₂PO₄)

5.2.- Preparación de soluciones.

5.2.1.- Solución vanadato molibdato.

5.2.1.1.- Disolver 25 g de molibdato de amonio, en 400 cm³ de agua.

5.2.1.2.- Disolver calentando a ebullición 1.25 g de metavanadato de amonio en 300 cm³ de agua.

5.2.1.3.- Dejar enfriar hasta temperatura ambiente y adicionar 330 cm³ de ácido clorhídrico. Agregar la solución de molibdato de amonio a la de metavanadato de amonio y diluir hasta el aforo.

5.2.2.- Solución patrón de fosfato. (Ver inciso 4.2.9).

5.3.- Procedimiento.

5.3.1.- Efectuar al mismo tiempo e igual procedimiento una prueba testigo con agua.

5.3.2.- Tomar 35 cm³ de muestra, la cual contenga de 50 a 1,000 µg de P o una alícuota llevada a 35 cm³ con agua.

5.3.3.- Ajustar el pH entre 4 y 10. Si la muestra se tiene a un pH menor de 4 adicionar 50 cm³ de agua y si es mayor de 10 adicionar ácido sulfúrico (1:2) empleando solución indicadora de fenolftaleína.

5.3.4.- Calentar hasta ebullición durante 60 minutos, adicionando agua con objeto de mantener el volumen entre 25 y 35 cm³.

5.3.5.- Restablecer al volumen original y transferir a un matraz aforado de 50 cm³, añadir 10 cm³ de reactivo de vanado-molibdato y diluir hasta la marca con agua agitando para homogeneizar.

5.3.6.- Dejar reposar la mezcla durante 10 minutos, después de los cuales se mide la absorbancia de la muestra contra el testigo con el que se ajusta el aparato a 100 % de transmitancia a una longitud de onda de 400 - 490 nm dependiendo de la sensibilidad deseada. (Ver inciso 7.2).

5.3.7.- Curva de calibración.

5.3.7.1.- De la solución patrón de 50 µg de P/cm³ tomar alícuotas de acuerdo a la tabla 2.7.

Tabla 2.7

Solución patrón cm ³	µg de P
0	0
5	250
10	500
15	750
20	1,000
25	1,250

5.3.7.2.- Continuar con el procedimiento de la misma forma que para las muestras a partir del punto 5.3.3.

5.3.7.3.- Elaborar la curva de calibración correspondiente graficando las lecturas de absorbancia en el eje de las abscisas y las concentraciones de P en µg en el eje de las ordenadas.

5.3.8.- Expresión de resultados.

5.3.8.1.- El contenido de fósforo presente en la muestra analizada se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg de P/dm}^3 = C/V.$$

donde:

C = µg de fósforo leídos en la gráfica.

V = Volumen de alícuotas tomado para la determinación en cm³.

5.3.8.2.- La diferencia entre los resultados obtenidos en determinaciones efectuadas por duplicado no deben exceder de +8.0 mg/dm³, en caso contrario, se recomienda repetir la determinación.

6.- Interferencias.

Al calentar la muestra de silicio y el arsénico actúan como interferencias positivas, en tanto que las interferencias negativas provienen de arsenitos, fluoruros, torio, bismuto, sulfuros, tiosulfatos, tiocianatos, o exceso de molibdato. El ion ferroso provoca un color azul, pero este no afecta los resultados si su concentración es menor de 100 mg/dm³. La interferencia de sulfuros puede ser eliminada con agua de bromo. Si se usa ácido nítrico en el testigo, los cloruros interfieren desde 75 mg/dm³.

7.- Notas al procedimiento.

7.1.- El tiempo de desarrollo de color que se emplee, así como la temperatura deben ser exactamente los mismos para la curva de calibración como para las muestras analizadas.

7.2.- La longitud de onda a la cual se mide la intensidad del color depende de la sensibilidad deseada. Generalmente se hace a 470 nm y un cm de profundidad óptica.

Para otros casos tenemos.

Tabla 2.8

Límites (mg de P/dm ³)	Longitud de onda
1.0 - 5.0	400
2.0 - 10.0	420
4 - 18	470

2.3.11.- NOM-AA-42-1987. "Calidad del Agua-Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (Termotolerantes) y Escherichia coli Presuntiva".

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece un método para la detección y enumeración en agua de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva (E. coli) mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples y el cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra. Este método es aplicable para todo tipo de agua, incluyendo aquellos que contienen una cantidad apreciable de materia en suspensión.

La selección de las pruebas usadas en la detección y confirmación del grupo de organismos coliformes, incluyendo E. coli, puede verse como parte de una secuencia continua. El grado de confirmación con una muestra en particular depende parcialmente de la naturaleza del agua y parcialmente de las razones para realizar el examen. En la práctica, la detección de E. coli presuntiva, da usualmente una indicación satisfactoria de contaminación fecal.

2.- Principio.

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra, diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa.

Los tubos se examinan a las 24 y 48 horas de incubación ya sea a 308 ó 310 K (35 ó 37°C). Cada uno de los que muestran turbidez con producción de gas se resiembró en un medio confirmativo más selectivo y, cuando se busca E. coli presuntiva, en un medio en el que se pueda demostrar la producción de indol.

Se lleva a cabo la incubación de estos medios confirmativos hasta por 48 horas ya sea a 308 ó 310 K (35 ó 37°C) para la detección de organismos coliformes y a 317 K (44°C) para organismos coliformes termotolerantes y E. coli.

Mediante tablas estadísticas, se lleva a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y E. coli que pueda estar presente en 100 cm³ de muestra, a partir de los números de los tubos que dan resultados confirmativos positivos.

3.- Reactivos.

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa. Cuando se especifique el uso de agua se debe entender agua destilada in vitro o agua desionizada libre de sustancias que pueden inhibir el crecimiento bacteriano en las condiciones de la prueba.

Para la preparación de los reactivos, las condiciones de esterilización deben ser 394 K (121°C) y 0.098066 Mpa (1 kg/cm²) de presión manométrica durante 15 minutos. Los tubos de fermentación (Durham) no deben contener burbujas de aire después de la esterilización.

En caso de utilizar medios deshidratados, seguir las recomendaciones del fabricante para su preparación.

3.1.- Utilizar uno de los siguientes medios de cultivo:

3.1.1.- Caldo lauril triptosa (CLT).

Medio de doble concentración:

Triptosa	40.0 g
Lactosa	10.0 g
Cloruro de sodio (NaCl)	10.0 g
Fosfato monobásico de potasio (KH ₂ PO ₄)	5.5 g
Fosfato dibásico de potasio (K ₂ HPO ₄)	5.5 g
Lauril sulfato de sodio	0.2 g
Agua para llevar a	1000 cm ³

Añadir la triptosa y el cloruro de sodio al agua, calentar para disolver y añadir el lauril sulfato de sodio. Disolver el resto de los componentes por separado y agregarlos a los anteriores mezclando suavemente para evitar la formación de espuma. Ajustar a pH 6.8. Preparar medio de simple concentración diluyendo el medio de doble concentración con un volumen igual de agua.

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el medio de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³. Cada tubo o matraz deben contener un tubo de fermentación invertido (Durham). Colocar en autoclave a 388 K (115°C) durante 10 minutos.

3.1.2.- Caldo Mc Conkey.

Medio de doble concentración:

Sales biliares	10.0 g
Peptona	40.0 g
Lactosa	20.0 g
Cloruro de sodio (NaCl)	10.0 g
Púrpura de bromocresol (1% v/v en solución etanólica)	2 cm ³
Agua para llevar a	1000 cm ³

Disolver, calentando, la peptona, el cloruro de sodio y las sales biliares en agua y almacenarlo a 277 K (4°C) durante toda la noche. Filtrar mientras está aún frío, añadir la lactosa y disolver. Ajustar a pH 7.4 y añadir el púrpura de bromocresol.

Preparar el medio de simple concentración disolviendo el de doble concentración con un volumen igual de agua o prepararlo usando la mitad de la concentración de los ingredientes.

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³ en tubos o matraces conteniendo un tubo de fermentación invertido (Durham). Colocar en autoclave a 388 K (115°C) durante 10 minutos.

3.1.3.- Caldo lactosa.

Medio de doble concentración:

Peptona	10.0 g
Lactosa	10.0 g
Extracto de carne	6.0 g
Agua para llevar a	1000 cm ³

Disolver los componentes en agua hirviendo. Si es necesario, ajustar el pH de modo que al terminar la esterilización sea de 6.7. Preparar el medio de simple concentración diluyendo el medio de doble concentración con un volumen igual de agua.

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 cm³ y el de doble concentración en volúmenes de 10 y 50 cm³. Cada tubo o matraz debe contener un tubo de fermentación invertido (Durham). Esterilizar en autoclave a 394 +/- 1 K (121 +/- 1°C) durante 15 minutos.

Estos tres medios son de uso común en numerosos países. La selectividad del Mc Conkey y del CLT dependen respectivamente de la presencia de sales biliares y del agente de superficie activo, el laurilsulfato. El caldo lactosa no es un medio selectivo.

3.2.- Utilizar uno o más de los siguientes medios confirmativos:

3.2.1.- Medios para la producción de gas:

3.2.1.1.- Caldo bilis lactosa verde brillante:

Peptona	10.0 g
Lactosa	10.0 g
Bilis de buey (deshidratada)	20.0 g
Verde brillante (0.1 % m/m en solución acuosa)	13 cm ³
Agua para llevar a	1000 cm ³

Disolver la peptona en 500 cm³ de agua. Añadir los 20 g de bilis de buey deshidratada disueltos en 200 cm³ de agua; la solución debe tener un pH entre 7.0 y 7.5. Disolver con agua hasta un volumen aproximado de 975 cm³. Añadir la lactosa y ajustar el pH a 7.4. Añadir la solución de verde brillante y aforar a 1000 cm³ con agua.

Distribuir volúmenes de 5 cm³ en tubos de ensaye conteniendo tubos de fermentación invertidos (Durham) y colocar en autoclave a 388 K (115°C) durante 10 minutos.

Nota 1.- Este medio no da resultados reproducibles en todos los casos y se recomienda comprobar sus propiedades inhibitorias antes de usarlo.

3.2.1.2.- Medio EC:

Triptosa o tripticasa	20.0 g
Lactosa	5.0 g
Mezcla de sales biliares	1.5 g
Fosfato dibásico de potasio (K ₂ HPO ₄)	4.0 g
Fosfato monobásico de potasio (KH ₂ PO ₄)	1.5 g
Cloruro de sodio (NaCl)	5.0 g
Agua para llevar a	1000 cm ³

Disolver los componentes por separado y agregarlos agitando suavemente. El pH debe ser de 6.9 después de la esterilización. Antes de esterilizar, distribuir en tubos de fermentación con suficiente medio para que el tubo invertido quede cubierto cuando menos parcialmente después de la esterilización.

Como medio confirmativo para coliformes totales, el más generalizado es el caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB). Para confirmar la presencia de coliformes fecales se utiliza tanto el BLVB como el caldo EC.

3.2.2.-Medio para la producción de indol:

3.2.2.1.- Agua de triptona:

Triptona	20.0 g
Cloruro de sodio (NaCl)	5.0 g
Agua para llevar a	1000 cm ³

Disolver los componentes en agua y ajustar a pH 7.5 distribuir en volúmenes de 5 cm³ y colocar en autoclave a 388 K (115°C) durante 10 minutos.

Nota 2.- La adición de 0.1 % (m/m) de 1 ó DL-triptofano puede mejorar el funcionamiento del medio.

3.3.- Reactivo de Kovacs para indol:

1,4 dimetilaminobenzaldehído ($C_6H_4(N(CH_3)_2)CHO$)	5.0 g
Alcohol amílico ($CH_3(CH_2)_4OH$) libre de bases orgánicas	75 cm^3
Acido clorhídrico concentrado (HCL)	25 cm^3

Disolver el aldehído en el alcohol. Añadir el ácido concentrado con cuidado. Proteger de la luz y almacenar a 277 K (4°C).

Nota 3.- El reactivo debe tener una coloración entre amarillo claro y café claro; algunas muestras de alcohol amílico son insatisfactorias y dan una coloración oscura con el aldehído.

3.4.- Reactivo de oxidasa para la prueba de oxidasa:

Clorhidrato de tetrametil-p-fenilendiamina	0.1 g
Agua para llevar a	10 cm^3

Este reactivo no es estable y debe prepararse para usarse en pequeñas cantidades cada vez que sea necesario.

3.5.- Diluyentes:

3.5.1.- Diluyente de peptona (0.1 %)

Peptona	1.0 g
Agua para llevar a	1000 cm^3

Disolver la peptona en aproximadamente 950 cm^3 de agua. Ajustar el pH con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L o ácido clorhídrico 1 mol/L de modo que después de la esterilización sea de 7.0 +- 0.1. Aforar a 1000 cm^3 con agua, distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a 394 +- 1 K (121 +- 1°C) durante 15 minutos.

3.5.2.- Solución salina de peptona:

Peptona	1.0 g
Cloruro de sodio (NaCl)	8.5 g
Agua para llevar a	1000 cm^3

Disolver los componentes hirviéndolos en aproximadamente 950 cm^3 de agua. Ajustar el pH con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L o ácido clorhídrico 1 mol/L de modo que después de la esterilización sea de 7.0 +- 0.1. Llevar a 1000 cm^3 con agua, distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a 394 +- 1 K (121 +- 1°C) durante 15 minutos.

3.5.3.- Solución de ringer:

Cloruro de sodio (NaCl)	2.25 g
Cloruro de potasio (KCl)	0.105 g
Cloruro de calcio anhidro ($CaCl_2$)	0.12 g
Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)	0.05 g
Agua para llevar a	1000 cm^3

Disolver los componentes y dividirlos en volúmenes convenientes. Esterilizar en autoclave a 394 K (121°C) durante 15 minutos.

3.5.4.- Solución amortiguadora de fosfato:

Fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4)	42.5 mg
Cloruro de magnesio ($MgCl_2$)	190.0 mg
Agua para llevar a	1000 cm^3

3.5.4.1.- Solución de fosfato:

Disolver 34 g de fosfato en 500 cm^3 de agua. Ajustar a pH 7.2 +- 0.5 con solución de hidróxido de sodio 1 mol/L y aforar a 1000 cm^3 con agua.

3.5.4.2.- Solución de cloruro de magnesio.

Disolver 38 g de cloruro de magnesio en 1000 cm³ de agua.

Para usarla, añadir 1.25 cm³ de solución de fosfato (3.5.4.1) y 5.0 cm³ de solución de cloruro de magnesio (3.5.4.2) a 1000 cm³ de agua. Distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a 394 +/- 1 K (121 +/- 1°C) durante 15 minutos.

4.- Muestreo.

El procedimiento para la recolección de las muestras de agua para el análisis bacteriológico, depende del tipo de agua que se desee muestrear.

Las muestras para el análisis bacteriológico, se deben tomar en frascos muestreadores que se hayan lavado con extremo cuidado y esterilizado. En su interior colocar, previo a la esterilización, 0.1 cm³ de solución de tiosulfato de sodio al 1 % con el propósito de inhibir la acción del cloro que pueda contener la muestra, cubriendo además el tapón del frasco hasta el cuello con papel aluminio.

4.1.- Muestreo en cuerpos receptores.

4.1.1.- Siempre que sea posible, llenar el frasco a 2/3 partes de su capacidad; una cantidad menor sería insuficiente, si fuera mayor, disminuiría el espacio de aire disponible, necesario para homogeneizar la muestra. Las muestras deben ser representativas del agua en estudio y asimismo no deben contaminarse en forma alguna.

4.1.2.- El frasco donde se colecta la muestra no se debe destapar sino hasta el momento en el que se efectúe el muestreo.

Al muestrear, se debe evitar que el cuello del frasco se ponga en contacto con los dedos o cualquier otro material contaminante.

4.1.3.- El examen de la muestra colectada debe realizarse lo más pronto posible, para evitar proliferación o muerte de las bacterias.

Cuando el examen se practica dos horas después de tomar la muestra, los resultados empiezan a ser inciertos.

4.1.4.- El volumen de muestra suficiente para efectuar el análisis bacteriológico, de preferencia debe ser de aproximadamente 100 cm³. Es importante que todas las muestras estén acompañadas de datos completos y exactos de identificación y descripción.

4.1.5.- El mecanismo de muestreo superficial es el siguiente:

4.1.5.1.- Quitar el papel aluminio del cuello del frasco; introducir el frasco aproximadamente 30 cm bajo la superficie del agua.

4.1.5.2.- Destapar el frasco dentro del agua. La boca del envase debe quedar en sentido contrario al flujo de la corriente. Si no existe corriente, como en los embalses, crearla empujando el frasco horizontalmente, en dirección opuesta al movimiento de la mano.

4.1.5.3.- Una vez que la muestra ocupe el volumen correspondiente del frasco (2/3 partes); tapar sin sacarlo del agua teniendo cuidado de que el papel aluminio vuelva a cubrir el cuello de la botella.

4.1.5.4.- Si no es posible la recolección de muestras en las condiciones antes enunciadas, fijar un lastre al frasco, al que se hace descender en el agua.

4.1.6.- Para tomar muestras profundas en lagos o embalses; usar aparatos especiales que permitan destapar y tapar mecánicamente el frasco debajo de la superficie.

4.2.- Muestreo en pozos y grifos.

4.2.1.- Si el pozo está provisto de bomba de mano, bombear durante 5 minutos, para que el agua fluya libremente, antes de tomar la muestra.

4.2.2.- Si el pozo está dotado de bomba mecánica, tomar la muestra en una llave previamente flameada de la descarga, dejando que fluya el agua libremente 5 minutos antes de tomar la muestra.

4.2.3.- Al efectuar este muestreo, se debe evitar que el agua escurra fuera del frasco; además, se deben flamear los bordes del frasco y tapón durante el tiempo que dura el muestreo. Esto se hace con objeto de mantener al máximo las condiciones de asepsia.

4.2.4.- Si no se cuenta con equipo de bombeo, tomar la muestra directamente del pozo por medio de un frasco estéril con lastre. En este caso se debe evitar la contaminación de la muestra por las natas superficiales.

4.2.5.- Si se trata de tomar una muestra de un grifo del sistema de servicio, flamear el grifo y abrirlo completamente, dejando que el agua fluya por 2 ó 3 minutos o el tiempo suficiente para permitir la purga de la línea.

4.2.6.- En el momento del muestreo, restringir el flujo de la llave para que se pueda llenar el frasco sin salpicaduras.

4.2.7.- Las condiciones de asepsia deben ser las mismas que las enunciadas en el punto 4.2.3.

5.- Preservación y almacenamiento.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección. Es por ello que se recomienda que de no efectuarse así el análisis, se inicie dentro de las dos horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas para agua potable y de 6 horas para otros tipos de agua para que sea válido el resultado del análisis. Durante el período que transcurre del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 277 K (4°C), con objeto de inhibir la actividad bacteriana para no obtener resultados falsos o dudosos.

6.- Procedimiento.

6.1.- Pruebas presuntivas.

6.1.1.- Preparación de la muestra e inoculación del medio.

Antes del examen, mezclar perfectamente la muestra agitándola vigorosamente para lograr una distribución uniforme de los microorganismos y, dependiendo de la naturaleza del agua y el contenido bacteriano esperado, hacer todas las diluciones necesarias en esta etapa.

Utilizar series que constan de por lo menos tres diluciones: 10.0 cm³, 1.0 cm³ y 0.1 cm³, o bien 1.0 cm³, 0.1 cm³ y 0.01 cm³. Por cada dilución debe haber 3 ó 5 tubos.

Para diluciones a 10 veces, poner 90 ó 9 cm³ del diluyente en matraces o tubos de dilución esterilizados. Alternativamente, usar volúmenes de diluyente preesterilizado en botellas con tapón de rosca. Hacer una o más diluciones a 10 veces transfiriendo un volumen de la muestra de agua a 9 volúmenes de diluyente. Repetir estos pasos cuantas veces sea necesario. Preparar suficiente cantidad de cada dilución para todas las pruebas que se vayan a llevar a cabo con la muestra. Para diluciones diferentes a 10 veces ajustar el volumen de diluyente a la porción de prueba. Inocular los tubos conteniendo medios de aislamiento de doble concentración con porciones de prueba de un volumen mínimo de 5 cm³.

6.1.2.- Incubación de los tubos.

Incubar los tubos inoculados ya sea a 308 +- 1 K (35 +- 1°C) ó 310 +- 1 K (37 +- 1°C) durante 48 horas.

6.1.3.- Examen de los tubos.

Examinar los cultivos de los tubos después de un período de incubación de 18 a 24 horas y considerar como resultados positivos aquellos que muestren turbidez debida al crecimiento bacteriano y formación de gas en los tubos internos invertidos (Durham) junto con producción de ácido si el medio de aislamiento contiene un indicador de pH. Reincubar aquellos tubos que no muestren alguno o todos estos cambios y examinarlos nuevamente para detectar reacciones positivas a las 48 horas.

6.2.- Pruebas confirmativas.

6.2.1.- Inoculación del medio.

Resembrar a partir de cada tubo de medio de aislamiento que muestre un resultado positivo en uno o más tubos de medio confirmativo (3.2) para detectar la producción de gas e indol.

Nota 4.- Si se usa el medio más inhibitorio de caldo lactosa para aislar, resembrar en alguno de los dos medios confirmativos más selectivos, Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC para efectuar la confirmación.

6.2.2.- Incubación y examen.

Para confirmar la presencia de organismos coliformes, incubar un tubo de 6.2.1 de Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 310 K (37°C) y examinarlo para ver si hay producción de gas dentro de un periodo de 48 horas.

Para confirmar la presencia de organismos coliformes termotolerantes, incubar otro tubo de 6.2.1 de Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 317 K (44°C) durante 24 horas para ver si hay producción de gas.

Para confirmar la presencia de *E. coli* presuntiva, incubar un tubo de 6.2.1 de agua de triptona para detectar la formación de indol a 317 K (44°C) durante 24 horas. Después añadir de 0.2 a 0.3 cm³ de reactivo de Kovacs (3.3) al tubo de agua de triptona; el desarrollo de un anillo de color rojo después de agitar suavemente denota la presencia de indol.

Nota 5.- La detección de *E. coli* presuntiva se considera una evidencia satisfactoria de contaminación fecal. Sin embargo, pueden efectuarse mayores pruebas para la confirmación de *E. coli* si se considera necesario.

6.3.- Pruebas de oxidasa.

Algunas bacterias existentes en el agua pueden apegarse a la definición de organismos coliformes en muchas aspectos, pero son capaces de producir gas a partir de lactosa solamente a temperaturas inferiores a 310 K (37°C). Por consiguiente, dan resultados negativos en las pruebas confirmativas estándar para organismos coliformes y su presencia en agua usualmente no se considera significativa. Las especies de *Aeromonas*, que se encuentran naturalmente en el agua, tienen una temperatura óptima de crecimiento en el rango de 303 a 308 K (30 a 35°C), pero a pesar de ello son capaces de producir ácido y gas a partir de lactosa a 310 K (37°C). Tienen poco significado para efectos sanitarios y se distinguen del grupo de los coliformes por una reacción de oxidasa positiva.

6.3.1.- Llevar a cabo la prueba con subcultivos puros de los organismos fermentadores de lactosa, crecidos en medio nutriente de agua, como sigue:

- Colocar de 2 a 3 gotas de reactivo de oxidasa recientemente preparado (3.4) en un papel filtro en una caja de Petri.
- Con una barra de vidrio o un asa de alambre de platino (no de nicromel), colocar parte del cultivo en el papel filtro preparado.
- Considerar la aparición de un color azul marino púrpuro en un lapso de 10 segundos como una reacción positiva.

Nota 6.- En cada ocasión que se use el reactivo de oxidasa, llevar a cabo pruebas de control con cultivos de organismos que se sepa dan una reacción positiva (*Pseudomonas aeruginosa*) y uno que de una reacción negativa (*E. coli*) en 100 cm³ de la muestra.

7.- Cálculos.

A partir del número de tubos que dan reacciones positivas en los medios de aislamiento y confirmativo, calcular por referencia a las tablas estadísticas (ver tablas) el número más probable de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *E. coli* presuntiva en 100 cm³ de la muestra. Cuando se emplean diluciones, el resultado final deberá multiplicarse por el factor de dilución para hacerlo equivalente.

En caso de no encontrar en las tablas la combinación de tubos adecuada, emplear para los cálculos la siguiente ecuación:

$$\text{NMP}/100 \text{ cm}^3 = (\text{No. de tubos positivos} \times 100) / ((\text{cm}^3 \text{ de muestra en tubos negativos}) \times (\text{cm}^3 \text{ de muestra en todos los tubos}))^{1/2}.$$

Tabla 2.9

Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 5 tubos con porciones de 10 cm³ en cada uno, 5 con porciones de 1 cm³ y 5 con porciones de 0.1 cm³.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%		No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%	
5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³	5 tubos con 0.1 cm ³		Inferior	Superior	5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³	5 tubos con 0.1 cm ³		Inferior	Superior
0	0	0	<2			4	2	1	26	9	78
0	0	1	2	<0.5	7	4	3	0	27	9	80
0	1	0	2	<0.5	7	4	3	1	33	11	93
0	2	0	4	<0.5	11	4	4	0	34	12	93
1	0	0	2	<0.5	7	5	0	0	23	7	70
1	0	1	4	<0.5	11	5	0	1	31	11	89
1	1	0	4	<0.5	11	5	0	2	43	15	110
1	1	1	6	<0.5	15	5	1	0	33	11	93
1	2	0	6	<0.5	15	5	1	1	46	16	120
2	0	0	5	<0.5	13	5	1	2	63	21	150
2	0	1	7	1	17	5	2	0	49	17	130
2	1	0	7	1	17	5	2	1	70	23	170
2	1	1	9	2	21	5	2	2	94	28	220
2	2	0	9	2	21	5	3	0	79	25	190
2	3	0	12	3	28	5	3	1	110	31	250
3	0	0	8	1	19	5	3	2	140	37	340
3	0	1	11	2	25	5	3	3	180	44	500
3	1	0	11	2	25	5	4	0	130	35	300
3	1	1	14	4	34	5	4	1	170	43	490
3	2	0	14	4	34	5	4	2	220	57	700
3	2	1	17	5	46	5	4	3	280	90	850
3	3	0	17	5	46	5	4	4	350	120	1000
4	0	0	13	3	31	5	5	0	240	68	750
4	0	1	17	5	46	5	5	1	350	120	1000
4	1	0	17	5	46	5	5	2	540	180	1400
4	1	1	21	7	63	5	5	3	920	300	3200
4	1	2	26	9	78	5	5	4	1600	640	5800
4	2	0	22	7	67	5	5	5	<2400		

Tabla 2.10

Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 1 tubo con porciones de 50 cm³, 5 tubos con porciones de 10 cm³ y 5 tubos con porciones de 1 cm³.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%		No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%	
1 tubo con 50 cm ³	5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³		Inferior	Superior	1 tubo con 50 cm ³	5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³		Inferior	Superior
0	0	0	<1			1	2	1	7	1	17
0	0	1	1	<0.5	4	1	2	2	10	3	23
0	0	2	2	<0.5	6	1	2	3	12	3	28
0	1	0	1	<0.5	4	1	3	0	8	2	19
0	1	1	2	<0.5	6	1	3	1	11	3	26
0	1	2	3	<0.5	8	1	3	2	14	4	34
0	2	0	2	<0.5	6	1	3	3	18	5	53
0	2	1	3	<0.5	6	1	3	4	21	6	66
0	2	2	4	<0.5	11	1	4	0	13	4	31
0	3	0	3	<0.5	8	1	4	1	17	5	47
0	3	1	5	<0.5	13	1	4	2	22	7	69
0	4	0	5	<0.5	13	1	4	3	28	9	85
1	0	0	1	<0.5	4	1	4	4	35	12	100
1	0	1	3	<0.5	8	1	4	5	43	15	120
1	0	2	4	<0.5	11	1	5	0	24	8	75
1	0	3	6	<0.5	15	1	5	1	35	12	100
1	1	0	3	<0.5	8	1	5	2	54	18	140
1	1	1	5	<0.5	13	1	5	3	92	27	220
1	1	2	7	1	17	1	5	4	160	39	450
1	1	3	9	2	21	1	5	5	=>240		
1	2	0	5	<0.5	13						

Tabla 2.11

Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 5 tubos con porciones de 50 cm³, 5 tubos con porciones de 10 cm³ y 5 tubos con porciones de 1 cm³.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%		No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 cm ³	Límite confiable de 95%	
5 tubos con 50 cm ³	5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³		Inferior	Superior	5 tubos con 50 cm ³	5 tubos con 10 cm ³	5 tubos con 1 cm ³		Inferior	Superior
0	0	0	<1			4	1	1	4	1	9
0	0	1	1	<0.5	2	4	1	2	4	1	9
0	1	0	1	<0.5	2	4	2	0	4	1	9
0	1	1	1	<0.5	2	4	2	1	4	1	9
0	2	0	1	<0.5	2	4	2	2	5	2	12
0	3	0	1	<0.5	2	4	3	0	5	2	12
1	0	0	1	<0.5	2	4	3	1	5	2	12
1	0	1	1	<0.5	2	4	3	2	6	2	14
1	1	0	1	<0.5	2	4	4	0	6	2	14
1	1	1	1	<0.5	2	4	4	1	7	3	17
1	2	0	1	<0.5	2	4	5	0	7	3	17
1	2	1	2	<0.5	4	4	5	1	8	3	19
1	3	0	2	<0.5	4	5	0	0	4	1	9
2	0	0	1	<0.5	2	5	0	1	4	1	9
2	0	1	1	<0.5	2	5	0	2	6	2	14
2	1	0	1	<0.5	2	5	1	0	5	2	12
2	1	1	2	<0.5	4	5	1	1	6	2	14
2	2	0	2	<0.5	4	5	1	2	7	3	17
2	2	1	2	<0.5	4	5	2	0	6	2	14
2	3	0	2	<0.5	4	5	2	1	8	3	19
2	3	1	3	1	7	5	2	2	10	4	23
2	4	0	3	1	7	5	2	3	12	4	28
3	0	0	2	<0.5	4	5	3	0	9	3	21
3	0	1	2	<0.5	4	5	3	1	11	4	26
3	1	0	2	<0.5	4	5	3	2	14	5	34
3	1	1	2	<0.5	4	5	3	3	18	6	53
3	1	2	3	1	7	5	4	0	13	6	31
3	2	0	3	1	7	5	4	1	17	6	47
3	2	1	3	1	7	5	4	2	22	7	70
3	2	2	4	1	9	5	4	3	28	9	85
3	3	0	3	1	7	5	4	4	35	11	100
3	3	1	4	1	9	5	5	0	24	8	75
3	4	0	4	1	9	5	5	1	35	11	100
3	4	1	4	1	9	5	5	2	54	18	140
4	0	0	2	<0.5	4	5	5	3	92	27	220
4	0	1	3	1	7	5	5	0	160	39	420
4	0	2	3	1	7	5	5	5	=>240		
4	1	0	3	1	7						

Tabla 2.12

Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 3 tubos con porciones de 10 cm³, 3 tubos con porciones de 1 cm³ y 3 con porciones de 0.1 cm³.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por cm ³	Límite confiable de 95%	
3 tubos con 10 cm ³	3 tubos con 1 cm ³	3 tubos con 0.1 cm ³		Inferior	Superior
0	0	0	<3		
0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3	<0.5	13
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800
3	3	3	=>2400		

8.- Reporte de la prueba.

El reporte de la prueba debe hacer referencia a esta Norma Oficial, dando toda la información relevante, incluyendo:

- a.- Todos los detalles necesarios para la identificación completa de la muestra.
- b.- La técnica y medio de cultivo empleados.
- c.- El tiempo, temperatura y condiciones de la incubación.
- d.- Los resultados expresados conforme a lo que se describe en el punto 7.
- e.- Cualquier suceso particular observado en el curso del análisis y cualquier operación no especificada en el método o considerada opcional que pueda haber influido en los resultados.

9.- Confiabilidad.

El procedimiento de fermentación en tubos múltiples es el método más usado por su facilidad y economía. El resultado de esta prueba se expresa por el "número más probable" (NMP), pero debe entenderse que este método no es exacto ya que sólo nos da la probable densidad de bacterias coliformes totales o fecales de una muestra determinada. La confiabilidad está dada por los niveles superiores o inferiores del límite de confianza al 95% establecidos en las tablas para cada NMP/100 cm³, no obstante, es una indicación importante para evaluar la calidad sanitaria del agua.

CAPITULO 3

METODOS DE TRATAMIENTO

3.- METODOS DE TRATAMIENTO.

La disposición satisfactoria de las aguas negras, ya sea por irrigación, por el método subsuperficial o por el de dilución, depende del tratamiento previo a su disposición. Siempre es necesario algún tratamiento para evitar el crear condiciones ofensivas, aún cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición de aguas negras o desechos industriales.

El propósito del tratamiento de las aguas negras, previo a su disposición por dilución, consiste en separar de ellas la cantidad suficiente de sólidos que permita que los que queden al ser descargados a las aguas receptoras no interfieran con el mejor o más adecuado empleo de éstas, tomando en cuenta la capacidad de las aguas receptoras para asimilar la carga que se agregue. Los sólidos que se eliminan son principalmente orgánicos, pero se incluyen también sólidos inorgánicos. Como el mejor empleo de las aguas receptoras puede variar desde ser una agua para beber o para fines culinarios, la cantidad o grado de tratamiento que se dé a las aguas negras o a los desechos debe variar de acuerdo con ello. Debe procurarse un tratamiento para los sólidos y líquidos que se eliminan como lodos, y puede también necesitarse un tratamiento para controlar los olores, para retardar las actividades biológicas o destruir los organismos patógenos.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas negras, todos pueden incluirse dentro de los procesos siguientes:

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario o avanzado.

3.1.- Tratamiento preliminar.

El objeto del tratamiento preliminar consiste en separar de las aguas negras aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento. Por lo tanto, los dispositivos para el tratamiento preliminar se diseñan para:

- 1) Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de madera, telas, papel, basura, junto con algo de materia fecal.
- 2) Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava e incluso objetos metálicos; a todo lo cual se llama arena.
- 3) Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

Para lograr estos propósitos se usa un equipo muy variado.

3.1.1.- Rejas y cribas de barras.

Están formadas por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 cm. Generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm. Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60 grados con la vertical. Se limpian manualmente o por medio de rastrillos automáticos. Se recomienda que las rejas que se limpien a mano, salvo las que se empleen esporádicamente, se instalen dando una inclinación de 30 a 45 grados con la vertical. Los sólidos separados por estos dispositivos, se eliminarán enterrándolos o incinerándolos, o se reducen de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas negras.

3.1.2.- 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. Pueden ser fijas o móviles. Las cribas finas o estáticas se mantienen permanentemente en posición vertical o inclinada y deben limpiarse con rastrillos o cepillos. Las cribas móviles se limpian continuamente mientras están operando.

3.1.3.- Desmenuzadores.

Los molinos, cortadoras y trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas negras sin peligro de obstruir las bombas o las tuberías, o afectar los sistemas de tratamientos posteriores. Pueden disponerse aparte para triturar los sólidos que separan las cribas, o pueden ser combinaciones de cribas y cortadoras que se instalen dentro del canal por donde fluyan las aguas negras, de manera que se logre su objeto sin necesidad de separar los sólidos de las aguas negras.

3.1.4.- Desarenadores.

Las aguas negras contienen, por lo general, cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava, a los que generalmente se les llama arena. La cantidad es muy variable y depende de muchos factores. Las arenas pueden dañar a las bombas por abrasión y causar serias dificultades operatorias en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos por acumularse alrededor de las salidas causando obstrucciones. Por esta razón es práctica común eliminar este material por medio de las cámaras desarenadoras. Estas se localizan antes de las bombas o de los desmenuzadores. Los desarenadores se diseñan generalmente en forma de grandes canales. En estos canales la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados manteniéndose en suspensión el material orgánico. Los desarenadores de canal deben diseñarse de manera que la velocidad se pueda controlar para que se acerque lo más posible a 30 cm por segundo. El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse y generalmente varía de 20 segundos a un minuto.

3.1.5.- Eliminación del material retenido en las rejillas y el desarenador.

El material retenido en las rejillas o cribas se descompone rápidamente produciendo olores desagradables. Este material debe recolectarse en botes cubiertos, junto a las cribas, y retirarse diariamente o con mayor frecuencia para enterrarse, incinerarse o pasarlo a los desmenuzadores. Las paredes y plataformas de la cámara de cribado y la criba misma, deben limpiarse con chorros de manguera y mantenerse limpios. Las arenas que contengan mucha materia orgánica pueden enterrarse para impedir las molestias del olor.

3.1.6.- Tanques de preaeración.

A veces se procura una preaeración de las aguas negras, es decir, una aeración antes del tratamiento primario, para lograr lo siguiente:

- 1.- Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en los tanques de sedimentación.
- 2.- Ayudar a la eliminación de grasas y aceites que arrastren las aguas negras.
- 3.- Refrescar las aguas negras sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.
- 4.- Disminuir la DBO.

La preaeración se logra introduciendo aire en las aguas negras durante un período de 20 a 30 minutos a la velocidad que se determine. Esto puede llevarse a cabo forzando el paso de aire comprimido a través de las aguas negras, o por agitación mecánica, de manera que se pongan continuamente en contacto con la atmósfera nuevas superficies que absorban el aire. La agitación de las aguas negras en presencia de aire, tiende a aglomerar o flocular los sólidos suspendidos más ligeros, formándose masas más pesadas que se asientan más rápidamente en los tanques de sedimentación. También contribuye a la separación de la grasa o el aceite de las aguas negras y sus sólidos llevándolos a la superficie. Por la adición de aire, se restauran también las condiciones aerobias en las aguas negras sépticas, favoreciendo el tratamiento subsecuente.

3.2.- Tratamiento primario.

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario, están diseñados para retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación, esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo. En este tratamiento, la velocidad de flujo se reduce hasta uno o dos cm por segundo en un tanque de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente de aguas negras. Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados, lo cual se conoce como digestión de los lodos. Son diversos los tipos de tanques que se usan en este proceso.

3.2.1.- Tanques sépticos.

El tanque séptico fue uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario que se usaron. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaerobias, por un período de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque. Debido a los largos períodos de

retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

Los tanques sépticos ya no se usan, excepto en instalaciones muy pequeñas. Sin embargo, se emplean comúnmente en residencias aisladas, en pequeñas instituciones o escuelas, donde puede disponerse del efluente del tanque por el método subsuperficial o cuando el factor de dilución en aguas receptoras es muy alto. En estas condiciones, tienen la ventaja de requerir una atención mínima, bastando solamente una limpieza ocasional de lodos y natas.

3.2.2.- Tanques de doble acción.

Estos tanques se idearon para corregir los dos defectos principales del tanque séptico, en la forma siguiente:

- 1) Impedir que los sólidos que se han separado de las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.
- 2) Proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento ulterior.

El contacto entre las aguas negras y los lodos que se digieren anaeróbicamente queda prácticamente eliminado y disminuye el período de retención en el tanque.

El Dr. Karl Imhoff fue el primero que diseñó el tan conocido y profusamente usado tanque de doble acción que se conoce como tanque de Imhoff. Puede ser rectangular o circular, y se divide en tres compartimientos o cámaras, que son: 1) la sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación; 2) la sección inferior que se conoce como cámara de digestión de los lodos, y 3) el respiradero y cámara de natas. Es deseable que se pueda invertir la dirección del flujo, para evitar el depósito excesivo de sólidos en un solo extremo de la cámara de derrame continuo. Invertiendo el flujo cada mes se logrará que los lodos se acumulen por parejo en todo el fondo del tanque.

Durante la operación, todas las aguas negras fluyen a través del compartimiento superior. Los sólidos se depositan en el fondo de este compartimiento, que tiene pendientes de aproximadamente 1.4 unidades en el sentido vertical para una horizontal, resbalando y pasando por una ranura que hay en el fondo. Una de las partes inclinadas del fondo se prolonga cuando menos unos 15 cm más allá de la ranura, lo cual hace de trampa que impide que los gases o partículas de lodos en digestión que hay en la sección inferior, se pongan en contacto con las aguas negras que hay en la sección superior. Los gases y partículas ascendentes de lodo son desviados hacia la cámara de natas y respiradero. Esto elimina la principal desventaja del tanque séptico. Las ventilas deben tener una superficie de cuando menos un 20 por ciento de la superficie total del tanque.

El tanque de Imhoff no tiene problemas mecánicos y es relativamente económico y fácil de operar. Provee la sedimentación y digestión de los lodos en una sola unidad y debe producir un efluente primario de calidad satisfactoria, eliminando de 40 a 60 por ciento de sólidos suspendidos y reduciéndose la DBO en un 25 a un 35 por ciento.

El tanque de Imhoff es más adecuado para las pequeñas municipalidades o las grandes instituciones en donde la población tributaria es de 5,000 personas o menos.

3.2.2.1.- Otros tanques de doble acción.

Algunas casas manufactureras han puesto en el mercado partes prefabricadas para instalar en tanques que se construyan de acuerdo con sus diseños, acondicionándolos de modo que funcionen según el principio de los tanques de Imhoff. Son unidades patentadas protegidas por marcas comerciales y se clasifican como "unidades compactas".

Se proporcionan compartimientos separados para la sedimentación y la digestión de los lodos en un solo tanque. Pueden instalarse accesorios para calentar el compartimiento de digestión, si así se desea. Las unidades son de forma circular y se fabrican en tamaños para dar servicio a poblaciones de hasta 5,000 personas.

Se pueden ajustar para recolectar y utilizar los gases de digestión y tienen características especiales, como la de que el flujo de las aguas negras pueda ser radial, tangencial o hacia arriba. Algunas unidades tienen equipo mecánico para mover los sólidos sedimentados y los lodos hacia las descargas, sobre superficies relativamente lisas. Esto permite la disminución de la profundidad de los compartimientos de digestión y de sedimentación y baja el costo de construcción del tanque.

3.2.3.- Tanques de sedimentación simple.

Estos son tanques cuya función principal consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas negras, mediante el proceso de sedimentación. Los sólidos asentados se substraen continuamente o a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. Los sólidos pueden irse acumulando por gravedad, en una tolva o embudo, o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la acción de la presión hidrostática.

3.2.3.1.- Tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica.

Estos tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, pero todos operan por el mismo principio de recolectar los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empujan hacia el sitio de descarga.

En los tanques rectangulares, las rastras se fijan cerca de las orillas a una cadena sin fin que pasa sobre engranes o ruedas dentadas, accionados por medio de motores. Las rastras se hacen pasar lentamente rozando el fondo del tanque, empujando los sólidos sedimentados hacia una tolva de lodos localizada en el extremo de entrada del tanque, luego son levantadas por la cadena hacia la superficie del tanque en donde, parcialmente sumergidas, sirven para empujar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites a un recolector de natas situado en el extremo de salida del tanque. Otro tipo de mecanismo consiste en un puente viajero del mismo ancho del tanque, del cual se suspende una paleta que empuja a los sólidos hacia el punto de descarga y otra paleta despumadora para los sólidos flotantes, las grasas y los aceites. Estas paletas trabajan solamente al moverse el puente en una dirección, quedando sueltas cuando se le hace regresar en dirección contraria.

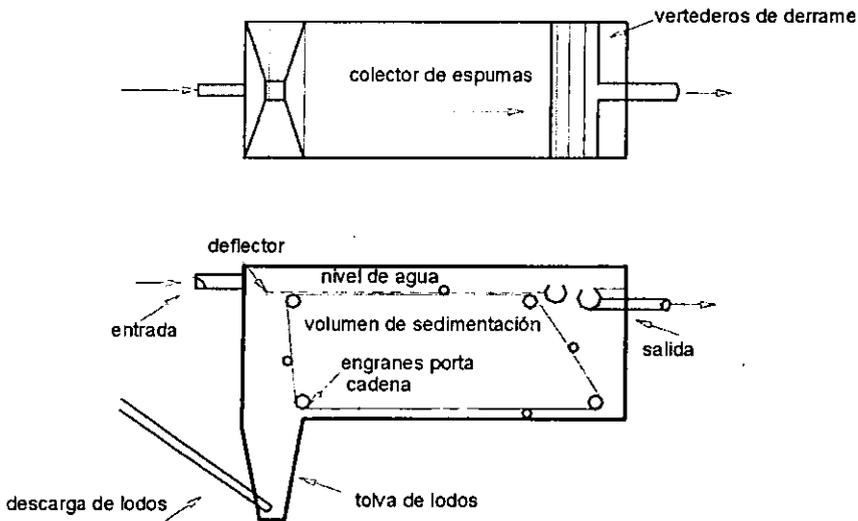


Figura 3.1 Tanque rectangular para sedimentación simple.

Los tanques circulares tienen armaduras horizontales fijas a un eje central impulsado por un motor. El fondo de los tanques está inclinado hacia el centro y las rastras mueven a los sólidos sedimentados hacia la tolva o embudo de lodos que hay en el centro. Las armaduras desnatadoras están sujetas a la flecha central en la superficie, para recolectar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites.

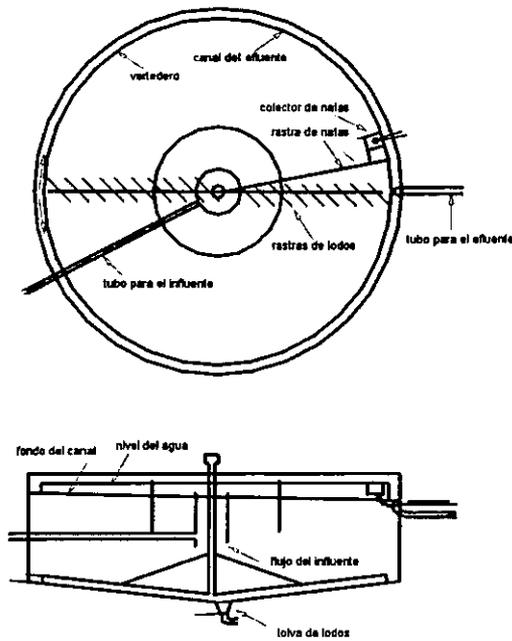


Figura 3.2 Tanque circular para sedimentación simple.

En los tanques cuadrados el mecanismo es similar al de los tanques circulares. La diferencia principal estriba en que una o ambas armaduras rígidas, están equipadas con paletas articuladas, las cuales llegan hasta las cuatro esquinas del tanque y arrastran los sólidos de esas zonas hacia la trayectoria circular del mecanismo.

En los tanques rectangulares, las aguas negras entran por un extremo y fluyen horizontalmente hacia el otro extremo. En los tanques circulares entran las aguas negras en el centro y fluyen radialmente, en sentido horizontal generalmente, hacia la periferia. En los tanques cuadrados pueden entrar las aguas negras en el centro y fluir hacia los cuatro lados, o entrar por un lado y atravesar el tanque.

Eficiencia de los tanques de sedimentación simple.

Deben eliminarse cerca del 90 a 95 por ciento de sólidos sedimentables, o sea un 40 ó 60 por ciento de los sólidos suspendidos totales, de las aguas negras. La DBO debe disminuirse en un 25 a 35 por ciento. Desde luego que estas cifras son de carácter general y no pueden aplicarse a casos especiales. Las aguas negras cuyo contenido en sólidos sea alto, pueden presentar un mayor porcentaje de eliminación por sedimentación, que otras aguas negras con un bajo contenido de sólidos suspendidos, pero siempre será mayor el contenido de sólidos suspendidos en el efluente del primer caso. La cantidad y composición de los desechos industriales, es también un factor importante que influye sobre el porcentaje de eliminación de sólidos suspendidos y sobre la DBO en los tanques de sedimentación primaria.

3.3.- Tratamiento secundario.

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios.

En un tratamiento biológico, las bacterias y otros microorganismos (hongos, algas, protozoos, rotíferos, nemátodos y crustáceos) destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la DBO y la DQO. La velocidad de degradación depende de que se hallen presentes los microorganismos adecuados.

Aunque la mayoría de sustancias orgánicas se degradan, especialmente las de origen natural, algunas de origen sintético son muy resistentes.

3.3.1.- Procesos aerobios.

Los procesos aerobios son aquellos en que la biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno.

3.3.1.1.- Lodos activados.

El desarrollo del proceso de los lodos activados ha marcado un progreso importante en el tratamiento secundario de las aguas negras. Este es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

No obstante, el medio ambiente, por sí mismo, no logra mucho, a no ser que esté poblado por suficientes operarios vivientes.

Las aguas negras comunes contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado chico para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido. Es necesario, por lo tanto, agregar muchos más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficacia.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación simple. Las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados.

Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten, principalmente, en materia orgánica procedente de las aguas negras, poblados por miríadas de bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles. Casi toda esta transformación es un proceso que se verifica gradualmente. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento para las bacterias.

La generación de lodos activados o flóculos en las aguas negras, es un proceso lento, de manera que la cantidad así formada en cualquier volumen de aguas negras, durante su período de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápidamente y eficazmente las aguas negras, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas negras. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculados. Este es un proceso acumulativo por el que, eventualmente se producirá mayor cantidad de lodos activados de los que se requieren. La excesiva acumulación, o exceso de lodos activados, se retira continuamente del proceso de tratamiento y se acondiciona para su disposición.

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su período de contacto con las aguas negras a tratar, mediante algún método de agitación. Por lo tanto, el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.
- 2) Aireación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

Se han desarrollado diversas variaciones para llevar a cabo los pasos anteriores, con el propósito de lograr diferentes condiciones. Esto ha dado origen a que se use el término "método convencional de lodos activados" para distinguir el proceso original, asignando nombres específicos a las variaciones del proceso original.

3.3.1.1.1.- Mezclado de los lodos activados con las aguas negras en tratamiento.

Es muy importante que los lodos activados recirculados se mezclen bien con las aguas negras. Esto se lleva a cabo generalmente agregando los lodos recirculados a las aguas negras sedimentadas en el extremo de alimentación del tanque de aireación, donde la agitación efectúa un mezclado rápido y satisfactorio.

3.3.1.1.2.- Aireación y agitación del licor mezclado.

Con la aireación se logran los tres objetivos siguientes: el mezclado de los lodos recirculados con las aguas negras; el mantener los lodos en suspensión por la agitación de la mezcla y el suministro del oxígeno que se requiere para la oxidación biológica. El aire se agrega generalmente por medio de alguno de los dos métodos que se conocen como sistema de "aireación por difusión" o "aireación a presión" o por aireación mecánica.

En el sistema de difusión de aire, se suministra aire a baja presión, generalmente a no más de 0.5 a 0.7 kilos (8 a 10 libras), mediante sopladores, y se hace pasar a través de diversos tipos de material poroso, en placas, o en tubos, que reparten el aire en forma de pequeñas burbujas. Estas placas o tubos están colocados de tal manera en el tanque de aireación, que imprimen un movimiento giratorio a la mezcla de aguas negras, de lo cual resulta una considerable absorción del aire atmosférico.

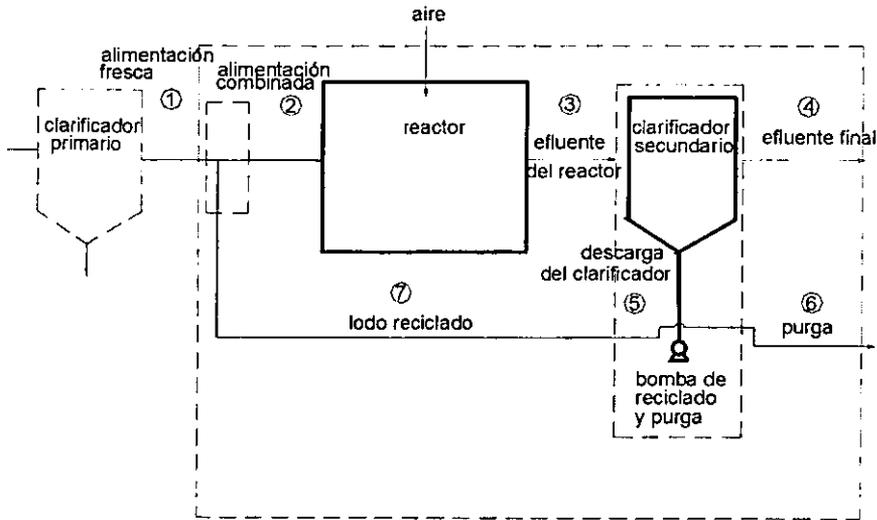


Figura 3.3 Proceso convencional de lodos activados.

Aireadores mecánicos.

Son de dos tipos generales: de paletas y de tubo de tiro vertical. Los de paleta consisten en un rodillo con paletas o cepillos sumergidos parcialmente en las aguas negras que giran sobre un eje horizontal. El aire se absorbe por contacto superficial y por las gotas que se lanzan al aire por medio del mecanismo de paletas. Con los de tubo de tiro vertical, las aguas negras se hacen circular hacia arriba o hacia abajo a través de un tubo vertical central por medio de un impulsor giratorio. Hay diversos tipos de aireadores de tubo de tiro vertical fabricados por diferentes fabricantes, cada uno con características especiales patentadas.

Además de los dos métodos mencionados hay otros tipos de aireadores en el mercado, en los que se emplean diferentes dispositivos para introducir o arrastrar el aire y proporcionar agitación.

3.3.1.1.3.- Separación de los lodos activados, del licor mezclado.

Antes de que pueda disponerse de las aguas negras tratadas en un tanque de aireación, descargándolas en aguas receptoras, hay que separar los lodos activados. Esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria o final. Tales tanques son de diseño similar a los de sedimentación primaria con limpieza mecánica.

El ciclo de remoción de los lodos en los tanques secundarios tiene mayor importancia que en los tanques primarios, pues cierta proporción de lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el tanque de

aireación. El exceso de lodos debe eliminarse antes de que pierda su actividad por la muerte de los organismos aerobios debido a la falta de oxígeno en el fondo del tanque.

3.3.1.1.4.- Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados para mezclarlos con las aguas negras.

La cantidad de lodos devueltos al tanque de aireación ha de ser suficiente para producir la purificación deseada en el tiempo disponible para la aireación y no obstante lo suficientemente corto para lograr un aprovechamiento económico de aire. Debido a las variaciones en las características y concentración de las aguas negras, así como en el tipo de plantas, la cantidad de lodos recirculados puede variar desde 10 hasta 50 por ciento del volumen de las aguas negras en tratamiento.

3.3.1.1.5.- Tratamiento y disposición del exceso de lodos activados.

El exceso final de lodos activados se trata y dispone junto con los lodos de los tanques de sedimentación primaria. Este tema será ampliamente descrito en el capítulo 4.

3.3.1.2.- Modificaciones del proceso de lodos activados.

3.3.1.2.1.- Aireación prolongada (o proceso de oxidación total).

La idea fundamental de la aireación prolongada, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen de reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados.

3.3.1.2.2.- Contacto-estabilización.

El agua residual afluyente se mezcla con lodo estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 minutos. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de demanda bioquímica de oxígeno, en suspensión y disuelta, mediante bio-absorción después de estar en contacto con el lodo activado suficientemente aireado. El efluente mezcla procedente del tanque de contacto inicial fluye al clarificador. Se separa el efluente clarificado y la descarga del clarificador se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireada durante un período de 1.5 a 5 horas.

Durante este período de estabilización los productos orgánicos adsorbidos se rompen mediante degradación aerobia. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de inanición y dispuesto por lo tanto a adsorber residuos orgánicos.

3.3.1.2.3.- Aireación escalonada.

En la aireación escalonada la alimentación fresca se introduce en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación, lo que proporciona un reparto equitativo de las relaciones alimento/microorganismos a lo largo del tanque.

El tanque de aireación se divide mediante pantallas en varios canales paralelos. Cada canal constituye una etapa del proceso y las etapas están unidas entre sí en serie. El lodo reciclado se introduce en la cabeza del tanque de aireación.

3.3.1.2.4.- Proceso de lodos activos con mezcla completa.

En este proceso la alimentación fresca y el lodo de reciclado se combinan y se introducen en diversos puntos del tanque de aireación desde un canal central. El líquido aireado abandona el reactor por canales de efluentes a ambos lados del tanque de aireación.

El suministro y la demanda de oxígeno son uniformes a lo largo del tanque. Otra ventaja de la mezcla completa es que el proceso es muy resistente a los perjuicios que pueden originar los choques de carga.

3.3.1.2.5.- Aireación descendente.

El objetivo de la aireación descendente es armonizar la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación. Ya que a la entrada la demanda de oxígeno es más alta, los aireadores se sitúan más próximos para proporcionar una velocidad más alta de oxigenación. El espacio entre aireadores se aumenta hacia la salida conforme la demanda de oxígeno disminuye.

3.3.1.3.- Lagunas aireadas.

Las lagunas aireadas son balsas con profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia.

El nivel de turbulencia en las lagunas es la base para su clasificación en dos categorías: de mezcla completa y lagunas facultativas.

3.3.1.3.1.- Lagunas de mezcla completa.

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días.

3.3.1.3.2.- Lagunas facultativas.

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de retención superan normalmente los seis días. Se presenta una formación gradual de residuo que debe ser evacuado a intervalos de 1 a 10 años.

La elección de un régimen de mezcla resulta del balance económico entre las necesidades de potencia (superiores en los sistemas de mezcla completa) y el costo del terreno (se necesita más terreno para las lagunas facultativas). El crecimiento de algas tanto en los sistemas de mezcla completa como en las lagunas facultativas es prácticamente inexistente debido a la turbiedad provocada por los sólidos en suspensión y a la turbulencia presente.

Una diferencia muy importante en la operación de ambos sistemas reside en la concentración de los sólidos en suspensión en el efluente. Ya que en las lagunas de mezcla completa, todos los sólidos se mantienen en suspensión, el efluente contendrá una concentración mucho mayor que la correspondiente a las lagunas facultativas y en consecuencia un valor elevado de DBO insoluble. Si se desea una calidad elevada del efluente, puede ser necesario que el tratamiento continúe en el caso de las lagunas de mezcla completa con una balsa de sedimentación con objeto de separar la mayor parte de esta DBO insoluble. Una disposición que puede resultar muy satisfactoria es la formada por una laguna de mezcla completa en la que se consume la mayor parte de la DBO soluble, seguida por una laguna facultativa, diseñada fundamentalmente para la disminución de la DBO insoluble.

3.3.1.4.- Balsas de estabilización de aguas residuales.

La diferencia básica entre las balsas de estabilización y las lagunas aireadas es que en las balsas de estabilización no se utiliza equipo de aireación. El oxígeno necesario en las balsas se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por la fotosíntesis se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación (CO_2 , amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas. Durante el día, en presencia de la luz solar, se produce la fotosíntesis y la obtención de oxígeno como consecuencia de ello. Aunque parte del oxígeno producido en la fotosíntesis se utiliza en la respiración, durante el día se puede estar en situación de obtener una cantidad adicional importante de oxígeno que haga que los valores del OD excedan a los de saturación. Durante la noche no hay producción de oxígeno aunque algas y bacterias lo utilizan, lo que da lugar a una disminución del OD. Asimismo durante la noche la liberación de dióxido de carbono hace disminuir el pH. Durante el día el amoníaco resultante de la degradación de los compuestos orgánicos nitrogenados contribuye al aumento del pH. En consecuencia las balsas de estabilización de aguas residuales pueden ser ácidas durante la noche y básicas durante el día. Las variaciones extremas en los valores del pH pueden llevar a unas condiciones adversas para las algas y los microorganismos.

Las balsas de estabilización de aguas residuales son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo costo y cuando la calidad exigida al efluente no es muy estricta.

Las balsas en las que las capas superiores son aerobias y las inferiores anaerobias se denominan balsas facultativas. La mayoría de las balsas de estabilización corresponden a esta categoría.

Siempre que la carga orgánica sea muy elevada, la demanda de oxígeno puede ser tal que la operación de la balsa resulta anaerobia. Cuando operan varias balsas en serie, la primera, que recibe la descarga bruta de las aguas residuales, es anaerobia y la segunda, que recibe aguas residuales parcialmente estabilizadas en la primera, puede ser una balsa facultativa. La última, que recibe la descarga de la balsa precedente con un valor de la DBO relativamente bajo, puede funcionar como balsa aerobia. La expresión balsa de afinado se aplica a la última balsa de la serie, en la que el efluente se acondiciona a un valor deseado de la DBO relativamente bajo.

3.3.1.5.- Filtros percoladores.

Todos los reactores biológicos aerobios descritos anteriormente suponen la presencia de un crecimiento biológico que se mantiene en suspensión dentro del reactor. Por esta razón se denominan reactores de crecimiento biológico en suspensión. Se ha desarrollado otro tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos reactores se denominan reactores de crecimiento biológico asistido. Los

filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. En la figura 3.4 se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador.

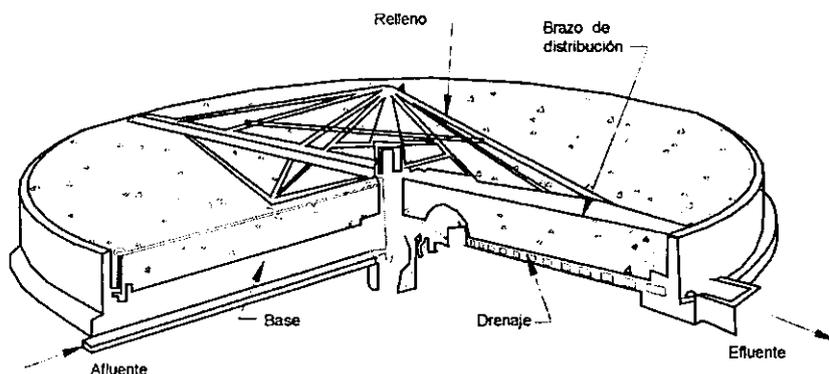


Figura 3.4 Diagrama de un filtro percolador típico.

La capa de limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0.1 y 2.0 mm. Existe un efecto perjudicial en la operación del filtro percolador si dicho espesor es superior a los 2.0 mm, puede presentarse una obstrucción del relleno, perjudicando el flujo del agua residual y la transferencia de oxígeno a los microorganismos aerobios.

3.3.1.6.- Biodiscos.

Los biodiscos son sistemas que fueron desarrollados para obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En este caso la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido y de crecimiento en suspensión.

En la figura 3.5 se presenta un diagrama de una unidad típica de tres etapas.

Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de poliestireno o polietileno con diámetros comprendidos entre 3 - 4 m. Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7.5 m aproximadamente, pudiendo alojar de esta forma un gran número de discos.

Estas unidades se disponen en tanques divididos por paredes tal como se presenta en la figura 3.5.

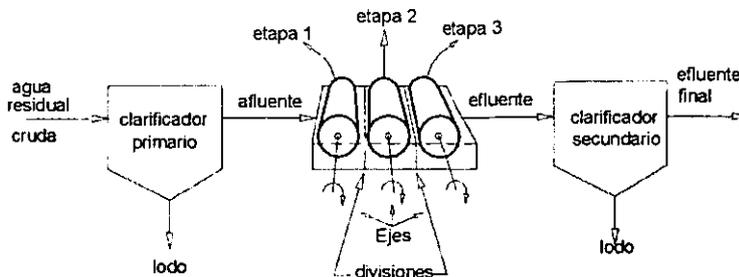


Figura 3.5 Esquema de una unidad de biodiscos típica.

La alimentación de agua residual pasa a través de estos tanques en serie de forma tal que los ejes se mantienen ligeramente por encima de la superficie del líquido. Esto significa que la superficie de los discos está aproximadamente el 40 % sumergida en todo momento. Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 r.p.m. Se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos.

Debido a que los tiempos de residencia hidráulicos son bajos, normalmente menos de una hora y con ello la concentración de biomasa en suspensión es relativamente pequeña, la mayoría de la DBO que se separa en este proceso se debe al mecanismo correspondiente al limo formado en los discos.

El efluente de la última etapa de este proceso fluye a un clarificador secundario.

3.3.2.- Procesos anaerobios.

Los productos finales de la degradación anaerobia son gases, principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2). El proceso comprende dos etapas: (1) fermentación ácida y (2) fermentación metánica.

En la etapa de fermentación ácida, los compuestos orgánicos complejos del agua residual (proteínas, grasas e hidratos de carbono) se hidrolizan en primer lugar para producir unidades moleculares menores, las cuales a su vez son sometidas a biooxidación, convirtiéndose principalmente en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), propiónico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) y butílico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$). Una población heterogénea de bacterias facultativas y anaerobias es responsable de estas reacciones de hidrólisis y oxidación. En la etapa de fermentación ácida no se produce una reducción importante de la DQO, ya que principalmente lo que ocurre es la conversión de las moléculas orgánicas complejas en ácidos orgánicos de cadena corta que ejercen también una demanda de oxígeno.

En la etapa de fermentación metánica, microorganismos metanogénicos que son estrictamente anaerobios, convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas ácidas se rompen repetidamente dando lugar finalmente a ácido acético que se convierte en CO_2 y CH_4 .

El grupo de bacterias facultativas y anaerobias responsable de la etapa de fermentación ácida tiene una velocidad de crecimiento más elevada que las bacterias metanogénicas responsables de la etapa de fermentación metánica. Como resultado, la etapa de fermentación ácida es relativamente rápida por lo que la etapa de fermentación metánica es la que controla la velocidad en los procesos anaerobios.

Ya que la fermentación metánica controla la velocidad del proceso, es importante, mantener las condiciones de una fermentación metánica eficaz. El tiempo de residencia para los microorganismos metánicos debe ser el adecuado o si no son eliminados del sistema. Los datos experimentales demuestran que el tiempo de residencia requerido varía desde 2 a 20 días. El nivel óptimo de pH va de 6.8 a 7.4.

3.3.2.1.- Proceso anaerobio de contacto.

Este es el principal proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales, que se representa esquemáticamente en la figura 3.6.

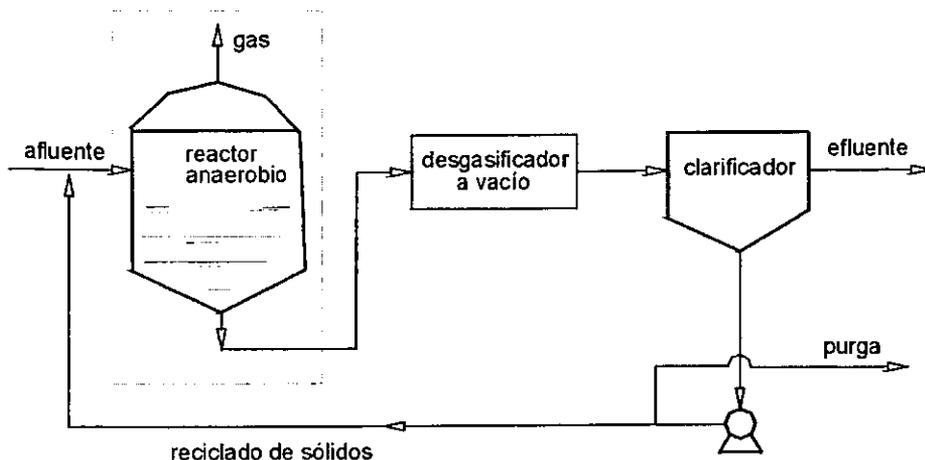


Figura 3.6 Diagrama de flujo del proceso anaerobio de contacto.

Corresponde a un tipo de proceso de crecimiento en suspensión. Se sitúa frecuentemente un desgasificador a vacío a continuación del digestor anaerobio para eliminar las burbujas de gas que tenderían a hacer flotar los sólidos en suspensión en el clarificador.

3.3.2.2.- Filtros anaerobios.

Los filtros anaerobios, que se conocen también como filtros sumergidos, son sistemas diseñados para llevar a cabo el tratamiento anaerobio empleando un crecimiento de biomasa por adherencia. El filtro anaerobio es similar a un filtro percolador aerobio salvo que la alimentación de agua residual penetra por el fondo de la unidad y la abandona por la parte superior. En consecuencia, el material de relleno está completamente sumergido en el agua residual y por ello no hay aire en absoluto dentro del sistema, por lo que se puede decir que se mantienen las condiciones anaerobias requeridas. Puede emplearse grava o relleno sintético. El filtro anaerobio constituye un sistema eficaz para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales solubles. No se requiere reciclado ya que la biomasa permanece adherida al relleno del filtro y por lo tanto no se pierde con el efluente.

El filtro anaerobio no resulta indicado para el tratamiento de aguas residuales conteniendo concentraciones elevadas de sólidos en suspensión debido a problemas de obstrucciones.

3.3.2.3.- Reactor anaerobio con flujo ascendente y manta de lodo (UASB).

Otro tipo de reactor anaerobio, hoy muy utilizado en tratamiento de aguas residuales, es el UASB (abreviación del término inglés: upflow anaerobic sludge blanket reactor). Un diagrama típico de un UASB aparece en la figura 3.7.

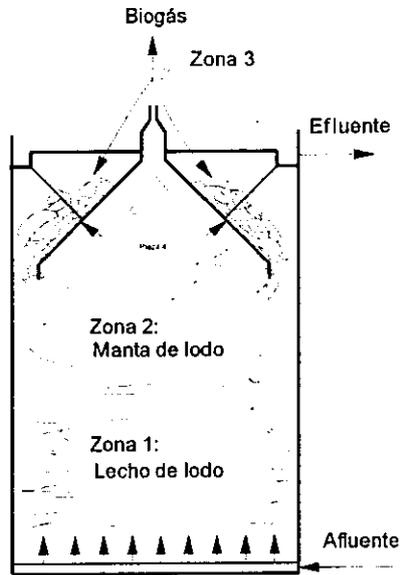


Figura 3.7 Reactor UASB.

El agua residual entra por debajo del reactor, y el efluente tratado sale por la parte superior. El reactor no contiene ningún relleno para soportar el crecimiento biológico.

El lodo formado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas. La zona 1, se llama lecho de lodo y la zona 2 es la manta de lodo. La diferencia entre las dos zonas es que el lodo en la primera es mucho más compacto que en la segunda.

La pieza 4 del diagrama sirve de sedimentador de lodo y de colector de gas. La pantalla crea una zona de bajo nivel de turbulencia (zona 3) donde un 99 % del lodo en suspensión se sedimenta y es retornado al reactor. La pieza 4 sirve también para recuperar el gas anaerobio que sale por el centro. La biomasa en el UASB está formada de gránulos de 3 a 4 mm que tienen altas velocidades de sedimentación, y por consiguiente son casi totalmente retenidos en el reactor. Habrá acumulación de biomasa en el reactor si la producción neta supera las pérdidas por arrastre en el efluente, o sea la purga.

3.3.3.- Tanques para la sedimentación secundaria.

Los efluentes provenientes de los tratamientos secundarios contienen sólidos suspendidos por lo que se tienen que eliminar antes de que se disponga de tal efluente por descarga en aguas receptoras. Para este propósito se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final. Estos tanques son de diseño similar a los descritos en los del tratamiento primario.

3.4.- Tratamiento terciario o avanzado.

El tratamiento terciario (al que se conoce también como tratamiento avanzado) es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional.

3.4.1.- Eliminación de sólidos en suspensión.

Los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en las operaciones convencionales de tratamiento primario y secundario pueden constituir una parte importante de la DBO de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se dispone de los siguientes procesos para la eliminación de estos sólidos en suspensión: microtamizado, filtración y coagulación.

Los microtamices se construyen sobre tambores rotativos. El agua residual se alimenta de forma continua en la parte interior del tambor, fluyendo hasta una cámara de almacenamiento de agua clara en la parte exterior. La limpieza de la superficie interior del tambor se lleva a cabo mediante pulverizadores de agua clara, necesiéndose normalmente del orden del 5 % del volumen de alimentación para esta limpieza. Con el microtamizado se consigue eliminaciones del 70 - 90 % de los sólidos en suspensión.

Se utiliza normalmente la filtración para conseguir rendimientos en la eliminación de sólidos en suspensión de hasta el 99 %. Los materiales de relleno de los filtros más empleados son arena, antracita y tierra de diatomeas.

La coagulación se lleva a cabo utilizando sulfato de alumina, polielectrolitos, cal y otros reactivos químicos.

3.4.2.- Adsorción en carbón activo.

Adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución. Una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.

En el interior del sólido, las moléculas están rodeadas totalmente por moléculas similares y por lo tanto sujetas a fuerzas equilibradas. Las moléculas en la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina adsorción física (o de Van der Waals).

El sólido (por ejemplo, carbón activo) se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato. La capacidad de adsorción es función de la superficie total del adsorbente, ya que cuanto mayor sea esta superficie se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas para la adsorción.

3.4.3.- Intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución.

Resinas de intercambio iónico.

Hasta los años cuarenta las zeolitas naturales eran los únicos cambiadores de iones disponibles. La capacidad de intercambio era relativamente baja, lo que limitaba la posibilidad económica del proceso en su aplicación al tratamiento de las aguas residuales. A partir de entonces, las zeolitas naturales han sido sustituidas por resinas sintéticas tales como estireno y divinil-benceno (DVB). Estas resinas son polímeros insolubles a los que se añaden grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas. Estos grupos son capaces de intercambio reversible con los iones presentes en una disolución. El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o unidad de volumen) de resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad iónica y la posición del equilibrio de intercambio. Las partículas de resina tienen diámetros de 0.5 mm aproximadamente y se emplean en columnas rellenas utilizando caudales de aguas residuales de 200 a 500 l/(min)(m²).

Existen dos tipos básicos de intercambiadores iónicos: catiónicos y aniónicos.

Intercambiadores catiónicos.

Las resinas de intercambio catiónico separan los cationes de una solución, intercambiándolos por iones sodio (ciclo del sodio) o por iones hidrógeno (ciclo del hidrógeno).

Cuando la capacidad de intercambio de la resina se agota, la resina debe regenerarse. Antes de la regeneración, la columna debe lavarse a contracorriente para eliminar los depósitos de sólidos. La regeneración consiste en el paso a través de la columna de una solución de salmuera (ClNa para el ciclo del sodio) o de una solución ácida normalmente H₂SO₄ o HCl (para el ciclo del hidrógeno).

Intercambiadores aniónicos.

Las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una solución intercambiándolos por iones oxhidrilo.

La regeneración se hace normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólido. Los regenerantes normalmente usados son hidróxidos de sodio y amonio.

3.4.4.- Osmosis inversa.

El proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo mediante un sistema de configuración tubular. El agua residual fluye bajo presión elevada a través de un tubo interior formado por material semipermeable y proyectado para soportar presiones elevadas. El agua purificada se separa en el tubo exterior, que se encuentra a presión atmosférica y está fabricado de material ordinario.

Este proceso está limitado al tratamiento de residuos solubles ya que los sólidos en suspensión taponan las membranas. En consecuencia, se necesita el tratamiento previo de la alimentación cuando haya sólidos en suspensión.

3.4.5.- Electrodialisis.

Es un método prometedor de eliminación de nutrientes inorgánicos (fósforo y nitrógeno) de las aguas residuales y, por ello, una posible etapa final en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Los componentes básicos de la celda son una serie de membranas hechas de resina de intercambio iónico. Estas membranas son permeables sólo a las especies iónicas y son relativamente selectivas de un tipo específico de iones. Existen dos tipos de membranas utilizadas en las celdas de electrodialisis: 1) membranas catiónicas, que poseen una carga fija negativa, permitiendo a los cationes (iones positivos) pasar a través de ellas pero repeliendo a los aniones (cargas negativas); y 2) membranas aniónicas, que poseen una carga positiva fija, permitiendo el paso de los aniones (iones negativos) a través de ellas pero repeliendo a los cationes (iones positivos).

El paso de los iones a través de las membranas se acelera por la aplicación de una tensión constante a lo largo de una serie de membranas permeables al catión y al anión. El cátodo y el ánodo se colocan en los dos extremos de la celda de forma tal que la membrana más próxima al cátodo sea permeable a los cationes y la más próxima al ánodo permeable a los aniones. El agua residual cruda se alimenta continuamente en los compartimientos de concentración y el agua residual tratada se extrae continuamente de los compartimientos de dilución.

Para un funcionamiento adecuado de la celda de electrodialisis, la materia en suspensión, los iones orgánicos de gran tamaño y la materia coloidal deben separarse antes del proceso. Si esto no se hace, estos materiales pueden provocar el ensuciamiento de la membrana, lo que conduce a un aumento de la resistencia eléctrica total. El ensuciamiento de las membranas es el mayor problema a superar con objeto de alcanzar el funcionamiento económico de la electrodialisis en el tratamiento de las aguas residuales.

3.4.6.- Procesos de oxidación química (cloración y ozonación).

3.4.6.1.- Cloración de las aguas residuales.

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

- 1.- Desinfección. Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- 2.- Reducción de la DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
- 3.- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.
- 4.- Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganeso a mangánico).
- 5.- Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

Las dosis típicas de cloro requeridas para desinfección se presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.1
Dosis típicas de cloro en desinfección.

Effluente de:	Intervalo de dosificación (mg/l).
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de precipitación química	2-6
Filtro precolador	3-15
Lodo activado	2-8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activados	1-5

En la desinfección se utiliza una cámara de contacto continuo en la que se suponen condiciones de equilibrio y de mezcla completa (figura 3.8). Normalmente, se colocan pantallas interceptando el camino del flujo.

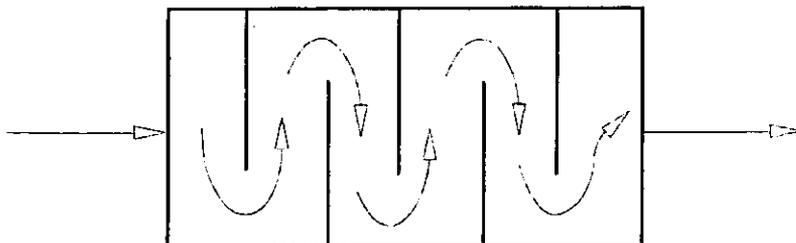


Figura 3.8 Reactor continuo para desinfección por cloro.

Aunque el empleo de la cloración está muy extendido, debe anotarse que el cloro es un producto químico relativamente caro. Si la economía tiene importancia en una aplicación dada, deben evaluarse otros métodos.

3.4.6.2.- Ozonación de las aguas residuales.

La oxidación química con ozono es un método efectivo para tratar las aguas residuales, basándose en los siguientes factores:

- 1.- El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales.
- 2.- La tendencia a la formación de espuma de las aguas residuales se reduce después del tratamiento con ozono.
- 3.- La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas residuales más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
- 4.- El ozono presente en el efluente se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática.

CAPITULO 4
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS
RESIDUALES

4.- TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS RESIDUALES.

Los lodos de las aguas negras son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados. Por su origen reciben el nombre de primarios, secundarios, exceso de lodos activados o lodos químicos. Por su estado o tratamiento recibido pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos. Estos son los términos descriptivos más comunes y pueden usarse combinados. Otras expresiones descriptivas son lodos de tanque Imhoff o de tanque séptico.

Como con la porción líquida de las aguas negras, debe disponerse de los sólidos contenidos en los lodos. Así como la porción líquida, los lodos deben someterse, en general, a algún tratamiento que sea capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

Los lodos se tratan para facilitar su disposición. Los diversos procesos de tratamiento tienen dos objetivos:

- 1) Disminuir el volumen del material que va a ser manejado, por la eliminación de parte o de toda la porción líquida.
- 2) Descomponer la materia orgánica muy putrescible a compuestos orgánicos e inorgánicos, relativamente estables o inertes, de los cuales puede separarse el agua con mayor facilidad. A esto se llama digestión, con la cual además se disminuye el total de sólidos.

4.1.- Composición de los lodos.

La cantidad y composición de los lodos varían según las características de las aguas negras de donde hayan sido retirados y depende, sobre todo, del proceso de tratamiento por medio del cual hayan sido obtenidos.

Los lodos obtenidos de un tanque de sedimentación simple, son esencialmente los sólidos sedimentables del agua negra cruda y consecuentemente se les llama lodos crudos. Estos prácticamente no han sufrido descomposición y son por lo tanto, sumamente inestables y putrescibles. Estos lodos son usualmente de color gris, de apariencia desagradable y contienen fragmentos de desperdicios, sólidos fecales, y otros desechos y tienen un olor nauseabundo.

Los lodos del tanque de sedimentación secundaria de un filtro goteador, consisten de materia orgánica parcialmente descompuesta. Son usualmente de color café obscuro, floculentos, de aspecto más homogéneo y tienen menos olor que los lodos crudos. Los lodos en exceso o sobrantes separados en el proceso de los lodos activados, están también parcialmente descompuestos, son de color café dorado y floculentos y tienen un olor a tierra no desagradable. Estas dos últimas clases de lodos, por ulterior descomposición, se hacen sépticos y de mal olor.

En el tratamiento primario, los tanques sépticos y los de doble acción proveen lo necesario para la descomposición de los lodos dentro de la misma unidad. El lodo de ambos tanques es negro y cuando está bien digerido por prolongado almacenamiento, no es ofensivo y tiene un olor a alquitrán caliente, hule quemado o lacre. Si son sacados de los tanques sin permanecer el tiempo adecuado, se descompondrán posteriormente produciendo olores ofensivos. Cualquier tratamiento de lodos pretende uno o los dos objetivos siguientes: Disminuir, por eliminación de agua, el volumen, para subsiguientes tratamientos y disposición o transformación de los sólidos orgánicos putrescibles en sólidos orgánicos o inorgánicos más estables o inertes.

4.2.- Métodos de tratamiento de los lodos.

Se considera como tratamiento de los lodos a aquellos métodos o procesos que se emplean en una planta hasta la disposición final de los productos del proceso de tratamiento. Estos procesos incluyen:

- Espesamiento.
- Digestión con o sin calentamiento.
- Secado sobre lecho de arena (cubierto o descubierto).
- Acondicionamiento químico.
- Elutriación.
- Filtración al vacío.
- Secado con calor.
- Incineración.
- Oxidación húmeda.

4.2.1.- Espesamiento.

Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos, en tanques especiales diseñados para este propósito. Su uso se limita principalmente al exceso de lodos acuosos del proceso de lodos activados.

También se usa para concentrar lodos de los tanques primarios o una mezcla de éstos y el exceso de lodos activados, anterior a la digestión en gran escala.

El tanque espesador está equipado con paletas verticales de movimiento lento, construidas como vallas de defensas. Los lodos se bombean continuamente del tanque de sedimentación al espesador, el cual tiene una baja velocidad de derrame, de manera que el exceso de agua se derrama y los sólidos de los lodos se concentran en el fondo. Se mantiene una capa de lodo en el fondo, mediante su remoción controlada, que puede ser continua y lenta.

4.2.2.- Digestión con o sin calentamiento.

El propósito de la digestión es lograr los dos objetivos del tratamiento de los lodos, o sea: una disminución en el volumen y la descomposición de la materia orgánica muy putrescible hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o relativamente estables. Con excepción de los tanques sépticos y los de doble acción; la digestión se lleva a cabo en tanques separados que se usan únicamente para este fin.

La digestión de los lodos se lleva a cabo en ausencia de oxígeno libre, por los organismos anaerobios. Por lo tanto, es una descomposición anaerobia. La materia sólida de los lodos crudos es aproximadamente en un 70 por ciento orgánica y en un 30 por ciento inorgánica o mineral. La mayor parte del agua de los lodos de aguas negras es agua embebida que no se separará de los sólidos. Los organismos vivos rompen la compleja estructura molecular de estos sólidos, liberando el agua embebida y obteniendo oxígeno y alimento para su desarrollo.

Los microorganismos (bacterias y otras formas), atacan en primer lugar a los sólidos solubles o disueltos, como los azúcares. De estas reacciones se forman ácidos orgánicos, a veces hasta de varios miles de ppm, y gases como anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico. El valor del pH de los lodos, disminuye pasando de 6.8 a 5.1. Esto se conoce como etapa de fermentación ácida y procede con rapidez. En seguida viene una segunda etapa que llevan a cabo organismos a los que favorece un medio ambiente ácido, lo cual se conoce como período de digestión ácida, durante el cual los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados son atacados y licuados con mucho menor rapidez. Durante esta etapa, el valor del pH aumenta desde 5.1 hasta 6.8.

En la tercera etapa de la digestión, conocida como período de digestión intensa, estabilización y gasificación, son atacados los materiales nitrogenados más resistentes, como son las proteínas, los aminoácidos y otros. El contenido de ácidos volátiles disminuye hasta menos de 500 ppm. El valor del pH aumenta desde 6.8 hasta 7.4. Se producen grandes volúmenes de gases con un 65 por ciento de metano (CH_4), o más. El metano es un gas inoloro, muy inflamable, que puede usarse como combustible. Los sólidos que aún quedan, son relativamente estables o lentamente putrescibles, pudiendo disponerse de ellos sin crear condiciones indeseables, teniendo además cierto valor en la agricultura.

Se ha comprobado que la digestión de los lodos tienen lugar casi a cualquiera de las temperaturas que normalmente se encontrara, pero el tiempo que se tarda en completar la digestión varía mucho con la temperatura. Son perjudiciales las variaciones bruscas de temperatura. El ámbito que se acostumbra en la operación del digestor es el de 30 a 35°C.

Una razón importante para usar el calentamiento en los tanques de digestión, es el costo adicional que representa el construir un lugar de almacenamiento para conservar los lodos durante largo período de digestión. Otra razón importante para calentar los digestores es que la producción de gases es más rápida a temperaturas más altas.

En los digestores con calentamiento, debe suministrarse el calor suficiente para:

1.- Calentar los lodos crudos hasta que la temperatura, sea uniforme en todo el tanque.

2.- Evitar toda pérdida de calor por las paredes, tapa y fondo del tanque.

Se han usado varios métodos para suministrar el calor y son:

1.- Circulación de agua caliente a 50°C, a través de tubería o serpentines fijados interiormente a las paredes del tanque.

2.- Circulación de lodos mezclados del tanque de digestión, o de los lodos crudos, por un intercambiador de calor fuera del tanque.

3.- Combustión de los gases de los lodos en un calentador sumergido.

4.- Inyección de vapor en el fondo del tanque.

5.- Introducción de agua caliente o vapor a los lodos crudos, antes de que entren al tanque.

De los métodos anteriores, el primero es el que se usa con más frecuencia en las plantas más antiguas, pero el segundo está siendo cada vez más empleado en las nuevas instalaciones.

4.2.3.- Secado sobre lecho de arena (cubierto o descubierto).

Aun en el mejor de los casos, los lodos más concentrados de un digestor, contienen demasiada agua para que se pueda, la mayor parte de las veces, disponer satisfactoria y económicamente de ellos. El lecho secador, de arena, es

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 por ciento.

4.2.3.1.- Construcción.

Los lechos secadores, de arena, consisten de una capa de grava de tamaño regular, de 30 cm de profundidad, bajo una capa de arena limpia, de 15 a 22.5 cm de profundidad. Bajo la capa de grava debe haber colectores de tejas de junta abierta, con no menos de 15 cm de grava sobre ellos y espaciados de seis en seis metros como máximo. La tubería que lleve los lodos al lecho debe terminar a 30 cm sobre la superficie de arena, cuando menos. Sobre el lecho deben colocarse placas distribuidoras y protectoras de concreto, en los puntos en que se descarguen los lodos. Los lechos pueden ser cubiertos o descubiertos, o pueden cubrirse con vidrieras como las de los invernaderos. Son más comunes los lechos descubiertos. El objeto de cubrir con vidrieras es, desde luego, el de poder operar los lechos durante los meses fríos de invierno, cuando en los lechos descubiertos se congelarían los lodos y no se secarían; así como impedir que los lodos secos se mojen parcialmente con la lluvia.

4.2.3.2.- Operación.

El secado de los lodos sobre los lechos, resulta de la combinación de dos fenómenos o factores: drenaje y evaporación. Cuando se aplican los lodos, el desprendimiento de los gases ocluidos y los disueltos tiende a hacer que floten los sólidos, quedando abajo una capa de licor que escurre o se drena hacia abajo a través de la arena. El desprendimiento de gases puede aumentar si se agrega un kilogramo de alumbre por cada 800 a 2,500 litros de lodos. El escurrimiento más importante ocurre durante las primeras 12 a 18 horas. El subsecuente secado se debe principalmente a la evaporación del agua. La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos.

4.2.3.3.- Limpieza de los lechos.

El mejor momento para retirar los lodos de los lechos secadores, depende de ciertos factores como son: el tratamiento subsecuente de molienda o picado; la necesidad de descargar lodos de los digestores y, obviamente, el contenido de humedad de los lodos que estén en los lechos. La torta de lodo con un contenido de humedad de 60 a 70 por ciento, puede retirarse con palas o rastrillos, pero si se ha dejado secar hasta el 40 por ciento pesará a lo sumo la mitad. Por otro lado, unos lodos secos que tengan el 10 por ciento de humedad, serán polvorientos. Se tienen que emplear herramientas de mano para levantar los lodos de la superficie de la arena. Una de las mejores herramientas es un rastrillo en forma de pala, que tenga sus dientes separados 2.5 cm aproximadamente, como los que se usan para ensilaje o para el manejo de carbón o de piedra. Con un rastrillo, los lodos pueden retirarse con mucha menos pérdida de arena que con una pala. En el mejor de los casos, queda adherida algo de arena en la parte inferior de la torta de lodo y eventualmente debe reponerse esta arena. Después de retirar los lodos, el lecho debe prepararse para la siguiente carga. Cada año se pierden cerca de 2.5 cm del lecho de arena y, por lo tanto, la capa de arena debe reponerse hasta su espesor adecuado, aproximadamente una vez cada tres años. Cualquier clase de arena limpia sirve para esto. Si el lecho no se ocupa durante largos períodos, debe mantenerse libre de crecimientos excesivos de hierbas.

4.2.4.- Acondicionamiento químico.

El acondicionamiento de los lodos por medios químicos, los prepara para un mejor y más económico tratamiento ulterior con filtros al vacío o centrífugas. Se han empleado productos químicos muy variados, como el ácido sulfúrico, el alumbre, la caparrosa verde clorada, el sulfato ferroso, el cloruro férrico con o sin cal y otros más. El factor determinante es usualmente el costo local de los diversos productos químicos.

La adición del producto químico a los lodos, baja el valor de su pH hasta el punto que las partículas más chicas se coagulan formando otras más grandes y el agua contenida en los sólidos de los lodos se separa más fácilmente. No hay un valor óptimo de pH definido para todos los lodos; el mejor valor de pH para los diversos lodos primarios, secundarios y digeridos, debe determinarse en cada caso por tanteos.

Los tanques para disolver las sales ácidas, como el cloruro férrico, deben recubrirse de hule o de otro material resistente a los ácidos. Para acondicionar correctamente los lodos, es esencial mezclarlos con el coagulante. También para un correcto acondicionamiento se requiere de dosificadores para aplicar los productos químicos que se necesitan.

4.2.5.- Elutriación.

La palabra "Elutriación" significa purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos, por medio de agua o efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante. Por lo tanto, se usa como un pretratamiento, antes de la coagulación con productos químicos se lleva a cabo mezclando los lodos con agua o con efluente de la planta durante un período de tiempo muy corto, a menudo inferior a 20 segundos, por medio de agitación mecánica o por aire difundido. Entonces se deja sedimentar y el sobrenadante se regresa al proceso de tratamiento de aguas negras. El proceso se lleva a cabo en tanques similares a los de sedimentación, generalmente por pares, en los que los lodos y el agua de lavado entran por extremos opuestos. La tubería y los canales están dispuestos en tal forma que el agua de lavado que entra al segundo tanque ya se ha puesto en contacto con los lodos que han sido lavados en el primer tanque con aguas de lavado del segundo tanque. La cantidad de agua que se requiere es el doble o triple del volumen de lodos que se estén elutriando. La elutriación presenta las siguientes ventajas: (1) una disminución del 65 al 80 por ciento en la cantidad de productos químicos necesarios para el acondicionamiento, (2) un menor contenido de cenizas en la torta del filtro; (3) se requiere poca o ninguna cal como producto acondicionador. Como sucede siempre en estos casos, salen a relucir los costos, por lo que, el costo del equipo, el de su operación y el de la disposición de las aguas de lavado, deberán balancearse contra los ahorros en productos químicos.

4.2.6.- Filtración al vacío.

El filtro al vacío que se emplea para eliminar el agua de los lodos, consta de un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, dnyel, fibra de vidrio o de plástico, o una malla de acero inoxidable, o también una doble capa de limaduras de acero inoxidable. El tambor, va montado en un tanque sobre su eje horizontal y sumergido aproximadamente una cuarta parte en el lodo acondicionado. Las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que, a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido a él. Se continúa la aplicación del vacío hasta que el tambor gira fuera del lodo hasta llegar a la atmósfera. Esto hace que el agua salga del lodo, dejando una capa o torta húmeda sobre la superficie exterior, la cual es raspada, soplada o levantada del tambor, justamente antes de que vuelva a entrar nuevamente en el tanque de lodo.

La medida común del funcionamiento de los filtros de vacío es la cantidad de kilogramos por hora, de sólidos secos, que se recogen por cada metro cuadrado de superficie filtrante. Para diversos lodos, éstos pueden variar desde 12.3 para lodos activados, hasta 30 o 55 para los lodos primarios mejor digeridos. El contenido de humedad en la torta de lodos, también varía según su tipo, desde 80 a 84 por ciento en lodos activados crudos, hasta el 60 o 68 por ciento en lodos primarios bien digeridos.

Aunque los costos de operación, incluyendo el acondicionamiento de los lodos para la filtración al vacío, son usualmente mayores que en los lechos, la filtración tiene la ventaja de requerir mucho menor superficie, de ser independiente de las estaciones del año y de poder eliminar la necesidad de digerirlos ya que los lodos crudos pueden ser deshidratados lo suficiente para permitir su incineración.

Al filtrar lodos crudos, los lodos y sólidos de aguas negras frescas se filtran más fácilmente que los lodos sépticos o rancios. Esto es aplicable a la filtración de lodos crudos.

Usualmente se filtran más fácilmente los lodos completamente digeridos que los parcialmente digeridos.

Es conveniente el concentrar los lodos que se vayan a filtrar, pues generalmente se filtran mejor los lodos con alto contenido de sólidos que los de bajo contenido.

4.2.7.- Secado con calor.

Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca del 10 por ciento, cifra muy inferior a la que normalmente se logra en los lechos filtrantes o por medio de la filtración al vacío. Cuando los lodos van a ser incinerados, deben secarse hasta un punto en el que puedan encenderse y quemarse. Para tal fin se emplea el secado por calentamiento. Para ello se usan comúnmente cuatro unidades diferentes, a saber: 1) el horno secador rotatorio, 2) el secador instantáneo, 3) el secador de pulverizadores y 4) el horno de cámaras múltiples.

1) El horno secador rotatorio es un cilindro de diámetro de 1.20 m a 2.40 m y de longitud desde 8 hasta 10 veces su diámetro. El cilindro gira de cuatro a ocho rpm sobre un eje inclinado. Los lodos que se van a secar entran por un extremo y son acarreados hasta la descarga por gravedad, deshaciéndose y mezclándose por medio de deflectores helicoidales fijados en la pared del cilindro. En el cilindro se introducen gases calentados de manera que los más calientes se pongan en contacto con los lodos más fríos. Los secadores rotatorios se usan generalmente para lodos deshidratados procedentes de los filtros al vacío. Como los lodos con más del 50 por ciento de humedad, tienden a aglomerarse formando bolas que se secan exteriormente, quedando húmedo su centro, se acostumbra a recircular y mezclar con los lodos que entran, suficiente cantidad de lodos secos para reducir el contenido de humedad a un valor

adecuado. La temperatura media de secado no debe pasar de 370 °C. Los gases que salen del secador, contienen polvos que hay que eliminar antes de descargarlos a la atmósfera. Estos también pueden crear serias molestias por su olor, a menos que se desodoricen mediante lavado, por cloración o por incineración a una temperatura de 650 a 760 °C.

2) En el secador instantáneo, la torta de lodos mezclada con lodos previamente secados, pasa a un molino de martillos donde las partículas de lodo se secan casi instantáneamente a medida que se dispersan y se mantienen en suspensión en una corriente de gases calientes. Las partículas de lodo así obtenidas, pasan a un separador donde el lodo seco es separado de los gases cargados de humedad. Estos lodos secos pueden quemarse o usarse como fertilizantes.

3) El secador de pulverizadores consiste de una "torre caliente" vertical, por la que pasa hacia abajo una corriente de gases calientes. Los lodos húmedos se asperjan dentro de esta torre. El agua de las partículas atomizadas se evapora y sale con los gases calientes, cayendo al fondo de la torre los sólidos secos. El polvo arrastrado por los gases calientes se aparta de ellos por medio de un separador de polvos. Como en el caso del secador instantáneo, los sólidos secos pueden quemarse o usarse como fertilizante.

4) El horno de cámaras múltiples es considerado como un secador por calor y como un incinerador, debido a que una parte de la unidad se usa para secar los lodos por medio del calor, lo cual es necesario hacer antes de incinerarlos. El horno de cámaras múltiple consta de un cilindro vertical forrado con ladrillo u otro material refractario que contiene una serie de cuatro o más cámaras, una encima de otra. Generalmente, los lodos parcialmente deshidratados, como los de la torta de un filtro de vacío, alimentan la cámara superior y se secan parcialmente por los gases calientes que llegan de las cámaras inferiores. Estos lodos se hacen bajar a la siguiente cámara inferior, mediante cepillos rotatorios o rastrillos mecánicos, hasta que alcanzan tal grado de sequedad que entran en ignición y se consumen.

4.2.8.- Incineración.

La incineración de los lodos se considera muy comúnmente como un método para la disposición de éstos. Sin embargo, se incluye en el tratamiento de los lodos, porque el producto final del proceso consiste en cenizas que hay que eliminar.

Hay dos tipos principales de incineradores para lodos: los instantáneos y los de cámaras múltiples. Los instantáneos se diseñan para quemar los lodos secos provenientes de los secadores instantáneos o de pulverizadores. Estos son un material ligero que puede insuflarse a la cámara tal como se hace con un combustible pulverizado. El calor de combustión se aprovecha para los secadores.

En todos los tipos de incineradores, los gases de combustión deben tener y mantenerse a una temperatura de 675 y 760°C, hasta que queden completamente incinerados. Esto es esencial para evitar olores molestos en la descarga de la chimenea. También es necesario, para lograr una eliminación eficaz de polvo, cenizas y hollín de la descarga del tiro. Se consigue mediante una cámara de asentamiento, con un separador centrífugo, o con un precipitador eléctrico tipo cottrell. La selección depende del grado de eficiencia eliminatoria requerido por la situación de la planta.

Todos los tipos de lodos, primarios, secundarios, crudos o digeridos, pueden ser secados e incinerados. Los lodos primarios crudos, con cerca de 70 por ciento de sólidos volátiles, contienen alrededor de 4,300 calorías por kilogramo de sólidos secos y una vez iniciada la combustión, se quema sin combustible adicional, quedando de hecho un exceso de calor usualmente disponible. Los lodos digeridos pueden o no requerir combustible adicional, dependiendo del contenido de humedad de la torta y del porcentaje de sólidos volátiles o del grado de digestión. Los lodos activados crudos requieren generalmente de combustible adicional para el secado y la combustión. En todos los casos hace falta combustible adicional para iniciar la operación hasta que se haya estabilizado la combustión de los sólidos.

La incineración de los lodos se va generalizando, especialmente en las plantas grandes. Tiene las ventajas de economía, supresión del olor, independencia del clima y la gran disminución de volumen y peso del producto final del que tiene que disponerse.

4.2.9.- Oxidación húmeda (proceso Zimmerman).

En este proceso, los lodos de las aguas negras, son desmenuzados al ser forzados a pasar por aberturas de 6.3 mm, se precalientan en un tanque mezclador hasta unos 82°C y después se alimentan por medio de una bomba rotativa a una bomba de alta presión capaz de descargarlos a una tubería en la que se introduce aire a 84 - 126 kg. por cm². La mezcla caliente de aire y lodos se pasa entonces por intercambiadores de calor que elevan su temperatura hasta cerca de 204°C, antes de que la mezcla entre a un reactor vertical de flujo ascendente. Dentro del reactor, el oxígeno del aire se combina con la materia orgánica de los lodos, oxidándolos hasta cenizas y liberando calor. La temperatura en el reactor se eleva hasta cerca de 260°C. El efluente del reactor pasa por los cambiadores de calor, cediendo la mayor parte de su calor a los lodos de alimentación. La porción líquida del efluente, lleva las cenizas, las cuales pueden ser

eliminadas por sedimentación en tanques o, en algunos casos, descargadas con el efluente de la planta. Cuando los gases calientes y el vapor se producen en cantidad suficiente, pueden utilizarse para alimentar una turbina o máquina que produzca la energía necesaria para la compresión del aire. Otros productos de la oxidación húmeda de lodos son: amoníaco, ácidos volátiles y alguna DBO residual. El grado de oxidación depende principalmente de la temperatura en el reactor. Los requerimientos de aire para el proceso, se determinan mediante el poder calorífico de los lodos que se van a oxidar, en calorías por kilogramo de aire; la humedad de los lodos, y por las condiciones de temperatura y presión en el reactor. El éxito en la operación de la oxidación húmeda depende principalmente de suministrar lodos homogéneos con un contenido de sólidos prácticamente uniformes, así como de mantener la más adecuada proporción entre el aire y los lodos. Esto último puede lograrse controlando el gasto de bombeo de los lodos o el volumen de aire que descargue el compresor, para sostener una determinada cantidad de oxígeno en los gases de salida, que generalmente debe ser de un dos por ciento en volumen, según indique un analizador de gases de la chimenea. Este control puede ser manual o automático.

4.3.- Disposición de los lodos.

Debe darse un destino o disposición final a todos los lodos de aguas negras que se produzcan en una planta de tratamiento. Los procesos de tratamiento que se han descrito, disminuyen su volumen o cambian sus características, facilitando su disposición, pero queda aún un residuo que en la mayoría de los casos tiene que ser eliminado de la planta.

Como en el caso del efluente líquido de la planta de tratamiento, hay dos métodos principales para disponer de los lodos: 1) su disposición en agua y 2) su disposición en la tierra.

Esto es válido independientemente de que los lodos hayan sido tratados o no, para facilitar o permitir el método de disposición que se haya escogido.

4.3.1.- Disposición en agua.

Este método es económico, pero poco común, debido a que depende de la disponibilidad de masas de agua adecuadas que lo permitan. En algunas ciudades de la costa, los lodos se bombean a lanchones, ya sean crudos o digeridos, y se llevan mar adentro para verterlos en aguas profundas a suficiente distancia de la playa, para lograr una dilución y evitar sus efectos a lo largo de la playa.

Cuando se acarrearán al mar, el valor de un tratamiento, tal como el de concentración o espesamiento, o de digestión, depende del costo relativo del tratamiento y del ahorro por acarreo de pequeños volúmenes y del valor del gas producido por la digestión.

4.3.2.- Disposición en la tierra.

Entre los sistemas empleados para su disposición en la tierra figuran los siguientes:

- Enterrado.
- Relleno.
- Aplicación como fertilizante o acondicionador de suelos.

4.3.2.1.- Enterrado.

Este método se usa principalmente para los lodos crudos en lugares donde, a no ser que se cubran con tierra, originen serias molestias por el olor. Los lodos se llevan a zanjas de 0.60 a 0.90 m de ancho y de unos 0.60 m de profundidad. Se cubren con 0.30 m de tierra como mínimo. Cuando se dispone de grandes superficies de terreno, el enterrado de los lodos crudos es quizá el método más económico de disponer de ellos, porque elimina el costo de cualquier proceso de tratamiento. Sin embargo rara vez se emplea y aun así se toma como recurso provisional debido a la superficie de terreno que se requiere. En las zanjas pueden permanecer húmedos y mal olientes los lodos, durante años, de modo que un terreno que se ha usado una vez, no puede usarse nuevamente para el mismo propósito o para cualquier otro durante mucho tiempo.

4.3.2.2.- Relleno.

El empleo de los lodos como material de relleno se limita casi exclusivamente a los lodos digeridos, los cuales quedan a la intemperie sin producir molestias por el olor que puedan considerarse serias o extensas. Los lodos deben estar bien digeridos y sin cantidades apreciables de lodos crudos o no digeridos, mezcladas con ellos.

Ya sea mojado o parcialmente deshidratado, se puede usar para rellenar terrenos bajos, tal como sale de los lechos secadores o de los filtros de vacío. Cuando se usan lodos mojados, la zona empleada se convierte en una laguna de lodo. Cuando se usa como método de disposición, el terreno de la laguna se llena y luego se abandona. Cuando se usa como método de tratamiento, los lodos se retiran una vez que han llegado a cierto grado de sequedad para su

disposición final, y la laguna vuelve a usarse. Las lagunas que se usan para disposición son usualmente poco hondas. Los lodos se agregan en capas sucesivas hasta que la laguna quede completamente llena. Resulta económico emplear lagunas para la disposición final de lodos digeridos, pues elimina todo proceso de deshidratación; sin embargo, solamente es utilizable en lugares donde existen zonas bajas desocupadas y disponibles en el local de la planta o a distancias razonables adonde puedan llegar los lodos por tuberías. Se usa frecuentemente este método complementario cuando son inadecuados los lechos secadores.

Se puede disponer de los lodos digeridos deshidratados, que se obtienen en los lechos secadores y en los filtros de vacío, rellenando las tierras bajas de la misma planta o acarreándolos hasta zonas análogas donde no causen molestias.

Usualmente se dispone de las cenizas de los incineradores de lodos, usándolas como material de relleno. Cuando el área de que se dispone para rellenar está cerca del incinerador, puede hacerse una lechada de ceniza agregándole agua, al extraerla de la cámara de cenizas, y bombearse al lugar de disposición. Si la superficie que se va a rellenar está lejos, hay que humedecer las cenizas lo suficiente para suprimir el polvo y transportarla en camiones o carros de ferrocarril al lugar de disposición.

4.3.2.3.- Como fertilizante o acondicionador de suelos.

El lodo de las aguas negras contiene muchos elementos esenciales para la vida vegetal: como el nitrógeno, el fósforo, el potasio y además contiene cuando menos trazas de nutrientes menores que se consideran más o menos indispensables para el crecimiento de las plantas, como el boro, el calcio, el cobre, el hierro, el magnesio, el manganeso, el azufre y el zinc. De hecho, algunas veces se encuentran estos elementos en concentraciones tales que pueden ser perjudiciales, lo que puede ser debido a desechos industriales. El humus del lodo, además de proporcionar alimento a los vegetales, beneficia al suelo aumentando su capacidad de retención de agua y mejorando su calidad para el cultivo, haciendo así posibles labores agrícolas en suelos pesados. También disminuye la erosión del suelo.

Los suelos tienen necesidades variables de fertilizantes, ahora bien, los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas se dividen en dos grupos: los que provienen del agua y del aire, sin restricción y los que se encuentran en el suelo o deban agregarse a intervalos determinados. En el primer grupo están el hidrógeno, el oxígeno y el carbono. En el segundo grupo están el nitrógeno, el fósforo y el potasio, además de otros diversos elementos que usualmente se encuentran en cantidades suficientes en suelos de composición media que son el calcio, el magnesio, el azufre, el hierro, el manganeso y otros. Los principales elementos fertilizantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, y la cantidad que se requiere de cada uno depende del suelo, de las condiciones climatológicas y del cultivo.

El nitrógeno es indispensable para la vida de las plantas, particularmente cuando se desea favorecer el desarrollo de las hojas. Por esto es de gran valor para fertilizar pastos, rábanos, lechugas, espinacas y apio. El nitrógeno estimula el desarrollo de las hojas y tallos.

El fósforo es esencial en muchas etapas del desarrollo de los vegetales. Acelera la madurez, fortalece el desarrollo de las raíces y aumenta la resistencia a las enfermedades.

El potasio es un factor importante para el crecimiento vigoroso. Desarrolla las partes leñosas de los tallos y las pulpas de los frutos. Aumenta la resistencia a las enfermedades, pero retarda la madurez y además es necesario para la formación de clorofila.

Resultado de análisis de lodos:

Tabla 4.1
Análisis de diversos tipos de lodos.
Porcentajes base seca.

Componente	Tipos de lodos.				
	Crudos	Digeridos	Activados	Torta del filtro	
				Crudos	Digeridos
Material volátil	60 - 80	45 - 60	62 - 75	55 - 75	40 - 60
Cenizas	20 - 40	40 - 45	25 - 38	25 - 45	40 - 60
Cenizas insolubles	17 - 35	35 - 50	22 - 30	15 - 30	30 - 45
Grasas	7 - 35	3 - 17	5 - 12	5 - 30	2 - 15
Proteínas	22 - 28	16 - 21	32 - 41	20 - 25	14 - 30
Nitrato de amonio	1 - 3.5	1 - 4	4 - 7	1.3	1.3 - 1.6
Acido fosfórico (como P ₂ O ₅)	1 - 1.5	0.5 - 3.7	3 - 4	1.4	0.5 - 3.5
Potasa (como K ₂ O)		0 - 4	0.86		
Celulosa	10 - 13	10 - 13	7.8	8 - 10	8 - 12
SiO ₂		15 - 16	8.5		
Hierro		5.4	7.1		

Los lodos de aguas negras, secos o deshidratados, son excelentes mejoradores o acondicionadores de suelos, además de que son buenos fertilizantes aunque incompletos, a no ser que se refuercen con nitrógeno, fósforo y potasio. El mejor producto son los lodos activados crudos secados por calentamiento, tanto desde el punto de vista químico como higiénico, aunque desprenden olor al usarlos. Los lodos digeridos secados por calentamiento contienen mucho menos nitrógeno y son más valiosos como acondicionadores de suelos y material de construcción, que como fertilizantes. Para algunos cultivos, estos lodos son deletéreos y son prácticamente inodoros cuando están bien digeridos.

Actualmente se cree que el "factor de crecimiento" de los lodos como acondicionadores del suelo, se debe a su contenido en vitaminas y a su eficacia como acondicionadores.

Los lodos secados al aire varían mucho en contenido de humedad y en apariencia física. Los grandes trozos que se sacan de los lechos descubiertos o cubiertos, tienen que romperse o desintegrarse si se quiere que el material pueda aplicarse fácil y uniformemente al césped, a los campos o a los jardines. En algunas plantas los lodos se han secado al aire hasta contener solamente el 10 por ciento de humedad y después se han molido en molinos de martillos. Un método más corriente es el de emplear un desintegrador tipo "Royer" que puede desmenuzarse con eficacia una torta de lodo que esté lo suficientemente seca para no quedar pegada al desintegrador, el cual tiene cuchillas de acero sobre una banda sin fin que corre bajo cuchillas fijas. Los lodos alimentan la banda por medio de una tolva.

Las tortas de lodo de los filtros de vacío, no pueden esparcirse fácilmente sobre la tierra como fertilizantes o acondicionadores de suelo, debido a su consistencia pastosa. Deben secarse ulteriormente al aire.

Se han hecho numerosos estudios, tanto en el laboratorio como en cultivos reales, bajo condiciones controladas, para determinar el valor de los lodos de aguas negras como fertilizantes.

La mayoría de los conocedores, convienen, por muchas razones, en que los lodos activados, secados al aire, son diferentes a los lodos digeridos y que tienen un considerable valor en la agricultura.

Se ha afirmado que los lodos digeridos son algo comparable a los abonos de las granjas, en cuanto a sus constituyentes fertilizantes, su relativa disponibilidad y la naturaleza física del material. También se ha dicho, que las diferencias más importantes entre los dos materiales estriba en que los compuestos nitrogenados más fácilmente descomponibles de los lodos, han sufrido mayor pérdida por el proceso de digestión, a diferencia de los abonos, quedando un residuo nitrogenado de poca disponibilidad; y que el potasio, por ser en gran parte soluble en agua, se ha eliminado por lavado en los lodos, mientras que en los abonos se ha conservado. La tabla siguiente muestra análisis comparativos de los lodos y los abonos:

Tabla 4.2
Ingredientes fertilizantes en los lodos y en diversos abonos.
Porcentaje base seca.

	Nitrógeno (Como N)	Acido fosfórico	Potasa
Lodos sedimentados digeridos.	0.8 - 3.5	1.6	
Lodos activados digeridos.	2.0 - 4.8	1.6	
Lodos activados secados por calor.	4.0 - 7.0	1.7 - 2.5	0.13
Comerciales pulverizados.			
Abono de ovejas.	1.2 - 2.5	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0
Abono de vacas.	1.6 - 2.1	1.0	1.0 - 2.2
Abono de aves.	1.9 - 4.0	2.5 - 3.7	0.8 - 1.3

Antes de que se adoptara tan profusamente la digestión de los lodos, era perjudicial algunas veces la aplicación a las tierras de los lodos crudos, debido a que es difícil que el suelo absorba el contenido de grasas y esto lo hacía impermeable.

Sin embargo, en los lodos digeridos las grasas han disminuido y han quedado divididas en partículas tan finas que no afectan perjudicialmente la porosidad del suelo.

El uso continuado de los lodos digeridos, tiende a bajar el valor del pH del suelo y se recomienda aplicar cal o piedra caliza molida de vez en cuando.

Los lodos digeridos que se obtienen en los procesos de tratamiento son materiales de no mucho valor pero bien definido, como fuente de nitrógeno lentamente aprovechable y de algo de fosfatos. Son comparables a los abonos de las granjas, excepto por su deficiencia en potasio. Su principal valor radica en el humus que contiene, que se traduce en un incremento de la capacidad de retención de la humedad del suelo y en un cambio en la estructura del mismo, que lo hace más desmenuzable.

CAPITULO 5
PROPUESTA DEL METODO DE
TRATAMIENTO

5.- PROPUESTA DEL METODO DE TRATAMIENTO.

5.1.- Caracterización del agua residual.

Las actividades de caracterización consistieron en el conocimiento del proceso industrial, determinación del consumo de agua, generación de aguas residuales y características del residuo, en la tabla 5.1 se presenta un resumen de esta actividad.

Tabla 5.1
Caracterización promedio de una descarga de matanza de aves.

Parámetro.	Unidades.	Valores.		
		Máximo.	Mínimo.	Medio.
DQO	mg/l	1,254	1,080	1,173
DBO ₅	mg/l	1,200	985	1,075
Sólidos totales	mg/l	2,252	1,288	1,639
Sólidos suspendidos	mg/l	633	260	465
Sólidos disueltos	mg/l	732	125	328
Sólidos sedimentables	mg/l	7.0	3.0	5.33
Nitrógeno total	mg/l	118	108	113
Fosfato total	mg/l	28.1	14.5	20.0
Grasas y aceites	mg/l	92	41	63.86
pH		7.2	6.5	6.0
Consumo de agua/ave sacrificada	lts/pollo			12.0

Los valores de pH se encontraron en un rango entre 6.2 y 8.2 con un mayor número de valores cercanos a 7.0, las muestras compuestas al finalizar los muestreos tenían valores de pH de 6.9, 7.2 y 6.5.

La temperatura del desecho variaba entre 13 °C a la descarga de los enfriadores y 40°C a la descarga de la escaladora; la mayor cantidad de mediciones estaban cercanas a un valor de 20°C.

5.2.- Disposición final o descarga.

El agua residual proveniente de este tipo de actividades, tiene altos contenidos de materia orgánica por lo que es muy contaminante. Las Autoridades competentes han emitido Normas Oficiales para controlar el vertido de este tipo de aguas residuales a los cuerpos receptores de aguas y bienes nacionales o a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Cuando se descarga el agua residual en cuerpos receptores como son: ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua hay que apearse a las siguientes Normas Oficiales:

5.2.1.- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-022-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de matanza de animales y empacado de cárnicos.

1.- Objetivo.

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 matanza de animales y empacado de cárnicos.

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 matanza de animales y empacado de cárnicos.

3.- Especificaciones.

3.1.- Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de matanza de animales y empaçado de cármicos deben cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2

Parámetros.	Límites máximos permisibles.	
	Promedio diario.	Instantáneo.
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	200	240
Sólidos sedimentables (ml/l)	1.0	1.2
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	200	240
Grasas y aceites (mg/l)	30	40
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	20	30

3.1.1.- 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.

3.1.2.- 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 provenientes de esta industria.

3.1.3.- 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.

3.2.- 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 matanza de animales y empaçado de cármicos, considerando o no las aguas de servicios son:

3.2.1.- 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.

3.2.2.- 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.

3.3.- 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 5.2; además podrá establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los siguientes parámetros:

Color.

Conductividad eléctrica.

Fósforo total.

Sólidos disueltos totales.

4.- Muestreo.

4.1.- Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de matanza de animales y empaçado de cármicos 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 5.3.

Tabla 5.3

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga.	Número de muestras.	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		mínimo	máximo
Hasta 8	4	1	2
Más de 8 y hasta 12	4	2	3
Más de 12 y hasta 18	6	2	3
Más de 18 y hasta 24	6	3	4

4.2.- En el caso que durante el período 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.

4.3.- 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 refirió el punto 4.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

5.- Métodos de prueba.

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 5.2, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las Normas Mexicanas.

6.- 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.

7.- 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.

8.- Concordancia con Normas Internacionales.

Esta Norma Oficial Mexicana no coincide con ninguna Norma Internacional.

9.- Vigencia.

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. (Fecha de publicación 18 de Octubre de 1993).

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de Octubre de mil novecientos noventa y tres.

El 30 de Octubre de 1996 se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales.

A pesar de que el cumplimiento de dicha Norma Oficial Mexicana es gradual y progresivo, comenzando el 1 de Enero del 2000 y terminando el 1 de Enero del 2010, conviene tomarla en cuenta, por lo cual se enuncia a continuación.

5.2.2.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

2.- Especificaciones.

2.1.- La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 5.4 y 5.5 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

2.2.- Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

2.3.- Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Tabla 5.4

PARAMETRO S	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS																				
	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO				
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda bioquímica de oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D. = Promedio Diario.

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) Y (C) = Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla 5.5

PARAMETROS (*)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																			
	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales Naturales (b)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	5.0	10.0	0.2	0.4
Zinc	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario.

P.M. = Promedio Mensual.

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C) = Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

2.4.- Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

2.5.- Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.6. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.7. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

Tabla 5.6

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de Enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de Enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de Enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Tabla 5.7

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de Enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de Enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

2.6.- Las fechas de cumplimiento establecidas en las tablas 5.6 y 5.7 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

2.7.- Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las tablas 5.4 y 5.5 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las tablas 5.8 y 5.9. Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

Tabla 5.8

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACION	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de Junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de Diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de Diciembre de 1999

Tabla 5.9

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO ₅ Y/O SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de Junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de Diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de Diciembre de 1999

2.8.- El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la tabla 5.10 para descargas de tipo municipal y en la tabla 5.11 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

Tabla 5.10

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

Tabla 5.11

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

2.9.- El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

2.10.- En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 2.1, 2.2 y 2.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

2.11.- Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

2.12.- El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

3.- Métodos de prueba.

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba apropiados. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

4.- Verificación.

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

5.- Grado de concordancia con Normas y recomendaciones Internacionales.

No hay Normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

6.- Observancia de esta Norma.

6.1.- La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

6.2.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Transitorio

Único. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las tablas 5.8 y 5.9, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las tablas 5.6 y 5.7, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.

3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.7 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.7 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México, Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis. La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.- Rúbrica.

Cuando se descarga en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal hay que apegarse a las siguientes Normas Oficiales:

5.2.3.- 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.

1.- Objetivo.

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 aplicación.

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.- Especificaciones.

3.1.- 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 5.12.

Tabla 5.12

Parámetros.	Límites máximos permisibles.	
	Promedio diario.	Instantáneo.
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

3.1.1.- 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.

3.1.2.- 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.

3.1.3.- 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.

3.2.- 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 entre 5°C (278 K) a 40°C (313 K) o lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.- Condiciones particulares de descarga.

Cuando las autoridades del Distrito Federal, estatales 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 5.12 de esta Norma Oficial Mexicana, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas 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 5.12 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.

Fósforo 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 5.12.

Hidrocarburos que no se incluyen en tóxicos orgánicos.

3.3.1.- Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se considerarán los incluidos en el anexo A de la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-001ECOL/1993.

3.4.- Los responsables de las descargas tendrán las siguientes obligaciones y derechos.

3.4.1.- Tendrán la obligación de realizar una vez al año los análisis del total de los parámetros comprendidos en la tabla 5.12 de esta Norma Oficial Mexicana.

3.4.2.- 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 5.12.

3.4.3.- 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.

3.5.- Los responsables de las descargas deberán incluir en los reportes de la calidad de las aguas residuales a que se refiere la tabla 5.12 de esta Norma Oficial Mexicana, los valores de los parámetros que resulten procedentes de conformidad con lo previsto en los puntos 3.2, 3.3 y 3.4 de esta Norma Oficial Mexicana.

3.6.- 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 5.12, tendrá el derecho de solicitar a la autoridad competente se le fijen condiciones particulares de descarga para este parámetro.

4.- Muestreo.

4.1.- 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 las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en momento del muestreo, de acuerdo con la tabla 5.13.

Tabla 5.13

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga.	Número de muestras.	Intervalo entre toma de muestras simples (horas).	
		Mínimo.	Máximo.
Hasta 8	4	1	2
más de 8 y hasta 12	4	2	3
más de 12 y hasta 18	6	2	3
más de 18 y hasta 24	6	3	4

4.2.- En el caso de que en 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.

4.3.- 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 4.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

5.- Métodos de prueba.

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 5.12, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las Normas Mexicanas, correspondientes.

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

6.- 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.

7.- 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.

8.- Concordancia con Normas Internacionales.

Esta Norma Oficial Mexicana no coincide con ninguna Norma Internacional.

9.- Vigencia.

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. (Fecha de publicación 18 de Octubre de 1993).

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de Octubre de mil novecientos noventa y tres.

El 30 de Octubre de 1996 se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

A pesar de que el cumplimiento de dicha Norma Oficial Mexicana es gradual y progresivo, comenzando el 1 de Enero de 1999 y terminando el 1 de Enero del 2009, conviene tomarla en cuenta, por lo cual se enuncia a continuación.

5.2.4.- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.

1.- Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

2.- Especificaciones.

2.1.- Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la tabla 5.14. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Tabla 5.14

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

2.2.- Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

2.3.- El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

2.4.- El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no dañe al sistema del mismo.

2.5.- La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

2.6.- Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los

establecidos en la tabla 5.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

2.7.- El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto 2.6, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

- a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.
- b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

2.8.- No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

2.9.- La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

- a) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
 - b) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.
- Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

2.10.- Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta Norma, se obtendrán de 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 5.15.

Tabla 5.15
FRECUENCIA DE MUESTREO

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \times \frac{Q_i}{Q_t}$$

donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Qt = Σ Qi hasta Qn, litros por segundo.

En el caso de que en el periodo de operación del proceso o realización de la actividad generadora 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 contaminantes.

2.11.- Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la tabla 5.16. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

Tabla 5.16

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1° de enero de 1999	mayor de 50,000 habitantes
1° de enero de 2004	de 20,001 a 50,000 habitantes
1° de enero de 2009	de 2,501 a 20,000 habitantes

2.12.- Las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.16 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

- a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en un plazo no mayor de 180 días a partir de la fecha de publicación de esta Norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.
- b) La autoridad competente, previo a la publicación de esta norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
- c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, para su descarga correspondiente.
- d) Exista previo a la publicación de esta Norma, reglamentación estatal o municipal que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

2.13.- Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

2.14.- Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la tabla 5.14 de la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

2.15.- El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad competente

podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales locales aplicables.

2.16.- El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

2.17.- El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

2.18.- En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario o mensual de los parámetros referidos en el punto 2.1 de esta Norma, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

3.- Métodos de prueba.

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se pueden aplicar los métodos de prueba referidos en las Normas Mexicanas correspondientes. El responsable de la descarga puede solicitar a la autoridad competente, la aprobación de métodos alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos quedarán autorizados para otros responsables de descarga en situaciones similares.

4.- Grado de concordancia con Normas Internacionales.

No hay Normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

5.- Observancia de esta Norma.

5.1.- La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

5.2.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Transitorios.

Primero.- A partir de la fecha de entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma, el responsable de la descarga debe presentar a la autoridad competente su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en el punto 2.11 de esta Norma, según le corresponda.

Segundo.- Las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 5.16 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán aplicables, cuando se trate de instalaciones nuevas o de incrementos en la capacidad o ampliación de las instalaciones existentes en fecha posterior a la entrada en vigor del presente instrumento, el responsable de la descarga deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana,

en un período no mayor de 180 días naturales posteriores al inicio de la actividad u operación del proceso generador, debiendo notificar a la autoridad competente dicha fecha.

Tercero.- En tanto se alcanzan las fechas de cumplimiento establecidos en la tabla 5.16 y en el caso de que las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal contengan concentraciones de contaminantes superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, el responsable de la descarga no podrá descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años, de acuerdo con sus registros y los informes presentados ante la autoridad competente.
México., Distrito Federal, a los seis días del mes de abril de mil novecientos noventa y ocho.

5.3.- Propuesta del tratamiento.

5.3.1.- Objetivos de los tratamientos de aguas residuales.

Los objetivos de cualquier tratamiento de aguas son los siguientes:

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

5.3.1.1.- Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover contaminantes.

Contaminantes.

Operaciones y procesos unitarios.

Sólidos suspendidos y flotantes.

Sedimentación.
Cribado y desmenuzado.
Flotación.
Filtración.
Mezcla.
Floculación.

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.

En la mayoría de los procesos de tratamiento primarios, así como secundarios, se producen lodos, de los que hay que deshacerse en forma adecuada.

5.3.1.2.- Operaciones y procesos unitarios para el tratamiento y disposición de los lodos.

Los tratamientos de lodos y su disposición son:

Función:

Operaciones de procesos unitarios y métodos de tratamiento.

Espesamiento.

Espesado por gravedad.

Estabilización.

Con cal.
Digestión anaerobia.
Digestión aeróbica.

Acondicionamiento.

Coagulación química.

Secado.

Filtros de vacío.
Filtros de banda horizontal y rodillos a presión.
Lechos de secado.

Disposición.

Rellenos.
Acondicionamiento de terrenos.

5.3.2.- Tren del agua.

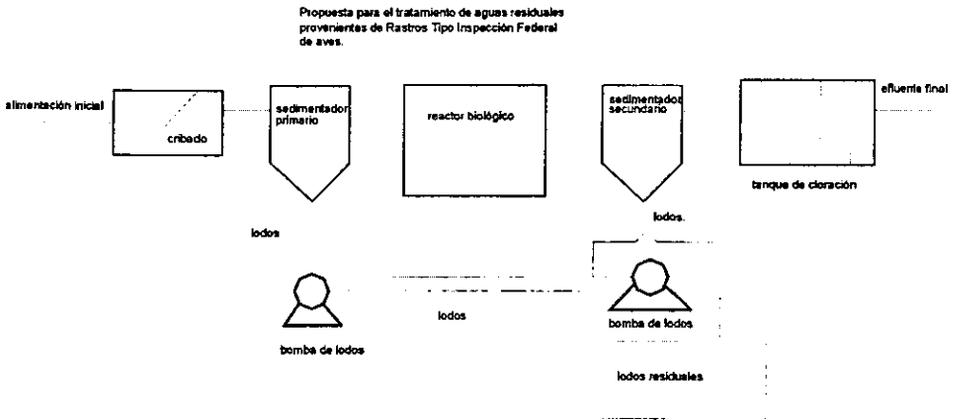


Figura 5.1

5.3.2.1.- Cribado.

El propósito de esta operación es remover sólidos gruesos como son vísceras y plumas, para evitar que puedan 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.

Matanza: 10,000 pollos/día.

Volumen de aguas residuales: 120 m³/día.

$$Q_{\text{promedio}} = (120 \text{ m}^3/\text{día}) (1,000 \text{ lt}/1 \text{ m}^3) (1 \text{ día}/24 \text{ hr}) (1 \text{ hr}/60 \text{ min}) (1 \text{ min}/60 \text{ seg.})$$

$$Q_{\text{promedio}} = 1.3888 \text{ lt}/\text{seg.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{promedio}} \times 1.5$$

$$Q_{\text{diseño}} = (1.3888 \text{ lt/seg.}) \times 1.5$$

$$Q_{\text{diseño}} = 2.0832 \text{ lt/seg.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 2.0832 \text{ lt/seg.} = 0.0020832 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 180 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se recomienda que la velocidad de aproximación a la criba sea de 0.45 m/seg.

$$\text{Velocidad de aproximación} = 0.45 \text{ m/seg.}$$

1.- Area del canal de rejillas (Ac).

$$Ac = Q_{\text{diseño}} (\text{m}^3/\text{seg}) / \text{velocidad de aproximación (m/s)}$$

$$Ac = (0.0020832 \text{ m}^3/\text{seg.}) / (0.45 \text{ m/seg.}) = 0.004629 \text{ m}^2$$

$$Ac = 0.004629 \text{ m}^2$$

2.- Tirante = Area del canal de rejillas (Ac) / Ancho de plantilla (m)

$$\text{Tirante} = (0.004629 \text{ m}^2) / (0.15 \text{ m})$$

$$\text{Tirante} = 0.03086 \text{ m}$$

3.- Altura total del canal (ATC) = tirante + bordo libre

Se considera un bordo libre para protección, ya que este tipo de aguas residuales contiene muchos sólidos en suspensión y puede llegar a tapar parte de la rejilla ocasionando un incremento en el nivel del agua.

$$ATC = 0.03086 \text{ m} + 0.21914 \text{ m}$$

$$ATC = 0.25 \text{ m}$$

4.- Inclinación de la criba = 45°

5.- Longitud de la criba (Lr)

$$Lr = ATC / \text{sen } 45^\circ$$

$$Lr = 0.25 \text{ m} / \text{sen } 45^\circ$$

$$Lr = 0.35 \text{ m}$$

6.- Pérdida de carga en la zona de criba.

$$h_L = (1 / 2g) \times (Q_{\text{diseño}}/CA)^2$$

donde:

h_L = pérdida de carga a través de la criba en m

g = constante de gravedad = 9.81 m/seg²

$Q_{\text{diseño}}$ = gasto a través de la criba.

A = Area abierta efectivamente sumergida, en m²

C = coeficiente de descarga, igual a 0.60 para cribas limpias.

$$h_L = (1/(2 \times (9.81 \text{ m/seg}^2)) \times ((0.0020832 \text{ m}^3/\text{seg}) / ((0.60) \times (0.004629 \text{ m}^2))))^2$$

$$h_L = 0.02867 \text{ m}$$

Se recomienda un canal doble para facilitar el mantenimiento, con criba fina en acero inoxidable de limpieza manual con las siguientes características:

Criba fina con abertura de 5 mm.

Inclinación de la criba 45°

Velocidad de aproximación 0.45 m/s.

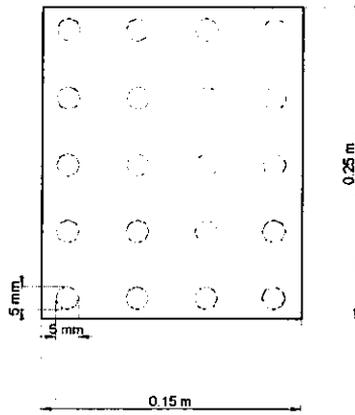


Figura 5.2

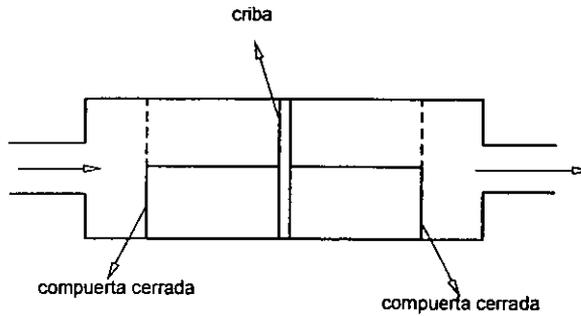


Figura 5.3

Este tipo de cribas son capaces de remover de 20 a 35 por ciento de sólidos suspendidos y DBO₅

Suponiendo que reducen un 20% de sólidos suspendidos y DBO₅ el agua residual quedaría con los siguientes valores:

	Agua residual antes de la criba.*	Agua residual después de la criba.
Sólidos suspendidos	465 mg/l	465 mg/l - 93 mg/l = 372 mg/l
DBO ₅	1,075 mg/l	1,075 mg/l - 215 mg/l = 860 mg/l

* Datos obtenidos de una caracterización de aguas residuales provenientes de rastros de aves.

5.3.2.2.- Sedimentador primario.

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

Valores típicos de diseño para sedimentadores primarios.

Profundidad: 2 - 3.5 m

Tiempo de retención o residencia: 0.5 - 1.5 hrs.

Velocidad de paso: 18 - 80 m/h.

Factor de carga: 36 - 50 m³/m² h

Rendimiento:

Separación SS: 40 - 60%

Disminución DBO₅: 30 - 50%

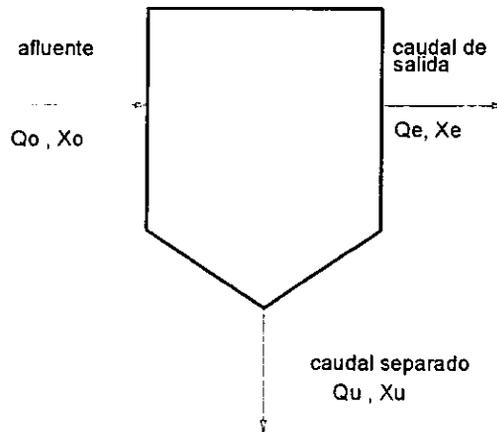


Figura 5.4

donde:

$Q_o = \text{m}^3/\text{d}$ del afluente.

$X_o = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión en el afluente.

$Q_e = \text{m}^3/\text{d}$ del efluente.

$X_e = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado.

$Q_u = \text{m}^3/\text{d}$ del caudal que sale del clarificador.

$X_u = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión del caudal separado.

Agua residual antes del sedimentador primario

$X_o = 372 \text{ mg/l}$

$\text{DBO}_5 = 860 \text{ mg/l}$

$Q_o = 180 \text{ m}^3/\text{día.}$

Grasas y aceites = 63.86 mg/l

Se propone una separación del 50% de los sólidos en suspensión y un factor de mejoración de 1.25 (factor de seguridad).

En base a los análisis de laboratorio de las aguas residuales, para separar el 50% de los sólidos en suspensión se obtiene:

Tiempo de retención = 30 min.

Factor de carga = $50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Factor de mejoración: 1.25

Utilizando el factor de mejoración de 1.25 se tiene:

Tiempo de retención: 30 min. X 1.25 = 37.5 min.

Factor de carga: $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d} / 1.25 = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

En base al % de sólidos en los lodos en función del tiempo de retención (X_u) se obtiene:

$X_u = 10,700 \text{ mg/l}$

Calcular los mg/l de sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado (X_e).

$X_e = 0.50 \times 372 \text{ mg/l}$

$X_e = 186 \text{ mg/l}$

Calcular el caudal del efluente en m^3/d (Q_e)

$Q_e = ((Q_o (X_u - X_o)) / (X_u - X_e))$

$Q_e = ((180 \text{ m}^3/\text{d}) (10,700 \text{ mg/l} - 372 \text{ mg/l})) / (10,700 \text{ mg/l} - 186 \text{ mg/l})$

$Q_e = 176.8156 \text{ m}^3/\text{d}$

Calcular el caudal que sale del sedimentador en m^3/d (Q_u).

$$Q_u = Q_o - Q_e = 180 \text{ m}^3/\text{d} - 176.8156 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_u = 3.1844 \text{ m}^3/\text{d}$$

Cálculo del área de la sección y altura efectiva del sedimentador.

$$A = Q_e / \text{Factor de carga}$$

$$A = (176.8156 \text{ m}^3/\text{d}) / (40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d})$$

$$A = 4.42039 \text{ m}^2$$

$$A = L \times W$$

Suponiendo

$$W = 1 \text{ m}$$

$$L = A / W$$

$$L = 4.42039 \text{ m}^2 / 1 \text{ m} = 4.42039 \text{ m}$$

$$L = 4.42039 \text{ m}$$

$$\text{Vol} = Q_o t$$

$$\text{Vol} = (180 \text{ m}^3/\text{d}) (37.5 \text{ min}) (1 \text{ d}/24 \text{ hrs}) (1 \text{ hr}/60 \text{ min})$$

$$\text{Vol} = 4.6875 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol} = L \times H \times W$$

$$H = \text{Vol} / (L \times W)$$

$$H = 4.6875 \text{ m}^3 / ((4.42039 \text{ m}) (1 \text{ m}))$$

$$H = 1.0604 \text{ m}$$

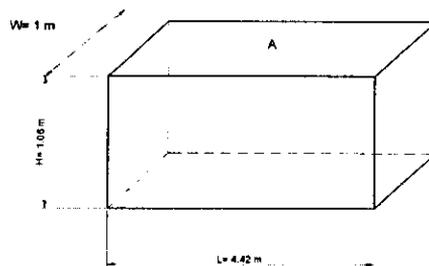


Figura 5.5

Acumulación diaria de lodos.

$$Q_u = 3.1844 \text{ m}^3/\text{d} \text{ de lodo compactado.}$$

Calcular los kg/d de sólidos secos sedimentados.

En peso total: $3.18 \text{ m}^3/\text{d}$ es $3,180 \text{ kg}/\text{d}$. (Tomando densidad equivalente al agua).

En peso, contenido en sólidos:

$$3,180 \times 1.07 / 100 = 34.026 \text{ kg. de materia seca.}$$

Calcular el bombeo medio en m^3/h .

$$3.1844 \text{ m}^3/\text{d} \times 1/24 \text{ d}/\text{h} = 0.13268 \text{ m}^3/\text{h}$$

La forma de evacuar los lodos es bombeando cada hora la acumulación de los mismos.

Agua residual después del sedimentador primario.

$$X_e = 186 \text{ mg}/\text{l}$$

$$\text{DBO}_5 = 860 \text{ mg}/\text{l} - 258 \text{ mg}/\text{l}^* = 602 \text{ mg}/\text{l}$$

*Equivale a una disminución del 30%

$$Q_e = 176.8156 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$G \text{ y } A = 63.86 \text{ mg}/\text{l} - 51.088 \text{ mg}/\text{l}^{**} = 12.772 \text{ mg}/\text{l}.$$

** Equivale a una disminución del 80%

5.3.2.3.- Diseño de la planta de lodos activados.

Antes de iniciar con el diseño de la planta de lodos activados conviene presentar un diagrama de flujo de la misma.

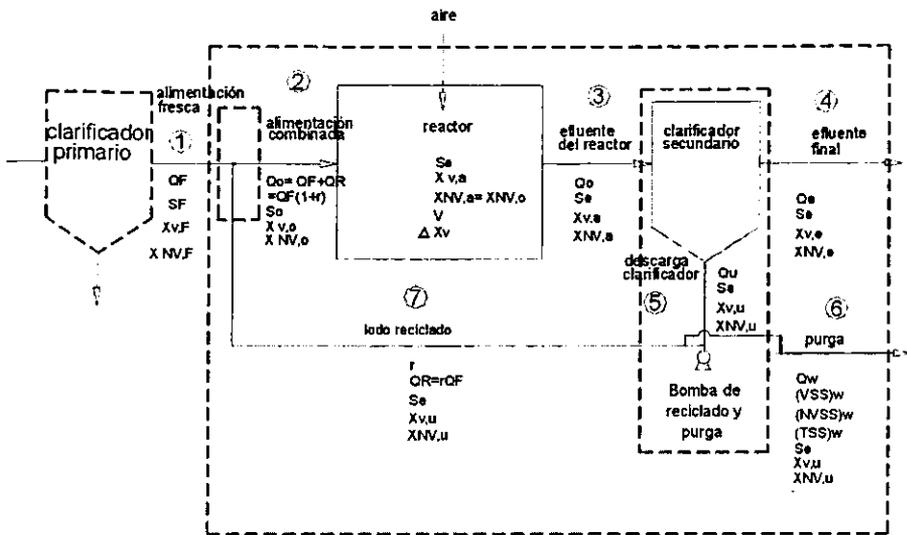


Figura 5.6

A continuación se definen todas las variables importantes del diagrama de flujo de la planta de lodos activados.

Definición de símbolos utilizados en la figura 5.6.

Clave.

Para los sólidos en suspensión se emplean dos subíndices, por ejemplo, $X_{V,i}$, $X_{NV,i}$.

El primer subíndice (V o NV) designan el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente.

El segundo subíndice (i) se refiere a la corriente específica de que se trate:

- F, alimentación inicial (corriente 1).
- o, alimentación combinada (corriente 2).
- a, efluente del reactor (corriente 3).
- e, efluente final (corriente 4).
- u, descarga del clarificador secundario (corriente 5).

Símbolos.

1.- Caudales.

Q_F , alimentación inicial; m^3/s (corriente 1).

Q_R , reciclado; m^3/s (corriente 7).

r, relación de reciclado; sin dimensiones ($r = Q_R/Q_F$).

Q_o , alimentación combinada; m^3/s ; $Q_o = Q_F + Q_R = Q_F(1+r)$ (corriente 2) (m^3/s de la alimentación combinada = m^3/s del efluente del reactor, esto es, Q_o (corriente 2) = Q_o (corriente 3)).

Q_e , efluente final; m^3/s (corriente 4).

Q_w , purga; m^3/s (corriente 6) (Nótese que $Q_F = Q_e + Q_w$).

Q_u descarga del clarificador, m^3/s ; $Q_u = Q_w + Q_R = Q_w + rQ_F$ (corriente 5).

2.- Concentraciones (mg/l) de la DBO soluble.

S_F , DBO soluble de la alimentación inicial.

S_o , DBO soluble de la alimentación combinada.
 S_e , DBO soluble del efluente.

3.- Concentraciones (mg/l) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).

$X_{V,F}$, VSS en la alimentación inicial.

$X_{V,o}$, VSS en la alimentación combinada.

$X_{V,r}$, VSS en el reactor. Esta concentración es asimismo igual a la de VSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio).

$X_{V,w}$, VSS en la descarga del clarificador secundario.

$X_{V,e}$, VSS en el efluente final.

4.- Concentraciones (mg/l) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS).

$X_{NV,F}$, NVSS en la alimentación inicial.

$X_{NV,o}$, NVSS en la alimentación combinada.

$X_{NV,r}$, NVSS en el reactor ($X_{NV,r} = X_{NV,e}$). Esta concentración es asimismo igual a la de NVSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio).

$X_{NV,w}$, NVSS en la descarga del clarificador secundario.

$X_{NV,e}$, NVSS en el efluente final.

5.- Purga.

$(VSS)_w$, kg/d de VSS en la purga.

$(NVSS)_w$, kg/d de NVSS en la purga.

$(TSS)_w$, kg/d de lodos en la purga.

6.- Volumen del reactor.

V , volumen del reactor, m^3 .

7.- Producción de lodos.

ΔX_v , kg/d.

El diseño de las plantas de lodos activados se puede llevar a cabo a partir del conocimiento de los parámetros de diseño k , Y , kd , a y b .

donde:

k = Constante de velocidad de consumo ($d^{-1} \times l/mg$)

Y = Producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido.

kd = fracción de MLVSS por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena.

a = fracción de sustrato consumido utilizado para la producción de energía mediante la oxidación del sustrato ($kg O_2$ en la oxidación de sustrato)

b = kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de MLVSS en el reactor en el proceso de respiración endógena.

Para poder determinar los parámetros anteriores se tienen que realizar estudios de tratabilidad del agua residual a escala laboratorio.

En la tabla 5.17 se presentan algunos parámetros biocinéticos típicos de distintas aguas residuales.

Tabla 5.17
Parámetros biocinéticos típicos de distintas aguas residuales.

Agua residual.	k d ⁻¹ X l/mg	Y Kg MLVSS/ Kg DBO ₅ consumida	kd d ⁻¹	a Kg O ₂ /Kg DBO ₅ Consumida
Urbana	0.017 - 0.03	0.73	0.075	0.52
Refinería	0.074	0.49 - 0.62	0.10 - 0.16	0.40 - 0.77
Químicas y petroquímicas	0.0029 - 0.018	0.31 - 0.72	0.05 - 0.17	0.31 - 0.76
Cervecería	-	0.56	0.10	0.48
Farmacéuticas	0.018	0.72 - 0.77	-	0.46
Pastas kraft y blanqueado	-	0.5	0.08	0.65 - 0.8

A partir de pruebas de tratabilidad del agua residual se obtuvieron los siguientes resultados:

Parámetros biocinéticos a T = 20°C a utilizar

$$k = 0.02952 \text{ d}^{-1} \text{ X l/mg}$$

$$a = 0.718 \text{ Kg O}_2 / \text{Kg DBO}_5$$

$$b = 0.0852 \text{ d}^{-1}$$

$$Y = 0.5 \text{ Kg MLVSS} / \text{kg DBO}_5$$

$$kd = 0.06 \text{ d}^{-1}$$

A continuación se enumeran los datos y criterios fundamentales para el diseño de la planta.

I.- Datos sobre la alimentación inicial.

- 1.- Caudal: $Q_F = 0.002046 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- 2.- $S_F = 602 \text{ mg/l}$
- 3.- Sólidos volátiles sedimentables en la alimentación inicial ($X_{V,F}$) = 186 mg/l.
- 4.- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) = 113 mg/l (como N). Fósforo total: 20 mg/l
- 5.- Temperatura 20°C

II.- Datos sobre la calidad del efluente.

- 1.- S_c máxima permisible = 75 mg/l.
- 2.- Sólidos en suspensión. Basese el diseño del clarificador secundario en una concentración permisible de VSS en el rebosadero, $X_{V,e}$ de 10 mg/l. Despréciase la concentración de NVSS en el rebosadero del clarificador, $X_{NV,e} = 0$

III.- Información para el diseño del reactor.

- 1.- Se eligen los siguientes valores: $X_{V,a} = 3,000 \text{ mg/l}$ y $X_{V,0} = 12,000 \text{ mg/l}$.

2.- El porcentaje de sólidos volátiles en los MLSS es del 85%, o sea, $FV = 0.85$

3.- Temperatura ambiente. $T_a = 20^\circ\text{C}$

4.- Parámetros biocinéticos (determinados en pruebas de laboratorio).

$$k = 0.02952 \text{ d}^{-1} \times \text{I/mg.}$$

$$\theta = 1.03 \text{ (coeficiente de Arrhenius para } k).$$

$$Y = 0.5 \text{ kg MLVSS producidos/kg DBO}_5 \text{ (que se supone básicamente independiente de la temperatura).}$$

$$k_d = 0.06 \text{ d}^{-1}$$

$$\theta = 1.05 \text{ (coeficiente de la ecuación de Arrhenius para } k_d \text{ y } b).$$

$$a = 0.718 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5 \text{ (se supone que prácticamente es independiente de la temperatura).}$$

$$b = 0.0852 \text{ d}^{-1}.$$

5.- Información sobre las características de sedimentación de los VSS. (Se obtiene de pruebas de laboratorio).

6.- Correlación de la contribución de los VSS a la DBO_5 en el rebosadero del clarificador secundario. (Se obtiene de pruebas de laboratorio).

IV.- Información para la selección y disposición de los aireadores.

1.- Características de los aireadores. (Se obtiene de gráficas específicas).

2.- Diseño del nivel de OD. $CL = 2 \text{ mg/l}$

3.- $\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.87$; $\beta = 0.97$. Diseñese sobre la base de una presión barométrica media, $P_{\text{atm}} = 755 \text{ mm Hg}$

Solución.

Paso 1.

$$\text{Ecuación: kg DBO}_5/\text{d} = 86.4 Q_F (S_F - S_e)$$

$$\text{kg DBO}_5/\text{d} = 86.4 (0.002046) (602-75)$$

$$\text{kg DBO}_5/\text{d} = 93.1601 \text{ kg/d}$$

Paso 2. Estimación preliminar de la potencia.

Para emplear la ecuación $HP = (86.4 Q_F(S_F - S_e)) / (20 \text{ a } 22)$, supóngase un factor 21 ($20 < 21 < 22$)

$$HP = (86.4 (0.002046)(602-75)) / 21 = 4.4361$$

$$HP = 4.4361$$

Paso 3. Estimación de T_w , ecuación $T_w = (3.6 \times 10^6 Q_F T_F + 1134 (HP) T_a) / (3.6 \times 10^6 Q_F + 1134 (HP))$

donde:

T_w = Temperatura del licor en el reactor.

T_a = Temperatura ambiente.

T_F = Temperatura de la alimentación.

$$T_w = (3.6 \times 10^6 (0.002046)(20) + 1134 (4.4361)(20)) / (3.6 \times 10^6 (0.002046) + 1134(4.4361))$$

$$T_w = 20^\circ\text{C}$$

Paso 4. Valores de los parámetros biocinéticos para la temperatura T_w .

$$T_w = 20^\circ\text{C}$$

1.- k:

$$k_{T_w} = k_{20} \theta^{T_w - 20} \quad (1.0 < \theta < 1.135)$$

$$k_{20} = 0.02952 \text{ d}^{-1} \times \text{l/mg} (1.03)^{(20-20)}$$

$$k_{20} = 0.02952 \text{ d}^{-1} \times \text{l/mg}$$

2.- kd:

$$kd_{T_w} = kd_{20} \theta^{T_w - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06)$$

$$kd_{20} = 0.06 \text{ d}^{-1} (1.05)^{(20-20)}$$

$$kd_{20} = 0.06 \text{ d}^{-1}$$

3.- b:

$$b_{T_w} = b_{20} \theta^{T_w - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06)$$

$$b_{20} = 0.0852 \text{ d}^{-1} (1.05)^{(20-20)}$$

$$b_{20} = 0.0852 \text{ d}^{-1}$$

Se supone que los parámetros Y y a son prácticamente independientes de la temperatura.

$$Y = 0.5 \text{ kg MLVSS/kg DBO}_5$$

$$a = 0.718 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}_5$$

Paso 5. Tiempo de residencia t .

1.- A partir del consumo de DBO soluble, ecuación $t = (S_f - S_e) / k X_{v,a} S_e$

$$t = (602 \text{ mg/l} - 75 \text{ mg/l}) / ((0.02952 \text{ d}^{-1} \times \text{l/mg}) (3,000 \text{ mg/l})(75 \text{ mg/l}))$$

$$t = 0.07934 \text{ d} (24 \text{ hrs} / 1 \text{ d}) = 1.9042 \text{ hrs.}$$

$$t = 1.9042 \text{ hrs.}$$

Paso 6. Volumen del reactor, ecuación $V = Q_F t$

$$V = 0.002046 \text{ m}^3/\text{seg} \times 86,400 \text{ seg/d} \times 0.07934 \text{ d}$$

$$V = 14.0252 \text{ m}^3$$

Dimensiones del reactor:

Suponer

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$W = 2.5 \text{ m}$$

$$V = L \times W \times H$$

$$H = V / (L \times W)$$

$$H = 14.0252 \text{ m}^3 / ((2.5 \text{ m})(2.5 \text{ m}))$$

$$H = 2.24 \text{ m}$$

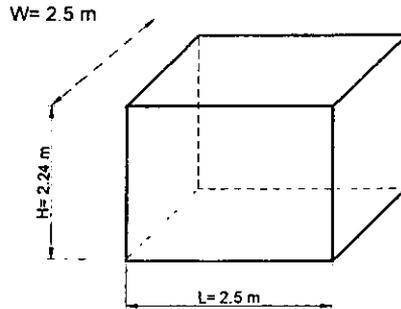


Figura 5.7

Paso 7. Demanda de oxígeno, ecuación, $\text{kgO}_2/\text{d} = a(S_F - S_e) Q_F + bX_{v,a}V$

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 0.718 \text{ kgO}_2/\text{kgDBO}_5 (602 \text{ mg/l} - 75 \text{ mg/l})(0.002046 \text{ m}^3/\text{seg}) + ((0.0852 \text{ d}^{-1})(3,000 \text{ mg/l})(14.0252 \text{ m}^3))$$

$$\text{kgO}_2/\text{d} = (86.4 (0.718) (602-75) (0.002046)) + ((0.0852) (3,000) (14.0252) (1 \times 10^{-3}))$$

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 70.4737 \text{ kg/d}$$

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 2.9364 \text{ kg/h}$$

Paso 8.- Potencia requerida en la aireación.

Datos:

1.- Volumen del reactor: 14.0252 m^3

2.- Oxígeno requerido: 2.9364 kg/h .

3.- Temperatura del agua residual: 20°C .

4.- Concentración de oxígeno en condiciones de equilibrio $CL = 2 \text{ mg/l}$

5.- Valores para parámetros α y β

$$\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.87$$

$$\beta = 0.97$$

Siendo la presión barométrica media $P = 755 \text{ mm Hg}$.

6.- Las características de los aireadores de superficie seleccionados vienen dadas por tablas específicas. Estas incluyen correlación entre $(RT)_{\text{ref}}$ y potencia específica (P_v) y entre la potencia de la unidad y el diámetro de influencia (en metros).

Solución.

Calcular:

a)

$$(RT)_{\text{real}} = (RT)_{\text{ref}} \times K_{\text{verano}}$$

donde

$$K_{\text{verano}} = (\alpha_{20^\circ\text{C}} \times 1.024^{T-20} \times ((\beta C_{s,s} - CL) / 9.2))$$

Por lo cual:

$$(RT)_{\text{real}} = (RT)_{\text{ref}} (\alpha_{20^\circ\text{C}} \times 1.024^{T-20} \times ((\beta C_{s,s} - CL) / 9.2))$$

$$1.024^{T-20} = 1.024^{20-20} = 1$$

$$C_{s,s} = (C_{s,s})_{760} ((P - P^v) / (760 - P^v))$$

donde:

$$(C_{s,s})_{760} = 9.2 \text{ mg/l (Tabla 5.18, para } T = 20^\circ\text{C)}$$

Tabla 5.18

Valores de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales (1 atm).

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Temperatura ($^\circ\text{F}$)	O_2 (mg/l)
0	32.0	14.6
5	41.0	12.8
10	50.0	11.3
15	59.0	10.2
20	68.0	9.2
25	77.0	8.4
30	86.0	7.6
35	95.0	7.1
40	104.0	6.6

$P^v = 17,535 \text{ mm Hg}$ (Tabla 5.19, para $T = 20^\circ\text{C}$)

Tabla 5.19
Presión de vapor de agua.

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Temperatura ($^\circ\text{F}$)	P^v mm Hg
0	32.0	4,579
5	41.0	6,543
10	50.0	9,209
15	59.0	12,788
20	68.0	17,535
25	77.0	23,756
30	86.0	31,824
35	95.0	42,175
40	104.0	55,324

$P = 755 \text{ mm Hg}$

Por lo tanto:

$$C_{s,s} = (9.2) \left(\frac{755 - 17,535}{760 - 17,535} \right)$$

$$C_{s,s} = 9.2027 \text{ mg/l}$$

Entonces:

$$K_{\text{verano}} = (0.87) (1) \left(\frac{(0.97)(9.2027) - 2}{9.2} \right) = 0.6550$$

$$K_{\text{verano}} = 0.6550$$

b)

(1) Suponer una potencia específica, P ej. $P_v = 0.1712 \text{ Cv/m}^3$

(2) Calcular $(RT)_{\text{ref}} = 5.42 P_v + 0.939$

$$(RT)_{\text{ref}} = 1.866904 \text{ kg O}_2 / \text{Cv h}$$

(3) Ecuación $(RT)_{\text{real}} = K_{\text{verano}} \times (RT)_{\text{referencia}}$

$$(RT)_{\text{real}} = (0.6550) (1.866904) = 1.22282212 \text{ kg O}_2/\text{Cv h}$$

(4) Potencia requerida, ecuación:

$$\text{Potencia} = (\text{O}_2 \text{ requerido (kg/h)}) / (RT)_{\text{real}} (\text{kg O}_2 / (\text{Cv} \times \text{h})) \text{ en (Cv)}$$

$$\text{Potencia} = ((2.9364 \text{ kg O}_2/\text{h}) / (1.22282212 \text{ kg O}_2/\text{Cv h})) = 2.401330457 \text{ Cv}$$

(5) Recalcular $P_v = (\text{Potencia (Cv, paso b) (4)}) / \text{volumen del tanque}$

$$P_v = (2.401330457 \text{ Cv}) / (14.0252 \text{ m}^3) = 0.1712 \text{ Cv/m}^3$$

Este valor está de acuerdo con el supuesto en el paso b) (1)

(6) Seleccionar aireadores de 3 Cv.

$$\text{Número de aireadores} = (2.401330457 \text{ Cv}) / (3 \text{ Cv}) = 0.800443485$$

Es decir 1 aireador.

Paso 9. Elección de los aireadores y disposición de los mismos en el tanque de aireación.

De gráficas específicas se obtiene:

Potencia de la unidad: 3 Cv

Diámetro de influencia: 0.10 m.

Paso 10. Producción neta de biomasa ΔX_v ecuación $\Delta X_v = Y(S_F - S_e) Q_F - kd X_{v,a} V$

$$\Delta X_v = ((86.4) (0.5) (602 - 75) (0.002046)) - ((0.06) (3,000) (14.0252) (1 \times 10^{-3}))$$

$$\Delta X_v = 44.0555 \text{ kg/d}$$

Paso 11. Cálculo de la relación de reciclado r, ecuación

$$r = (Q_F X_{v,a} - \Delta X_v - Q_F X_{v,f}) / (Q_F (X_{v,u} - X_{v,a}))$$

$$r = ((86.4) (0.002046) (3,000) - 44.0555 - ((86.4) (0.002046) (186))) / ((86.4) (0.002046) (12,000 - 3,000))$$

$$r = (530.32 - 44.0555 - 32.88) / 1,590.96$$

$$r = 0.2849$$

$$r = 28\%$$

Paso 12. Cálculo de los caudales restantes: Q_R , Q_o , Q_w , Q_e y Q_U . Cálculo de th.

$$1.- Q_R = r Q_F = (0.28) (0.002046)$$

$$Q_R = 0.00057288 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$2.- Q_o = Q_F(r+1) = (0.002046)(0.28 + 1)$$

$$Q_o = 0.002618 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$3.- Q_w = \text{ecuación } Q_w = (\Delta X_v + Q_F X_{v,f} - Q_F X_{v,e}) / (X_{v,u} - X_{v,e})$$

$$Q_w = (44.0555 + (86.4) (0.002046) (186) - (86.4) (0.002046) (10)) / ((12,000 - 10) (1 \times 10^{-3}))$$

$$Q_w = 6.2692 \text{ m}^3/\text{d} (1 \text{ d}/24 \text{ hr}) (1 \text{ hr}/60 \text{ min}) (1 \text{ min}/60 \text{ seg})$$

$$Q_w = 0.0000725 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$4.- Q_e = Q_F - Q_w = (0.002046) - (0.0000725)$$

$$Q_e = 0.0019735 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$5.- Q_U = Q_0 - Q_e = (0.002618) - (0.0019735)$$

$$Q_U = 0.000644 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Paso 13. Balance de materia de los sólidos no volátiles.

1.- Cálculo de $X_{NV,a}$, ecuación $X_{NV,a} = (1 - F_v) X_{V,a} / F_v$.
 $0.8 < F_v < 0.9$

$$X_{NV,a} = (1 - 0.85) (3,000) / 0.85$$

$$X_{NV,a} = 529.411 \text{ mg/l}$$

Por ello

$$X_{NV,o} = X_{NV,a} = 529.411 \text{ mg/l}$$

2.- Cálculo de $X_{NV,U}$ ya que $X_{NV,e} = 0$, ecuación $X_{NV,U} = Q_F (r + 1) X_{NV,a} / Q_U$

$$X_{NV,U} = ((0.002046) (0.28 + 1) (529.411)) / (0.000644)$$

$$X_{NV,U} = 2,152.8942 \text{ mg/l}$$

3.- Cálculo de $X_{NV,F}$ ecuación $X_{NV,F} = (r + 1) X_{NV,a} - r X_{NV,U}$

$$X_{NV,F} = ((0.28 + 1)(529.411)) - ((0.28) (2,152.8942))$$

$$X_{NV,F} = 74.835 \text{ mg/l}$$

Paso 14. Producción total de lodos.

1.- Cálculo de $(VSS)_w$, ecuación $(VSS)_w = \Delta X_v + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e}$

$$(VSS)_w = 44.0555 + ((86.4) (0.002046) (186)) - ((86.4) (0.0019735) (10))$$

$$(VSS)_w = 75.2304 \text{ kg/d}$$

2.- Cálculo de $(NVSS)_w$ ecuación $(NVSS)_w = Q_F X_{NV,F}$

$$(NVSS)_w = (86.4) (0.002046) (74.835)$$

$$(NVSS)_w = 13.2289 \text{ kg/d}$$

3.- Cálculo de $(TSS)_w$ ecuación $(TSS)_w = (VSS)_w + (NVSS)_w$

$$(TSS)_w = 75.2304 + 13.2289$$

$$(TSS)_w = 88.4593 \text{ kg/d}$$

Paso 15. Cálculo de las concentraciones de la alimentación combinada S_o , ecuación $S_o = (S_F + rS_e) / (1 + r)$ y $X_{V,o}$, ecuación $X_{V,o} = (X_{V,F} + r X_{V,U}) / (1+r)$

$$1.- S_o = (S_F + r S_c) / (1 + r) = (602 + (0.28) (75)) / (1 + 0.28)$$

$$S_o = 486.71875 \text{ mg/l}$$

$$2.- X_{v,o} = (X_{v,F} + r X_{v,U}) / (1 + r) = (186 + 0.28 (12,000)) / (1 + 0.28)$$

$$X_{v,o} = 2,770.3125 \text{ mg/l}$$

Paso 16. Nutrientes requeridos.

Nitrógeno.

1.- Nitrógeno perdido en el sistema por la purga de lodos:

$$0.12 \Delta X_v$$

$$0.12 (44.0555) = 5.2866 \text{ kg/d.}$$

2.- Nitrógeno perdido en el efluente:

$$86.4 (Q_F) (1)$$

$$86.4 (0.002046) (1) = 0.1767 \text{ kg/d.}$$

Nitrógeno total perdido.

$$5.2866 + 0.1767 = 5.4633 \text{ kg/d.}$$

Nitrógeno disponible.

$$86.4 (Q_F) (\text{NTK})$$

$$86.4(0.002046)(113) = 19.9755 \text{ kg/d.}$$

En consecuencia no se necesita añadir nitrógeno.

El exceso de Nitrógeno se elimina con el proceso de lodos activados.

Fósforo.

1.- Fósforo perdido en el sistema a través de la purga de lodos:

$$0.02 \Delta X_v$$

$$0.02 (44.0555) = 0.8811 \text{ kg/d.}$$

2.- Fósforo perdido en el efluente.

$$86.4 (Q_F) (0.5)$$

$$86.4 (0.002046) (0.5) = 0.08838 \text{ kg/d.}$$

Fósforo total perdido.

$$0.8811 + 0.08838 = 0.9694 \text{ kg/d.}$$

Fósforo disponible.

$$86.4 (Q_F) (P)$$

$$86.4 (0.002046) (20) = 3.5354 \text{ kg/d.}$$

En consecuencia no debe añadirse fósforo.

Para eliminar el exceso de fósforo hay que agregar Cloruro Férrico en dosis de 10 mg/l y obtener un rendimiento de aproximadamente el 90%.

Paso 17. Evaluación de la DBO total del efluente, ecuación DBO₅ total del efluente = $S_e + \phi X_{v,c}$ (mg/l)

$$\text{DBO}_5 \text{ total del efluente} = 75 + (0.52 (10)) = 80.2 \text{ mg/l}$$

ϕ : Se obtiene de gráficas siendo para este caso $\phi = 0.52$

5.3.2.4.- Sedimentador secundario.

Tiempo de retención = 30 min.

$$\text{Factor de carga} = 50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

Factor de mejoración = 1.25

Utilizando el factor de mejoración de 1.25 se obtiene:

Tiempo de retención: 30 min. X 1.25 = 37.5 min.

$$\text{Factor de carga: } (50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}) / 1.25 = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

Cálculo del área de la sección y altura efectiva del sedimentador.

$$A = Q_e / \text{Factor de carga}$$

$$A = ((0.0019735 \text{ m}^3/\text{s}) / (40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d})) \times (86,400\text{s}/1\text{d}) = 4.2627 \text{ m}^2$$

$$A = 4.2627 \text{ m}^2$$

$$A = L \times W$$

Suponer

$$W = 1 \text{ m}$$

$$L = (A / W)$$

$$L = (4.2627 \text{ m}^2 / 1 \text{ m})$$

$$L = 4.2627 \text{ m}$$

$$\text{Vol} = Q_o t$$

$$\text{Vol} = (0.002618 \text{ m}^3/\text{s}) (37.5 \text{ min}) (60 \text{ seg}/1 \text{ min})$$

$$\text{Vol} = 5.8905 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol} = L \times H \times W$$

$$H = \text{Vol} / (L \times W)$$

$$H = 5.8905 \text{ m}^3 / ((4.2627 \text{ m}) (1 \text{ m}))$$

$$\mathbf{H = 1.38 \text{ m}}$$

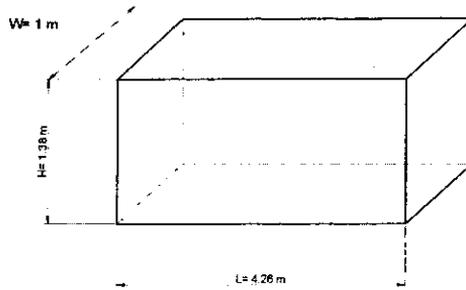


Figura 5.8

Diagrama de flujo del proceso de lodos activados

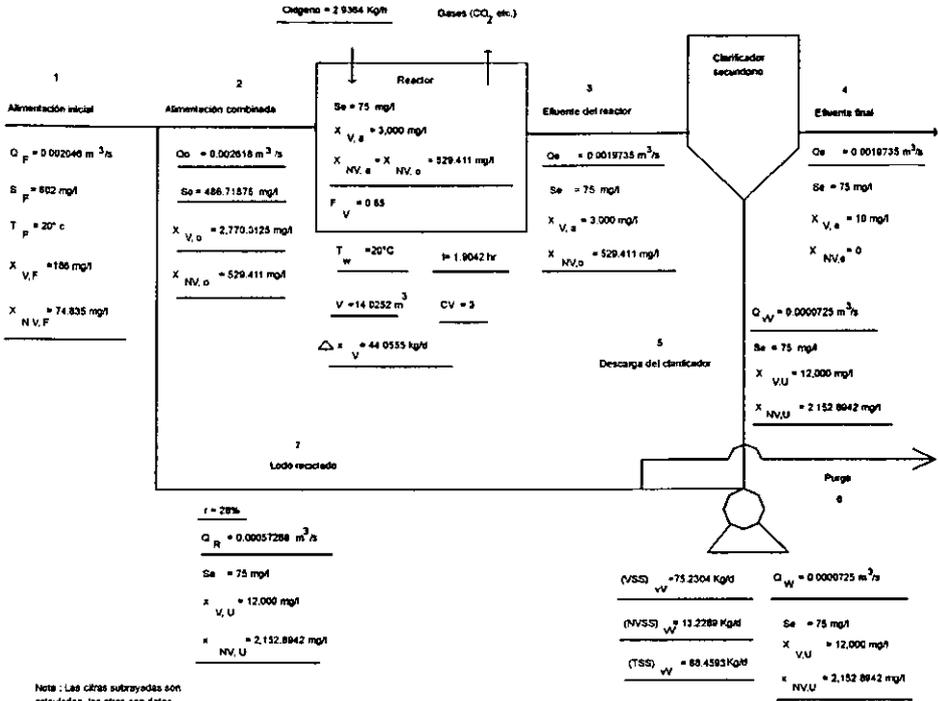


Figura 5.9

La edad de los lodos es $\theta_c = (X_{V,a} V) / (\Delta X_V)$

$$\theta_c = ((1 \times 10^{-3}) (3,000) (14.0252)) / 44.0555 = 0.9550 \text{ d}$$

$$\theta_c = 0.9550 \text{ d}$$

5.3.2.5.- Cloración.

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas.

Los objetivos de la cloración se resumen como siguen:

- 1.- Desinfección. Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- 2.- Reducción de la DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

3.- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.

4.- Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganoso a mangánico).

5.- Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

Las dosis típicas de cloro requeridas para desinfección se presentan en la tabla 5.20.

Tabla 5.20
Dosis típicas de cloro en desinfección.

Efluente de:	Intervalo de dosificación (mg/l)
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6 - 25
Sedimentación primaria	5 - 20
Planta de precipitación química	2 - 6
Filtro precolador	3 - 15
Lodo activado	2 - 8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activados	1 - 5

La experiencia real en las plantas, ha demostrado que el tiempo suficiente para lograr la desinfección es de 15 minutos.

Diseño del tanque de cloración.

$$Q_e = 0.0019735 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 15 \text{ min (60 seg/1 min)} = 900 \text{ seg.}$$

$$V = t Q_e$$

$$V = (900 \text{ s}) (0.0019735 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$V = 1.77 \text{ m}^3$$

Suponer:

$$W = 1\text{m}$$

$$H = 1\text{m}$$

$$V = W \times H \times L$$

$$L = (V) / (W \times H)$$

$$L = (1.77 \text{ m}^3) / (1\text{m} \times 1\text{m})$$

$$L = 1.77 \text{ m}$$

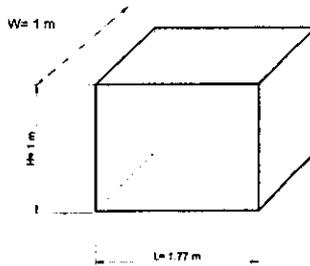


Figura 5.10

Se aplicaría 5 mg/l de cloro como desinfectante.

5.3.2.6.- Resumen de cálculos.

General.

Matanza = 10,000 pollos / día

Volumen de aguas residuales = $120 \text{ m}^3/\text{d}$

$Q_{\text{diseño}} = 180 \text{ m}^3/\text{d}$

Cribado.

Velocidad de aproximación del agua = 0.45 m/seg

Area del canal de rejillas (A_c) = 0.004629 m^2

Tirante = 0.03086 m

Altura total del canal (ATC) = 0.25 m

Inclinación de la criba = 45°

Longitud de la criba (L_r) = 0.35 m

Pérdida de carga en la zona de criba (h_{L_c}) = 0.02867 m

Criba fina con abertura de 5mm

Agua residual antes de la criba:

Sólidos suspendidos (X_o) = 465 mg/l

$\text{DBO}_5 = 1,075 \text{ mg/l}$

Grasas y Aceites = 63.86 mg/l

Afluente = $180 \text{ m}^3/\text{d}$

Agua residual después de la criba:

Sólidos suspendidos (X_e) = 372 mg/l

$\text{DBO}_5 = 860 \text{ mg/l}$

Grasas y Aceites = 63.86 mg/l

Efluente = $180 \text{ m}^3/\text{d}$

Sedimentador primario.

Tiempo de retención = 37.5 min.

Factor de carga = $40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Dimensiones:

Altura (H) = 1.06 m

Ancho (W) = 1 m
Longitud (L) = 4.42039 m
Volumen (V) = 4.6875 m³
Area Transversal (A) = 4.42039 m²

Agua antes del sedimentador primario:

Sólidos suspendidos (X_O) = 372 mg/l
DBO₅ = 860 mg/l
Grasas y Aceites = 63.86 mg/l
Afluente (Q_O) = 180 m³/d

Caudal separado (Q_U) = 3.1844 m³/d

Sólidos en suspensión del caudal separado (X_U) = 10,700 mg/l

Agua después del sedimentador primario:

Efluente (Q_e) = 176.8156 m³/d
Sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado (X_e) = 186 mg/l
DBO₅ = 602 mg/l
Gasas y Aceites = 12.772 mg/l

Acumulación diaria de lodos (Q_u) = 3.1844 m³/d de lodo compacto (34.026 Kg de materia seca)

Bombeo medio = 0.13268 m³/h

La forma de evacuar los lodos es bombeando cada hora la acumulación de los mismos.

Reactor de lodos activados.

Alimentación fresca:

Alimentación inicial (Q_F) = 0.002046 m³/s
DBO₅ soluble de la alimentación inicial (S_F) = 602 mg/l
Sólidos volátiles en suspensión en la alimentación inicial (X_{V,F}) = 186 mg/l
Sólidos en suspensión no volátiles (X_{NV,F}) = 74.835 mg/l
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) = 113 mg/l
Fósforo total = 20 mg/l
Temperatura (T) = 20°C

Alimentación combinada:

Alimentación combinada (Q_O) = 0.002618 m³/s
DBO₅ soluble de la alimentación combinada (S_O) = 486.71875 mg/l
Sólidos volátiles en suspensión en la alimentación combinada (X_{V,o}) = 2,770.3125 mg/l
Sólidos en suspensión no volátiles en la alimentación combinada (X_{NV,o}) = 529.411 mg/l

Reactor:

Parámetros biocinéticos:

Constante de velocidad de consumo (k) = 0.02952 d⁻¹ X l/mg
Fracción de sustrato consumido utilizado para la producción de energía mediante la oxidación del sustrato (a) = 0.718 kg O₂ / kg DBO₅
Kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de MLVSS en el reactor en el proceso de respiración endógena (b) = 0.0852 d⁻¹
Producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido (Y) = 0.5 kg MLVSS / kg DBO₅
Fracción de MLVSS por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena (kd) = 0.06 d⁻¹

DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l

Sólidos volátiles en suspensión en el reactor (X_{V,a}) = 3,000 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en el reactor (X_{NV,a}) = 529.411 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en la alimentación combinada (X_{NV,o}) = 529.411 mg/l

Tiempo de residencia (t) = 1.9042 hrs.
Volumen del reactor (V) = 14.0252 m³
Producción de lodos (ΔX_v) = 44.0555 kg/d

Aireadores = 1
Diámetro de influencia = 0.10 m.

Agua después del reactor:
Alimentación combinada (Q_0) = 0.002618 m³/s
DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l
Sólidos volátiles en suspensión en el reactor ($X_{v,a}$) = 3,000 mg/l
Sólidos en suspensión no volátiles en el reactor ($X_{NV,a}$) = 529.411 mg/l

Sedimentador secundario:

Tiempo de retención = 37.5 min.

Factor de carga = 40 m³/m²d

Dimensiones:

Altura (H) = 1.38 m

Ancho (W) = 1 m

Longitud (L) = 4.2627 m

Volumen (V) = 5.8905 m³

Area (A) = 4.2627 m²

Efluente final:

Efluente final (Q_e) = 0.0019735 m³/s

DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l

Sólidos volátiles en suspensión en el efluente final ($X_{v,e}$) = 10 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en el efluente final ($X_{NV,e}$) = 0

Descarga del clarificador:

Descarga del clarificador (Q_u) = 0.000644 m³/s

DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l

Sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario ($X_{v,u}$) = 12,000 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en la descarga del clarificador secundario ($X_{NV,u}$) = 2,152.8942 mg/l

Reciclado de lodo:

Reciclado (r) = 28 %

Caudal reciclado (Q_R) = 0.00057288 m³/s

DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l

Sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario ($X_{v,u}$) = 12,000 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en la descarga del clarificador secundario ($X_{NV,u}$) = 2,152.8942 mg/l

Purga:

Purga (Q_w) = 0.0000725 m³/s

Sólidos volátiles en suspensión en la purga (VSS)_w = 75.2304 kg/d

Sólidos en suspensión no volátiles en la purga ($NVSS$)_w = 13.2289 kg/d

Producción total de lodos en la purga (TSS)_w = 88.4593 kg/d

DBO₅ soluble del efluente (S_e) = 75 mg/l

Sólidos volátiles en suspensión en la descarga del clarificador secundario ($X_{v,u}$) = 12,000 mg/l

Sólidos en suspensión no volátiles en la descarga del clarificador secundario ($X_{NV,u}$) = 2,152.8942 mg/l

Edad de los lodos t_c = 0.9550 d

Tanque de cloración.

Dimensiones:

Altura (H) = 1 m

Ancho (W) = 1 m
Longitud (L) = 1.77 m
Volumen = 1.77 m³

Se aplicaría 5 mg/l de cloro como desinfectante.

5.3.2.7.- Cálculo de la pérdida de carga por fricción.

Para calcular la pérdida de carga por fricción se utiliza la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$hf = (f) (L/D) ((V^2) / (2g))$$

donde:

hf = pérdida por fricción, en m

f = factor de fricción, sin dimensiones.

g = aceleración de la gravedad, en m/s²

D = diámetro, en m

L = longitud del tubo, en m

V = velocidad media, en m/seg

Suponer tubería de acero.

D = 3 plg = 0.076 m = 76 mm (diámetro de la tubería)

ε = 0.10 mm (rugosidad absoluta)

ε / D = 0.10 mm / 76 mm = 0.001315 (rugosidad relativa)

f = 0.02 (se obtiene de tablas)

Pérdida de carga del tanque de regulación a la criba.

Q = 180 m³/d

V = 0.45 m/s

D = 0.076 m

L = 2 m

g = 9.81 m/s²

f = 0.02

$$hf = (0.02) (2 \text{ m} / 0.076 \text{ m}) ((0.45 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$hf = 0.005432 \text{ m}$$

Pérdida de carga en la zona de criba.

$$hf = (1 / 2g) (Q / CA)^2$$

donde:

hf = Pérdida de carga a través de la criba en m.

g = constante de gravedad = 9.81 m/s²

Q = gasto a través de la criba.

A = área abierta efectivamente sumergida en m²

C = coeficiente de descarga = 0.60 para cribas limpias.

$$hf = (1 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2)) ((0.0020832 \text{ m}^3/\text{s}) / ((0.60) (0.004629 \text{ m}^2)))^2$$

$$hf = 0.02867 \text{ m}$$

Pérdida de carga de la criba al sedimentador primario.

Q = 180 m³/d

D = 0.076 m

A = 0.00456023 m²

Q = V A

V = Q / A = ((180 m³/d) / (0.00456023 m²)) (1 día / 86400 s)

V = 0.4568 m/s

f = 0.02

L = 1 m

g = 9.81 m/s²

$$hf = (0.02) (1 \text{ m} / 0.076 \text{ m}) ((0.4568 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$hf = 0.00279 \text{ m}$$

Pérdida de carga del sedimentador primario al reactor.

$$Q = 176.8156 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$D = 0.076 \text{ m}$$

$$A = 0.00456023 \text{ m}^2$$

$$V = Q / A = ((176.8156 \text{ m}^3/\text{d}) / (0.00456023 \text{ m}^2)) (1 \text{ día} / 86400 \text{ s})$$

$$V = 0.44876 \text{ m/s}$$

$$f = 0.02$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = (0.02) (1 \text{ m} / 0.076 \text{ m}) ((0.44876 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$hf = 0.0027011 \text{ m}$$

Pérdida de carga del reactor al sedimentador secundario.

$$Q = 231.55 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$D = 0.076 \text{ m}$$

$$A = 0.00456023 \text{ m}^2$$

$$V = Q / A = ((231.55 \text{ m}^3/\text{d}) / (0.00456023 \text{ m}^2)) (1 \text{ día} / 86400 \text{ s})$$

$$V = 0.58768 \text{ m/s}$$

$$f = 0.02$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = (0.02) (1 \text{ m} / 0.076 \text{ m}) ((0.58768 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$hf = 0.0046323 \text{ m}$$

Pérdida de carga del sedimentador secundario al tanque de cloración.

$$Q = 172.8 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$D = 0.076 \text{ m}$$

$$A = 0.00456023 \text{ m}^2$$

$$V = Q / A = ((172.8 \text{ m}^3/\text{d}) / (0.00456023 \text{ m}^2)) (1 \text{ día} / 86400 \text{ s})$$

$$V = 0.43857 \text{ m/s}$$

$$f = 0.02$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = (0.02) (1 \text{ m} / 0.076 \text{ m}) ((0.43857 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$hf = 0.002579 \text{ m}$$

Total de pérdida de carga en el sistema.

$$hf \text{ total} = 0.005432 \text{ m} + 0.02867 \text{ m} + 0.00279 \text{ m} + 0.0027011 \text{ m} + 0.0046323 \text{ m} + 0.002579 \text{ m}$$

$$hf \text{ total} = 0.0468044 \text{ m}$$

Perdida de carga

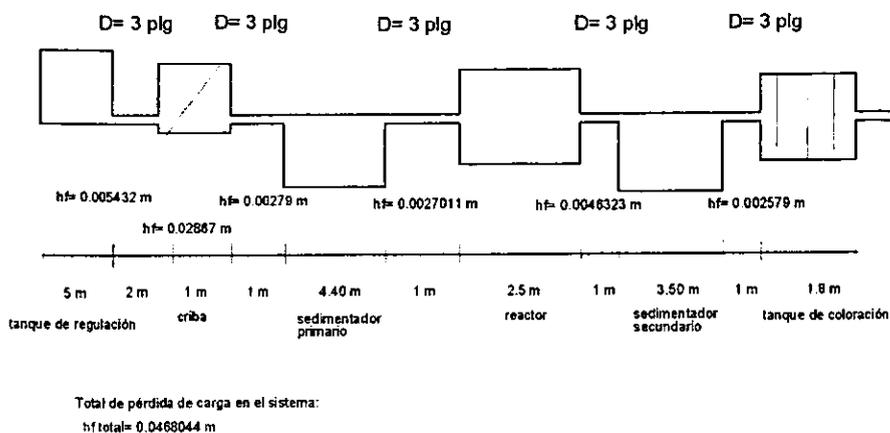


Figura 5.11 Pérdida de carga del sistema.

5.3.3.- Tren de lodos.

En la mayoría de los procesos de tratamiento primarios, así como secundarios, se producen lodos, de los que hay que deshacerse en forma adecuada. Los lodos que resultan únicamente de los procesos de separación sólido-líquido, se conocen como lodos primarios y los provenientes de procesos biológicos se designan lodos secundarios. Los primarios consisten en partículas sólidas, básicamente de naturaleza orgánica. Los secundarios son fundamentalmente biomasa en exceso producida en los procesos biológicos.

Una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en los procesos de tratamiento de aguas residuales se encuentran finalmente en estos lodos. Para el caso de lodos primarios entre un 30 y un 50 % de la DBO del afluente se separa en los lodos del clarificador primario como DBO insoluble. En las plantas de lodos activados, alrededor de 2/3 de la DBO soluble separada corresponde a compuestos orgánicos oxidados para producir la energía de mantenimiento, pero el 1/3 restante corresponde a células microbianas que se encuentran en el lodo en exceso de las purgas. Obviamente estos lodos no deben evacuarse sin un tratamiento adecuado previo, ya que estarían en contradicción con los objetivos de los procesos de tratamiento considerados.

Una posibilidad, en la secuencia de procesos considerados es la reducción de las cantidades de compuestos orgánicos y volátiles contenidos sometiendo los lodos a una digestión, ya sea digestión aerobia o digestión anaerobia. El lodo resultante de la digestión, con un contenido considerablemente inferior de materia orgánica, se conoce como lodo estabilizado. Los objetivos principales de la estabilización son: 1) Reducción o eliminación de olores molestos; 2) Reducción del volumen de líquido o peso de sólidos a tratar en operaciones sucesivas; 3) Reducción de los microorganismos patógenos en los lodos.

Otro planteamiento en el tratamiento de lodos consiste en aumentar el contenido de sólidos del lodo antes de su evacuación final, por medio de una serie de procesos que se incluyen en el grupo de procesos de espesamiento y desecado.

Para lodos de difícil secado se hacen necesarios pretratamientos especiales, que incluyen coagulación química y tratamientos térmicos.

El final de la línea de tratamientos incluye la evacuación del lodo que queda, los métodos considerados se resumen en dos grupos que consideran vertido y aplicación al terreno o incineración.

El tren de lodos sería:

- Lodos residuales.
- Espesamiento (por gravedad).
- Estabilización (con cal).
- Acondicionamiento (coagulación química).
- Secado (lechos de secado).
- Disposición (acondicionamiento de terreno).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones que se derivan del presente trabajo son las siguiente:

Día a día estamos contaminando los cuerpos receptores de agua como son ríos, lagos, cuencas, etc. debido a la gran cantidad de desechos sólidos y líquidos que se vierten, sin ningún tratamiento previo. A pesar de que las Autoridades competentes han elaborado ciertas Normas para prevenir dicha contaminación, la gran mayoría de las industrias hacen caso omiso de las mismas, por lo que es necesario crear conciencia entre la gente responsable de dichas descargas para que traten sus aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos receptores de aguas.

Si bien las aguas residuales provenientes de rastros de aves son muy contaminantes por los altos contenidos de materia orgánica, el proceso de lodos activados cumple satisfactoriamente el objetivo de tratamiento, logrando así cumplir con las Normas Oficiales y lo más importante contribuir a mantener en buenas condiciones el medio ambiente, prometiendo un mejor futuro para las nuevas Generaciones.

GLOSARIO DE TERMINOS

GLOSARIO DE TERMINOS.

Abasto. Provisión de víveres.

Abrasión. Acción y efecto de raer o desgastar por fricción.

Abrasivos. Material de extremada dureza usado para dar forma por pulimento, raspado o desgaste a otros materiales. Se clasifican en: naturales y sintéticos.

Acidez. Es la capacidad cuantitativa del agua para reaccionar con los iones hidróxilos.

Acuoso. Abundante en agua.

Agua Natural. Es el líquido de composición variada dulce y salina, superficial y subterránea que no haya sufrido degradación o alteraciones en su calidad original.

Agua residual. Líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

Alcalinidad. Es la capacidad cuantitativa del agua para reaccionar con los iones hidrógeno.

Alcalino. Reciben este calificativo los metales potasio, sodio, litio, rubidio y cesio, por obtenerse de sus respectivos álcalis mediante electrólisis.

Amplitud de gama. Diferencia algebraica entre los límites de medición.

Anaerobio. Dícese del microorganismo que solo puede vivir y desarrollarse sin el oxígeno atmosférico.

Antropogénica. Dícese de lo que es producido por la acción del hombre.

Asperjar. Rociar, esparcir en menudas gotas un líquido.

Aspersor. Mecanismo destinado a esparcir un líquido a presión, como el agua para el riego o los herbicidas químicos.

Biota. Es un conjunto de organismos vivos tanto de origen vegetal como animal.

Canal. El cuerpo del animal desprovisto de piel, cerdas o plumas, cabeza, vísceras y patas.

Candela. Unidad fotométrica definida como la sesentava parte de la intensidad luminosa que sale por centímetro cuadrado, y en dirección normal, de un orificio practicado en la pared de una cavidad incandescente cuya temperatura es la de fusión del platino.

Caudal. Cantidad de agua que mana o corre.

Criba. Artefacto con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, usado para retener o separar los sólidos suspendidos o flotantes de una corriente de agua o aguas negras y para prevenir que entren a la toma o pasen de un determinado punto, en un conducto. El elemento filtrante puede consistir en barras o barrotes paralelos, varillas, alambres, tela de alambre o placas perforadas y las aberturas pueden tener cualquier forma, aunque generalmente son circulares o rectangulares.

Deletéreos. Mortífero, venenoso.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar en 5 días la materia orgánica de una muestra de agua.

Demanda química de oxígeno. Cantidad de oxígeno requerida para oxidar, bajo condiciones específicas, la materia orgánica y la inorgánica oxidable contenida en el agua. Se expresa en mg/dm^3 de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, bajo las condiciones en las que se efectúa esta prueba.

Descarga. Conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

Desodorar. Hacer desaparecer los olores molestos o nocivos.

Difusores. Placas porosas o tubos perforados a través de los cuales el aire es forzado y dividido en pequeñas burbujas para su difusión en líquidos.

Dilución. Método de disposición de las aguas negras, desechos industriales o efluentes de plantas de tratamiento de aguas negras, por su descarga en una corriente o en una masa de agua.

Disposición. Cualquiera de los medios que se emplean para ejecutar un propósito, o para evitar o atenuar un mal.

Eutriación. Proceso de acondicionamiento de lodos, en el cual ciertos constituyentes son eliminados por sucesivas decantaciones con agua limpia o efluente de la planta, disminuyendo así la demanda de sustancias químicas para su acondicionamiento.

Embebida. Contener, encerrar una cosa dentro de sí a otra.

Escaldar. Bañar con agua hirviendo una cosa.

Escherichia coli presuntiva. Bacteria perteneciente al género *Escherichia*, morador normal del intestino del hombre y de los vertebrados. Estas especies están clasificadas dentro del grupo coliforme.

Sterilizador. Aparato que esteriliza utensilios o instrumentos destruyendo los gérmenes patógenos que haya en ellos.

Estuario. Sección de un río que se ensancha poco antes de su desembocadura y que está afectada por las mareas.

Eviscerar. Extraer las vísceras o entrañas.

Gasto. Cantidad de fluido suministrado en la unidad de tiempo.

Helminto. Gusano parásito de una víscera.

Incubación. Consiste en dejar reposar durante 5 días la muestra a una temperatura constante de 293 K (20°C) en un medio seco.

Inerte. Inactivo, ineficaz, estéril, inútil.

Inóculo. Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico.

Inodoro. Aplicable al aparato que se coloca en los excusados particulares o públicos para impedir los malos olores.

Irrigación. Regar.

Licuefacción. Cambio de una sustancia del estado gaseoso al líquido.

Medio aerobio. Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en presencia de oxígeno molecular.

Medio anaerobio. Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en ausencia de oxígeno molecular.

Mingitorio. Urinario en forma de columna.

Muestra compuesta. La que resulta de mezclar varias muestras simples.

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.

Nematelmintos. Dicese de los animales invertebrados vermiformes, de simetría bilateral, no segmentados, triplobásticos, con un celoma primario o no totalmente tapizado por el epitelio mesodérmico, de cuerpo cilíndrico, filiforme o fusiforme, sin apéndices y sin aparatos circulatorio y respiratorio diferenciados, pero sí con sistema excretor y, casi siempre, unisexual. Se agrupan en tres clases: nematomorfos, acantocéfalos y nemátodos, estos últimos los más típicos, numerosos e importantes.

Oclusión. Fenómeno de absorción de los gases por los metales.

Organismos coliformes fecales (termotolerantes). Organismos coliformes que tienen las mismas propiedades fermentativas a 317 ± 0.5 K ($44 \pm 0.5^\circ\text{C}$).

Organismos coliformes. Organismos capaces de crecimiento aeróbico ya sea a 308 ± 1 K ($35 \pm 1^\circ\text{C}$) ó 310 ± 1 K ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) en un medio de cultivo líquido lactosado con producción de ácido y gas dentro de un periodo de 48 horas.

Organoléptico. Dicese de las propiedades de los cuerpos que se pueden percibir por los sentidos.

Paleta. Cada una de las tablas de madera o planchas metálicas, planas o curvas, que se fijan en las ruedas hidráulicas para recibir o impulsar el agua, aceite u otros líquidos.

Parámetro. Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Patógeno. Dicese de los elementos y medios que originan y desarrollan las enfermedades.

Pediluvio. Baño de pies.

pH. Es el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno en una solución acuosa o el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno.

Pluvial. Agua que proviene de lluvias, se incluye la que proviene de la nieve y el granizo.

Putrescible. Que se pudre o puede pudrirse fácilmente.

Rancio. Dicese de las cosas que con el tiempo adquieren sabor y olor más fuertes, echándose a perder.

Salmuera. Agua cargada de sal.

Sedimentación. Operación por medio de la cual, las partículas sólidas suspendidas en un líquido, se asientan debido a la fuerza de la gravedad.

Sello hidráulico. Capa de agua situada entre el tapón y el borde de la botella de DBO, que sirve para impedir el flujo de gases o cualquier otra sustancia extraña al interior de la botella que pudieran alterar la muestra.

Séptico. Infeccioso, no aséptico.

Sólidos disueltos. Sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

Sólidos sedimentables. Materiales que se depositan en el fondo de un recipiente debido a la operación de sedimentación.

Sólidos suspendidos totales. Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio.

Sólidos suspendidos volátiles. Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 823 K (550°C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

Sólidos totales volátiles. Cantidad de materia, capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 823 K (550°C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

Sólidos totales. Suma de los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos.

Termógrafo. Aparato de registro gráfico de temperaturas.

Vado. Paraje de un río con fondo firme, llano y poco profundo, por donde se puede pasar andando, cabalgando o en carruaje.

Vísceras. Organos contenidos en las cavidades torácica, abdominal, pélvica y craneana.

Volátil. Transformar un cuerpo sólido o líquido en vapor o gas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA.

- Coprodec Construcciones SA de CV. "Estudio para la elaboración de la Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las actividades agropecuarias (avícolas)". México.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1990. "Manual de Tratamiento de aguas negras". Limusa, México.
- DGN-AA-4-1977. "Determinación de sólidos sedimentables en Agua".
- DGN-AA-6-1973. "Determinación de materia flotante en aguas residuales".
- Lucero Ramírez Baltazar, Vega González Eduardo. 1997. "Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y reusos. Igualación". Facultad de Ingeniería UNAM, División de Educación Continua.
- NOM-AA-5-1980. "Determinación de Grasas y Aceites".
- NOM-AA-7-1980. "Aguas-Determinación de la temperatura".
- NOM-AA-8-1980. "Aguas-Determinación del pH".
- NOM-AA-26-1980. "Aguas-Determinación de Nitrógeno total".
- NOM-AA-28-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno".
- NOM-AA-29-1981. "Aguas-Determinación de Fósforo total".
- NOM-AA-30-1981. "Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno".
- NOM-AA-34-1981. "Análisis de agua-Determinación de sólidos".
- NOM-AA-42-1987. "Calidad del Agua-Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva".
- NOM-CCA-022-Ecol/93, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de matanza de animales y empaçado de cárnicos. Diario Oficial de la Federación, 18 de Octubre de 1993.
- NOM-CCA-031-Ecol/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. Diario Oficial de la Federación, 18 de Octubre de 1993.
- NOM-001-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, 11 de Diciembre de 1996.
- NOM-002-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación, 6 de Abril de 1998.
- NOM-008-ZOO-1994. Especificaciones zoonosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos. Diario Oficial de la Federación, 16 de Noviembre de 1994.

-PEISA, Consultores SA. "Asesoría técnica en el diseño, elaboración e integración del proyecto mediante el proceso de digestores anaerobios de flujo ascendente para diferentes capacidades". México.

-Ramírez González Antonio. 1997. "Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y reusos. Perfil hidráulico en plantas de tratamiento de aguas residuales". Facultad de Ingeniería UNAM, División de Educación Continua.

-Sette Ramalho Rubens. 1996. "Tratamiento de aguas residuales". Reverté SA, Barcelona.

-Sotelo Avila Gilberto. 1990. "Hidráulica General Volumen 1 Fundamentos". Limusa, México.