

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

“CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS INTEGRAL DE  
LA OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES GENERADAS EN EL HOSPITAL  
GENERAL NANCHITAL”

## MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERA AMBIENTAL**

PRESENTA

*Gloria Del Carmen Mendoza  
Ramírez*



MINATITLÁN, VER.

SEPTIEMBRE 2011



**"2011, Año del Turismo en México"**



**SEP**

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORDINACIÓN DE TITULACIÓN  
OFICIO NÚM. 020/2011

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL

06 DE SEPTIEMBRE DEL 2011

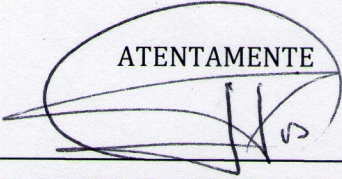
**C. GLORIA DE CARMEN MENDOZA RAMÍREZ**  
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PRESENTE:

Después de haber satisfecho los requisitos establecidos en el procedimiento académico para obtener el título en los Institutos Tecnológicos y de conformidad con la H. Comisión Revisora, me es grato autorizar la impresión de su Memoria de Residencia Profesional titulado:

**"CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS INTEGRAL DE LA OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL HOSPITAL GENERAL NANCHITAL"**

Así mismo se le exhorta a seguir superándose Académicamente y poner en alto el nombre de la Institución.

ATENTAMENTE

  
LIC. MARIA ARACELI ROA GRANADOS  
COORDINADORA DE LA OFNA. DE TITULACIÓN





## ***.AGR.ADECLMIENTOS***

### ***A dios***

*Por ser mi guía y mi fortaleza en todo momento y permitirme salir adelante, pese a las dificultades iluminando cada paso de mi vida y sobre todo por darme el mejor de los regalos que es “mi familia”.*

### ***A mis Padres***

*Porque a pesar de mis errores nunca han dejado de apoyarme y de estar siempre conmigo en cada momento que los he necesitado.*

*“Este trabajo es de ustedes, porque sí valió la pena tanto trabajar, tanto desvelo, tanto esfuerzo y tantos sacrificios”*

*“Gracias por todo y sobre todo gracias por su gran paciencia y amor por nosotros”*

### ***A mis Hermanos***

*Por su ayuda en cada momento que la he necesitado a pesar de las diferencias.*

### ***A mi Esposo***

*Porque este logro es de los dos y porque nunca has dejado de apoyarme en cada momento.*

*“Gracias por demostrarme que juntos podemos salir adelante y por los dos hermosos hijos que tenemos; Enrique y Oscarito, que son la razón más importante para esforzarnos cada día a ser mejores profesionistas, mejores padres y sobre todo a ser mejores personas”*

## **ÍNDICE GENERAL**

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5

### **CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

1.1	AGUAS RESIDUALES.....	7
1.2	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN CENTROS HOSPITALARIOS.....	8
1.3	TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	10
	1.3.1 Pretratamiento y tratamiento primario.....	11
	1.3.2 Tratamiento secundario.....	15
	1.3.3 Tratamiento terciario.....	25
1.4	NORMATIVIDAD APLICABLE ALAS AGUAS RESIDUALES.....	33
1.5	OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	37

### **CAPÍTULO II. DESARROLLO Y RESULTADOS**

2.1	RESEÑA DEL HOSPITAL GENERAL NANCHITAL.....	40
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	44
2.3	OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	46

2.4	ANÁLISIS DE CLORO RESIDUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	50
2.5	MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	52
2.6	CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.....	52
	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Figura 1.1 Mecanismo de sedimentación discreta.....	12
Figura 1.2 Proceso de sedimentación por zonas.....	13
Figura 1.3 Sistema de flotación.....	14
Figura 1.4 Deposito de homogeneización a nivel constante.....	15
Figura 1.5 Sistema convencional de lodos activados.....	16
Figura 1.6 Esquema de una unidad típica de biodiscos.....	17
Figura 1.7 Detalle de la zona húmeda de un biodisco.....	18
Figura 1.8 Diagrama de un filtro percolador típico.....	19
Figura 1.9 Esquema de las subcapas aerobia y anaerobia en un filtro percolador....	20
Figura 1.10 Sistemas de filtración por percolación.....	21
Figura 1.11 Laguna de mezcla completa (aerobia).....	23
Figura 1.12 Laguna de mezcla incompleta o facultativa (aerobia-anaerobia).....	24
Figura 1.13 Principios de la osmosis normal y la osmosis inversa.....	29
Figura 1.14 Reacciones del cloro en el agua.....	31
Figura 1.15 Reactor continuo para desinfección por cloro.....	32

### **CAPÍTULO II. DESARROLLO Y RESULTADOS**

Figura 2.1 Ubicación del Hospital General Nanchital.....	42
Figura 2.2 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	43
Figura 2.3 Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	46
Figura 2.4 Cuarto de compresores.....	47
Figura 2.5 Interior del cárcamo de bombeo.....	48
Figura 2.6 Dosificación del hipoclorito de sodio.....	48
Figura 2.7 Medición del cloro residual.....	50
Figura 2.8 observación de la coloración.....	51

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO I. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Tabla 1.1 Contaminantes generados por área en centros hospitalarios.....	9
Tabla 1.2 Contaminantes infecciosos generados por actividad en centros hospitalarios.....	9

### **CAPÍTULO II. DESARROLLO Y RESULTADOS**

Tabla 2.1 Servicios proporcionados en el Hospital General Nanchital.....	41
Tabla 2.2 Información relativa al muestreo.....	53
Tabla 2.3 Resultados de los promedios mensuales.....	56

## INTRODUCCIÓN

El uso del agua a través del tiempo en un principio había venido causando problemas de contaminación de poca magnitud, sin embargo es hasta el presente siglo que las grandes concentraciones humanas, el uso irracional del vital líquido y las distintas actividades del hombre para su supervivencia, desarrollo y confort, han ocasionado la generación de grandes concentraciones de sustancias contaminantes naturales y artificiales, provocando la modificación de la composición física y química del agua haciéndola inadecuada para el consumo humano, para el riego o para la vida de muchos organismos presentes en los diversos ecosistemas, es por ello que el problema de la contaminación del agua es cada vez más grave, ya que se ha rebasado la capacidad natural de autodepuración de los cuerpos de agua, para la eliminación de estos contaminantes.

Dado que la calidad del agua está íntimamente ligada con la salud de la flora, fauna y la especie humana, es de vital importancia evitar su contaminación y aplicar métodos de control y tratamiento para su depuración. Por lo antes mencionado es muy importante reconocer que las unidades hospitalarias son paradójicamente un sitio de cuidado y promoción de la salud, ya que representan una importante fuente de generación de aguas residuales altamente contaminadas, principalmente por las sustancias que la hacen un foco de infección y/o intoxicación.

Sin embargo existen alternativas para la mitigación e incluso para el control del problema, gracias a los avances tecnológicos que permiten en la actualidad aplicar métodos de tratamiento de aguas residuales que contribuyen con el control de la contaminación y el cumplimiento de la normatividad vigente en esta materia.

El presente trabajo se encuentra enfocado principalmente al estudio de la generación y tratamiento de las aguas residuales producidas en los centros hospitalarios, en el capítulo I se hablará de manera general acerca de las aguas residuales, su definición, su contaminación, los diferentes tipos de tratamiento que se le dan de



acuerdo a los contaminantes que estas presentan, así como de la normatividad aplicable al tipo de descarga de estas aguas después de su tratamiento. En el capítulo II se hablará sobre el desarrollo del trabajo que se realizó, haciendo una breve reseña del Hospital General de Nanchital, Ver., lugar donde fue desarrollado este trabajo así como la descripción de su planta de tratamiento de aguas residuales, su operación, análisis y caracterización del efluente.

Al final se describen una serie de conclusiones y recomendaciones, de acuerdo a los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo, las cuales se espera sean de gran utilidad y puedan ser realizadas por el personal del Hospital.

## JUSTIFICACIÓN

En los centros hospitalarios, el agua es utilizada principalmente para brindar un medio aséptico tanto en las habitaciones, consultorios, laboratorios, lavado de material quirúrgico, así como para el aseo personal de los pacientes, por lo que se adicionan al agua un sin número de sustancias de tipo químico y biológico generando así aguas residuales altamente contaminadas.

Por lo mencionado anteriormente es importante realizar un análisis detallado de los métodos de tratamientos que se le aplican a las aguas residuales generadas en los centros hospitalarios, en este caso en el Hospital General de Nanchital, Ver., así como evaluar su operación, y determinar la calidad del efluente de la planta de tratamiento para de esta forma contribuir con el control de la contaminación del agua que es descargada a una red municipal, que de alguna manera esta llega hasta un humedal natural.

Es importante efectuar estas actividades ya que sin un control de las operaciones básicas del tratamiento se puede impactar de manera negativa dicho ecosistema y además incumplir con la normatividad aplicable. Por lo cual el presente trabajo tiene planteado efectuar la evaluación de los tratamientos y efectuar las recomendaciones pertinentes para mejorar su operación si esta lo requiere.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales y llevar a cabo el análisis de su operatividad para elaborar propuestas de las acciones necesarias para su mejoramiento.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir las condiciones de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Caracterizar el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Determinar el cumplimiento de la normatividad para el efluente que es descargado al cuerpo receptor.
- Efectuar las recomendaciones necesarias para mejorar la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **ALCANCES Y LIMITACIONES**

Los alcances obtenidos en el presente trabajo son los siguientes:

- Se realizó el análisis de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Se determinó las características del efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Se logró estabilizar la dosificación de solución de hipoclorito de sodio, determinando la intensidad de goteo de dicha solución hacia los estanques de desinfección.

La principal limitación que se presentó durante el desarrollo del trabajo es la siguiente:

- Este trabajo se limitó únicamente a la determinación de la calidad del efluente, ya que no fue posible determinar las características del influente, para así, lograr determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **CAPÍTULO I**

### **TRATAMIENTO DE AGUAS**

## 1.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas que se producen como resultado del uso del agua en actividades industriales, agrícolas o urbanas, dichas aguas han sido modificadas en sus características iniciales, portando sustancias o materiales indeseables de muy distinta naturaleza (Díaz, 2005).

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden, de manera general, ser clasificadas de la forma siguiente:

- Domésticas: son aguas residuales provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baños, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas, su composición varía según los hábitos de la población que las genera.
- Industriales: Son aguas residuales que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, por ejemplo la industria papelera, azucarera, rastros, refinerías, textiles, fabricación de productos químicos, conservas, etc. Cada actividad industrial aporta al agua contaminantes específicos por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante.
- Pluviales: son agua de lluvia, parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.
- Agrícolas: son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.



## **1.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN CENTROS HOSPITALARIOS**

Los centros de atención en salud, especialmente los hospitales, constituyen importantes puntos de origen de descargas de aguas residuales con altos contenidos de contaminantes tóxicos, provenientes de medicamentos principalmente antibióticos, así como gran cantidad de contaminantes biológicos de tipo infecciosos, hacia el ambiente, produciendo un fuerte impacto en la composición física, química y biológica de los cuerpos receptores, por lo cual es muy importante considerar su tratamiento antes de ser descargadas hacia un cuerpo receptor. Sin embargo los usos que se le dan al agua en los centros hospitalarios están más que justificados, por tratarse de la salud de la población.

La calidad del agua residual de los centros hospitalarios varía de acuerdo al nivel de cada uno de éstos, en virtud de las especialidades que en ellos se realizan y de los volúmenes de agua que se descargan, por lo tanto cada caso es particular, requiriendo tratamientos específicos y a la medida de cada una de sus necesidades y del tipo de contaminantes a remover. Las áreas donde se usa y contamina el agua en los centros hospitalarios se indican en la Tabla 1.1 dichos contaminantes son principalmente deyecciones y sangrado de pacientes; medicamentos, jabones, detergentes y desinfectantes; residuos de alimentos así como grasas, aceites y algunas sustancias químicas que se usan en diversas áreas de los centros hospitalarios, estos contaminantes ingresan primeramente a los muebles sanitarios, por deyecciones directas y por vertido de agua producto del lavado de instrumentos y materiales, para luego ser desalojados a través del sistema de alcantarillado.

Es importante mencionar que la mayoría de los contaminantes infecciosos que llegan al agua, los cuales se mencionan en la Tabla 1.2, provienen de fluidos corporales y son capaces de causar enfermedades severas en individuos susceptibles, por lo cual al ser incorporados a las descargas de hospitales dicho líquido requiere de un manejo responsable.

Tabla 1.1 Contaminantes generados por área en centros hospitalarios.

ÁREA DE ORIGEN	CONTAMINANTES
Sanitarios y baños	Microorganismos, sólidos, ácidos, desinfectantes, aromatizantes, antibióticos, jabones, materia flotante.
Lavanderías	Detergentes, cloro, álcalis, grasas, aceites, blanqueadores, desinfectantes, sólidos.
Cocinas	Grasas, aceites, sólidos, detergentes, materia orgánica, desinfectantes.
Laboratorios	Productos químicos, orgánicos e inorgánicos, desechos de origen orgánico
Calderas	Purgas y agua de rechazo con alta concentración salina
T. de enfriamiento	Cromatos, fosfatos y otros productos químicos
Rayos X y revelado	Álcalis, sales de plata, isótopos radiactivos y otros metales.
Estacionamientos	Arena y otras partículas, diesel, petróleo, hidrocarburos, jabón, detergente, grasas y aceites.

Tabla 1.2 Contaminantes infecciosos generados por actividad en centros hospitalarios.

ACTIVIDAD DE ORIGEN	CONTAMINANTE
Deyecciones y sangrado	Salivas, mucosidad, vómitos, orina, heces fecales, sangre.
Lavados y cultivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- residuos biológicos del lavado de material de curación empleado en pacientes aislados.</li> <li>- Lavado de residuos anatómicos y cadáveres.</li> <li>- Cultivo de microorganismos.</li> </ul>

### 1.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales es una serie de procesos los cuales tratan y eliminan contaminantes físicos-químicos y biológicos del agua, efluente del uso humano, teniendo como objetivo producir un efluente tratado o reutilizable en el ambiente, es común también llamarlo “depuración de aguas residuales”.

Dichos procesos de tratamiento constituyen una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento.

La selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamiento depende de un cierto número de factores (Ramalho, 1996) entre los que se incluyen:

- Características físicas, químicas y biológicas del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos, metales, etc.
- Calidad del efluente de salida requerido.
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamiento más sofisticado en el futuro.

### **1.3.1 Pretratamiento y tratamiento primario**

El pretratamiento de las aguas residuales implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga, bien en los cuerpos receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogeneización (Ramalho, 1996).

Los tipos fundamentales de tratamientos primarios son: el cribado o desbrozo, sedimentación, floculación, neutralización y homogeneización, los cuales se describen a continuación:

#### **▪ Cribado**

También llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos, la distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas, y su limpieza se hace bien manual ó mecánicamente (Ramalho, 1996).

Las materias solidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos, las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos, generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado, mientras que las rejillas o cribas de gruesos tienen aberturas que oscilan entre los 4 y 8 cm, éstas se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos en tratamientos posteriores (Ramalho, 1996).

#### **▪ Sedimentación**

La eliminación de materia por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, el proceso de sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento. Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión (Ramalho, 1996).

- Sedimentación discreta.

Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, es decir, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas, por tanto las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso y la sedimentación se da mediante la acción de dos fuerzas, una horizontal que desplaza a la partícula hacia lo largo del estanque de sedimentación y otra fuerza vertical que impulsa a la partícula hacia abajo para depositarla en el fondo del estanque (Ramalho, 1996), este mecanismo se observa en la Figura 1.1.

- Sedimentación con floculación.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas, estas partículas son producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) sí cambian durante el proceso, al igual que la velocidad de sedimentación o precipitación (Ramalho, 1996).

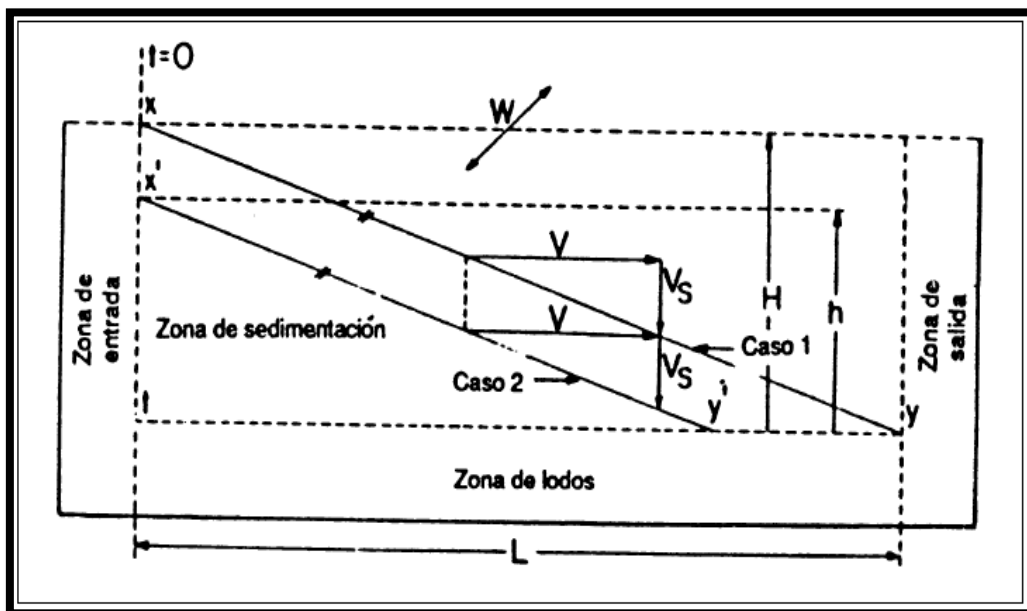


Fig.1.1 Mecanismo de sedimentación discreta

- Sedimentación por zonas.

Las partículas forman una especie de manta (lodos) que se sedimenta como una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida.

Los lodos comienzan a precipitarse, estableciéndose una interface entre la superficie de la capa de sólidos que están sedimentándose y el líquido clarificado que se presenta en la parte superior, la zona inferior del líquido clarificado es lo que se denomina zona interfacial, como se observa en la Fig. 1.2, la concentración de lodos en esta zona es uniforme precipitándose todo ello como una capa de materia a velocidad constante ( $V_s$ ), simultáneamente empieza una compactación de los sólidos en suspensión en el fondo del cilindro (Ramalho, 1996).

Entre la zona interfacial y la zona de compactación hay una zona de transición, en la misma, la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión (Ramalho, 1996).

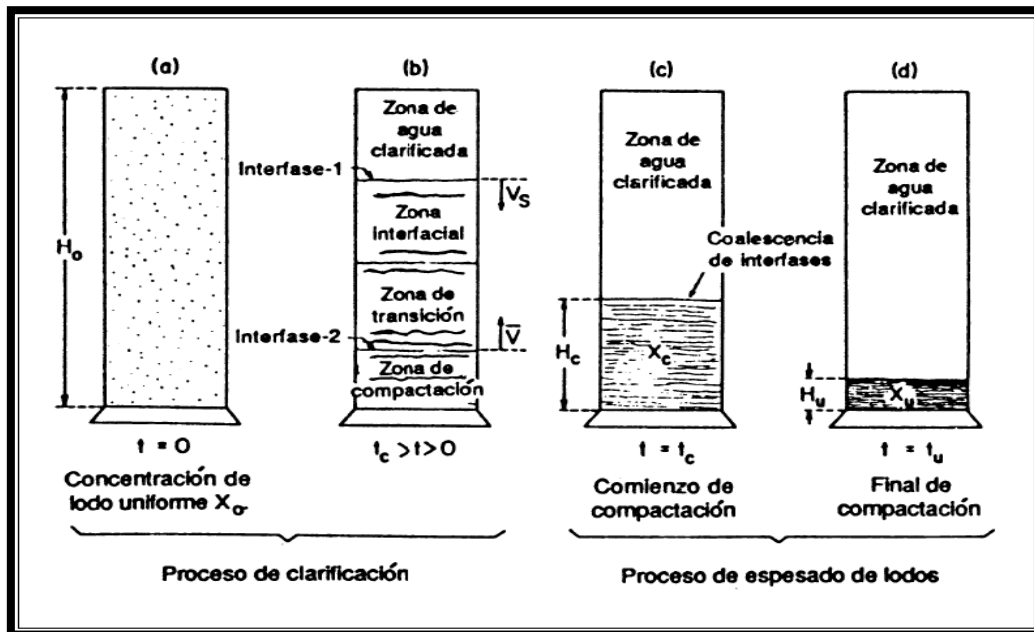


Fig. 1.2 Proceso de sedimentación por zonas



### ▪ Flotación

La flotación es un proceso para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida, la separación se lleva a cabo introduciendo un gas, normalmente aire (Fig. 1.3), en la fase líquida en forma de burbujas.

La fase líquida se somete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento hasta conseguir la saturación en aire del agua, luego este líquido se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica a través de una válvula reductora de presión, debido a la despresurización se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución, obligando a los sólidos en suspensión o las partículas líquidas a elevarse hacia la superficie (Ramalho, 1996).

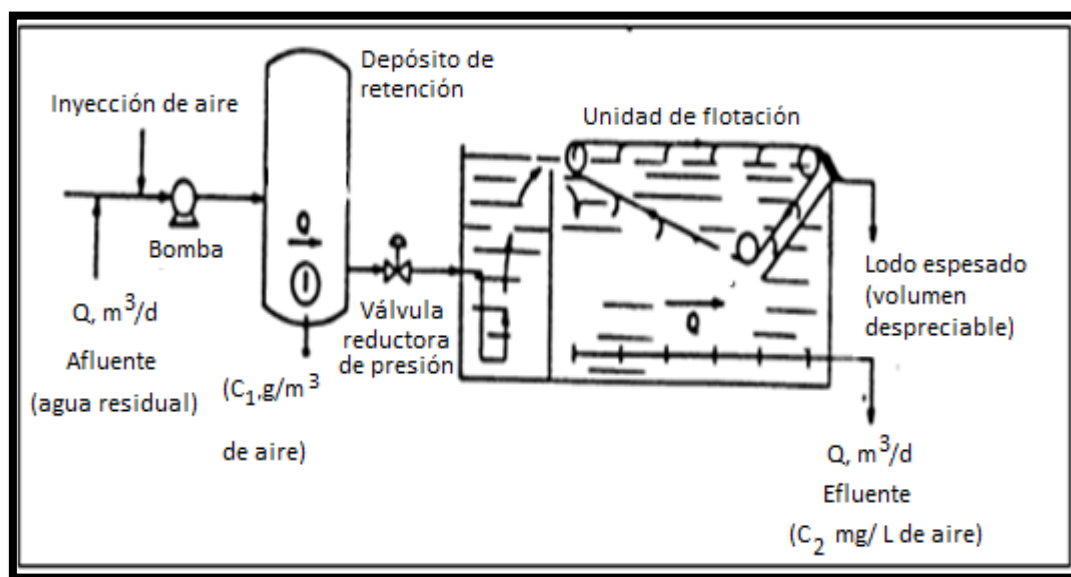


Fig.1.3 Sistema de flotación

### ▪ Homogeneización

Cuando se va a utilizar para conseguir la neutralización, la homogeneización significa la mezcla de las corrientes de aguas residuales, ácidas y alcalinas en un tanque de homogeneización (Ramalho, 1996).

La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos a parte de la neutralización, como son:

- Aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante como se observa en la Fig. 1.4
- Aminorar las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento.

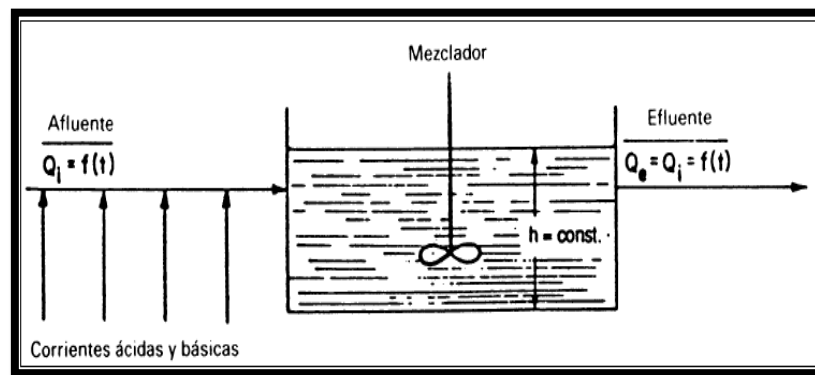


Fig. 1.4 Depósito de homogeneización a nivel constante.

### 1.3.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales, tanto aerobios como anaerobios, los objetivos del tratamiento secundario o biológico son reducir el contenido de materia orgánica de las aguas, disminuir su contenido en nutrientes, eliminar los patógenos y parásitos, estas metas se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes mecanismos (Ramalho, 1996).

A continuación se describen algunos de los procesos de tratamiento secundario.

#### ▪ Lodos activados

Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de fangos activados (Fig. 1.5), se realiza a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en

suspensión y se realiza la oxidación de la materia orgánica, el contenido del reactor se conoce con el nombre de "líquido mezcla" o "licor mezclado". En este proceso las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente (Ramalho, 1996).

En el reactor, o tanque biológico, las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas (Ramalho, 1996).

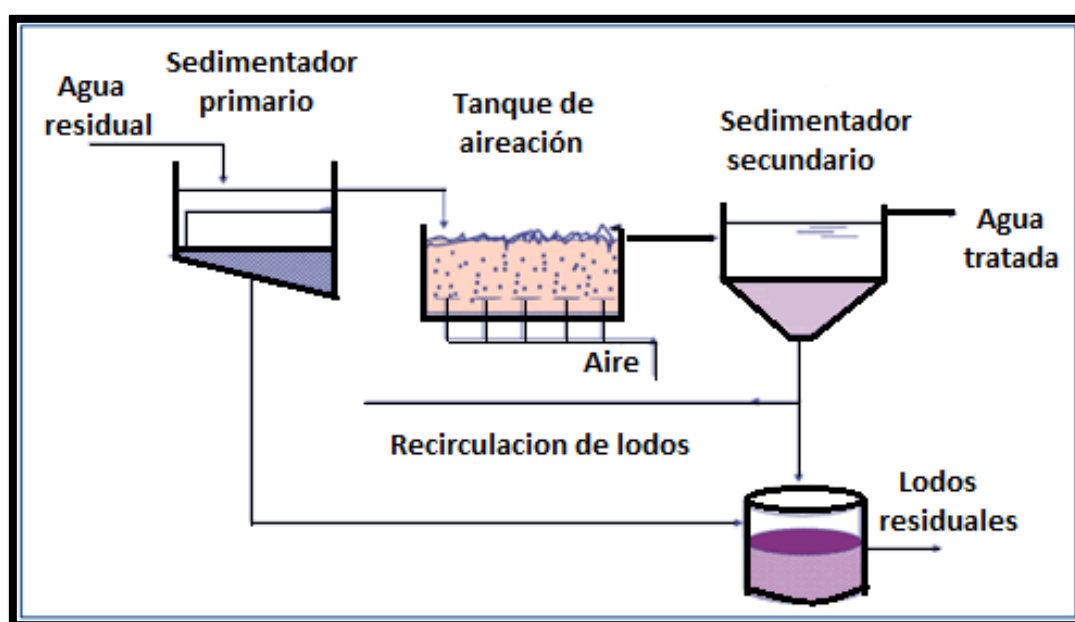


Figura 1.5 Sistema convencional de lodos activados.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores, que también sirve para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa, al cabo de un determinado periodo de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada, tal como se muestra en la figura 1.5, luego una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema, lo que es llamado "fango en exceso" (Ramalho, 1996).

## ▪ Biodiscos

Los biodiscos son sistemas que fueron desarrollados para obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales, la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido (filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (lodos activados).

Estas unidades se disponen en tanques divididos por paredes, 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 (Ramalho, 1996).

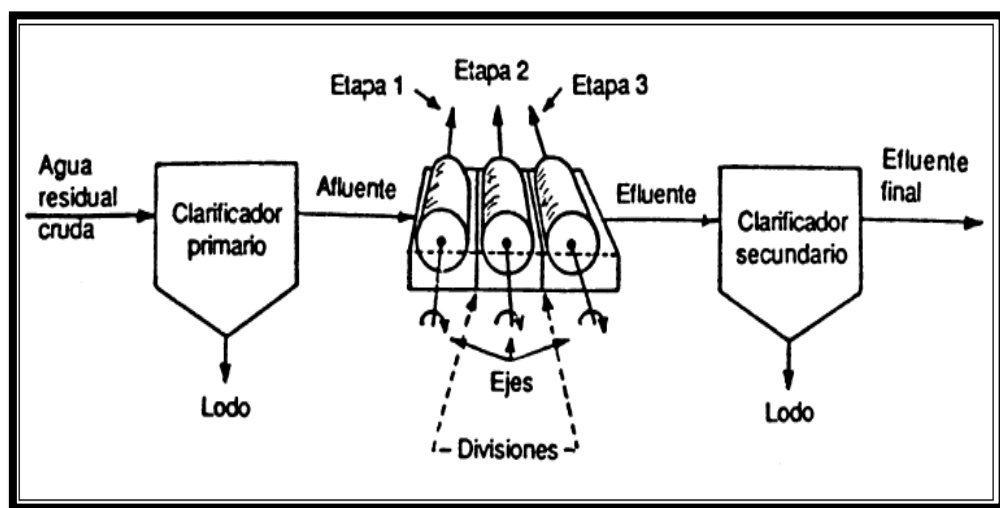


Fig. 1.6 Esquema de una unidad típica de biodiscos

Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de polietileno con diámetros comprendidos entre 3 y 4 m, estos discos se mantienen paralelos entre si 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, tal como se muestra en la Figura 1.6 (Ramalho, 1996).

Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 rpm, se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos, en la Figura 1.7 se presenta en detalle la zona húmeda de los discos (Ramalho, 1996).

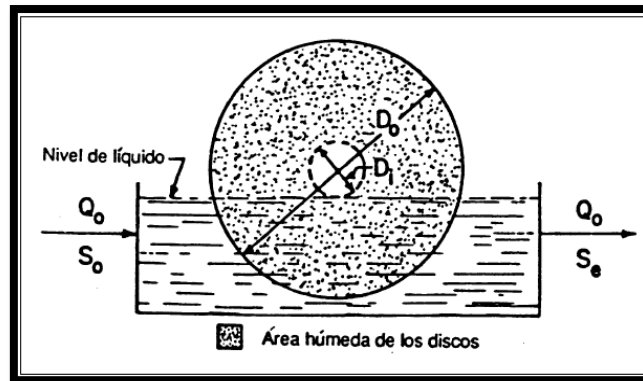


Fig.1.7 Detalle de la zona húmeda de un biodisco

#### ▪ Filtros percoladores

Estos reactores se denominan reactores de crecimiento biológico asistido, en los que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico que se mantiene fijo en el. 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 1.8 se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador (Ramalho, 1996).

La capa de limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0,1 y 2,0 mm está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia, tal como se presenta en la figura 1.9, el espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual aplicado y de su DBO, cuanto mayor sea la DBO del afluente menor será el espesor de la subcapa aerobia, ya que se presenta un consumo más rápido de oxígeno (Ramalho, 1996).

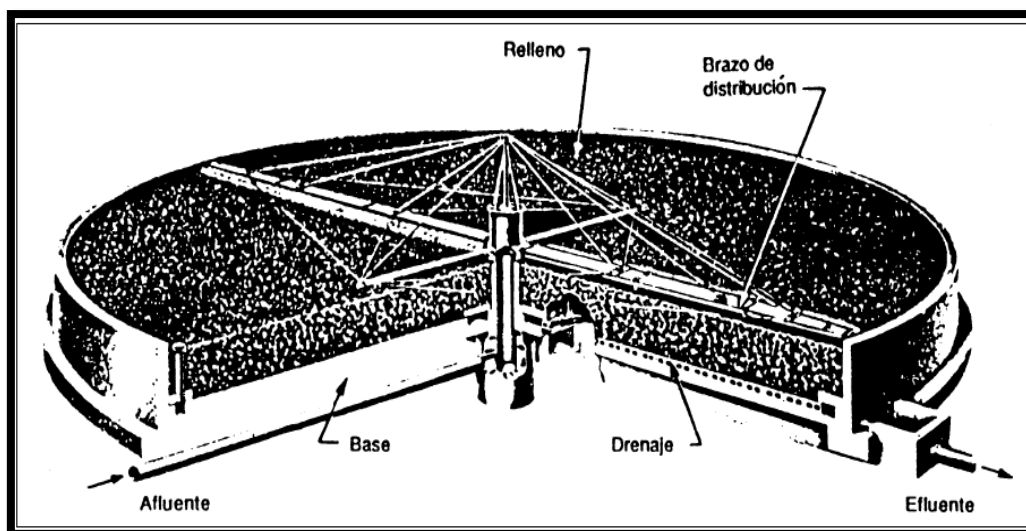


Fig.1.8 Diagrama de un filtro percolador típico

Normalmente, el espesor de la capa de limo está comprendido entre 0,1 y 2,0 mm, existiendo un efecto perjudicial en la operación del filtro percolador si dicho espesor es superior a 2,0 mm, puede presentarse una obstrucción del relleno, perjudicando el flujo del agua residual y la transferencia de oxígeno a los microorganismos aerobios, las cargas hidráulicas de operación normal son bajas,  $1-10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ , y no son suficientes para mantener la capa de limo limpia (Ramalho, 1996).

Conforme la capa de limo aumenta de espesor, la materia orgánica del agua residual se metaboliza antes de que pueda alcanzar la capa de microorganismos asociada a la superficie de relleno, estos microorganismos quedan sin alimento suficiente y tienden a pasar a la fase de respiración endógena, donde la capa de limo pierde su capacidad para unirse a la superficie del relleno y se pierde, este fenómeno, denominado desprendimiento, es función de la carga orgánica e hidráulica del filtro (Ramalho, 1996).

Los filtros percoladores son lechos de 1 a 12 m de profundidad rellenos de materiales tales como roca, clinkers o materiales sintéticos, donde el agua residual afluyente percola a través del relleno poniéndose en contacto con la capa de limo biológico (Ramalho, 1996).



Las dos propiedades más importantes de los filtros percoladores son la superficie específica y el porcentaje de huecos. La superficie específica se define como los  $\text{m}^2$  de superficie de relleno por  $\text{m}^3$  de volumen total, cuanto mayor sea la superficie específica mayor será la cantidad de limo biológico por unidad de volumen. Por otra parte, a mayor porcentaje de huecos se consiguen cargas hidráulicas superiores sin peligro de inundación. Mientras que los lechos rellenos de roca, clinkers u otros materiales similares, no pueden sobrepasar profundidades de 1 a 2.5 m, los lechos de materiales sintéticos pueden soportar profundidades entre 6 y 12 m, el mayor porcentaje de huecos en los rellenos sintéticos facilita el flujo y reduce el peligro de inundación (Ramalho, 1996).

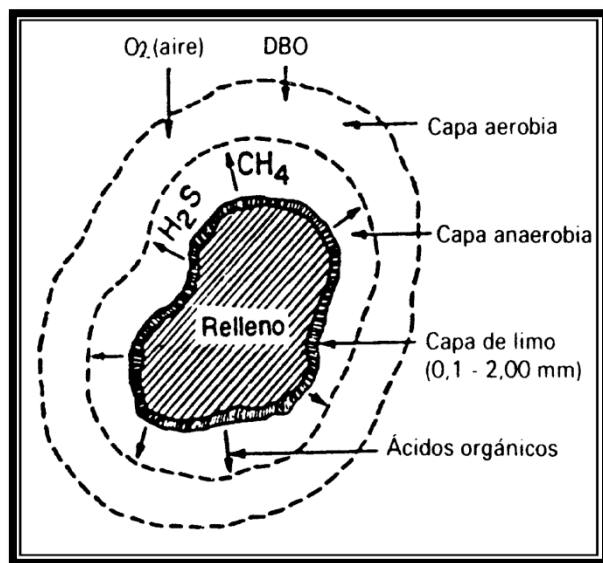


Fig.1.9 Esquema de las subcapas aerobia y anaerobia en un filtro percolador

En la figura 1.10 se presentan las disposiciones más comunes de sistemas de filtración por percolación (Ramalho, 1996), las cuales son:

- a) Sistema de filtro único. Puede trabajar con o sin reciclado del efluente, el cual está indicado para obtener una calidad mayor, si la DBO del efluente es mayor de 500 mg/L el reciclado resulta recomendable.

- b) Filtración doble alternativa. El primer filtro es responsable de la mayor parte de la eliminación de la DBO, el segundo sirve para mejorar la calidad del efluente; en consecuencia la mayor parte del crecimiento de limo sucede en el primer filtro. El ciclo se invierte periódicamente tal como queda mostrado por la línea de puntos de la figura 1.10 (b), de esta forma el control del espesor de la capa de limo es fácil de conseguir, manteniendo un espesor uniforme de dicha capa de limo en las dos unidades, por este sistema se obtiene una calidad del efluente superior con respecto a los filtros únicos.
- c) Filtración en dos etapas. El primer filtro es grueso, relleno normalmente con material sintético que separa el 60-70% de la DBO, el segundo filtro, en el cual el crecimiento de limo es considerablemente menor, actúa como sistema de mejora del efluente.

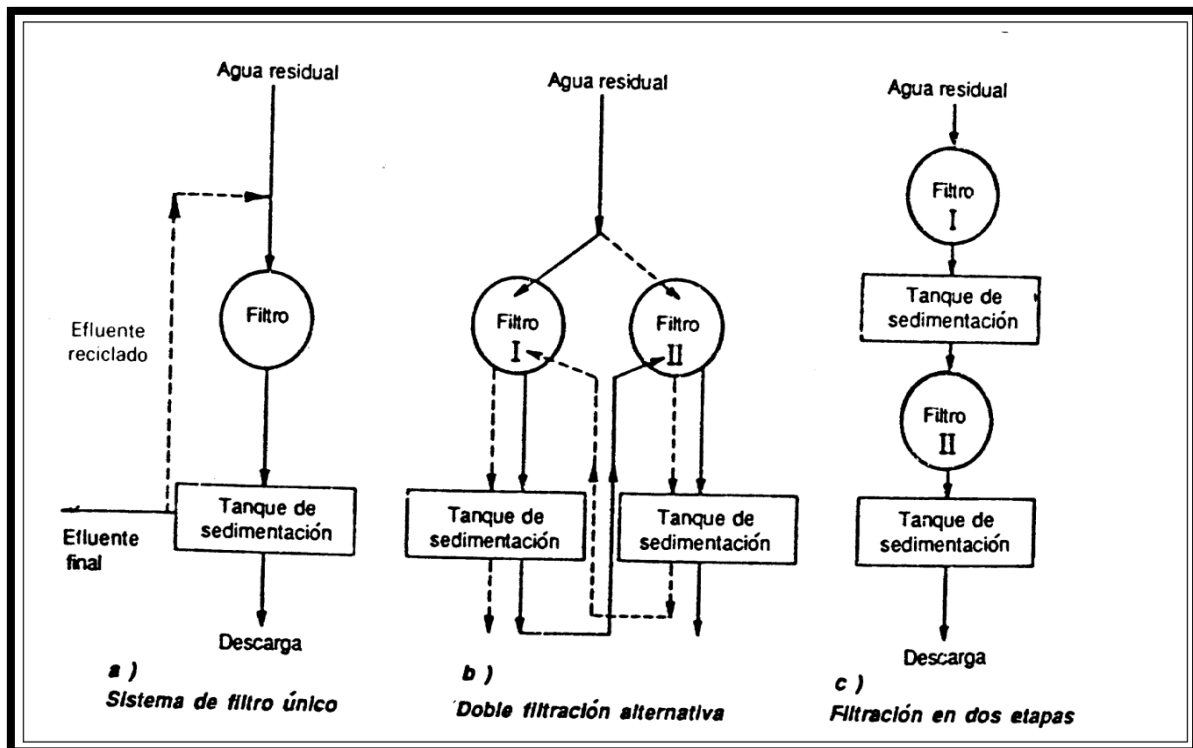


Fig.1.10 Sistemas de filtración por percolación

### ▪ **Lagunas aireadas**

Las lagunas aireadas cuentan 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. La concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia, dicha concentración está comprendida entre 80 y 200 mg/l (Ramalho, 1996).

En una planta de tratamiento de aguas residuales los objetivos del aireador son: la transferencia de moléculas gaseosas, principalmente de oxígeno del aire al agua, y el mantener una concentración más o menos uniforme del oxígeno y de los microorganismos en la masa líquida. El propósito de la transferencia de oxígeno al agua tiene relevancia en el campo de la oxidación bioquímica, ya sea de compuestos inorgánicos, orgánicos o bien de impurezas volátiles (Lizardi, 2011).

Los equipos utilizados en el proceso de aireación pueden ser de dos tipos: por gravedad (cascada, aspiración forzada y aireadores empacados de coque), o por rocío (difusión, de superficie y de turbina sumergida). Los aireadores de difusión y de turbina sumergida ponen al aire en contacto con el agua, mientras que los aireadores de superficie operan en modo inverso, es decir, ponen en contacto al agua con la atmósfera. En los aireadores de tipo sumergido se requiere de un flujo másico de aire, que por lo general es proporcionado por un sistema de compresión y distribución de aire (motocompresor, tanque de almacenamiento de aire, dispositivos de control, red de tubería, etc.), que eleva el costo del proceso considerablemente (Ramalho, 1996).

La acción de los aireadores y la de las burbujas de aire que ascienden desde el difusor mantiene en suspensión el contenido del estanque, el grado de mezclado o nivel de turbulencia en las lagunas es la base para su clasificación en dos categorías: de mezcla completa y lagunas facultativas (Ramalho, 1996).

- Lagunas aerobias o de mezcla completa

El contenido de una laguna aerobia está totalmente mezclado (Fig. 1.11) y no sedimentan ni los sólidos biológicos producidos a partir del agua residual ni los sólidos entrantes, siendo la función esencial de estas lagunas la conversión de los residuos (Ramalho, 1996).

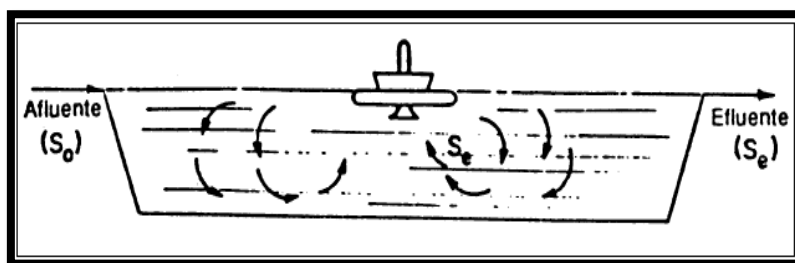


Fig.1.11 Laguna de mezcla completa (aerobia)

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen del líquido, los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días. Según el tiempo de retención, el efluente contendrá de un tercio a un medio del valor de la DBO entrante en forma de tejido celular, sin embargo, los sólidos deben eliminarse por sedimentación antes de que el efluente pueda descargarse (Ramalho, 1996).

- Lagunas aerobias – anaerobias o facultativas.

En las lagunas aerobias – anaerobias, el contenido del estanque no se encuentra totalmente mezclado (Fig. 1.12), y gran parte de los sólidos biológicos producidos y de los sólidos entrantes se sedimentan, cuando la cantidad de sólidos comienza a crecer, parte de ellos sufrirán una descomposición anaerobia y el efluente de estas lagunas estará altamente estabilizado (Ramalho, 1996). Para este tipo de lagunas 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 del 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 (Ramalho, 1996).

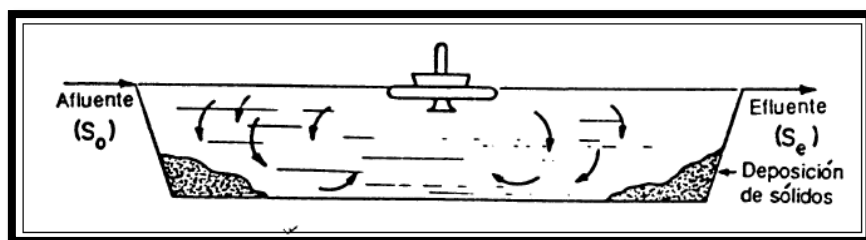


Fig.1.12 Laguna de mezcla incompleta o facultativa (aerobia-anaerobia)

Dentro de los factores a considerar para el diseño del proceso de las lagunas aireadas se tienen:

1. Eliminación de la DBO. Se puede tomar como base para el diseño el tiempo medio de retención celular, un enfoque básico supone la selección de un tiempo medio de retención celular que se asegure:
  - Que los microorganismos suspendidos bioflocularán para su fácil eliminación por sedimentación.
  - Que se provea un factor de seguridad adecuado respecto al tiempo medio de retención celular límite que produce la pérdida de sólidos.
2. Características del efluente. Las características más importantes en una laguna aireada son la  $DBO_5$  y la concentración de sólidos suspendidos, los sólidos del efluente están compuestos de una parte de los sólidos suspendidos entrantes, los sólidos biológicos y a veces pequeñas cantidades de algas.
3. Necesidades de oxígeno. De diversas experimentaciones realizadas en instalaciones domésticas e industriales, se ha verificado que la cantidad de oxígeno requerida está entre 0.7-1.4 veces la cantidad de  $DBO_5$  eliminado.
4. Efecto de la temperatura. Por ser las condiciones climáticas donde se instalan las plantas de tratamiento de aguas muy diversas, deberá tenerse en cuenta en el diseño la influencia de la temperatura en el sistema, siendo los más importantes:
  - Reducción de la eficiencia de tratamiento y actividad biológica.
  - Formación de hielo.

### **1.3.3 Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario también llamado tratamiento avanzado, es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario. Algunos de los tratamientos terciarios más utilizados son: adsorción en carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis y oxidación química (Ramalho, 1996).

#### **▪ 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 (Ramalho, 1996).

Los procesos de adsorción en fase líquida se utilizan con buena eficiencia en la purificación de aguas residuales de industrias que pueden contener colorantes, fragancias y en general contaminantes orgánicos o inorgánicos. El carbón activado es un adsorbente que presenta un elevado y variado grado de porosidad, una considerable superficie interna y un cierto contenido de grupos químicos superficiales; estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, utilizadas en aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida.

El carbón activado es un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de purificación en fase gaseosa y líquida (Moreno, 2007).

El carbón activado tiene una textura similar a la de pequeños gránulos de arena negra. Su función como filtro es remover contaminantes del agua por medio de adsorción, donde las partículas a filtrar se adhieren a la superficie de los gránulos del carbón. Este material adsorbente es muy eficiente ya que su gran porosidad hace aumentar la superficie de contacto con el agua (CONAMA, 2011)



Su aplicación se realiza en lechos empacados, tipo columnas, cargados con gránulos del material adsorbente (carbón activado) y se bombea, a través del filtro empacado, el efluente a tratar. A medida que el agua fluye a través de la columna, los químicos se adsorben a la superficie porosa de los gránulos, cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está gastado, este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice (CONAMA, 2011).

La limpieza del carbón gastado comprende el calentamiento del carbón y el bombeo de aire limpio a través del mismo, el calor suelta los químicos del carbón, y el aire los expulsa de la columna. La tecnología de adsorción utilizando carbón activado es altamente eficiente, alcanzando remociones del orden de 95-99% (CONAMA, 2011).

Las principales aplicaciones de la tecnología son las siguientes:

- Tratamiento terciario de aguas residuales y tratamiento de aguas servidas.
- Tratamiento de agua en procesos industriales, como por ejemplo en la industria química, industria alimentaria y farmacéutica.
- Potabilización de aguas.
- Tratamiento de emisiones atmosféricas.
- Purificación de aire y gases.

#### ▪ **Intercambio iónico**

El intercambio iónico consiste en el intercambio reversible de iones, entre un medio sólido de intercambio y una solución, el ablandamiento de agua por intercambio iónico es un ejemplo importante. En la industria se emplean cambiadores tanto catiónicos, que tienen una estructura cargada negativamente, como aniónicos, que poseen las cargas eléctricas exactamente opuestas, para preparar agua de alimentación a calderas, desionizar o desmineralizar aguas de proceso, concentrar soluciones diluidas de electrolitos y preparar reactivos químicos (Fair, et al. 1992).

Para ser efectivos estos intercambiadores de iones sólidos deben:

- 1) Contener sus propios iones
- 2) Ser insolubles en agua
- 3) Proporcionar suficiente espacio en su estructura porosa para que los iones pasen libremente al interior y hacia el exterior del sólido

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales.

La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resinas sintéticas (UAM, 2006).

Una resina de intercambio iónico puede considerarse como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a las que se encuentran unidos de forma rígida grupos iónicos libres, estas cadenas se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que proporciona rigidez a la resina y donde el grado de reticulación o entrecruzamiento determina la estructura porosa interna de la misma.

Como los iones deben difundirse en el interior de la resina para que ocurra el intercambio, la selección del grado de reticulación puede limitar la movilidad de los iones participantes. Las cargas de los grupos iónicos inmóviles se equilibran con las de otros iones, de signo opuesto, denominados contraiones, que están libres y que son los que se intercambian realmente con los del electrolito disuelto. Cuando dichos iones son cationes, los cambiadores iónicos se denominan catiónicos y cuando son aniones se denominan aniónicos (UAM, 2006).

Los suelos son cambiadores importantes de iones, especialmente los suelos arcillosos y el humus producido por la vegetación en descomposición, así como los

sedimentos del fondo en ríos y lagos poseen una capacidad considerable de intercambio, sobre todo para los cationes. La alúmina, los fosfatos y sulfuros metálicos, la lignina proteínas, celulosa, madera, carbón y resinas en forma similar tienen propiedades de intercambio iónico (Fair, et al. 1992).

La tecnología del intercambio iónico comenzó en 1935 con el descubrimiento de las resinas sintéticas de intercambio iónico, sin embargo tanto las zeolitas naturales como las sintéticas continúan en el comercio. Los cambiadores sintéticos de iones son permeables, razonablemente estables y tienen altas capacidades (Fair, et al. 1992).

#### ▪ **Ósmosis inversa**

La ósmosis se define como el paso espontáneo de un disolvente desde una solución diluida a otra más concentrada a través de una membrana semipermeable. En el tratamiento de las aguas residuales mediante ósmosis inversa (Fig. 1.11) el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución, bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes pasa a través de una membrana (Ramalho, 1996).

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 residual se separa en un tubo exterior que se encuentra a presión atmosférica y está fabricado de material ordinario.

Durante el proceso, los contaminantes disueltos se concentran en el compartimento del agua residual, este concentrado que posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga y se obtiene agua purificada en otro compartimento (Ramalho, 1996).

Este proceso de ósmosis inversa reúne las siguientes características:

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (hasta el 99%).
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua.
- Es una tecnología extremadamente simple, que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado.
- El proceso se realiza sin cambio de fase, con el consiguiente ahorro de energía.
- Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m<sup>3</sup>/día, a 1.000.000 m<sup>3</sup>/día.

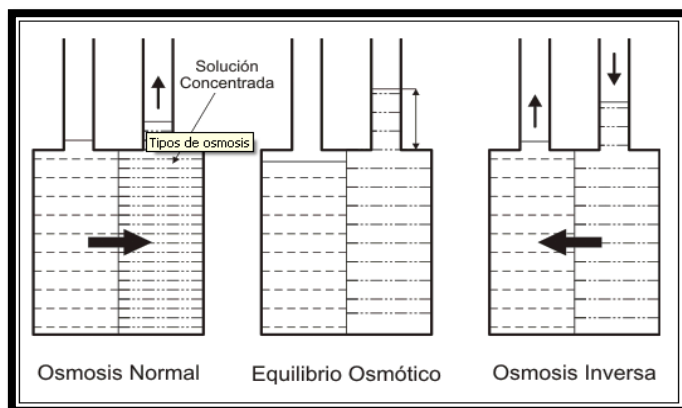


Fig. 1.13 Principios de la ósmosis normal y la ósmosis inversa

La ósmosis inversa puede aplicarse en un campo muy vasto y entre sus diversos usos se puede mencionar:

- Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de poblaciones.
- Tratamiento de efluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables.
- En la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugo de frutas, tomate, leche, etc.).
- En la industria farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus, etc.

## ▪ Cloración

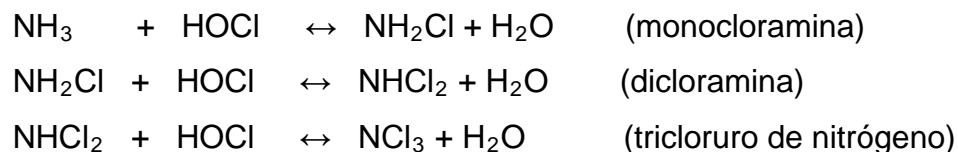
La desinfección significa una disminución de la población bacteriana hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana, por lo tanto debe prestarse primordial atención a la cuidadosa operación y selección del equipo que se utilizará durante el proceso de cloración, el cual es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas (Guerrero, 1993).

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.
4. Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que se presentan en forma reducida se oxidan por el cloro.
5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

Cuando se añade el cloro al agua, bien como gas o como solución, éste reacciona para formar ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ), el cual es un ácido débil, y una parte importante del cloro residual está formada por ácido hipocloroso sin disociar. En presencia de amoníaco, el ácido hipocloroso reacciona para formar monoclорamina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno, las proporciones relativas de estos compuestos dependen del pH y de la concentración de amoníaco presente (Ramalho, 1996).

Las ecuaciones químicas correspondientes son:



Estos compuestos son responsables de olores y sabores desagradables en el agua, asimismo la capacidad desinfectante de estos compuestos es menor que la del cloro, las reacciones del cloro en el agua se ilustran en la Figura 1.14, que muestra la relación entre el cloro añadido y el cloro residual (Ramalho, 1996).

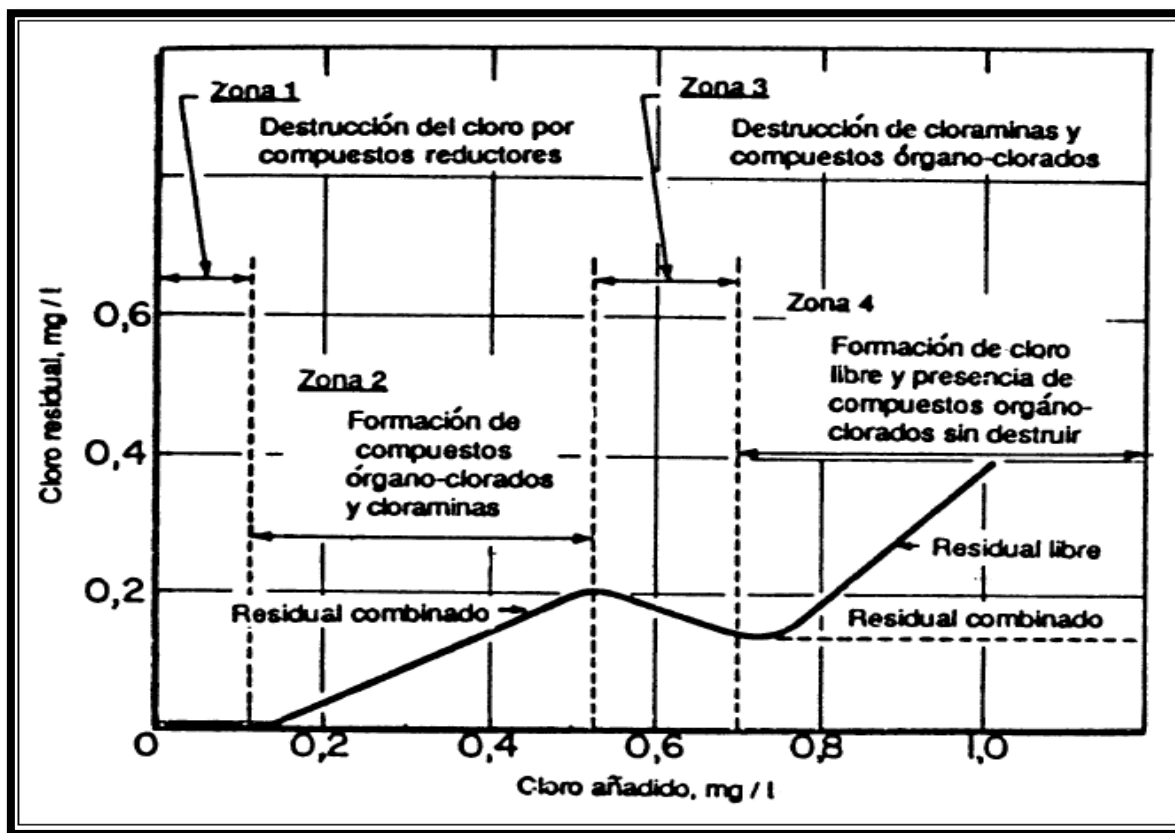


Fig. 1.14 Reacciones del cloro en el agua

La cantidad inicial de cloro añadida se reduce por los compuestos que reaccionan rápidamente con él (por ejemplo,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ ), esto corresponde a la zona 1 en la cual la cantidad de cloro residual es prácticamente cero.

La adición continua de cloro conduce a la presencia de cloro residual en la forma de compuestos orgánicos clorados o cloraminas (residual combinado), el cloro residual es siempre menor que el cloro añadido, esto corresponde a la zona 2 de la curva de la Figura 1.14 (Ramalho, 1996).

Añadiendo mas cloro, los compuestos órgano-clorados se oxidan: la molécula se rompe y se libera cloro, esto conduce a la disminución de cloro residual, indicado en la zona 3. Finalmente cuando todos los compuestos reductores han sido oxidados, la cantidad adicional de cloro añadido al agua produce una cantidad equivalente de cloro residual, esto corresponde a la zona 4 de la Figura 1.14, que presenta una línea recta a  $45^\circ$  para el residual libre, y una línea recta paralela a la abscisas para el residual combinado constante (Ramalho, 1996).

En la experimentación con el proceso de desinfección, se utiliza una cámara de contacto continuo en la que se supone condiciones de equilibrio y de mezcla completa (Fig. 1.15), normalmente se colocan pantallas interceptando el camino del flujo para lograr aumentar el tiempo de contacto entre el agua residual y el 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, se ha empleado en la desinfección de las aguas los óxidos de cloro como:  $\text{Cl}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_5$  y  $\text{Cl}_2\text{O}$  (Ramalho, 1996).

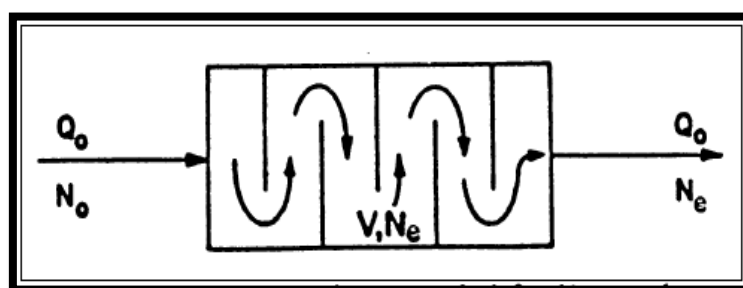


Fig. 1.15 Reactor continuo para desinfección por cloro

#### **1.4 NORMATIVIDAD APLICABLE A LAS AGUAS RESIDUALES**

La aplicación de leyes y normas es de gran importancia, ya que en materia de aguas residuales, estas normas establecen ciertos requisitos a cumplir, sirviendo así, como una guía en el tratamiento de las aguas residuales, ayudando a cumplir con lo establecido en la ley.

A continuación se resumen algunas leyes y normas, las cuales fueron de interés durante el desarrollo del presente trabajo:

■ **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.**

Establece en su artículo 27 las bases sobre las que el estado mexicano promoverá y protegerá sus recursos naturales y medio ambiente.

■ **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).**

Esta ley es reglamentaria a las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente y sus disposiciones son de orden público e interés social, y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable, de tal manera que cualesquier actividad debe sujetarse a las disposiciones contenidas en la misma.

En materia de agua se establecen los límites permisibles de contaminantes para descargar aguas residuales o infiltrarla en cualquier cuerpo o corriente de agua así mismo en el suelo o subsuelo, además de requerir el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

■ **Ley de Aguas Nacionales (LAN).**

La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia



general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

En el artículo 7 de la presente ley se declara de utilidad pública, el mejoramiento de la calidad de las aguas, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### ■ Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

En estas normas oficiales, en materia de aguas residuales, se establecen ciertos parámetros analíticos y sus límites máximos permisibles que se debe cumplir para garantizar que la descarga de agua residual no causará más adelante problemas de contaminación.

#### - NOM-001-SEMARNAT-1996

Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a 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.

En esta norma se enlistan una serie de parámetros con sus límites permisibles para su descarga de acuerdo al cuerpo receptor y al uso que se le dará al agua residual, ya sea para uso de riego agrícola, público urbano, protección de vida acuática, explotación pesquera, recreación, estuarios, humedales, etc. Dichos parámetros son: temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total y fósforo total.

- NOM-002-SEMARNAT-1996

Norma Oficial Mexicana que 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. En dicha norma se enlistan una serie de parámetros con sus límites permisibles para su descarga dichos parámetros son: grasas y aceites, sólidos sedimentables, arsénico total, cadmio total, cianuro total, cobre total, cromo hexavalente, mercurio total, níquel total, plomo total y zinc total.

- NOM-003-SEMARNAT-1997

Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

En esta norma se enlistan una serie de parámetros de acuerdo al tipo de reúso que se le dará a las aguas residuales tratadas, ya sea de servicios al público con contacto directo ó de servicios al público con contacto indirecto u ocasional, dichos parámetros son: coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

- NOM-CCA-O29-ECOL/1993

Norma Oficial Mexicana que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de hospitales.

Considerando que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de hospitales, provocan efectos adversos en los ecosistemas, es necesario fijar los límites máximos permisibles que deberán satisfacer dichas descargas. Los parámetros considerados de importancia en esta norma son: pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, materia flotante, coliformes fecales y cloro libre residual.

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; además, podrá establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los siguientes parámetros: fosforo total, metales pesados, nitrógeno total, radioactividad, temperatura, sustancias activas al azul de metileno, tóxicos orgánicos y unidades de toxicidad aguda con *Daphnia magna*.

El muestreo para la determinación de los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales provenientes de los hospitales 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 a las horas por día que opera el proceso generador de la descarga.

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.

## **1.5 OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Según León, Guillermo (1992), se evaluó la eficiencia de remoción de patógenos en el agua residual, del hospital “las mercedes” en Chiclayo, Perú, lo cual sirvió para establecer criterios de dimensionamiento para los futuros diseños de las plantas de tratamiento de aguas residuales de otros hospitales. Se seleccionó el proceso de desinfección mediante cloración, con la aplicación de solución clorada, con un dosificador, la dosis de cloro fue determinada según el análisis de la demanda de cloro correspondiente. A fin de que el proceso de desinfección resulte eficiente, se definió que es necesario remover previamente la mayor concentración de sólidos suspendidos y de materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Palomo Juárez, Carlos (febrero 2006), describe el funcionamiento de la planta tratadora de aguas residuales del Hospital Militar Regional de San Luis Potosí. S.L.P. El diseño de la planta fue una innovación del área de ingeniería de la Sección de Control Ambiental, modelo que se le denominó Tipo Compacta con un tipo de tratamiento de AERACION EXTENDIDA, en menos de 90 m<sup>2</sup> para una capacidad de tratamiento de 40 m<sup>3</sup>/día dotada entre otros aspectos de diseño, con 10 difusores en el fondo del reactor para que la burbuja de aire tenga más contacto con el licor de tratamiento del reactor principal y contribuya a tener una eliminación más eficiente de la carga contaminante, propiciando una mejor eficiencia.

De acuerdo EPA (septiembre 1999). Las zanjas de oxidación funcionan como sistemas de mezcla completa, los aireadores montados en forma vertical u horizontal proporcionan la circulación del agua, la transferencia de oxígeno y la aireación en las zanjas, la aireación aumenta drásticamente el nivel de oxígeno disuelto (O.D.), pero éste disminuye debido a que la biomasa consume el oxígeno.

## **CAPITULO II**

### **DESARROLLO Y RESULTADOS**

## **2.1 RESEÑA DEL HOSPITAL GENERAL NANCHITAL**

El Hospital General Nanchital abrió sus puertas en marzo de 1988 ofreciendo servicios médicos de tercer nivel con la categoría de Hospital Auxiliar, en el mes de mayo de 1990 fue designado como Hospital General, rango que ostenta hasta el día de hoy brindando desde esa fecha un servicio de segundo nivel, el cual es perteneciente a la Subdirección Corporativa de Servicios de Salud de Petróleos Mexicanos, se localiza en la Av. San Pedro y San Pablo sin número del fraccionamiento Guadalupe Tepeyac en la ciudad de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Rio, Veracruz.

El Hospital General Nanchital es uno de los 12 centros que brinda atención médica de segundo nivel con los que cuenta Petróleos Mexicanos, los servicios proporcionados en la Unidad Médica son los mostrados en la Tabla 2.1, ofreciendo semanalmente alrededor de 2600 consultas médicas en las áreas de Consulta Externa en los 18 consultorios con los que cuenta, y aproximadamente 1000 consultas en el área de Urgencias, departamento que cuenta con 15 camas y cuatro cuneros, el departamento de Hospitalización cuenta con 28 habitaciones estando dividido en área de hombres y mujeres, en el área de Pediatría se tienen diez cuneros, dos camas y tres incubadoras, así como se cuenta también con una clínica de estimulación temprana, contando además con dos Quirófanos y una sala de Tococirugía.

El hospital proporciona servicio las 24 horas del día, durante los 365 días del año atendiendo la demanda de los derechohabientes de los municipios siguientes: Nanchital Ver. Ixhuatlan del Sureste Ver., Moloacan Ver., y a las congregaciones Paso Nuevo, Mundo nuevo, Nuevo Teapa, Tuzandepetl, Amatita, Pollo de Oro, Los coquitos, así como a trabajadores de los Complejos Petroquímicos Morelos, Pajaritos, Cangrejera y la Terminal Marítima Pajaritos; con una población aproximada de 21,576 derechohabientes.

Tabla 2.1 Servicios proporcionados en el Hospital General Nanchital.

HOSPITAL GENERAL NANCHITAL	
Medicina ocupacional	Imagenología
Medicina familiar	Laboratorio de análisis clínicos
Medicina preventiva	Laboratorio de toxicología
Medicina interna	Central de equipos y esterilización
Ginecología	Censo medico
Pediatría	Archivo clínico
Cardiología	Hospitalización
Oftalmología	Farmacia
Cirugía	Lavandería
Tococirugía	Cocina
Traumatología	Almacén
Odontología	Oficinas administrativas
Urgencias	Servicios auxiliares

Dicho hospital, como se ilustra en la Fig. 2.1, está construido en un terreno de 23,924 m<sup>2</sup> de los cuales el área construida es de 13,092 m<sup>2</sup> y está formado por cinco edificios. En el edificio No. 1 se encuentran ubicadas las oficinas de dirección, subdirección administrativa e informática, así como los 18 consultorios destinados para consultas externas, además del área de atención a embarazos de riesgo.

El edificio No.2 se encuentra dividido en diversas áreas las principales son: farmacia, laboratorio de rayos X, laboratorio de toxicología, así como el área de urgencias, mientras que el edificio No. 3 está destinado únicamente para la hospitalización de los pacientes que así lo requieran, dividido a su vez en área de hombres, mujeres y cuneros.



Se cuenta también con un área de dietología la cual su ubica en el edificio No. 4 el cual cuenta con área de almacén donde se lleva el control de los materiales que se utilizan en todo el hospital, así como de los medicamentos que se les recetan y suministran a los pacientes.

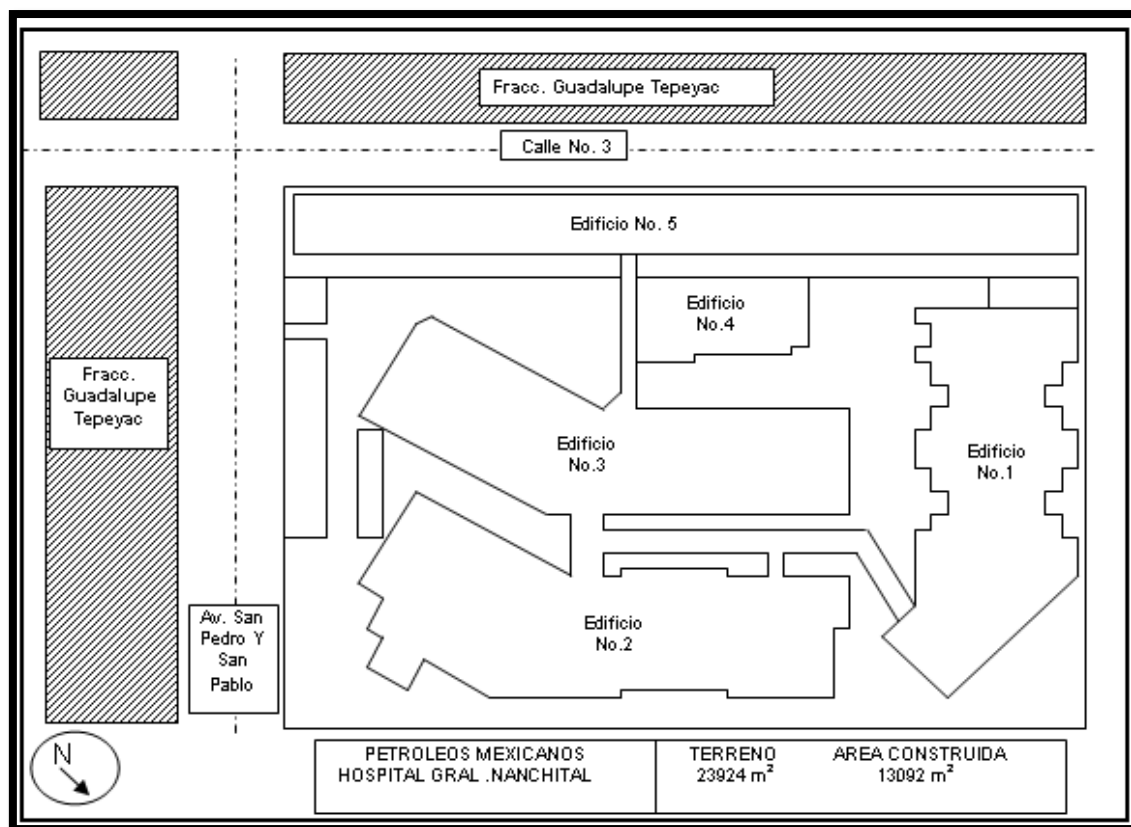


Fig. 2.1 Ubicación del Hospital General Nanchital

Por último se cuenta con el departamento de mantenimiento el cual se localiza en el edificio No. 5, éste a su vez se divide en: oficinas del departamento, área de almacén de materiales, sección de unidades generadoras de vapor, sección de unidades enfriadoras, lavandería, sección de subestación eléctrica y taller de mantenimiento.

Además el departamento de mantenimiento se encuentra a cargo de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales que se generan únicamente en este Hospital, estando ésta ubicada frente al edificio No. 1, como se muestra en la Fig.2.2.

El presente trabajo se desarrolló con personal del área de mantenimiento, en conjunto con personal del laboratorio de toxicología, desarrollando actividades que en su momento estuviesen a su alcance.

El departamento de mantenimiento del Hospital General Nanchital aporta el componente tecnológico requerido para coadyudar a los objetivos estratégicos de esta Unidad Médica.

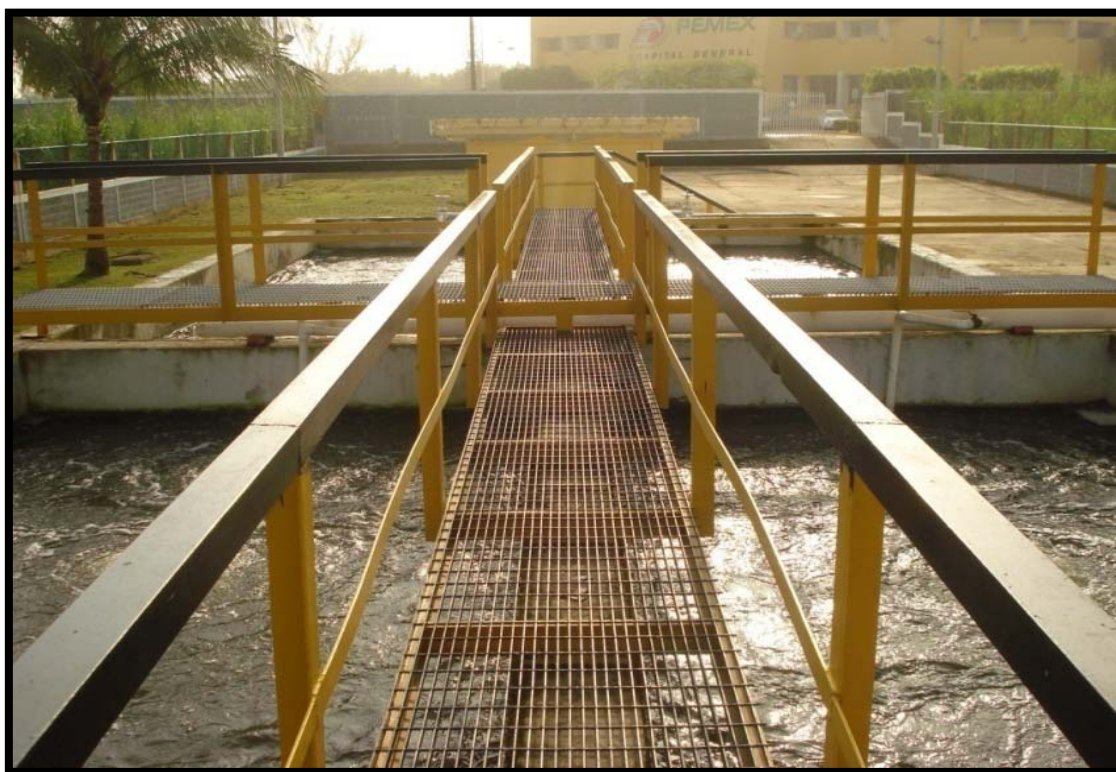


Fig. 2.2 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales

Entre las principales funciones de dicho departamento se encuentran:

- Administración de los recursos humanos y materiales de la unidad médica.
- Optimización de los procesos de operación y de mantenimiento en los diferentes departamentos.
- Supervisar, coordinar y asesorar, las actividades y funciones de mantenimiento de la unidad médica.

- Brindar soporte técnico a los usuarios.
- Apoyo de mantenimiento a los consultorios de urgencias de Petroquímica Cangrejera, Pajaritos, Morelos y Terminal Marítima Pajaritos.

El departamento cuenta con operarios de segunda, a los cuales en sus jornadas laborales se les designan actividades para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, contando con un manual de la operación de dicha planta, así como con una bitácora de registro donde se anotan diariamente las actividades que se realizan en la planta de tratamiento.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

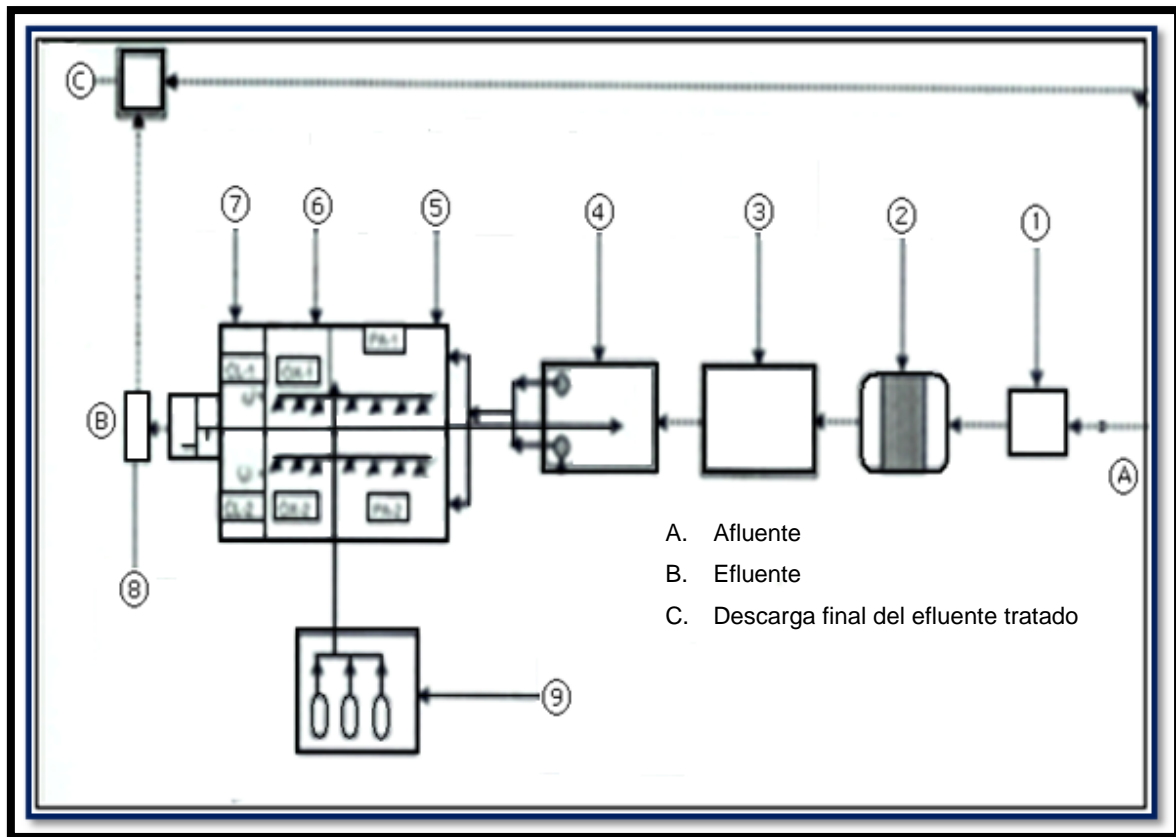
El Hospital General Nanchital actualmente cuenta con una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual se tratan solamente las aguas residuales generadas en dicho hospital, siendo la cantidad a tratar de alrededor de 60 m<sup>3</sup> /día.

En este proceso que integra el tratamiento, el agua residual es homogeneizada mediante la aportación de aire por medio de compresores, para luego pasar a un sistema de pre-aireación por medio de aireadores sumergidos, donde comienza el proceso de oxidación de la materia orgánica, luego esta agua residual pasa a otro estanque aireado donde se termina el proceso de oxidación, para luego comenzar con un proceso de desinfección mediante la dosificación de hipoclorito de sodio como medio desinfectante para la eliminación de agentes patógenos.

Dicha planta de tratamientos de aguas residuales, como se muestra en la Figura 2.3, se encuentra estructurada de la siguiente manera:

1. Registro de captación. En este registro es captada toda el agua residual generada en el hospital, proveniente de las diversas actividades realizadas en este centro hospitalario, las cuales ya han sido mencionadas con anterioridad.

2. Registro con mallas soleras. Estas mallas tienen la función de atrapar material solido suspendido que pudiese ser arrastrado por la misma agua residual.
3. Fosa séptica con capacidad de  $83 \text{ m}^3$ . Esta fosa cumple la función de almacenar el agua residual proveniente del registro de captación hasta antes de su bombeo para entrar al sistema de aireación.
4. Cárcamo de bombeo con capacidad de  $27 \text{ m}^3$ , con 2 bombas centrifugas. En este cárcamo el agua residual es mezclada mediante un sistema aireado con el fin de incorporar al sistema de tratamiento un agua residual homogénea.
5. Estanque de pre-aireación con capacidad de  $206 \text{ m}^3$ . El aire se suministra a la planta de tratamientos por medio de aireadores sumergibles los cuales son alimentados por medio de compresores, el tanque de pre-aireación cuenta con 4 aireadores en cada sección.
6. Estanque de oxidación con capacidad de  $64 \text{ m}^3$ . En este estanque la aireación es proporcionada mediante 3 aireadores en cada sección igualmente sumergidos en el fondo.
7. Estanque de cloración con capacidad de  $43 \text{ m}^3$ . En este tanque se lleva a cabo el proceso de desinfección mediante cloración, adicionando una mezcla de hipoclorito de sodio mediante bombas dosificadoras.
8. Registro de salida de agua tratada (efluente). En este registro se encuentra la salida del efluente ya tratado, así como un medidor digital de flujo.
9. Cuarto de compresores. En este cuarto se encuentran los compresores que proporcionan el aire a los estanque de oxidación, así como al cárcamo de bombeo para lograr la mezcla completa del agua residual.



## 2.3 OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El procedimiento de operación que se utilizó durante el desarrollo del trabajo fue el ya establecido en el manual de operación de la PTAR, el cual fue elaborado por personal del Hospital General Nanchital. Dicho procedimiento de operación fue analizado en cada uno de sus puntos siendo este modificado y ampliado de acuerdo a criterio propio.

Se describen a continuación cada uno de los puntos de este procedimiento de operación modificado, esperando sea de gran apoyo para el mejoramiento del proceso de operación de esta planta de tratamiento de aguas residuales.

Proceso de operación de la PTAR:

1. El operario en turno, a las 8:30 am es el encargado de realizar diariamente un recorrido por toda la planta de tratamiento observando que los compresores, los aireadores, las bombas del cárcamo y las bombas de cloración estén operando correctamente, de no ser así reportarlo inmediatamente al departamento a cargo.
2. Realizar el relevo del compresor que esté funcionando en ese momento (Fig.2.4), tomando en cuenta los tres compresores de manera cíclica, uno después de otro (A, B y C), para evitar la carga excesiva de los mismos.

Durante el relevo de los compresores verificar que los aireadores funcionen de manera correcta, para evitar que éstos sean obstruidos por la materia en suspensión al momento del cambio de compresores y así también verificar el buen funcionamiento de estos.



Fig. 2.4 Cuarto de compresores

3. Verificar el nivel del agua del cárcamo (Fig.2.5). Para realizar esta operación no se cuenta con un medidor de nivel, por lo cual es necesario observar a simple vista, el aumento de nivel del agua residual para evitar que se derrame fuera del cárcamo y encender la bomba cuando se encuentre a un nivel considerable, para comenzar con el proceso de tratamiento.



Fig. 2.5 Interior del cárcamo de bombeo

4. El operario, deberá verificar las bombas de dosificación del hipoclorito de sodio, que estén operando en óptimas condiciones, así como observar el nivel de los tambores de 200 litros de dicha solución y que las mangueras utilizadas para la dosificación de dicha solución, estén en buen estado, de no encontrarse así cambiarlas inmediatamente para no interrumpir la dosificación del hipoclorito de sodio.



Fig. 2.6 Dosificación del Hipoclorito de Sodio

Cuando los tambores de 200 litros se encuentren vacíos al 90 % de su capacidad, el operario en turno preparará la solución de hipoclorito de sodio, para no interrumpir la dosificación, adicionando 20 litros de la solución de hipoclorito de sodio al 11 % y 180 litros de agua, para así conformar la capacidad de los tambores que es de 200 litros, esta relación se determinó de manera experimental en campo basándose en la determinación de cloro residual mediante la prueba colorimétrica de solución de orto-toluidina al 0.1%.

5. El operario deberá realizar el análisis del cloro residual, de acuerdo al procedimiento para el análisis; al efluente final, anotando los resultados en la bitácora No 1 de operación de la PTAR.
6. A las 14:00 hrs el operario deberá realizar el recorrido final por la PTAR y si el nivel del agua del cárcamo descendió, se apagará la bomba. Para realizar esta operación, como ya se menciona en el paso 3, no se cuenta con un medidor de nivel dentro del cárcamo, por lo cual es necesario prestar atención a la disminución del nivel del agua residual y apagar la bomba cuando se encuentre a un nivel considerablemente bajo, para evitar que la bomba siga encendida sin que se esté utilizando.
7. Después de apagar la bomba del cárcamo es necesario disminuir la dosificación del hipoclorito de sodio, ya que irá disminuyendo el flujo del agua residual de un estanque a otro hasta que el flujo sea nulo y por tanto la cantidad de hipoclorito de sodio que se añada reaccionará solamente con la cantidad de agua residual que permanezca dentro del estanque.
8. El operario deberá realizar la limpieza de los estanques retirando todo tipo de basura y sólidos flotantes dentro de ellas. En este punto es necesario observar la aparición de lodos en el interior de las lagunas, contemplando su limpieza de manera periódica con el fin de evitar condiciones indeseables durante la operación, así como su acumulación.



9. Se realizará el cálculo del volumen descargado por día realizando la siguiente operación aritmética:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Volumen de} & - & \text{Volumen de} & = & \text{Volumen} \\ \text{descarga total} & & \text{descarga total} & & \text{descargado} \\ \text{inicial} & & \text{final} & & \text{por día} \end{array}$$

Las lecturas mencionadas anteriormente se encuentran registradas en el medidor de flujo que se encuentra en la descarga final de la planta de tratamiento de aguas residuales, la lectura inicial es la indicada antes de que inicie el proceso de tratamiento y la lectura final es la indicada al final del tratamiento cuando ya no existe paso del agua residual tratada. Estos datos se deberán anotar diariamente en la bitácora correspondiente de operación de la PTAR.

## 2.4 ANÁLISIS DE CLORO RESIDUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El cloro libre residual es el único parámetro que se determina directamente en la PTAR del Hospital General Nanchital, ya que es necesario su monitoreo para controlar la dosificación de la solución de hipoclorito de sodio, y ante la Comisión Nacional del Agua se le exige como parámetro particular que este se mantenga en 0.3 mg/L.



Fig. 2.6 Medición del cloro residual

La determinación se realiza mediante una prueba colorimétrica (Fig.2.6) utilizando una solución de orto-toluidina al 0.1% de la siguiente manera:

#### 1. Muestreo:

Se tomarán tres muestras de agua residual en los siguientes puntos: salida del estanque izquierdo (punto 1), salida del estanque derecho (punto 2), salida de la descarga final (punto 3).

#### 2. Análisis

- Llenar el tubo del dispositivo con el agua residual tratada hasta el aforo indicado en dicho dispositivo.
- Adicionar 3 gotas de solución de orto-toluidina al 0.1%.
- Tapar el dispositivo y agitar fuertemente.
- Colocar el dispositivo cerca de un área clara de preferencia blanca, como se observa en la figura 2.7, para observar mejor la coloración.
- Comparar la coloración obtenida en la prueba, con el comparador de colores que está a un costado en el mismo dispositivo, con el color al que más se asemeje y anotar los resultados en la bitácora correspondiente.
- Al término enjuagar bien el dispositivo con agua potable y guardarlo para su uso posterior.



Fig.2.7 Observación de la coloración

## **2.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

El personal del departamento de Mantenimiento encargado de la operación de la PTAR, debe llevar a cabo las medidas de seguridad necesarias para evitar algún accidente o el contagio de alguna enfermedad, ya que se trata de agua residual con alto contenido de agentes infecciosos, además de que se manejan sustancias de diferente naturaleza durante su tratamiento y análisis.

Las principales medidas de seguridad que debe de seguir el operario en turno encargado de la operación de la PTAR son:

1. Durante la operación de la PTAR usar ropa y zapatos de seguridad.
2. Al momento de realizar las operaciones con el hipoclorito de sodio debe usar guantes de látex, ropa y zapatos de seguridad, así como evitar inhalar o tener contacto directo con esta solución.
3. Al realizar la determinación de cloro libre residual utilizar guantes y evitar inhalar o tener contacto directo con la solución de orto-toluidina al 0.1%.

## **2.6 CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE**

Con motivo de caracterizar e informar, ante la Comisión Nacional del Agua, la calidad del agua residual que le han autorizado descargar al Hospital General Nanchital, se tomaron una serie de muestras cada determinado tiempo en la descarga final de la planta de tratamiento, para así conformar muestras compuestas para su análisis.

El muestreo y análisis fue realizado por LABORATORIOS ABC QUÍMICA, INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS S.A. DE C.V. laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA), tal como lo establece la normatividad.

Durante el muestreo se registró la información relativa al número de veces que se tomaron las muestras, hora de muestreo y los gastos medidos al final de la descarga en cada toma de muestra, estos datos se encuentran resumidos en la siguiente Tabla.

Tabla 2.2 Información relativa al muestreo

MUESTREO	HORA	GASTO L/s
1	09:00	2.50
2	10:00	2.52
3	11:00	2.50
4	12:00	2.51

Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras se presentan en la Tabla 2.3 y su comparación con los límites máximos permisibles de acuerdo a especificaciones del tipo de descarga, tomando como referencia los datos de las tablas 2 y 3 de la NOM-001-SEMARNAT-1996 con descarga a ríos uso en riego agrícola y descarga a suelos uso en riego agrícola, actualmente se encuentra en trámite la autorización para la descarga a la red de alcantarillado municipal.

De acuerdo a estos resultados, se determinó que la calidad del efluente no es la óptima, a pesar de que aparentemente se cumple con ciertos parámetros ya que no rebasan el límite máximo permisible establecido por la norma, lo cual no quiere decir que estos valores tan bajos en algunos parámetros indiquen buena calidad del agua residual, sino al contrario podrían indicar otra posible fuente de contaminación para los cuerpos receptores, que en este caso se trata indirectamente de humedales, ya que la descarga es hacia la red municipal y esta se encuentra fracturada en algún punto del sistema, permitiendo la infiltración de estas aguas residuales a los humedales cercanos.

Por lo antes mencionado es muy importante realizar una breve interpretación de los resultados analíticos obtenidos, con el fin de identificar las posibles causas que originaron que valores de algunos parámetros se encontraran muy por debajo de lo establecido por la norma. Entre los principales parámetros se encuentran:

#### **- pH y Temperatura**

De acuerdo a los análisis realizados, los valores de pH y temperatura no representan riesgo alguno hacia el cuerpo receptor o hacia los ecosistemas que lo rodean ya que se encuentran dentro de lo establecido en la norma, encontrándose el pH en valores de 7,5 y la temperatura de 31 °C además de que estos valores no afectan la efectividad del cloro durante la desinfección.

#### **- Materia flotante**

Durante el muestreo se observó que no hubo presencia alguna de material flotante en cada una de las muestras que fueron tomadas del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como en la descarga final, cumpliendo con lo establecido en la norma.

#### **- Sólidos Sedimentables y SST**

En el caso de los sólidos, estos se encuentran en concentraciones muy por debajo de los límites establecidos por la norma y esto no representa riesgo alguno de contaminación hacia los ecosistemas donde se descargan las aguas tratadas.

#### **- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y DQO**

La concentración de la materia orgánica determinada como DBO<sub>5</sub>, de acuerdo a lo observado en los resultados analíticos es muy bajo en comparación con la DQO reportada, lo cual puede indicar que en el agua residual de origen existe materia orgánica difícilmente degradable (DQO) que no es removida por el tratamiento biológico y que es mas elevada su concentración que la materia orgánica biodegradable (DBO) después del tratamiento.

Además se puede suponer que algo de la materia orgánica presente en el efluente del tratamiento biológico podría estar siendo oxidada por el cloro posteriormente adicionado. Al ser comparado el resultado de la DBO<sub>5</sub> con los valores de la normatividad se puede verificar que se encuentra dentro de las especificaciones, pero en el caso de la DQO no existe valor especificado en la norma.

#### **- Nitrógeno total**

El valor de los resultados analíticos correspondiente al nitrógeno total corresponde a la suma de nitratos + nitritos + nitrógeno total kjeldhal, dando como resultado 25,19 mg/L, de los cuales 18,5781 mg/L corresponden a los nitratos, este valor no rebasa el valor establecido por la norma que es de 40,0 mg/l.

#### **- Grasas y aceites**

Los valores obtenidos para el caso de las grasas y aceites fue no detectable, es decir, que no existe presencia alguna de estos elementos, lo cual podría atribuirse que la misma agua residual antes de ser tratada no contenga cantidades elevadas de estas grasas ya que la única fuente que las genera en este caso es el área de cocina, la cual solo es utilizada para la preparación de los alimentos de los enfermos hospitalizados.

#### **- Contaminantes biológicos**

De acuerdo a los resultados obtenidos, la cantidad de contaminante biológicos como son huevos de helminto y coliformes fecales son despreciables o nulos, lo cual indica que no existe la presencia de bacterias en el agua residual, esto puede atribuirse a que pudiera estar aplicando una sobredosis del hipoclorito de sodio.

#### **- Metales pesados y cianuros**

Las concentraciones de metales pesados en el agua residual tratada, de acuerdo a los resultados analíticos, son muy bajas no sobrepasando los límites establecidos por la normatividad permitiendo así el cumplimiento con dicha norma sin provocar afectaciones o problemas de contaminación al cuerpo receptor.

Tabla 2.3 Resultados de los promedios mensuales

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			1	2
Contaminantes básicos				
Temperatura	°C	31	NA	NA
pH	U pH	7,5	5-10	5-10
Materia Flotante		Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/L	ND	1,0	NA
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	12,3	150	NA
DBO Total	mg/L	5,3	150	NA
DQO Total	mg/L	49	NA	NA
Nitrógeno Total	mg/L	25,19	4,0	NA
Fosforo Total	mg/L	3,629	20	NA
Grasas y aceites	mg/L	ND	15,0	15,0
Contaminantes biológicos				
Huevos de Helminto	HH/L	0,0	1	1
Coliformes fecales	NMP/100 ml	ND	1000	2000
Metales pesados y cianuros				
Cianuros Totales	mg/L	0,0244	1,0	2,0
Arsénico	mg/L	ND	0,2	0,2
Cadmio	mg/L	ND	0,2	0,05
Cobre	mg/L	0,0406	4,0	4,0
Cromo	mg/L	ND	1,0	0,5
Mercurio	mg/L	0,00070	0,01	0,005
Níquel	mg/L	ND	2,0	2,0
Plomo	mg/L	ND	0,5	5,0
Zinc	mg/L	0,0573	10,0	10,0

1) Descarga a ríos, uso de riego agrícola, promedio mensual (P.M).

2) Descarga a suelos de uso agrícola, promedio mensual (P.M).

NA = no aplica

ND = no detectado

## CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con el análisis realizado en el Hospital General Nanchital se puede concluir que las actividades que se realizan en los centros hospitalarios son una fuente muy importante de generación de aguas residuales, por lo cual es de suma importancia que éstas sean tratadas de manera correcta y sobre todo de manera responsable ya que el riesgo que representan estas aguas residuales al no ser tratadas correctamente, no solo es para los ecosistemas a donde son descargadas, sino también para las personas que se encuentran laborando en estos centros hospitalarios.

En particular el proceso de tratamiento que se le dan a estas aguas residuales en el Hospital General Nanchital ha resultado eficiente, aunque se han presentado áreas en las que se puede mejorar, como es el sistema de desinfección con respecto a la dosificación de la solución de hipoclorito de sodio, ya que dicha solución se utiliza en diferentes porcentajes de concentración.

Por lo antes mencionado se realizan a continuación una serie de recomendaciones acerca del tratamiento y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales para de alguna manera contribuir con el mejoramiento de este proceso.

1. Verificar los niveles del agua residual en el cárcamo de bombeo, considerando la colocación de medidores de nivel, para evitar los gastos innecesarios de energía eléctrica cuando este se vacía y al no haber supervisión la bomba continua encendida.
2. Verificar que los aireadores funcionen de manera correcta, para evitar que estos sean obstruidos por la materia en suspensión, observando que las líneas de conexión de los compresores hacia los aireadores no se encuentren deterioradas.



3. Colocar un sistema apropiado para la dosificación de la disolución de hipoclorito de sodio en los estanques, como podrían ser el uso de bombas peristálticas adaptadas a un sistema de tuberías de un material que no se deteriore rápidamente, ya que el sistema de mangueras que actualmente es utilizado se corroe rápidamente y es necesario su cambio continuamente, generando gastos a corto plazo.
4. Colocar la solución de hipoclorito de sodio en un lugar donde su manejo sea seguro, ya sea reemplazando los tambores de 200 litros por un tanque estacionario o mediante el uso de válvulas para su fácil obtención y de esta manera evitar los derrames y desperdicios, así como también evitar posibles accidentes al momento de manipular estos tambores, así mismo, capacitar al personal para el manejo de dicha solución.
5. Determinar experimentalmente mediante una prueba de jarras, la dosis óptima de hipoclorito de sodio que es necesaria para llevar a cabo el proceso de desinfección, así como la concentración (%) adecuada de dicha solución.
6. Acondicionamiento de un pequeño laboratorio de apoyo, donde se lleven a cabo análisis rutinarios para el monitoreo continuo del funcionamiento de la planta de tratamientos de aguas residuales para lograr un control más específico y adecuado del funcionamiento del proceso de manera interna en el hospital.
7. Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento, realizando la caracterización del influente del sistema y durante sus etapas de tratamiento, para verificar su funcionamiento y eficiencia de remoción de contaminantes en cada etapa de tratamiento y así mejorar su funcionamiento.
8. Realizar la limpieza periódica de los estanques de oxidación y de desinfección, para retirar los sedimentos que se hayan depositado en el fondo de los estanques durante el proceso de tratamiento y considerar su análisis mediante pruebas CRETIB para su adecuada disposición final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAMA. Fundación Chile. Tecnologías de adsorción con carbón activado. Tecnología no convencional de tipo Físico- químico (en línea) Chile 2011.

[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_01.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_01.pdf)

Díaz. Natura on line. Glosario de términos ecológicos (en línea) 2005.

<http://www.naturaonline.com.ar/glosario.php>

Fair, Geyer y Okun. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. LIMUSA 1992.

Guerrero T. Raul. Manual de tratamiento de aguas. Departamento de sanidad del estado de Nueva York, Albany. Estados Unidos. LIMUSA 1993.

Instituto Nacional de Ecología (INE). NOM-CCA-O29-ECOL/1993 (en línea)

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/216/cca29.html>

Kemmer, Frank N. Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Mc.Graw-Hill.1982

León, Guillermo. Planta de tratamiento de aguas residuales de las salas de alto riesgo de contaminación (en línea).Perú, 1992.

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/025607/025607.pdf>

Lizardi R., Arturo. Diseño construcción y evaluación de un aireador tipo vórtice libre (en línea).México, 2011.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/063.pdf>

Moreno, Juan C. Adsorción de Fenol y 3-Cloro Fenol sobre Carbones Activados mediante Calorimetría de Inmersión (en línea). Colombia 2007.

<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n3/art09.pdf>

Ramalho, Rubens S. Tratamiento de aguas residuales. Reverte, S.A.1996.

Romero, Manlia Alicia del Rosario. Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas (en línea). El Salvador.  
<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/centroa22/Ponencia38.pdf>

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-001-SEMARNAT -1996 (en línea) México, abril 2003.  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-001-ECOL.pdf>.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-002-SEMARNAT -1996 (en línea) México, abril 2003.  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-002.pdf>.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-003-SEMARNAT -1997 (en línea) México, abril 2003.  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-003.pdf>

Tecnociencia. ¿Qué es el intercambio iónico? (en línea). Diciembre 2001.  
[http://www.tecnociencia.es/especiales/intercambio\\_ionico/introduccion.htm](http://www.tecnociencia.es/especiales/intercambio_ionico/introduccion.htm)

Universidad Autónoma de Madrid. Área de Ingeniería Química. Intercambio iónico (en línea) Madrid, 2006.  
[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)