

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”.**

REALIZADO POR:

**FREDDY ANÍBAL MARTÍNEZ**

**TIBISAY D. YSASE COVA**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

BARCELONA, MAYO DEL 2007

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”.**

**ASESOR ACADÉMICO:**

---

**Prof. José Sosa**

**BARCELONA, MAYO DEL 2007**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”.**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**Prof. José Sosa**  
Asesor Académico

---

**Prof. Haydee Lárez**  
Jurado Principal

---

**Prof. Enrique Montejo**  
Jurado Principal

BARCELONA, MAYO DEL 2007

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”.**

**REVISADO POR:**

---

**Prof. José Sosa**

Asesor Académico

**REALIZADO POR:**

---

**Freddy Aníbal Martínez**

C.I: 10.886.904

---

**Tibisay D. Ysase Cova**

C.I: 11.381.103

BARCELONA, MAYO DEL 2007

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado.

“Para la Aprobación Definitiva de los Cursos Especiales de Grado como Modalidad de Trabajo de Grado, será Requisito Parcial la Entrega, a un Jurado Calificador de una Monografía en la cual se Profundice en Uno o Más Temas Relacionados con el Área de Concentración”.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios, El Creador, por permitirme vivir con salud y darme sabiduría, además de brindarme las fuerzas necesarias todos los días, para alcanzar mis sueños y metas. A nuestro Señor Jesús y a la Virgen María, amigos inseparables, por estar siempre conmigo protegiéndome y ayudándome a levantarme todas las veces que tropiezo, para seguir adelante.

A mi Mamá, María Cova por darme la vida, su amor y apoyo incondicional, además de las herramientas necesarias para poder enfrentar la vida, así como todas las enseñanzas que me brinda continuamente, gracias por ser mi madre y mi amiga, este logro es tuyo y por ti.

A Luis Campos, mi Segundo Papá, por su afecto, por ser mi modelo, quien dedicó con gran amor paternal y paciencia, largas horas de su tiempo a mi educación inicial. Vea usted como valió la pena que yo aprendiera a leer. Gracias por su apoyo, este logro le pertenece.

A mis hermanos: Carmen, Toño, José Luis y Eudi, por su amor y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida. Gracias por creer en mí. Los quiero.

A Simón Durán por su amor, comprensión, dedicación, tolerancia, apoyo y su confianza para conmigo. Gracias Amor por estar junto a mí en mis luchas.

A Freddy Martínez por su amistad, su paciencia y tolerancia durante la realización de este proyecto, sin él no hubiese sido posible la culminación exitosa del mismo.

A mis profesores de Áreas de Grado: Haydee Lárez, José Sosa y Enrique Montejo, por su amistad, su apoyo y ayuda para el logro de esta meta tan importante en mi vida. A ustedes tres mi más profundo agradecimiento. En especial le quiero dar las gracias al profesor Montejo, por su confianza, consejos y apoyo. Sin Usted no hubiera podido culminar con éxito mi carrera.

Al personal de la planta de tratamiento de Guanta, en especial a los Ing. Albara de Gabán, Osman y Maritza Millán, a los Tec. Jesús Galantón, Gustavo Rizalez y Rafael Gabán.

Un agradecimiento especial a todas aquellas personas, que aunque no mencione sus nombres, de una u otra manera han contribuido conmigo a alcanzar esta meta.

Tibisay Ysase Cova

## DEDICATORIAS

A mis padres: Maria y Luis por su amor, abnegación y confianza plena, este triunfo es por ustedes y para ustedes. Lo logramos! Madre nunca tendré como pagarte todo lo que haces día a día por mí y por la familia para mantenernos juntos.

A mis hermanos por el afecto y cariño tan especial que me profesan así como el apoyo que me brindan continuamente de manera tan desprendida. Hermanos luchen por sus sueños.

A Simón por su constancia y todos sus sacrificios y esfuerzos para que yo continuara adelante y no me rindiera en la culminación de esta meta.

Les dedico este trabajo, con mucho cariño, para que les sirva de ejemplo de lucha, a mis sobrinos: Ricardo, Emilabe, Lujany, Valery, Abrahán y Sofía; por representar ellos la generación de relevo y la esperanza de toda mi familia y la mía propia.

A la Memoria de mi padre biológico, fuente de inspiración para la elección de esta hermosa carrera que culmino con este proyecto. Padre amado desde el cielo mándame tus bendiciones.

A la memoria de todos mis viejos, en especial al abuelo Claudio, abuela Paulita, mamá Pancha, por su protección y cariño que aun hoy día puedo sentir.

Tibisay Ysase Cova



## DEDICATORIAS

A mi Dios todo poderoso, por darme salud, fortaleza y la perseverancia necesaria para alcanzar esta meta que tanto había esperado. Gracias por ayudarme a alcanzar este logro.

A la memoria de mi madre Ana Cristina Martínez, por haber sido la pieza impulsora en el logro de mis metas y quien con amor y sacrificio lo dio todo por nosotros. Gracias por guiarme siempre por el camino correcto. Este logro se lo dedico a usted. Siempre la llevo en mi mente, mis recuerdos y en mi corazón. Que dios me la tenga en la gloria.

A Víctor, Por ser más que un hermano un amigo, el que siempre ha estado a mi lado, en las buenas y en las malas, apoyándome, ayudándome, brindándome el aliento necesario para seguir siempre adelante. Gracias por ser siempre así conmigo. Te estaré eternamente agradecido.

A mi hermana Mireya, por ese gran apoyo espiritual, y por el estímulo para seguir siempre adelante.

A mi hermano Marcos por el gran apoyo y ayuda incondicional en todo momento de mi vida.

A mi hermana Liliana, por su apoyo y cariño de siempre.

A mi hermano Rafael por sus consejos.

A mi padre Vidal Rivas, por darme la existencia, la crianza, los buenos consejos y quien junto con mi madre me guiaron por el camino correcto.

A mi madrina Margarita, quien es como mi segunda madre, por su cariño, su apoyo, tendiéndome la mano cuando siempre que necesito de su ayuda.

A mis sobrinos Reyni, Javier, Gabriela, Génesis. Esperando que este logro de su tío le sirvan de estímulo para seguir adelante y logren alcanzar sus metas trazadas.

A mi cuñada Omeida, que de una u otra forma puso su granito de arroz en la culminación de mi carrera. Gracias cuñada.

Y a todas aquellas personas, que de una u otra manera me ayudaron o influyeron en mí para alcanzar esta meta.

Freddy Martínez

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ayudarme siempre y darme la paciencia necesaria para no decaer y poder alcanzar esta meta.

A la Universidad de Oriente por haberme abierto sus puertas, dándome la oportunidad de formarme como profesional.

A mi madre Ana Martínez (que Dios me la tenga en la gloria) por darme la vida y orientarnos siempre hacia el estudio.

A mis hermanos, Victor, Mireya, Marcos, Liliana, por ayudarme siempre que los he necesitado, les estaré eternamente agradecido.

A mi padre Vidal Rivas por darme la vida y la crianza.

A la familia Bastardo-Tiapa-Aguilera por que de una u otra forma me ayudaron a alcanzar esta meta. Gracias por aceptarme como soy y soportarme.

A mi compañera de monografía Tbisay Ysase por su paciencia, tolerancia y esfuerzo, llevando a feliz termino la realización de este proyecto. Gracias amiga.

A mi madrina Margarita por ser como una segunda madre para mí.

A la señora Evangelina De García (hoy difunta) y familia por ser el elemento trascendental en mi llegada a la ciudad de Barcelona y aceptarme en su casa como uno más de la familia. Siempre les estaré agradecido. Gracias, gracias, gracias.

Al profesor Enrique Montejo, nuestro antiguo asesor de tesis, por su valiosa colaboración, y la paciencia que tuvo para con nosotros. De mucho nos sirvió sus consejos para llevar a feliz término la realización de esta monografía. Muchas gracias.

Al profesor José Sosa, por brindarnos su asesoría para la ejecución de este trabajo.

A nuestros profesores de áreas de grado, Haydee Lárez, Enrique Montejo y José Sosa por comprender nuestra situación y aceptarnos dentro del proyecto logrando así ver realizado nuestros sueños y convertirnos en profesionales, que desde hacia tiempo lo anhelábamos.

A mi tío Rafael Acenso por su granito de arena y su motivación para culminar esta carrera.

A mis amigos de siempre en la universidad, Ramón Agreda, Parra, Vicente Español, Antonio, Elsi Pineda, Padilla, Rosa, Ramón Hernández, y a todos aquellos compañeros que compartieron conmigo esta importante etapa de mi vida.

A la señora Maria Cova por su apoyo espiritual y su cariño.

A la señora Carmen, por su gran espiritualidad y siempre ayudando a las demás personas con ese don que Dios y Jesucristo le dio. Gracias por su gran ayuda

A Simón Duran por su valiosa colaboración en la realización de esta monografía.

A Tibisay y a la abuela (de cariño) por su amistad y el cariño.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron y me apoyaron para poder alcanzar este sueño.

Freddy Martínez

## RESUMEN

Este trabajo se fundamenta principalmente en describir los principales tipos de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas actualmente más usadas a nivel mundial. Un aspecto muy importante dentro de este trabajo es el relacionado con las características y composición de las aguas residuales, las cuales permitirán una mayor comprensión del comportamiento de las aguas servidas; igualmente se destaca y se detallan los equipos y componentes principales necesarios para el funcionamiento de las plantas depuradoras de aguas residuales, en los distintos niveles de tratamiento que ocurren en éstas. Como aplicación de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de este trabajo, se seleccionó una planta de tratamiento de aguas residuales tipo UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLAKET) o Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, ubicada en la ciudad de Guanta del Estado Anzoátegui en Venezuela, para describir su funcionamiento, por ser este sistema el más adoptado en los países de clima tropical como el nuestro.

## INTRODUCCIÓN

Los métodos de depuración de aguas residuales se remontan desde la antigüedad, desde que el hombre dejó de tener una vida nómada y empezó a asentarse en las comunidades comenzó a crear alternativas que les permitieran deshacerse de sus desechos humanos.

Hacia finales de la edad media se realizaban excavaciones subterráneas. Más adelante se empleó la construcción de letrinas, canales y zanjas para verter sus desechos a la calle. Y así poco a poco se fueron desarrollando y perfeccionando a través del tiempo estos métodos de depuración de aguas residuales, hasta llegar a los sistemas de tratamiento que existen en la actualidad. Hoy día son innumerables la gran cantidad de sistemas de tratamientos utilizados para la depuración de las aguas residuales. Entre los métodos con más aceptación, empleados en la actualidad se encuentran los tratamientos anaerobios y los aeróbicos, los cuales presuponen la aplicación de unos procesos y operaciones básicas, cuya utilización y secuencia viene dada por las características del agua a tratar y el grado de depuración que se espera conseguir.

Las diferentes operaciones básicas se clasifican según el grado de reducción de la contaminación, así como el mecanismo del proceso. Los diferentes tratamientos existentes pueden dividirse en preliminares, secundarios o biológicos y terciarios.

Es muy importante para un buen entendimiento del funcionamiento de una planta de tratamiento conocer los parámetros de calidad relacionados con las aguas residuales, como lo son las características físicas, químicas y biológicas, así como también la composición y descomposición de estos líquidos cloacales.

En los últimos años el desarrollo de sistemas de tratamientos aeróbicos (en presencia de oxígeno) como los sistemas anaerobios (en ausencia de oxígeno) de las aguas residuales domésticas, han resultado en un mejoramiento notable de su desempeño, siendo cada día más aceptados en el mundo.



## CONTENIDO

RESOLUCIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIAS	viii
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
Resumen	xiv
INtrodUCCIÓn	xv
CONTENIDO	xvii
Capítulo I	23
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2. OBJETIVOS	25
1.2.1. Objetivo general	25
1.2.2. Objetivos específicos	25
CAPÍTULO 2	26
MARCO TEÓRICO	26
2.1. Composición de las aguas residuales	26
2.2. Características de las aguas residuales	27
2.2.1. Características Físicas	28
2.2.1.1. Temperatura	28
2.2.1.2. Sólidos Totales	28
2.2.1.3. Densidad	29
2.2.1.4. Olor	29
2.2.1.5. Color	29
2.2.1.6. Turbiedad	30
2.2.2. Características Químicas	30
2.2.2.1. pH:	30

2.2.2.2. Nitrógeno:	31
2.2.2.3. Fósforo:	32
2.2.2.4. Cloruros:	32
2.2.2.5. Grasas Y Aceites:	33
2.2.2.6. Agentes Tenso Activos:	33
2.2.2.7. Compuestos Orgánicos Volátiles:	34
2.2.2.8. Pesticidas y Productos Químicos de Uso Agrícola:	34
2.2.2.9. Demanda Química de Oxígeno (DQO):	34
2.2.2.10. Proteína:	35
2.2.2.11. Hidratos de Carbonos:	35
2.2.2.12. Gas Metano:	35
2.2.2.13. Oxígeno Disuelto:	36
2.2.2.14. Sulfuro de Hidrógeno (gas):	36
2.2.3. Características Biológicas	36
2.2.3.1. Microorganismos:	37
2.2.3.2. Bacterias:	37
2.2.3.3. Hongos:	37
2.2.3.4. Algas:	37
2.2.3.5. Protozoo:	38
2.2.3.6. Organismos Patógenos:	38
2.2.3.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):	38
2.2.3.8. Relación entre la DBO y la DQO.	39
2.3. Caudal de las aguas residuales	40
2.3.1. Caudal medio diario:	41
2.3.2. Caudal máximo diario:	41
2.3.3. Caudal punta horario:	41
2.3.4. Caudal mínimo horario:	41
2.3.5. Caudal mínimo diario	41
2.4. Tratamiento de las aguas residuales	41

2.4.1. Tratamiento Preliminar:	42
2.4.2. Tratamiento Primario:	42
2.4.3. Tratamiento Secundario:	42
2.4.4. Tratamiento Terciario o Avanzado:	42
CAPÍTULO 3	44
DESARROLLO DEL TRABAJO	44
3.1. Aguas residuales	44
3.2. Composición de las aguas residuales	44
3.2.1. Aguas Residuales Domésticas:	44
3.2.2. Aguas Residuales Industriales:	46
3.2.3. Infiltración y Aportaciones Incontroladas:	46
3.2.4. Aguas Pluviales:	46
3.3. Descomposición de las aguas residuales	46
3.4. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas	47
3.5. Tratamiento aeróbico	49
3.6. Tratamiento anaeróbico	50
3.7. Niveles de tratamiento	50
3.7.1. Pretratamiento	51
3.7.1.1. Desbaste	51
3.7.1.2. Dilaceración	52
3.7.1.3. Desarenado	52
3.7.1.4. Pre-decantación	53
3.7.1.6. Tamizado	54
3.7.1.7. Aliviadero y el Medidor de Caudal.	54
3.7.2. Tratamiento Primario	54
3.7.2.1. Decantación	55
3.7.2.2. Flotación con Aire	55
3.7.3. Tratamiento Secundario.	55
3.7.3.1. Procesos Biológicos Aerobios	56

3.7.3.1.1. Filtros Percoladores	56
3.7.3.1.2. Lodos Activados	57
3.7.3.1.3. Reactores de Lecho Compacto	58
3.7.3.1.4. Digestión Aerobia	58
3.7.3.2. Procesos Biológicos Anaerobios	58
3.7.3.2.1. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLAKET) O Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente	58
3.7.3.2.1.1. Sistema De Tratamiento Sobre La Base De Reactores Anaerobio UASB.	60
3.7.3.2.2. Digestión Anaerobia	60
3.7.3.2.3. Lecho Expandido.	61
3.7.3.3. SISTEMA DE LAGUNAJE	62
3.7.3.3.1. Lagunas de Estabilización	62
3.7.3.3.2. Clasificación de las Lagunas de Estabilización	63
3.7.4. Tratamiento terciario o avanzado	66
3.7.4.1. Desinfección	67
3.7.4.2. Destilación	68
3.7.4.3. Fraccionamiento de Espumas	68
3.7.4.4. Congelación	68
3.7.4.5. Intercambio Iónico	69
3.7.4.6. Tratamiento Electroquímico	69
3.8. Disposición Final de los Lodos	70
3.9. Vertido del Agua Tratada	70
CAPÍTULO 4	71
Utilidad de las plantas tipo UASB, aplicación de un caso real.	71
4.1. Planta de tratamiento de aguas residuales guanta	71

4.2. Descripción del proceso de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de guanta	73
4.2.1. Etapa de Depuración Mecánica	73
4.2.1.1 Estación de Bombeo de Entrada	73
4.2.1.2. Sistema Compacto: Rejilla – Desarenador – Desengrasador	73
4.2.1.3. Medición del Caudal	75
4.2.2. Etapa de Depuración Biológica	75
4.2.2.1. Reactores UASB	75
4.2.2.2. Lagunas de Estabilización	76
4.2.2.3. Espesador	76
4.2.2.4. Lechos de Secado	77
4.2.2.5. Depósito de Gas	78
4.3. Identificación De Equipos	79
4.3.1. Equipo: Bombas	79
4.3.1.1. Descripción:	79
4.3.1.2. Ubicación:	79
4.3.1.3. Función:	79
4.3.1.4. Especificaciones Técnicas:	79
4.3.2. Equipo: Sistema Compacto	80
4.3.2.1. Descripción:	80
4.3.2.2. Ubicación:	81
4.3.2.3. Función:	81
4.3.2.4. Especificaciones de Diseño:	81
4.3.3. Equipo: Reactores (UASB)	82
4.3.3.1. Descripción:	82
4.3.3.2. Ubicación:	82
4.3.3.3. Función:	82
4.3.3.4. Dimensiones:	82

4.3.3.5. Especificaciones De Diseño:	83
4.3.4. Equipo: Lagunas de Estabilización	83
4.3.4.1. Descripción:	83
4.3.4.2. Ubicación:	84
4.3.4.3. Función:	84
4.3.4.4. Dimensiones:	84
4.3.5. Equipo: Espesador	85
4.3.5.1. Descripción:	85
4.3.5.2. Ubicación:	86
4.3.5.3. Función:	86
4.3.5.4. Dimensiones:	86
4.3.6. Equipo: Lecho de Secado	87
4.3.6.1. Descripción:	87
4.3.6.2. Ubicación:	87
4.3.6.3. Función:	87
4.3.6.4. Dimensiones:	87
4.3.7. Equipo: Depósito y Quemador de Gas	88
4.3.7.1. Descripción:	88
4.3.7.2. Ubicación:	88
4.3.7.3. Función:	88
4.3.7.4. Dimensiones:	88
CAPÍTULO 5	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1. Conclusiones	91
5.2. Recomendaciones	92
BIBLIOGRAFÍA	70

# **CAPÍTULO I**

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Desde hace mucho tiempo la disposición y tratamiento de las aguas servidas industriales, comerciales y domésticas, ha sido un problema que ha generado preocupación en los entes públicos y privados encargados de preservar el medio ambiente.

Las entidades receptoras como el mar, ríos y lagos en muchas ocasiones no han sido capaces por si solas de absorber y neutralizar la carga polucional que tales residuos imponen. Por lo tanto estos volúmenes de agua han venido perdiendo sus condiciones neutrales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que se espera de ellas para preservar los cuerpos de agua.

Reviste mayor importancia, desde el punto de vista del saneamiento ambiental, la necesidad del tratamiento de las aguas residuales generadas por las distintas actividades de una población o ciudad, ya que a partir de las mismas, se realizará la recarga de los acuíferos. Además el vertimiento de estas aguas residuales, dependiendo del grado de descarga, ocasiona problemas de contaminación en el suelo, en las aguas subterráneas y en el aire, lo que puede generar problemas graves de salud pública.

Estas aguas residuales antes de ser vertidas en las masas receptoras deben recibir un tratamiento adecuado, el cual sea capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas a tal grado que su disposición final no provoque problemas de contaminación en las mismas. Debido a lo antes expuesto, las plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto

aeróbicas como anaeróbicas deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objeto de convertir las aguas servidas, a través de procesos depurativos, en un efluente final aceptable y al mismo tiempo disponer adecuadamente de los sólidos separados durante el tratamiento.

El objetivo de éste trabajo es describir los tipos de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas, y que el mismo brinde información bibliográfica de los distintos métodos de tratamientos, tanto aeróbicos como anaeróbicos, más empleados en la actualidad a cualquier persona o institución interesada en el tema.



## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Describir los tipos de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Describir la composición de las Aguas Residuales Domésticas.
2. Definir los tipos de plantas de tratamiento: anaeróbicas y aeróbicas.
3. Detallar los equipos y componentes básicos necesarios para el funcionamiento de una planta de tratamiento anaeróbica y aeróbica.
4. Indicar la utilidad de las plantas tipo UASB, mediante la aplicación de un caso real.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales están compuestas por cuatro fuentes: las aguas provenientes de las actividades cotidianas del hombre, las utilizadas con fines higiénicos (sanitario, cocina, lavandería, etc.); por las aguas que resultan de las actividades industriales, por las aguas de usos agrícolas y por las aguas pluviales.

Aunque la mayor parte de las aguas servidas (cerca del 90%) provienen del uso doméstico e industrial, las de usos agrícolas y pluviales urbanas están adquiriendo cada día mayor importancia, debido a que los escurrimientos de fertilizantes y pesticidas representan los principales causantes del envejecimiento de lagos y pantanos, proceso llamado eutrofización [1].

Los contaminantes de las aguas residuales se clasifican en contaminantes físicos, químicos y biológicos. Los cuales son una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas.

Es por esto que las aguas residuales dependiendo de la cantidad de estos componentes se clasifican en: fuerte, media y débil. Debido a que la concentración como la composición del agua residual va variando con el transcurso de tiempo [1], con los datos mostrados en la **tabla 2.1**, sólo se pretende dar una orientación general para la clasificación de estas aguas.

**Tabla 2.1,** Concentración (mg/l), de los Contaminantes del Agua Residual

<b>Constituyente</b>	<b>Fuerte</b>	<b>Media</b>	<b>Débil</b>
Sólidos, en total	1200	700	350
Disueltos, en total	850	500	250
Suspendidos, en total	350	250	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	300	200	100
Nitrógeno	85	40	20
Amoniaco Libre	50	25	12
Fósforo	20	10	6
Alcalinidad	200	100	50
Grasa	150	100	50

\* Fuente: [1]

## 2.2. Características de las aguas residuales

El conocimiento de la naturaleza de las aguas residuales es fundamental para la gestión de la calidad del ambiente y para el establecimiento de normativas o leyes que regulen las concentraciones de los contaminantes presentes en ellos, así como la planificación de proyectos y explotación de las infraestructuras tanto de acopio como de tratamiento y evacuación de las mismas.

Con el propósito de comprender la importancia que tiene la composición de las aguas servidas para el tratamiento de las mismas, se

deben de tener en cuenta una serie de conceptos básicos, relacionados con los análisis de laboratorio para líquidos cloacales [2], los cuales incluyen parámetros de calidad físicos, químicos y biológicos. Cabe destacar que muchos de estos parámetros están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en ella, los cuales están clasificados como características químicas.

A continuación se presenta los principales parámetros de calidad que deben ser tenidos en cuenta en el tratamiento de las aguas residuales.

### **2.2.1. Características Físicas**

#### **2.2.1.1. Temperatura**

La temperatura del agua residual generalmente es más alta que la del agua de suministro. Las temperaturas registradas en las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, con valores aproximados entre 10 y 21 °C, tomando 15,6 °C como valor representativo.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y Los 35 °C. Los procesos de digestión anaerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nutrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5 °C [2].

#### **2.2.1.2. Sólidos Totales**

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura y ablandadores de agua. Los Sólidos Totales, son los materiales suspendidos y disueltos en el agua. Se obtienen evaporando el agua a 105 °C y pesando el residuo. Además este residuo puede ser dividido en sólidos volátiles en orgánicos y sólidos fijos o inorgánicos [3].

#### **2.2.1.3. Densidad**

La densidad del agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadotes, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento [3].

#### **2.2.1.4. Olor**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerante que el agua residual séptica. El olor característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios [2].

#### **2.2.1.5. Color**

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos

suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias [4].

#### **2.2.1.6. Turbiedad**

Nos permite tener una idea de la cantidad de materiales extraños en suspensión que pueden estar presentes en las aguas residuales, en especial: arcillas, limo, materia orgánica finalmente dividida, plancton u organismos microscópicos. Se utiliza, mayormente, para apreciar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamientos [5].

#### **2.2.2. Características Químicas**

En las aguas residuales son varios los componentes orgánicos e inorgánicos de importancia para la determinación y control de la calidad del agua.

Dentro de los parámetros químicos inorgánicos más importantes de las aguas residuales, se encuentran los siguientes:

##### **2.2.2.1. pH:**

Es la intensidad de acidez y alcalinidad de una muestra de agua. La determinación del pH es útil para regular el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.

### 2.2.2.2. Nitrógeno:

En el análisis de aguas residuales se pueden hacer cinco tipos de determinaciones de nitrógeno: el amoniaco libre, el amonio albuminoide, el nitrógeno orgánico, los nitritos y los nitratos. El amoniaco libre, los nitritos y los nitratos constituyen el nitrógeno total.

El nitrógeno orgánico y el amoniaco libre, considerados conjuntamente, son un índice de la materia nitrogenada orgánica contenida en las aguas residuales, y el amonio albuminoide puede tomarse como un índice del nitrógeno orgánico descomponible que existe. El amoniaco libre nitrógeno amoniacal, es el resultado de la descomposición bacteriana de la materia orgánica. Las aguas residuales recientes y frías, son relativamente ricas en nitrógeno orgánico y pobres en amoniaco libre. Las aguas residuales alteradas y calientes son relativamente ricas en amoniaco libre y pobres en nitrógeno orgánico. La suma de ambos será constante en las mismas aguas residuales, a no ser que parte del amoniaco se haya desprendido a causa de una acción séptica. La concentración total de ambas formas de nitrógeno, es una indicación valiosa de la concentración o fuerza de las aguas residuales y tiene importancia al estudiar el tipo de tratamiento que deba adoptarse.

Los nitritos ( $\text{RNO}_2$ ) y los nitratos ( $\text{RNO}_3$ ) (R representa cualquier elemento químico como K, Na, etc.) Solo se encuentran en las aguas residuales, en concentraciones de menos de una parte por millón. Los nitritos no son estables y se reducen dando amoniaco, o se oxidan para formar nitratos. Su presencia indica que hay una transformación en proceso. Su presencia en las aguas residuales brutas suele indicar que estas son recientes, o que se ha agregado agua de dilución hace tan poco tiempo que no ha habido tiempo para la reducción de los nitratos y nitritos [6].

Los nitratos constituyen la forma más estable del nitrógeno en las aguas residuales, y por lo tanto, su presencia puede ser indicio de estabilidad. Sin embargo, la presencia de nitratos en los líquidos finales de las instalaciones de tratamiento, puede ser inconveniente, por promover el desarrollo de algas y plantas microscópicas [3].

#### **2.2.2.3. Fósforo:**

El fósforo también es importante durante el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural.

Las aguas residuales municipales, pueden contener entre 4 y 12 miligramos/litros de fósforo expresado como P. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico [4].

#### **2.2.2.4. Cloruros:**

Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua.

Las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6 gramos de cloruros personas /día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los compuestos que reducen la dureza del agua también son una fuente importante de aportación de cloruros [3].

El análisis de los compuestos orgánicos se hace para caracterizar aguas residuales tratadas y no tratadas, para estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes



receptoras. A continuación se describen los parámetros orgánicos más estudiados:

#### **2.2.2.5. Grasas Y Aceites:**

El término grasa engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales puede causar muchos problemas en tanque sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de agua residual. La mayor parte de estos aceites flotan en el agua residual, aunque una fracción de ellos se incorpora al lodo por los sólidos sedimentables. Los aceites minerales tienden a recubrir las superficies en mayor medida que las grasas, los aceites y los jabones. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo de la actividad biológica y son causa de problemas de mantenimiento [3].

#### **2.2.2.6. Agentes Tenso Activos:**

Son moléculas orgánicas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, se acumulan en la interfase aire – agua y son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos del agua residual.

Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Durante el proceso de aireación del agua residual, los tensos activos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable [6].

#### **2.2.2.7. Compuestos Orgánicos Volátiles:**

Normalmente son considerados compuestos orgánicos volátiles aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100 °C, y una presión de vapor mayor que 1 mm Hg a 25°C [2].

Estos elementos pueden ser considerados de gran importancia debido a que estos son mucho más móviles una vez que se encuentran en estado gaseoso y pueden ser liberados con mayor facilidad al ambiente, causando riesgos para la salud pública, además de conducir a la formación de oxidantes fotoquímicos.

#### **2.2.2.8. Pesticidas y Productos Químicos de Uso Agrícola:**

Muchos de estos compuestos químicos están catalogados como prioritarios. No son constituyentes comunes de las aguas residuales sino que suelen encontrarse a nivel de trazas, tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos de uso agrícola y suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Estos compuestos son altamente tóxicos para la mayor parte de las formas de vida y pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado y el empeoramiento de la calidad del agua suministrada [3].

#### **2.2.2.9. Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

La DQO se utiliza para determinar el contenido de materia orgánica químicamente oxidable, presente en el agua residual. La determinación se lleva a cabo utilizando un oxidante fuerte (dicromato de potasio) en medio ácido y a temperatura elevada. La DQO de un agua residual es por lo general mayor que su DBO, ya que es mayor el número de compuestos que pueden ser oxidados por vía química, que aquellos que pueden serlo biológicamente [7].

Este ensayo suele ser empleado para responder a las objeciones hechas a la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno en lo referente al tiempo necesario y a la demanda de oxígeno disuelto en su fase inicial. Ello puede resultar de gran utilidad, dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO [3].

#### **2.2.2.10. Proteína:**

Las proteínas son los principales componentes del organismo animal, mientras que su presencia es menos significativa en el caso de organismos vegetales. Están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando estos están crudos y son los primeros responsables, junto con la urea, de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales.

#### **2.2.2.11. Hidratos de Carbonos:**

Los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual.

#### **2.2.2.12. Gas Metano:**

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano [3]. Este gas se encuentra en pequeñas proporciones en el agua residual, ya que la presencia de oxígeno, incluso en pequeñas proporciones tiende a ser tóxico para los organismos responsables de la producción de metano. No obstante, se produce metano durante el proceso de descomposición anaerobia en depósitos acumulados en el fondo de los depósitos de agua [2].

#### **2.2.2.13. Oxígeno Disuelto:**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida, sin embargo, éste es sólo ligeramente soluble en agua [2]. El oxígeno disuelto en líquidos cloacales, puede indicar el grado de frescura o ranciedad de ésta agua, como también la necesidad de preverles o no facilidades para un adecuado control de sus olores [5].

La determinación del oxígeno disuelto en las aguas residuales es una de las pruebas químicas más significativas, especialmente cuando se combina con la prueba de DBO y de estabilidad relativa, pues mientras haya oxígeno disuelto en el agua, no tendrá lugar la putrefacción [5].

#### **2.2.2.14. Sulfuro de Hidrógeno (gas):**

Se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$ ) u otros sulfuros metálicos [2].

### **2.2.3. Características Biológicas**

En las aguas residuales viven organismos de diversos tamaños. Estas pueden identificarse con la ayuda del microscopio, complementado con la observación de sus reacciones con respecto al medio.

### **2.2.3.1. Microorganismos:**

Los principales grupos de microorganismos presentes en las aguas superficiales y las aguas residuales están conformados por eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Una característica importante de los microorganismos es su habilidad para transformarse en formas resistentes, que la hacen en extremo resistente a la desinfección por calor o por agentes químicos [2].

### **2.2.3.2. Bacterias:**

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamientos, es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.

### **2.2.3.3. Hongos:**

Mucho de los hongos son saprófitos, basan su alimentación en materia orgánica muerta. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica, el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

### **2.2.3.4. Algas:**

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su

tasa de eutrofización [2]. Uno de los problemas más importantes a que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua es de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas [2].

#### **2.2.3.5. Protozoo:**

Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cuerpos de aguas ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.

#### **2.2.3.6. Organismos Patógenos:**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad [2]. Las principales clases de organismos patógenos presentes en el agua residual son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos [2]. Algunos de estos organismos resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de las aguas residuales.

#### **2.2.3.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

La DBO es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (Oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio, la demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de la concentración de la materia orgánica biodegradable contenida en el agua.

Como consecuencia de una actividad biológica, la DBO esta influenciada, principalmente, por los factores tiempo y temperatura [5].

### 2.2.3.8. Relación entre la DBO y la DQO.

Es posible establecer la relación entre la DBO y la DQO, con valores mayores a la unidad, indicativa de que una porción de las sustancias orgánicas oxidables por el dicromato no son biodegradables o relativamente resistentes a la degradación biológica [5]. Esta relación puede ser utilizada para cálculos rápidos de la DBO, cuando se mantiene más o menos constante dentro de ciertos límites.

La **tabla 2.2**, presenta las características de los compuestos más comunes y sus concentraciones en el agua residual domésticas para ciudades con aproximadamente 20.000 habitantes y ésta, aun cuando proviene de un solo sistema, por su naturaleza y por lo exhaustivo del trabajo [5], brinda un excelente aporte a tomar en consideración por los ingenieros sanitarios y civiles, al momento de diseñar plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Características	Diciembre – Junio			Septiembre- Marzo		
	Máximos	Promedio	Mínimos	Máximos	Promedio	Mínimos
<b>Gastos (MLD)</b>	8,6	5,5	3,2	13,	7,4	3,7
<b>pH</b>	7,5	7,2	6,8	7,5	7,2	6,7
<b>Sólidos Sedimentables</b>	6,1	3,3	1,8	10,6	6,7	2,4
<b>Sólidos Totales(mg/l)</b>	640,0	453,0	322,0	676,0	481,0	294,0
<b>Sólidos Volátiles (mg/l)</b>	388,0	217,0	118,0	336,0	249,0	147,0
<b>Sólidos Suspensidos(mg/l)</b>	258,0	145,0	83,0	236,0	146,0	58,0

<b>Sólidos</b>	208,0	120,0	62,0	174,0	125,0	54,0
<b>Suspensivos</b>						
<b>Cloruros (mg/l)</b>	45,0	35,0	25,0	83,0	41,0	28,0
<b>Demanda Química</b>	436,0	288,0	159,0	443,0	282,0	97,0
<b>Oxígeno (mg/l)</b>						
<b>Demanda</b>	276,0	147,0	75,0	216,0	136,0	46,0
<b>Bioquímica</b>						

**Tabla 2.2, Aguas Cloacales Domésticas – Características Generales**  
(En localidades de aproximadamente 20.000 habitantes)

\*Valor modal.

Fuente: [5]

### 2.3. Caudal de las aguas residuales

Para establecer los tipos de operaciones y procesos a utilizar en el tratamiento de las aguas residuales, es preciso conocer los caudales y la composición de las aguas a tratar, así como analizar las condiciones y necesidades de la población a servir. El conocimiento de todos estos caudales permite dimensionar correctamente las diversas instalaciones del proceso y las interconexiones entre ellos. Los caudales de las aguas residuales se establecen considerando la procedencia, las tasas correspondientes de utilización de agua y el tipo y estado de las alcantarillas [2].

Es común calcular la capacidad de una planta de tratamiento de aguas residuales para el caudal medio diario de la localidad donde se piensa edificar, sin embargo se deben realizar análisis con otros datos de caudales



que proporcionarán parámetros importantes los cuales permitirán realizar los cálculos adecuados para las diversas instalaciones del proceso y las interconexiones entre ellas, evitando así el sobredimensionamiento en las mismas. Dichos parámetros son:

**2.3.1. Caudal medio diario:**

Es el caudal medido en 24 horas obtenido a partir de los datos de todo el año.

**2.3.2. Caudal máximo diario:**

Es el máximo caudal obtenido a partir de los datos anuales de explotación.

**2.3.3. Caudal punta horario:**

Es el caudal que se da en un periodo de 24 horas, obtenido a partir de los datos anuales de explotación,

**2.3.4. Caudal mínimo horario:**

Es el caudal permanentemente mínimo que se presenta en un periodo de 24 horas, obtenido a partir de los datos anuales.

**2.3.5. Caudal mínimo diario**

Es el caudal mínimo registrado en 24 horas a partir de los datos de explotación.

**2.4. Tratamiento de las aguas residuales**

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas de depuración que comprenden procesos químicos, físicos y

biológicos; los cuales están enmarcados dentro del pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

#### **2.4.1. Tratamiento Preliminar:**

Proceso destinado a la eliminación de los residuos visibles y fáciles de separar como son: trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares en las aguas servidas, que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada.

#### **2.4.2. Tratamiento Primario:**

Es aquel proceso que consiste en eliminar la materia en suspensión, arenas, sólidos orgánicos suspendidos y coloidales del agua que no fueron removidos en el pretratamiento (aproximadamente 60% de esta) a través de la sedimentación y el tamizado.

#### **2.4.3. Tratamiento Secundario:**

Son los que se aplican luego del tratamiento primario, es un tratamiento biológicos, cuyos objetivos principales son: (1º) reducir el contenido en materia orgánica de las aguas, (2º) reducir su contenido en nutrientes, y (3º) eliminar los patógenos y parásitos [8].

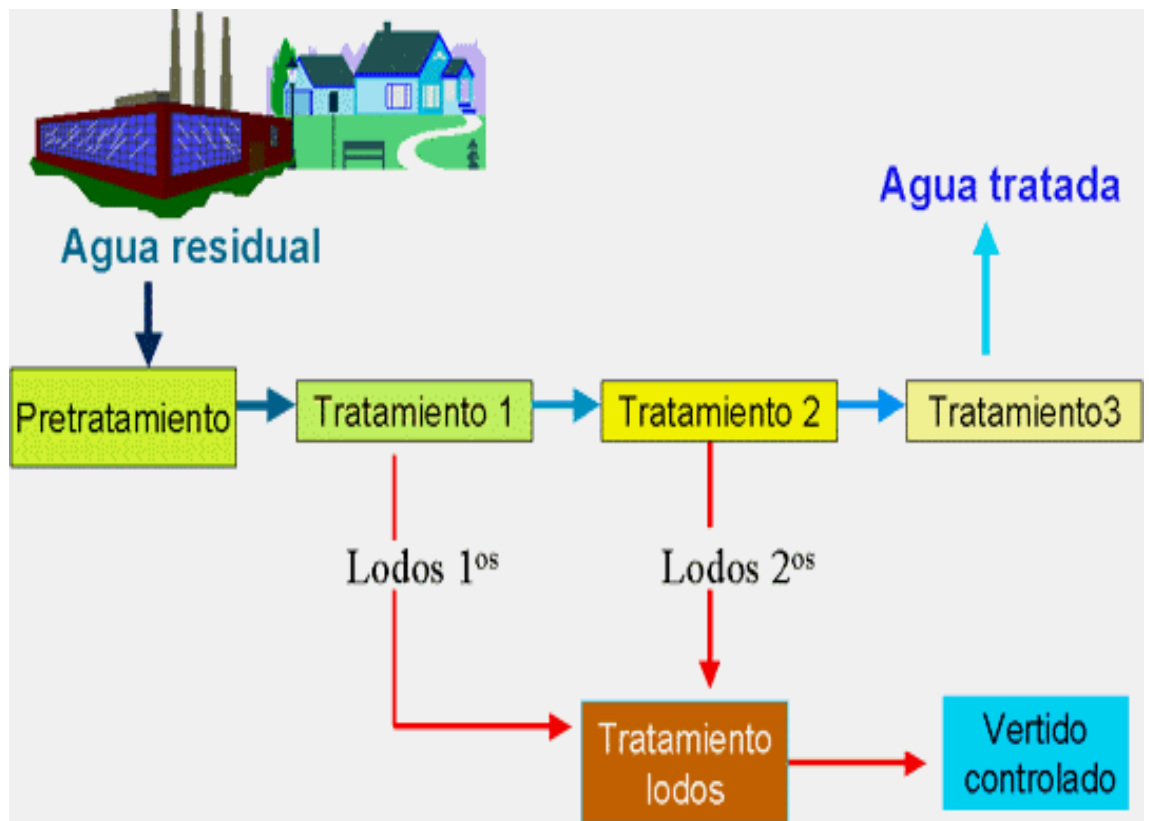
Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas [8].

#### **2.4.4. Tratamiento Terciario o Avanzado:**

Se aplica cuando el agua va a ser reutilizada; elimina un 99% de los sólidos y además se emplean varios procesos químicos para garantizar que el agua esté tan libre de impurezas como sea posible.

La **figura 2.1**, representa un esquema de la secuencia completa de los tratamientos que se pueden aplicar a aguas residuales domésticas, y también a las aguas residuales industriales.

**Figura 2.1**, Esquema del tratamiento de las aguas residuales



\*Fuente: [9]

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1. Aguas residuales**

Se define Agua Residual o Agua Servida como "una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones junto a cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente" [1]; las cuales son transportadas mediante sistemas de alcantarillado hacia un sitio de descarga final que generalmente son las fuentes superficiales de agua.

#### **3.2. Composición de las aguas residuales**

La composición de las aguas residuales urbanas es muy variable, interviniendo en ella factores específicos de la comunidad que las produce, como es el propio consumo de agua, las aguas industriales que puedan incluirse en el alcantarillado o el régimen alimentario [10].

La composición de las aguas residuales urbanas es muy variable, interviniendo en ella factores específicos de la comunidad que las produce, como es el propio consumo de agua, las aguas industriales que puedan incluirse en el alcantarillado o el régimen alimentario [10]. Puede incluir los siguientes componentes:

##### **3.2.1. Aguas Residuales Domésticas:**

Son las aguas provenientes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales. Las cuales han sido utilizadas para diferentes

actividades de tipo doméstico y finalmente son descargadas al sistema de alcantarillado [11].

Las aguas residuales domésticas están conformadas por una gran variedad de elementos y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, a continuación se señalan en la **tabla 3.1** y en la **tabla 3. 2**, la composición típica y media respectivamente.

**Tabla 3.1,** Composición típica del Agua Residual Doméstica

Componente	Concentración, mg/litro	Componente	Concentración, mg/litro
Carbonato	2,4	Bicarbonato	45,0
Cloruro	3,5	Sulfato	5,8
Nitrato	1,1	Fosfato	0,0
Sodio	0,5	Potasio	0,8
Calcio	10,4	Magnesio	9,8
Sílice	5,8	Fluoruro	0,8
Manganeso	0,0	Hierro	0,0
Aluminio	0,1	Boro	0,1
Sólidos disueltos totales	63,8	Alcalinidad total	39,0

\*Fuente: [10]

**Tabla 3.2,** Composición Media – Líquido Cloacal Doméstico  
(en gramos / persona / día)

Sólidos	Total	Mineral	Orgánico	DBO <sub>5</sub> a 20 °C
Totales	250	105	145	54
Disueltos	160	80	80	12
Suspendidos	90	25	65	42

Sedimentables	54	15	39	19
No sedimentables	36	10	26	23

\* Fuente: [5]

### 3.2.2. Aguas Residuales Industriales:

Son las que han sido utilizadas en los diferentes procesos de la industria manufacturera y luego descargadas al alcantarillado o a una fuente superficial [11].

### 3.2.3. Infiltración y Aportaciones Incontroladas:

Son las aguas que entran tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro [2].

### 3.2.4. Aguas Pluviales:

Son las aguas que resultan de la escorrentía superficial.

## 3.3. Descomposición de las aguas residuales

La descomposición de las aguas residuales puede dividirse en dos fases, la anaerobia y la aerobia. Sus condiciones suelen ser, aunque no siempre lo son, claramente distintas. El desarrollo de ciertas formas bacterianas es concurrente, mientras que el desarrollo de otras formas, depende de los resultados del proceso vital de otras bacterias en las primeras fases de la descomposición [3].

La primera fase de la biliosis de las aguas residuales es la etapa durante el cual los constituyentes de las aguas residuales entran en el proceso metabólico de la vida bacteriana, está caracterizada por la rápida desaparición del oxígeno presente en el agua mezclada con la materia orgánica, para formar las aguas residuales. En esta fase la urea, el amoníaco y otros productos de la descomposición digestivo pútrido, son parcialmente óxidos, y en esta oxidación se consume rápidamente el oxígeno presente y las condiciones de las aguas de hacen más anaerobias.

La segunda fase, es la putrefacción, cuya acción se realiza en condiciones anaerobias. Las proteínas son descompuestas para formar urea, amoníaco, mercaptanos de olor desagradable, ácido sulfhídrico y ácidos grasos aromáticos. Los hidratos de carbono se descomponen es sus ácidos originales, agua, anhídrido carbónico, hidrógeno, metano y otras sustancias. La celulosa se descompone también, pero mucho más lentamente. Las grasas y los jabones, son afectados de un modo similar a los hidratos de carbono y se descomponen para formar el ácido original de su descomposición, en unión de anhídrido carbónico, hidrógeno, metano, etc. La acción de las bacterias sobre las grasas y jabones es mucho más lenta que la acción sobre las proteínas, y los agentes biológicos activos en la biólisis de los hidratos de carbono, grasas y jabones, no están completamente limitados a los anaerobios, como en el caso de las proteínas.

La tercera fase en la biólisis de las aguas residuales es la oxidación o nitrificación de los productos resultantes de la putrefacción. Los productos de la descomposición se transforman en nitritos y nitratos, que quedan en forma estable y son utilizables para la alimentación de las plantas.

### **3.4. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas**

Las plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, tanto aeróbicas como anaeróbicas, son un conjunto de estructuras o sistemas

compuestos por varias operaciones y procesos unitarios, diseñadas y equipadas convenientemente para lograr que las aguas servidas provenientes de: casas, edificios, locales comerciales, centros recreacionales, parques y centros hospitalarios, que entran al sistema a través de la red cloacal, sean depuradas hasta alcanzar un grado de limpieza que permita su evacuación o reutilización sin riesgos para la salud humana y el medio ambiente, cumpliendo así con la Normativa legal vigente.

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como operaciones unitarias. Aquellos en los que la eliminación de contaminantes se consigue mediante reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios [2].

La depuración de las aguas residuales se lleva a cabo a través de varios métodos, entre de los cuales está el tratamiento aerobio, el anaerobio o una combinación de ambos, y estos a su vez se ejecutan mediante la aplicación de las operaciones y procesos unitarios, los cuales se agrupan para formar lo que se conoce como: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

Cabe destacar que la clasificación de una planta de tratamiento tipo aeróbica o una planta de tratamiento tipo anaeróbica, va a quedar determinada básicamente por el proceso o método de tratamiento biológico que se emplee para depurar las aguas residuales en estas. En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Figura 3.1,** Planta de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Domésticas Ciudad de Guanta (Edo) Anzoátegui, Venezuela





Fuente: [17]

### 3.5. Tratamiento aeróbico

La descomposición aeróbica es aplicada en las plantas de tratamientos para la estabilización de la materia orgánica mayormente disuelta y coloidal contenida en los líquidos residuales.

Ésta descomposición requiere la presencia en el agua de oxígeno molecular, la actividad respiratoria de los organismos que viven en las aguas van utilizando el oxígeno disponible o suministrado y por ello es necesario recurrir a su incorporación artificial para asegurar la aerobicidad de este proceso. Por supuesto que los organismos responsables de estas transformaciones, a su vez, requieren un sustrato que le permitan cumplir su ciclo biológico normal. La materia orgánica biodegradable contenida en esos líquidos suministra generalmente, tal requerimiento. Más adelante, en este capítulo, se detallaran los procesos de: lodos activados, filtros percoladores

y reactores de lecho compacto que son los tratamientos aerobios más usados para depurar las aguas residuales.

### **3.6. Tratamiento anaeróbico**

El tratamiento anaeróbico se desarrolla en ausencia del oxígeno molecular, ya que el requerido para la respiración de los organismos anaeróbicos es extraído por ellos del oxígeno contenidos en los compuestos orgánicos y otros compuestos, Como los sulfatos y nitratos.

El proceso anaeróbico, según lo expuesto, debe ser aislado del medio ambiente natural para garantizar la exclusión del oxígeno molecular que, a través de la difusión molecular y otros fenómenos, se difunden en él. Por otra parte, los gases de la descomposición anaerobia son ofensivos al ambiente y deben ser, por ello, controlados mediante su recolección y posterior utilización como fuente de energía térmica.

Los malos olores se asocian frecuentemente con los procesos anaeróbicos debido a la producción además de dióxido de carbono y metano, de gases de hidrógeno de sulfuro, vapores de ácidos orgánicos y otros olores volátiles desagradables, lo cual puede ser una seria limitación, particularmente en áreas urbanas.

Los procesos anaerobios más empleados para el tratamiento de aguas residuales municipales son: reactores de lecho compacto, reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), digestión anaerobia y lecho expandido y los mismos serán descritos posteriormente en el presente capítulo.

### **3.7. Niveles de tratamiento**

### **3.7.1. Pretratamiento**

Antes de su tratamiento, propiamente dicho, las aguas brutas se someten, generalmente, a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones, físicas o mecánicas. Tiene por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias que, por su naturaleza o tamaño puedan obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores [12].

Se debe tener en cuenta que una planta de tratamiento puede incluir una o varias operaciones de pretratamiento, esto va a depender de la importancia y la calidad del agua residual. Las operaciones de pretratamiento son las siguientes:

- ❖ Desbaste
- ❖ Dilaceración
- ❖ Desarenado
- ❖ Pre-decantación
- ❖ Desengrasado
- ❖ Tamizado
- ❖ Aliviadero y Medidor de Caudal

#### **3.7.1.1. Desbaste**

El desbaste se lleva a cabo mediante rejas formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada a la estación depuradora. Su misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores. Estas rejas pueden ser de dos tipos: entre 50 y 150 mm de separación de los barrotes (desbaste grueso) y entre 10 y 20 mm

(desbaste fino). Estas rejas disponen de un sistema de limpieza que separa las materias retenidas [13].

### **3.7.1.2. Dilaceración**

Tiene por objeto «desintegrar» las materias sólidas arrastradas por el agua. Estas materias en lugar de separarse del efluente bruto, se trituran y continúan en el circuito del agua hacia las siguientes fases del tratamiento. El interés de este proceso consiste en que se suprime la evacuación y la descarga de los residuos de la reja. Sin embargo, en la práctica, presenta varios inconvenientes, en especial, la necesidad de una atención frecuente sobre un material bastante delicado, el peligro de obstrucciones de tuberías y bombas provocadas por la acumulación en masas de las fibras textiles o vegetales unidas a las grasas, y la formación de una costra de fango en los digestores anaerobios[12].

### **3.7.1.3. Desarenado**

Las instalaciones de desarenado se sitúan en las plantas de tratamiento después del desbaste y tienen como objetivo el extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales de tamaño superior de 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

El funcionamiento técnico del desarenado reside en hacer circular el agua en una cámara de forma que la velocidad quede controlada para permitir el depósito de arena en el fondo. Normalmente, esta arena sedimentada queda desprovista casi en su totalidad de materia orgánica y es

evacuada, mediante bombas, al clasificador de arenas y, posteriormente, a un contenedor [13].

#### **3.7.1.4. Pre-decantación**

Tiene por objeto eliminar la totalidad de la arena fina y la mayor cantidad posible de barro.

El umbral de concentración de materias en suspensión en el agua bruta, a partir del cual se hace necesaria la predecantación, es función del tipo de decantador-clarificador principal. Este umbral puede ser de 2 g/l aproximadamente, a la entrada de decantadores-clarificadores sin rasquetas, y de 5 a 10 g/l a la entrada de aparatos provistos de rasquetas.

Según la carga de materias en suspensión y su naturaleza, un predecantador debe dimensionarse como un decantador (generalmente es el caso de aguas brutas cuya carga no excede de 20 a 30 g/l) o como un espesador (cuando la carga del agua bruta es superior a dicho límite) [12].

#### **3.7.1.5. Desengrasado**

La fase de desengrasado tiene por objeto eliminar las grasas, aceites y en general los flotantes, antes de pasar el agua a las fases posteriores del tratamiento. El procedimiento utilizado para esta operación es el de inyectar aire a fin de provocar la desemulsión de las grasas y su ascenso a la superficie, de donde se extraen por algún dispositivo de recogida superficial, normalmente rasquetas, para acabar en contenedores [13].

### 3.7.1.6. Tamizado

El tamizado es una filtración sobre soporte delgado, que se utiliza en numerosos campos del tratamiento del agua. Según las dimensiones de los orificios de paso del soporte se distinguen dos variantes:

- **El macrotamizado** (sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,3 mm) se emplea para retener ciertas materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, insectos, ramas, algas, hierbas, etc..., de tamaño comprendido entre 0,2 mm y algunos milímetros.
- **El microtamizado** (sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras) se utiliza para retener materias en suspensión de muy pequeñas dimensiones, contenidas en las aguas de abastecimiento (plancton) o en aguas residuales pretratadas [12].

### 3.7.1.7. Aliviadero y el Medidor de Caudal.

El primero permite que la planta funcione siempre según el caudal del proyecto y, conjuntamente con el medidor del caudal, permite controlar la cantidad de agua que entra en la planta [13].

### 3.7.2. Tratamiento Primario

Se entiende por tratamiento primario a aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento. El tratamiento primario permite eliminar en las aguas residuales urbana aproximadamente el 90% de las materias decantables y el 65% de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35% [13].

Entre los métodos más utilizados de tratamiento primario se cuentan:

#### **3.7.2.1. Decantación**

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los fangos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

#### **3.7.2.2. Flotación con Aire**

Son mecanismos en donde se eliminan sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.

#### **3.7.3. Tratamiento Secundario.**

El tratamiento secundario o biológico de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario [2]. Su finalidad es la

reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales, una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario.

El tratamiento secundario empleado para las aguas residuales urbanas puede realizarse mediante procesos biológicos aerobios, anaerobios o mediante sistemas de lagunaje, dentro de los que se encuentran, las lagunas aerobias, facultativas y anaerobias, lagunas de oxidación (oxigenación fotosintética y aireada) y de acabado.

### **3.7.3.1. Procesos Biológicos Aerobios**

#### **3.7.3.1.1. Filtros Percoladores**

Son tanques circulares rellenos de piedras o materiales sintéticos formando un filtro con un gran volumen de huecos, destinado a degradar biológicamente la materia orgánica del agua residual.

El agua a tratar se rocía sobre el lecho filtrante, mediante un brazo giratorio, provisto de surtidores, y da lugar a la formación de una película que recubre los materiales filtrantes y que está formada por bacterias, protozoos y hongos alimentados por la materia orgánica del agua residual. Al fluir el agua residual sobre la película, la materia orgánica y el oxígeno disuelto son extraídos de ésta. El oxígeno disuelto en el líquido se aporta por la absorción del aire que se encuentra entre los huecos del lecho. El material del lecho debe tener una gran superficie específica y una elevada porosidad, y suelen emplearse piedras calizas, gravas, escorias o bien materiales plásticos artificiales de diversas formas. Este sistema de depuración se suele emplear en pequeñas poblaciones y tiene la ventaja con respecto a los fangos activos que no necesita aporte alguno de energía.

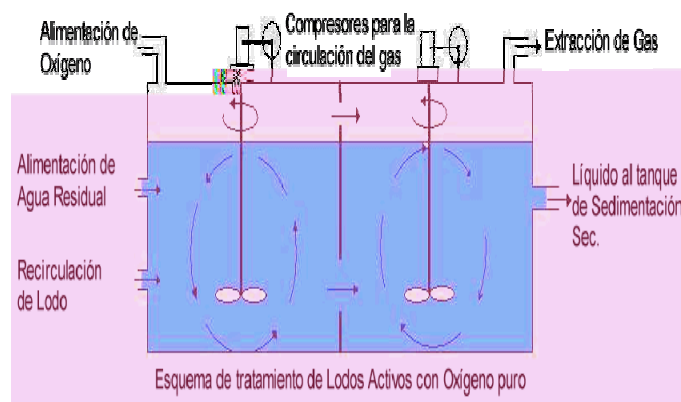


### 3.7.3.1.2. Lodos Activados

Este proceso es usado casi exclusivamente por las grandes ciudades, fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y fue llamado así por la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aeróbica. En la actualidad se usan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales [1].

En el proceso de fangos o lodos activados un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que si no fuera así la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más [1]. (Ver fig. 3.2)

**Figura 3.2,** Esquema de tratamiento de lodos Activados.



### **3.7.3.1.3. Reactores de Lecho Compacto**

Es un tanque (reactor) en el que existe un medio al que se le adhieren los microorganismos. El agua residual se introduce al tanque por la parte inferior de este, mediante un sistema de distribución adecuado o mediante una cámara de alimentación. El aire u oxígeno puro necesario para el proceso se introduce conjuntamente con el agua residual a tratar [3].

### **3.7.3.1.4. Digestión Aerobia**

La digestión aerobia es un método alternativo de tratar los lodos orgánicos producidos en el curso de las diversas operaciones de tratamiento. La digestión aeróbica es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en el bióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias.

## **3.7.3.2. Procesos Biológicos Anaerobios**

### **3.7.3.2.1. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLAKET) O Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente**

Una vez que el agua residual ha recibido tratamiento primario, es conducida por gravedad al reactor e ingresa por el fondo del mismo y sigue una trayectoria ascendente a través de un manto de fango o lodo constituido por partículas formadas biológicamente, atravesando una abertura existente en el separador Gas—Sólido—Líquido (GSL) y entrando a la zona de

sedimentación. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y dichas partículas. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas tales como el metano y el dióxido de carbono provocan una recirculación interior que favorece la formación y mantenimiento del lodo. Parte del gas generado dentro del manto de lodo, se adhiere a las partículas biológicas. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí se produce la liberación de gas adherido a las partículas, al entrar en contacto con los deflectores gasificados o separadores GSL.

Lo más importante de las Plantas tipo UASB es mantener dichas condiciones biológicas. Por tal motivo, es necesario, un estricto control de las variables de operación hidráulicas (velocidad ascensional, tiempo de retención) y biológicas / químicas (pH, Nitrógeno, Fósforo, Temperatura) a fin de mantener estables los equipos de pre-tratamiento del agua, de realizar los cambios y modificaciones pertinentes que permitan mantener estables dichas condiciones [14]. (Ver fig. 3.3)

**Figura 3.3,** Reactor anaeróbico UASB de la planta de tratamiento aguas servidas de la ciudad de Guanta (Edo.) Anzoátegui, Venezuela.



\*Fuente: [15]

### **3.7.3.2.1.1. Sistema De Tratamiento Sobre La Base De Reactores Anaerobio UASB.**

El sistema con Reactores UASB ha demostrado un gran potencial para el tratamiento de agua residual con contenido de materia orgánica soluble, de naturaleza compleja o no, en óptimas condiciones de temperatura [14]. El reactor UASB fue desarrollado en la década del '70 por el Prof. Lettinga y su equipo de la Universidad Agrícola de Wageningen en Holanda. Varias unidades del sistema a escala real están ubicadas en diferentes países, operando en regiones tropicales y subtropicales, tal es el caso de Brasil y Colombia, sin embargo pocos estudios se han realizado en regiones con clima templado.

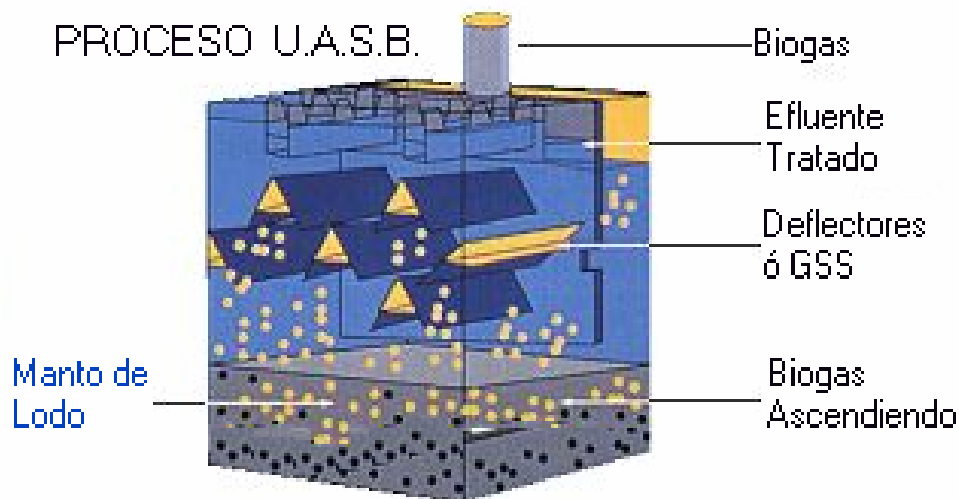
Los resultados obtenidos en los estudios realizados usando reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, concluyen que dicho sistema es una alternativa factible para el Tratamiento de este tipo de efluente (Gnanadipathy A. y Polpraset C. 1993; Viera S. Souza M. 1986); haciéndose mención a que el funcionamiento y estabilidad operativa del sistema durante el período de arranque depende principalmente de la clase de lodo cultivado en el reactor, ya que es deseable el desarrollo de una biomasa capaz de formar conglomerados de bacterianos a fin de lograr la formación de lodo granular con una alta capacidad de sedimentación; garantizándose de esta forma la permanencia de las bacterias degradadoras en el sistema, así como un mayor contacto entre microorganismos y la materia orgánica [14].

### **3.7.3.2.2. Digestión Anaerobia**

Es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de fangos, y en él la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano, y dióxido de carbono. El proceso se lleva a cabo en un reactor cerrado completamente, los lodos son introducidos al reactor de

manera continua o intermitente y permanecen retenido en periodos de tiempo variable, el lodo estabilizado extraído tiene un bajo contenido de materias orgánicas y patógenos y no es putrescible. Los dos tipos de digestores más utilizados son los de alta y baja carga, en el de baja carga no se suele calentar ni mezclar el contenido del digestor, mientras que en el proceso de alta carga si se calienta y mezcla completamente. La combinación de estos dos procesos se conoce como doble etapa. La función básica de la segunda etapa consiste en separar los sólidos digeridos del líquido sobrenadante, aunque puede ocurrir una digestión adicional y una cierta producción de gases [3]. La fig. 3.4 muestra el proceso anaerobio del reactor UASB.

**Figura 3.4,** Proceso Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB)



\*Fuente: [15]

### 3.7.3.2.3. Lecho Expandido.

En este proceso el agua a tratar se bombea a través de un lecho de material adecuado (arena, carbón conglomerado expandido, etc.) en el que se ha desarrollado un cultivo biológico. El efluente se recircula para diluir el

agua entrante y para mantener un caudal que asegure que el medio se halle expandido [2].

### **3.7.3.3. SISTEMA DE LAGUNAJE**

#### **3.7.3.3.1. Lagunas de Estabilización**

Son estructuras diseñadas para detener las aguas residuales un periodo apreciable de tiempo, en un embalse de poca profundidad para acelerar los procesos naturales de degradación de la materia orgánica biodegradable que constituyen el tratamiento o estabilización de los desechos [6]. Otros autores las refieren como, lagunas grandes de poca profundidad en las que se retienen los residuos durante varias semanas, donde el sistema biológico puede montarse a base de algas que produzcan oxígeno por fotosíntesis para llevar a cabo la oxidación [12]. Las lagunas, como su nombre lo indica son reservorios excavados en el suelo y provistos con una mayor o menor protección para la paredes y fondo que limitan su volumen; éstas tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas, crudas o pre-tratadas, lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al medio receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores. En las lagunas de estabilización, la operación eficiente es importante, pero la calidad del efluente está determinada por las condiciones climáticas y, principalmente, por la temperatura y la luz solar.

El proceso biológico utilizado para el tratamiento de agua residual mediante lagunas de estabilización constituye un sistema natural de tratamiento que ofrece costos mínimos de operación y mantenimiento debido a su contenido fundamentalmente de bacterias y algas y una construcción elemental [3], aunado a esto, la posibilidad de absorber las variaciones en la concentración y el flujo, permiten el tratamiento de desechos concentrados,

las que constituyen las principales ventajas que presentan, mientras que sus desventajas más resaltantes son: La necesidad de áreas superficiales grandes, las elevadas concentraciones de organismos (sólidos) en el efluente, el peligro potencial para la salud pública (desarrollo de mosquitos) y la estética (malos olores y color) en condiciones poco cuidadosas de la operación o cuando están sobrecargadas, la posibilidad de contaminación del agua subterránea y las aguas superficiales cercanas por la actividad de animales silvestres, la acumulación excesiva de lodos y la posible superpoblación de algas por la acumulación de nutrientes.

#### **3.7.3.3.2. Clasificación de las Lagunas de Estabilización**

La forma de clasificar y de diseñar lagunas de estabilización es muy variable, ya que la mayoría de los países han establecido criterios de diseño con base a cargas orgánicas superficiales, cargas orgánicas volumétricas y tiempos de retención, con el objeto principal de asegurar un efluente de calidad tal que satisfaga las normas y requerimientos de descarga. Teniendo en cuenta ésta gran cantidad de criterios y modelos de diseño es casi imposible seleccionar un único o mejor modelo para predecir las características obtenidas en un efluente de lagunas de estabilización, por ello, se presentan dos clasificaciones: en función de la presencia de oxígeno (actividad biológica) y según su aparición en el sistema de tratamiento.

##### ***a. Según la presencia de oxígeno***

###### ***a.1. Lagunas Aireadas***

Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua

servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas. La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos [1].

### ***a.2. Lagunas Anaerobias***

Son lagunas con cargas orgánicas tan altas que no poseen zona aerobia, excepto, posiblemente, en su superficie. La descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y CO<sub>2</sub>, como aceptador de electrones [3]. Son relativamente profundas de 2 a 5 m, de manera que el área superficial es mínima y su diseño es prácticamente empírico, gran parte de la DBO se remueve por la reducción de la materia orgánica, los productos de la descomposición son principalmente metano y dióxido de carbono. Teniendo en cuenta los riesgos de olores se prefiere localizarlas lejos de núcleos habitacionales importantes, a una distancia mayor de 200 m.

### ***a.3. Lagunas Facultativas***

Se conocen como opcionales, funcionan en condiciones mixtas mediante una combinación de bacterias facultativas, o sea, aerobias y anaerobias. Son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1.5 m y una extensión superior a una hectárea, en cualquier caso la profundidad de



operación no debe sobrepasar los 2,5 metros, de otro modo se transforma en laguna anaerobia. La carga aceptable para estas lagunas está entre 20 y 60 kg DBO<sub>5</sub> por hectárea y por día, puede lograrse una reducción de DBO<sub>5</sub> de un 75 a un 85 por ciento [3].

En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aerobia, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. En la figura 4 se muestran las diferentes zonas de un estanque de estabilización y las diversas reacciones que se dan durante el proceso de estabilización de las aguas residuales. En la práctica el oxígeno se mantiene en la capa superior por la presencia de algas o por el uso de areadores de superficie. La comunidad biológica en la capa superior o aerobia es similar a la de una laguna aerobia, mientras que los microorganismos en la capa inferior son bacterias facultativas y anaerobias.

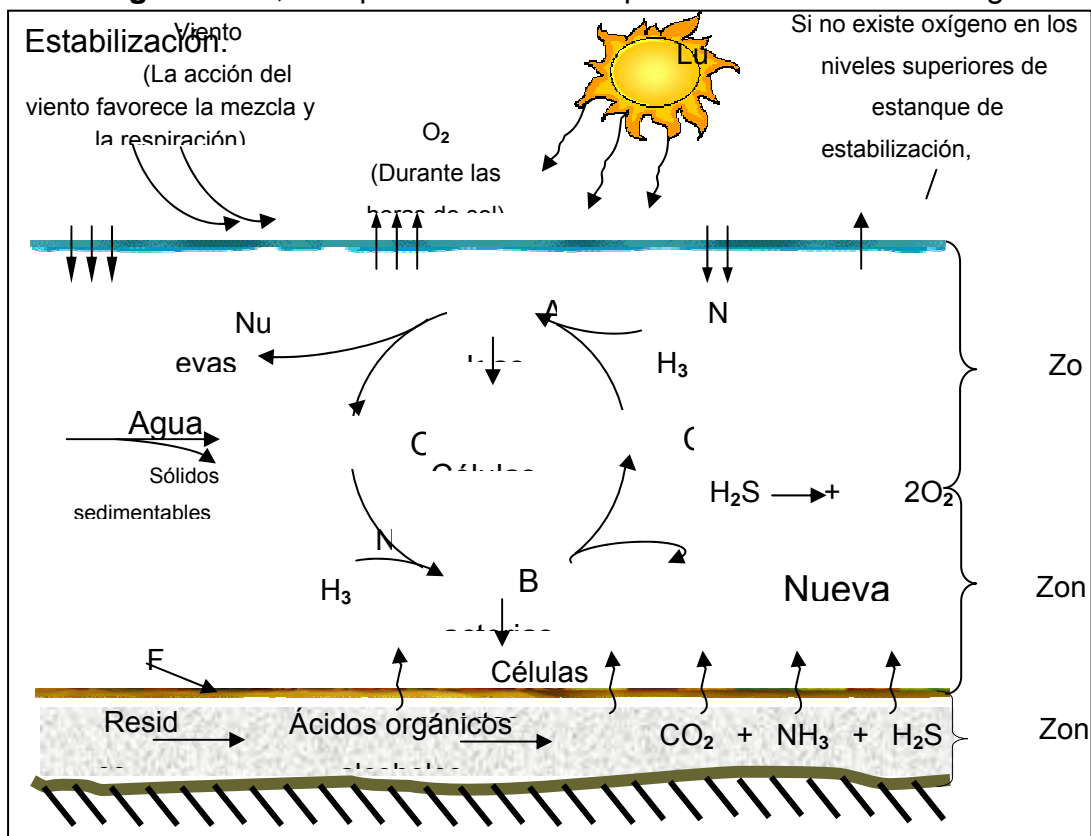
### ***b. Según su Aparición en el Sistema de Tratamiento***

***b.1. Lagunas Primarias:*** son aquellas que por sus características de diseño manejan un afluente crudo, sin un tratamiento previo o sólo precedidas por rejillas para eliminar material grueso. Pueden ser aerobias con aereación mecánica, anaerobias o facultativas, y por lo general son la primera etapa de un conjunto de lagunas.

***b.2. Lagunas Secundarias:*** los líquidos que han sufrido previamente tratamientos primarios, físicos o físico-químicos son sometidos a tratamientos en donde la acción de organismos vivientes intervienen para transformar la materia orgánica biodegradable contenida en el agua residual, cuando una laguna, ya sea aerobia, facultativa o anaerobia, se encuentra en esta fase del tratamiento se puede decir que es una laguna secundaria. Este tipo de

lagunas, en general, son capaces de remover un 80 por 100 o más de la DBO presente en el líquido bajo tratamiento. (Ver fig. 3.5).

**Figura 3.5,** Representación Esquemática de una Laguna de



\*Fuente:[16]

### 3.7.4. Tratamiento terciario o avanzado

Se utiliza cuando se quiere eliminar algún componente del agua residual que no se ha podido eliminar con el tratamiento secundario. Son procesos específicos que permiten obtener un agua residual sin nitrógeno, fósforo, materia en suspensión no decantada, materia orgánica no biodegradable, metales pesados o materia disuelta. Normalmente se realiza

después de un tratamiento secundario de alta carga pero también puede ser que se combine con un tratamiento primario o secundario o que se utilice en lugar de un tratamiento secundario, elimina la materia coloidal y en suspensión que inhibe la desinfección efectiva de los virus [1].

El tratamiento terciario o avanzado es de gran interés hoy en día por la necesidad de obtener mejor calidad en las aguas, por estos motivos se presentaran algunos procesos utilizados con éxito en la actualidad o que parecen más prometedores o innovadores.

#### **3.7.4.1. Desinfección**

Tiene como propósito en el tratamiento de las aguas residuales reducir principalmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada, del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales.

Consiste normalmente en la inyección de una disolución de cloro al inicio del canal de cloración. La dosis de cloro depende entre otros factores del contenido microbiano y suele oscilar entre 5-10 mg/ l. El máximo tiempo de contacto del agua con el cloro suele ser de 15 minutos, generalmente tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono y la luz ultra violeta (UV).

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común y económica de desinfección de las aguas residuales debido por al largo plazo de la eficacia que genera en estas aguas. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar

compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente.

#### **3.7.4.2. Destilación**

La destilación es una operación unitaria en la que los componentes de la solución líquida son separados mediante vaporización y condensación del líquido.

#### **3.7.4.3. Fraccionamiento de Espumas**

El fraccionamiento de espumas significa la separación de la materia coloidal y suspendida por flotación y de la materia orgánica disuelta por adsorción. Cuando se burbujea aire en el agua residual se produce espuma o bien ésta es inducida por productos químicos. Casi todos los compuestos orgánicos tienen actividad de superficie estos tienden a concentrarse en la interfaces gas-líquido y se eliminan junto con la espuma [1].

#### **3.7.4.4. Congelación**

La congelación es una operación de separación similar a la destilación. El agua es rociada en una cámara que funciona al vacío. Parte del agua residual se evapora y el efecto refrigerante produce cristales de hielo sin contaminantes en el líquido que queda. Seguidamente se extrae el hielo y se funde por calor de la condensación de los vapores de la fase de evaporización. En este procedimiento se ha utilizado Butano y otros refrigerantes.

#### **3.7.4.5. Intercambio Iónico**

Consiste en la sustitución de uno o varios iones presentes en el agua a tratar por otros que forman parte de una fase sólida finamente dividida (cambiador), sin alterar su estructura física. Suelen utilizarse resinas y existen cambiadores de cationes y de aniones. Debido a su alto precio, el proceso de intercambio iónico se utiliza únicamente en aquellos casos en los que la eliminación del contaminante venga impuesta por su toxicidad o que se recupere un producto de alto valor (eliminación de isótopos radiactivos, descontaminación de aguas con mercurio, eliminación de cromatos y cianuros, recuperación de oro, etc.) [13]. Ya que la desmineralización se puede llevar a cabo mediante intercambio iónico, es posible emplear procesos de tratamientos de corriente continua, en los que parte del agua residual del efluente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica.

#### **3.7.4.6. Tratamiento Electroquímico**

En este proceso se mezcla el agua residual con agua de mar y se hace pasar célula simple que contiene electrodos de carbón. En razón de las densidades relativas del agua de mar y de la mezcla del agua de mar y residual, la primera se acumula en la superficie del ánodo en la parte inferior de la célula la última lo hace en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello Fósforo y Amoníaco. Las burbujas de hidrogeno generadas en el cátodo elevan el fango a la superficie, donde es arrastrado y eliminado por métodos convencionales. El cloro desarrollado en el ánodo de la celda desinfecta el

efluente y la mezcla sobrante de agua residual-de mar es seguidamente vertida al mar [1].

### **3.8. Disposición Final de los Lodos**

Cuando se produce un lodo líquido, se hace necesario aplicar un tratamiento adicional a éste lodo antes de su disposición final. Típicamente, los lodos son espesados y desecado para reducir su volumen para su mejor traslado para la disposición. Los procesos para reducir el contenido en agua incluyen lagunas o lechos de secado para producir lodo deshidratado que pueda ser aplicado a la tierra o ser incinerado. Hay preocupaciones por la incineración del lodo debido a los agentes contaminadores del aire en las emisiones, junto con el alto costo de combustible suplemental, haciendo estos medios menos atractivos y los menos construidos para tratamiento y de la disposición del lodo.

### **3.9. Vertido del Agua Tratada**

El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o lago receptor. En aquellas partes del mundo que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, actividades recreacionales y otros usos.

## **CAPÍTULO 4**

### **UTILIDAD DE LAS PLANTAS TIPO UASB, APLICACIÓN DE UN CASO REAL.**

Se pretende mediante el desarrollo de este Capítulo, ilustrar la aplicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, colocando como ejemplo una planta de tratamiento de aguas residuales tipo UASB, por representar estas plantas un bajo costo de operación y mantenimiento, además de tener un funcionamiento eficiente en países tropicales como el nuestro. Para este caso se seleccionó la Planta de Aguas Residuales de Guanta, la cual es la primera en su tipo usada en Venezuela para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

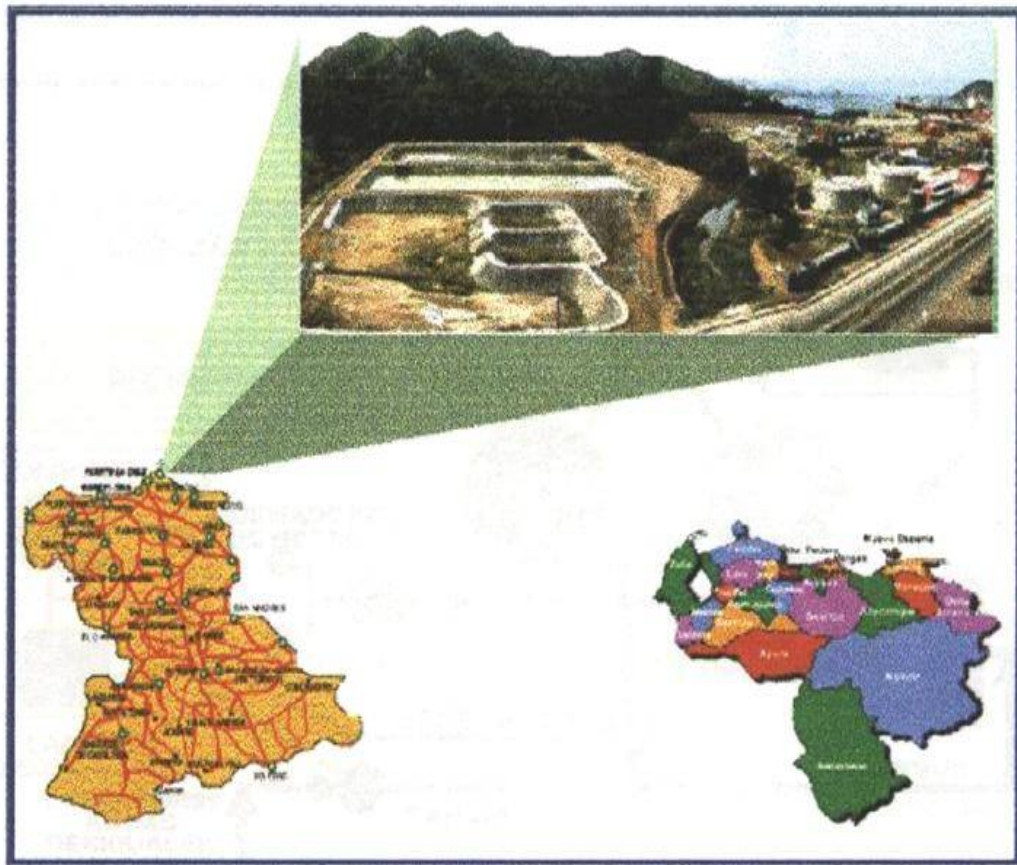
#### **4.1. Planta de tratamiento de aguas residuales guanta**

La ciudad de Guanta, ubicada al norte del estado Anzoátegui-Venezuela (Ver fig. 4.1), con una población estimada de 29.000 habitantes y una demanda base total de 140,0 l/s de agua, cuenta con una planta de tratamiento mecánica-biológica para la depuración de las aguas servidas. La planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guanta fue construida por la Unidad Ejecutora del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), con recursos financieros provenientes de un crédito bilateral alemán, bajo la Ley de Saneamiento Ambiental del Eje Costero Oriental, posee una superficie aproximada de 2,5 Hectáreas. La misma se encuentra ubicada en la avenida Raúl Leoni y colinda con el SENIAT (antiguo Puertos de Anzoátegui, PASA).

La planta se encuentra funcionando desde el año 2000, es un modelo avanzado de digestión anaeróbica, basada en la tecnología UASB, la cual es la primera puesta en marcha en nuestro país, debido a su eficiencia en países tropicales como: Brasil y Colombia, así mismo se prevén la aplicación de este sistema en otras zonas del país.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guanta se construyó para descontaminar las aguas negras vertidas en las áreas costeras y lograr con ello el mejoramiento ambiental de la zona [3].

**Figura 4.1,** Ubicación de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales Guanta.



\*Fuente: [17]



## **4.2. Descripción del proceso de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Guanta**

Las aguas residuales llegan a la planta de tratamiento a través de dos colectores principales A y B, DN 500 por gravedad, recogidas en un tanque subterráneo el cual contiene una reja por donde se hace pasar el agua residual afluyente. La función de estas rejas es separar los sólidos gruesos o material flotante como una manera de proteger válvulas, bombas, conductos y otros elementos contra posibles daños u obstrucciones, así como también, para lograr condiciones estéticas favorables en los equipos del proceso.

### **4.2.1. Etapa de Depuración Mecánica**

#### **4.2.1.1 Estación de Bombeo de Entrada**

La planta posee una estación de bombeo, que consta de tres bombas centrífugas de 70 l/s cada una (una de reserva), para elevar las aguas residuales desde el pozo subterráneo hasta la altura hidráulica necesaria para comenzar su tratamiento en el sistema compacto. De aquí en adelante el proceso se lleva a cabo por gravedad hasta la salida del efluente al mar.

#### **4.2.1.2. Sistema Compacto: Rejilla – Desarenador – Desengrasador**

Una vez impulsada por las bombas desde el pozo subterráneo, las aguas crudas fluyen a través de una tubería sifón hasta el Sistema Compacto, mostrado en la figura 4.2. En el módulo compacto están integrados todos los elementos requeridos para llevar a cabo el proceso de tratamiento primario del afluyente. Las aguas residuales circulan primero por una rejilla fina, aquí serán eliminadas todas las materias flotantes y en suspensión. La materia retenida por

la rejilla es eliminada del depósito mediante un compactador de materia retenida, descargada en un contenedor. El agua extraída se devuelve al flujo del agua residual [18].

A continuación se encuentra el desarenador aireado. Allí se transportan materia en suspensión en dirección opuesta del flujo y se eliminan las materias orgánicas. Al final del transportador espiral horizontal de las materias en suspensión se descargan estas en un foso lateral, desde el mismo serán descargadas mediante densificadores de arenas. La arena es desaguada y descargada después en un contenedor para arena. En un desengrasador lateral serán flotadas las materias grasas y en suspensión. El mando de la planta funciona completamente automático dependiente del nivel de agua. La descarga del desarenador se efectúa en función del tiempo.

**Figura 4.2,** Sistema de desbaste de la planta de tratamiento de aguas residuales  
Ciudad de Guanta



#### **4.2.1.3. Medición del Caudal**

La medición se efectúa con una medición de caudal magnética-inductiva posteriormente a la rejilla y el desarenador en la afluencia de los reactores UASB. Con este método de medición, circula el agua en el tubo de medida por un campo magnético generado por un electroimán. Por el agua en circulación que conduce la electricidad se induce una tensión que se toma y se amplifica en dos electrodos. La medición funciona también en caso de un contenido de sólidos irregulares del medio y por eso está apropiada para agua residual. Dado que no son necesarias otras instalaciones para la medición la pérdida es muy baja.

#### **4.2.2. Etapa de Depuración Biológica**

##### **4.2.2.1. Reactores UASB**

Las aguas provenientes de un pozo distribuidor se hacen pasar por dos reactores UASB conectados en paralelo.

Desde el punto de vista del proceso, el agua residual se transporta a los reactores en el fondo del tanque desde el cual el agua fluye en forma ascendente a través de un manto de fango o lodo (a diferentes niveles de alturas) constituido por partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y dichas partículas. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas (principalmente metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos. Parte del gas generado dentro del manto de lodo, se adhiere a las partículas biológicas. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí se produce la liberación de gas adherido a las

partículas, al entrar en contacto con los deflectores gasificadores o separadores de gas sólido (GGS) [19]. (Ver figura 3.4).

#### **4.2.2.2. Lagunas de Estabilización**

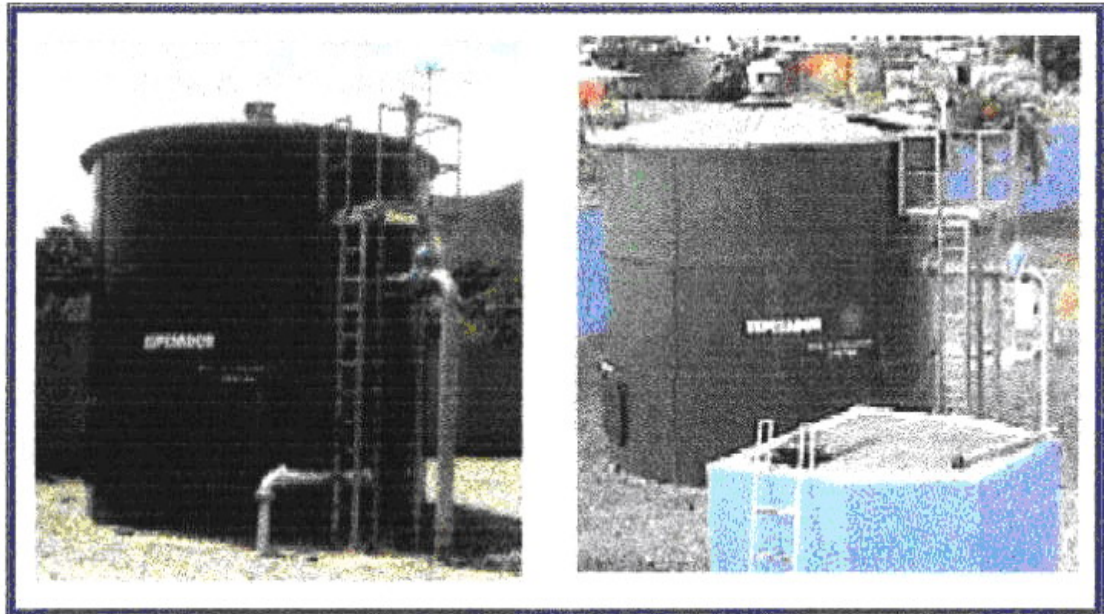
Después de permanecer aproximadamente 6 - 8 horas en los reactores las aguas relativamente tratadas son conducidas por gravedad hasta las lagunas de pulimento. Que son dos fosas excavadas en el suelo con aproximadamente 3000 m<sup>2</sup> y 2m de profundidad cada una.

La finalidad principal de estas lagunas es la de reducir o tratar en un 50 % adicional el afluente proveniente de los reactores, así como también eliminar ciertos elementos perjudiciales, la descarga de las lagunas de pulimento se conduce a través de una tubería sifón al mar.

#### **4.2.2.3. Espesador**

El lodo excedente estabilizado en los reactores, es extraído cada cuatro días, este lodo excedente fluye por la presión hidrostática automáticamente en un espesador gravitacional de servicio discontinuo para ser espesado a un contenido de sustancia seca de aproximadamente un 10 %. La densificación de lodos por asentamiento simple provoca una formación de espuma en la superficie, debido a la baja densidad de ciertas partículas del lodo y el gas entrelazados en ellas. Estas espumas flotan arriba del sobrenadante dejando capas de lodos más densos estratificadas, cerca del fondo de la unidad. El lodo densificado se transporta a los lechos de secado por bombeo y el líquido sobrenadante es recirculado al tanque de recepción de agua residual de la planta. ( Ver figura 4.3).

**Figura 4.3,** Espesador de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales Ciudad de Guanta.



Fuente: [17].

#### **4.2.2.4. Lechos de Secado**

El lodo densificado que proviene del espesador se descarga en los lechos de secado, los cuales consisten en superficies con medios filtrantes de arena y grava, en donde el lodo es deshidratado, de forma que pueda manipularse y procesarse como un semisólido en vez de un líquido.

Al extenderse los lodos sobre los lechos, los sólidos se deshidratan por drenaje a través de la masa de los mismos y la arena soporte, así como por evaporación de la superficie expuesta al aire, provocando que estos sólidos se depositen sobre el lecho, en la medida que se van secando al escapar al aire los gases retenidos.

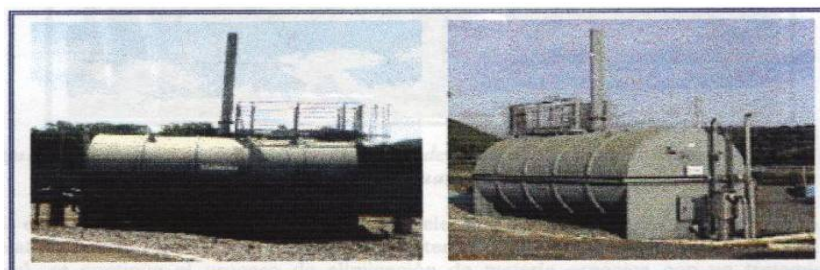
El fango puede extraerse de los lechos de secado después que haya drenado y secado – pasta seca – suficientemente para ser paleable. El lodo seco posee una superficie basta, agrietada y es negra o marrón oscuro. El lodo desagua durante 7 días a un contenido de sustancia seca de aproximadamente un 40 %. El tiempo máximo de permanencia en la laguna de lodo es de aproximadamente 200 días. Después se transporta el lodo a un almacén y / o eliminar. El agua turbia drenada de estos lechos fluye en caída libre a la red de agua turbia.

#### 4.2.2.5. Depósito de Gas

El biogas generado en los reactores como producto de la digestión anaeróbica es conducido hasta un depósito de gas para luego ser quemado. Este depósito cuenta con dos torchas, una de ellas de reserva, también un pequeño acumulador de gas de baja presión de un contenido útil de aproximadamente de 30 m<sup>3</sup> para limitar el número de operaciones de las torchas.

Se elige un acumulador de gas seco con diafragma con peso de lastre. El gas quemado sería mejor aprovecharlo por centrales de cogeneración, alimentando la corriente generada en la red, pero los elevados costos para la instalación de estos dispositivos no hacen rentable tal alternativa. (Ver figura 4.4).

**Figura 4.4,** Tanque de gas de la planta de tratamiento de aguas residuales Ciudad de Guanta.



### **4.3. Identificación De Equipos**

La razón de esta sección es describir y mostrar los equipos principales existentes en la planta de tratamiento, junto con sus principales características y capacidad de diseño, mediante esquemas y diagramas.

#### **4.3.1. Equipo: Bombas**

##### **4.3.1.1. Descripción:**

Bombas centrifugas con una capacidad de 75 l/s cada una. La planta de tratamiento cuenta con tres de ellas de las cuales una se mantiene para la reserva. Estos equipos están conectadas en paralelo, tienen la particularidad de poder trabajar tanto en seco como sumergidas, para esta planta se opto para funcionar en seco, lo que le permite mas facilidad de mantenimiento en caso de averías o fallas. Su encendido es automático dependiendo exclusivamente del nivel de agua residual existente en el tanque subterráneo.( Ver fig. 4.5).

##### **4.3.1.2. Ubicación:**

Lado derecho de la entrada de la planta.

##### **4.3.1.3. Función:**

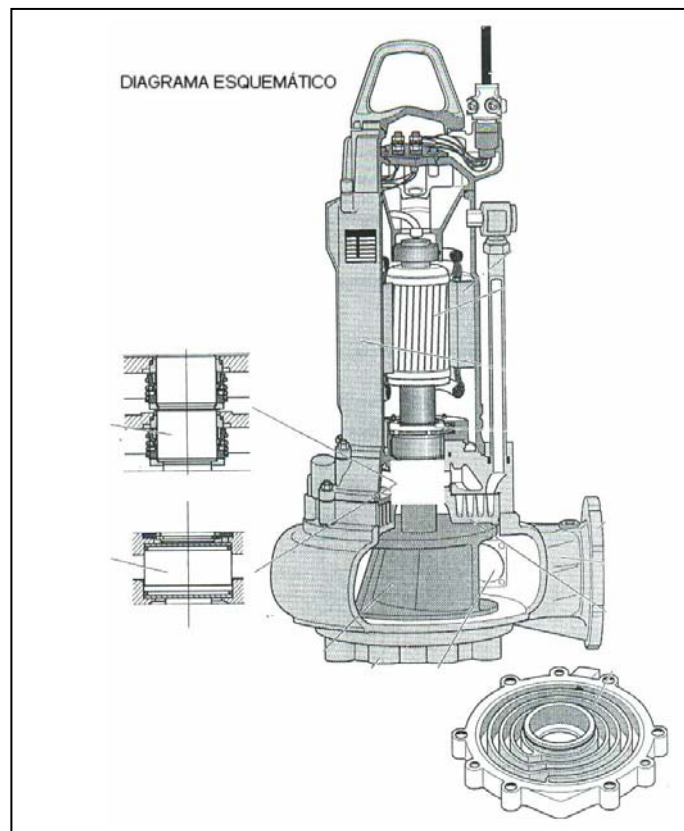
Elevar las aguas residuales recogidas en el tanque subterráneo y conducir las hasta el sistema compacto.

##### **4.3.1.4. Especificaciones Técnicas:**

- Cantidad: 03 unidades (Una unidad de Reserva)
- Marca / Modelo: Emu Unterwasserpumpen GMBH
- Capacidad Unitaria: 75 l/s

- Corriente Medida Del Motor: 29.5 A
- Potencia Medida Del Motor: 15 Kw
- Frecuencia: 60 Hz
- Régimen de Revolución: 1450 R.P.M.

**Figura 4.5,** Esquema de Bombas Centrífugas Sumergibles utilizadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta



\*Fuente: [17]

### 4.3.2. Equipo: Sistema Compacto

#### 4.3.2.1. Descripción:

El sistema compacto es un elemento estructural, construido en acero inoxidable fino, diseñado para llevar a cabo la etapa de depuración mecánica



de la planta. Esta integrado por diversos elementos relacionados entre si. Consta de una rejilla, un desarenador, y un desengrasador. Se basa en extraer de las aguas residuales todo el material flotante posible, prensarlo, desaguarlo y luego depositarlo en un contenedor. Todo el proceso es automatizado. (Ver fig. 4.6).

#### 4.3.2.2. Ubicación:

Detrás de la estación de bombeo (parte trasera derecha de la planta).

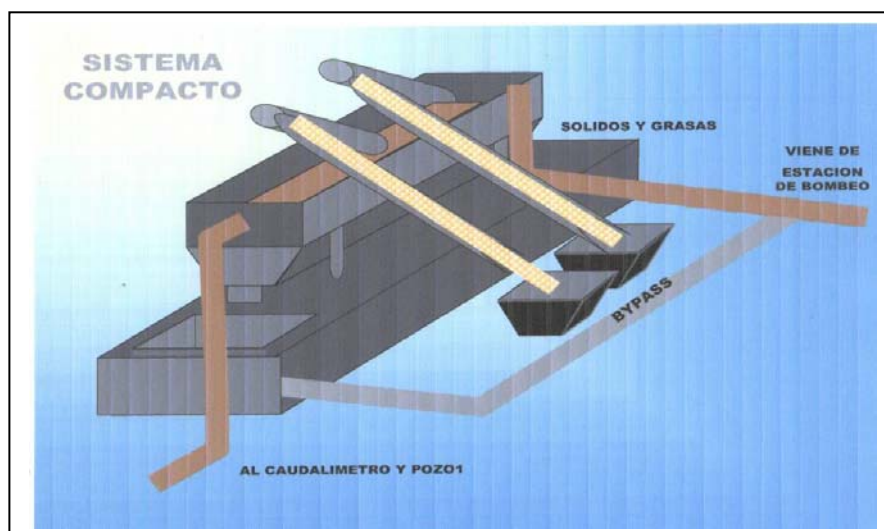
#### 4.3.2.3. Función:

Extraer de las aguas residuales todo el material flotante posible (arenas, grasas, trozos de madera, plásticos etc.)

#### 4.3.2.4. Especificaciones de Diseño:

- Rejilla – Anchura De Entre Hierro: espesor = 5mm
- Desarenador – Materia Retenida: 20 L/Ea
- Grado De Separación – Tamaño Del Grano: 0,2 mm
- Producción Específico de Arena: 60 l/1000 m<sup>3</sup>

**Figura 4.6,** Diagrama Esquemático del sistema Compacto utilizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta



### **4.3.3. Equipo: Reactores (UASB)**

#### **4.3.3.1. Descripción:**

Tanques de acero inoxidable, con un diámetro aproximado de 18 metros y una altura de 4,87 metros. La planta posee dos reactores conectados en paralelos. En dichos tanques existen tres fases (sólido, líquido y gaseoso) que son separadas por deflectores gasificadores instalados en la parte superior del reactor. En la parte inferior están conectadas una serie de tuberías encargadas de distribuir el agua residual de manera que fluya y ascienda de manera uniforme a través de todo el manto de fango originado por la descomposición anaeróbica. Estos reactores cuentan con unos dispositivos colocados a diferentes alturas para la extracción de lodos. En estos tanques se llevan a cabo la etapa de depuración biológica de la planta. (Ver figura 4.7).

#### **4.3.3.2. Ubicación:**

Parte central de la planta de tratamiento.

#### **4.3.3.3. Función:**

Estabilizar los lodos formados a través del proceso de digestión anaeróbica

#### **4.3.3.4. Dimensiones:**

- Diámetro (D): 17,92m
- Altura de Agua (H):4,50
- Altura Total reactor: 4.87m

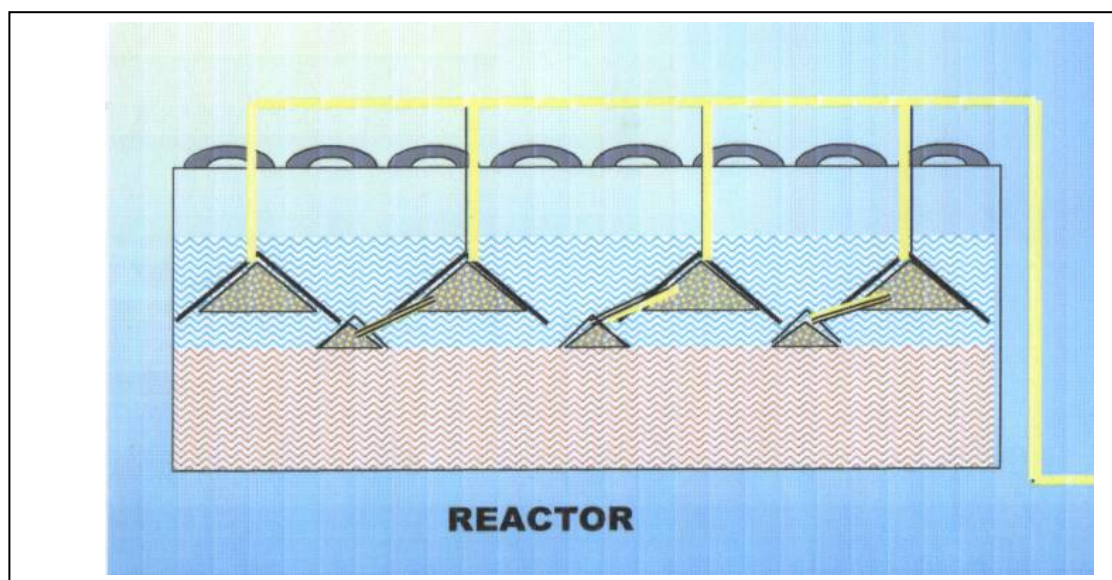
- Volumen (V):2268m<sup>3</sup>

#### 4.3.3.5. Especificaciones De Diseño:

- Periodo de Retención Hidráulico: 6 – 8 horas
- Cantidad De Materia Orgánica Oxidada O Removida: 50 %

**Figura 4.7,** Diagrama Esquemático de los reactores UASB utilizados en la

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta



\*Fuente: [17]

#### 4.3.4. Equipo: Lagunas de Estabilización

##### 4.3.4.1. Descripción:

Dos excavaciones hechas en el suelo con aproximadamente 3000m<sup>2</sup> cada una y una altura de agua de 2m, están conectadas en serie para una

permanencia en ellas del agua residual de 33 horas aproximadamente. El fondo de cada laguna esta hermetizado con capas de betún soldadas, la descarga de la laguna se efectúa a través de un pozo de hormigón de rebose y son conducidas a través de una tubería sifón al mar. Al igual que en los reactores UASB se lleva a cabo un tratamiento de depuración biológico para garantizar una mayor tratabilidad del agua residual antes de su salida al mar. (Ver fig. 4.8)

#### **4.3.4.2. Ubicación:**

Parte final de la planta (lado izquierdo)

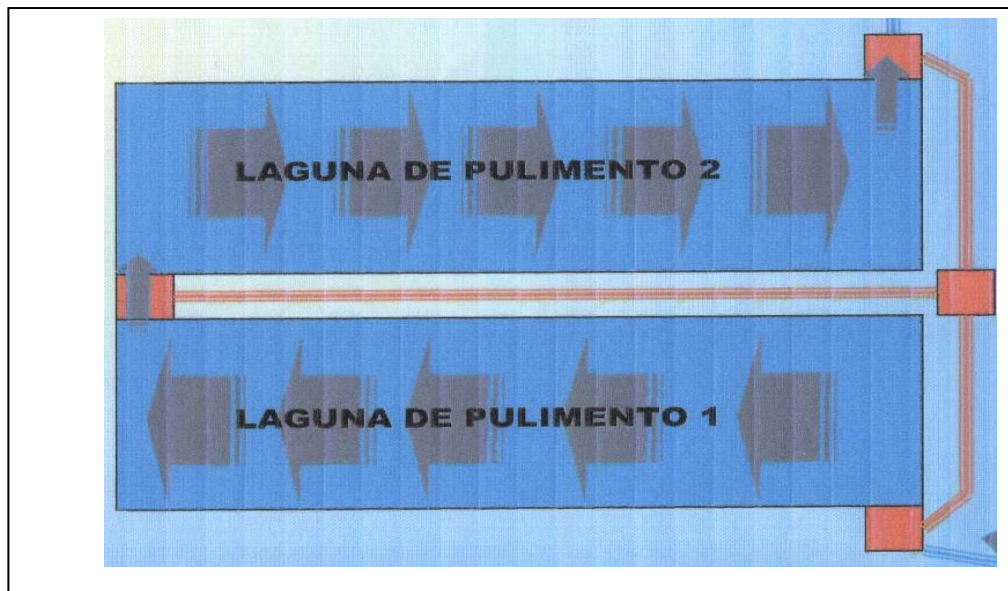
#### **4.3.4.3. Función:**

Garantizar una mayor tratabilidad del agua residual antes de su vertido final al mar.

#### **4.3.4.4. Dimensiones:**

- Largo / Ancho /Altura: 84m / 36m / 2m
- Área : 3024 m<sup>2</sup>
- Volumen: 5364 m<sup>3</sup>
- Fondo de Laguna Largo / Ancho: 78m / 30m
- Tiempo De Retención: 33 horas
- Rendimiento Referente al DBO<sub>5</sub>: N=50 %

**Figura 4.8,** Diagrama Esquemático de las lagunas de Estabilización empleadas en la planta de tratamiento de aguas residuales ciudad de Guanta



\*Fuente: [17].

#### 4.3.5. Equipo: Espesador

##### 4.3.5.1. Descripción:

Tanque de acero en forma cilíndrica, con un diámetro aproximado de 4,27 m y una altura de 3,67 m.

El lodo excedente proveniente de los reactores es espesado por gravedad en aproximadamente 6 horas. Este elemento posee dos bombas centrífugas (una de reserva) para la extracción de lodos con una capacidad de 10 l/s cada una instalada en seco para transportar el lodo asentado hacia los lechos de secado. (Ver figura 4.9).

**4.3.5.2. Ubicación:**

Parte izquierda de la planta

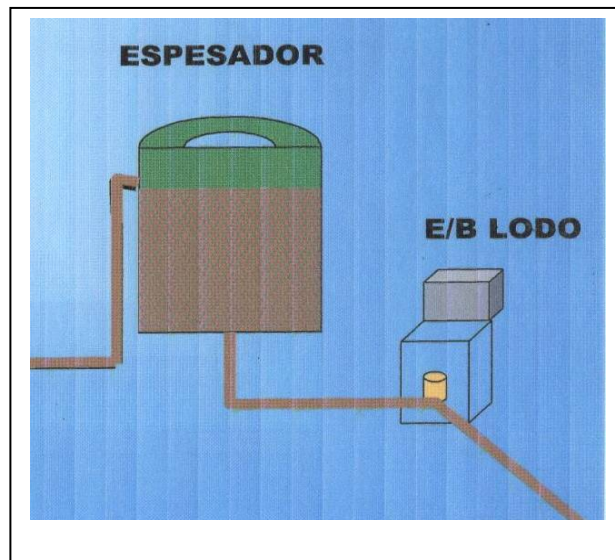
**4.3.5.3. Función:**

Espesar el lodo excedente proveniente de los reactores UASB.

**4.3.5.4. Dimensiones:**

- Tanque Diámetro (D): 4,27 m
- Cono Volumen: 1,93 m<sup>3</sup>
- Altura Tanque (H): 3,06 m
- Altura Total: 3,67 m
- Área: 14,3 m<sup>2</sup>
- Volumen : 40,0 m<sup>3</sup>
- Tiempo de Retención: 6 horas /día
- Volumen de Lodos: 40m<sup>3</sup> / Alimentación

**Figura 4.9,** Diagrama Esquemático del espesador de lodos utilizado en la planta de tratamiento de aguas residuales ciudad de Guanta



#### **4.3.6. Equipo: Lecho de Secado**

##### **4.3.6.1. Descripción:**

La laguna esta dividida mediante muralla de tierra en dos unidades de 10 m x 15m respectivamente. La altura utilizable es de 1,50 m. El suelo de la laguna esta formado como un suelo filtrante a través de una capa de arena y una capa de grava drenando el lodo depositado en ellas. El líquido fluye en caída libre hacia la tubería de aguas negras. El tiempo máximo de permanencia en la laguna de lodo completa es de aproximadamente 200 días. (Ver figura 4.10).

##### **4.3.6.2. Ubicación:**

Parte izquierda de la planta.

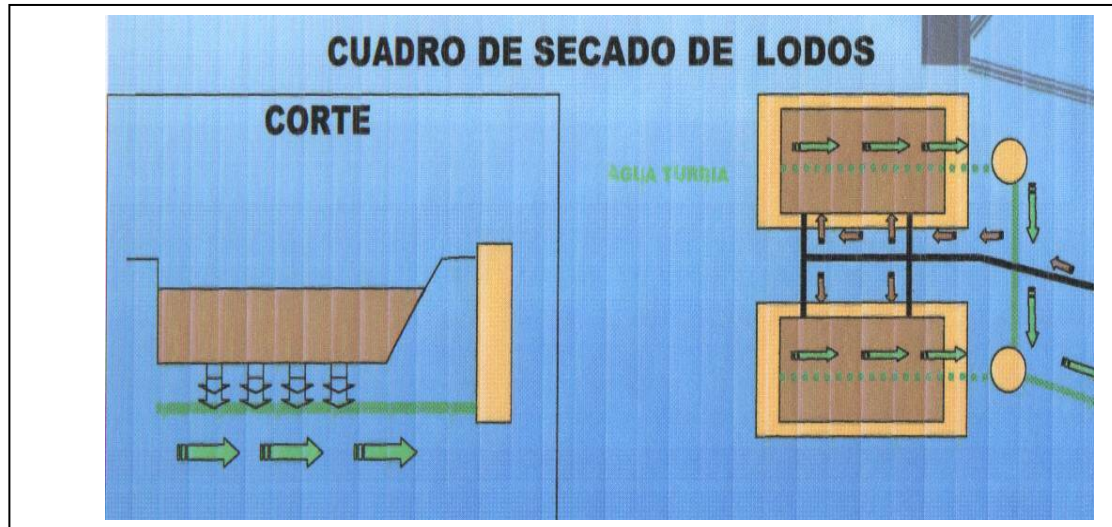
##### **4.3.6.3. Función:**

Drenar el lodo proveniente del Espesador y facilitar su secamiento

##### **4.3.6.4. Dimensiones:**

- 2 lechos con Ancho / Largo: 10 m / 15 m
- Área: 150 m<sup>2</sup>
- Murallas de tierra : 2m
- Volumen: 4m<sup>3</sup> / alimentación
- Nivel de lodo húmedo: 2,7 cm
- Nivel de lodo después de secarse: 0,7 cm

**Figura 4.10**, Diagrama Esquemático de los lechos de secado utilizados en la planta de tratamiento de aguas residuales ciudad de Guanta



#### 4.3.7. Equipo: Depósito y Quemador de Gas

##### 4.3.7.1. Descripción:

Tanque de acero diseñado para acumular y quemar el gas generado en los reactores UASB. Esta constituido por dos torchas, una de reserva, también un pequeño acumulador de gas de baja presión de un contenido útil de aproximadamente 30m<sup>3</sup>. (Ver figura 4.11).

##### 4.3.7.2. Ubicación:

Lado izquierdo de la planta (al lado de los reactores)

##### 4.3.7.3. Función:

Quemar el gas generado en los reactores UASB.

##### 4.3.7.4. Dimensiones:

- Volumen: 30 m<sup>3</sup>
- Capacidad: 300 Nm<sup>3</sup>/día

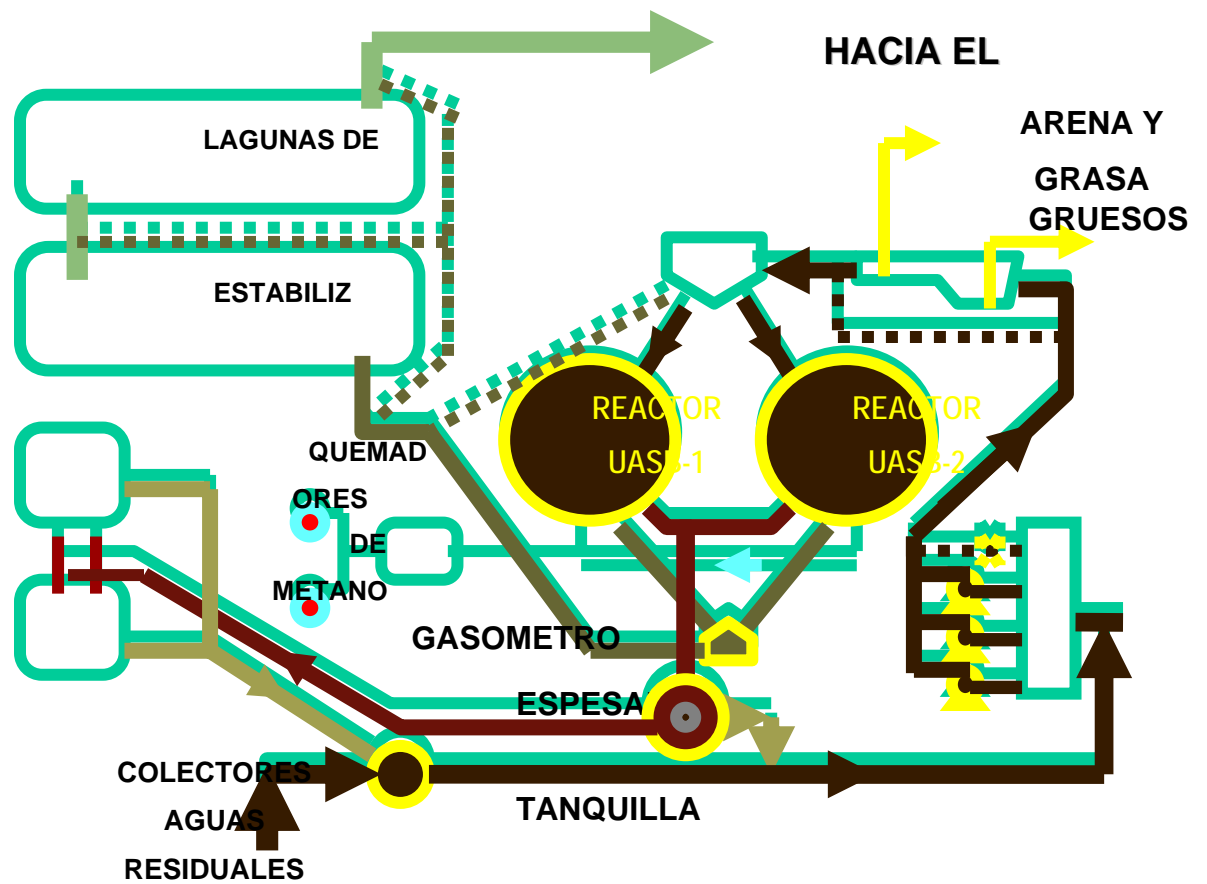


**Figura 4.11,** Diagrama Esquemático del gasómetro y quemador de gas utilizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta



\*Fuente. [17].

A continuación se presenta en la Figura 4.12, un diagrama esquemático de todos los equipos y componentes de la Planta de Tratamiento Ciudad de Guanta



**Figura 4.12,** Diagrama Esquemático del Funcionamiento da la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- 1) Las plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas son un elemento esencial para la eliminación de desechos contaminantes producidos por el hombre.
- 2) Las plantas de tratamientos de aguas residuales son muy importantes para controlar los elementos nocivos vertidos en los cuerpos de agua, preservando así estos ecosistemas acuáticos, y a la vez también controlando los elementos patógenos, dañinos para la salud pública.
- 3) Las plantas de tratamientos de aguas residuales anaerobias tipo UASB, en la actualidad están siendo muy empleadas en países tropicales como el nuestro, debido a la gran eficiencia en la remoción de agentes contaminantes y por sus bajos costos de funcionamiento.
- 4) Las plantas de tratamiento de aguas residuales con equipos avanzados para la reutilización del agua son de mucha utilidad en aquellos lugares donde la escasez de agua representa problemas de gran envergadura.
- 5) Los tratamientos de aguas residuales empleados por los países en vías de desarrollo incluyen generalmente, el pretratamiento, el tratamiento primario y secundario, no incluyendo el tratamiento terciarios o avanzado por los altos costo que ellos implican.
- 6) La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta, al igual que todas las plantas con sistema de tratamiento anaerobio, presenta la desventaja de suministrar malos olores al ambiente.

## 5.2. Recomendaciones

- 1) Construir las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a los parámetros de diseño, ajustado a las normas, especificaciones, planos de proyecto, y en general a la buena práctica de la ingeniería.
- 2) Incentivar el uso de plantas de tratamiento de aguas residuales en nuestro país, ya que en la actualidad la nación presenta un déficit de plantas para tratar todas las aguas servidas provenientes de pueblos y ciudades.
- 3) Operar y mantener las plantas de tratamientos siguiendo las especificaciones indicado por el constructor, para así evitar deterioros prematuros de las instalaciones y los equipos.
- 4) Realizar evaluaciones periódicas a los sistemas de tratamiento de aguas residuales para verificar que los resultados se encuentren dentro de los parámetros de control exigidos por las leyes ambientales del país.
- 5) Establecer decretos que obliguen a las empresas públicas y privadas a construir sistemas de depuración de aguas residuales y no verterlas crudamente a los cuerpos de agua, propiciando la contaminación de éstos.
- 6) La planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ciudad de Guanta requiere instalar en sus componentes y equipos ciertos instrumentos para controlar los malos olores que se generan en ésta.
- 7) Implementar un plan de concientización dirigido a la colectividad en general sobre la importancia y los beneficios que trae el uso de los sistemas de tratamiento.
- 8) Reestructurar en la programación de la asignatura de Ingeniería Ambiental, el número de horas dedicadas a este tema.

- 9) Para proyectar una planta de tratamiento se requiere de una serie de pasos que se resumen aplicando la gerencia de la construcción en los siguientes diagramas:

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. MIRANDA, J., “**Tratamiento Analítico de las aguas Servidas**”, Chile, [disponible]: <http://cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm> (marzo 2007)
- [2]. Metcalf y Eddy, “**Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización**”, Volumen I, tercera edición, Editorial McGraw-Hill, Madrid, España (1995).
- [3]. Y. GONZÁLEZ, y G. SÁNCHEZ, “**Evaluación técnica del proceso de tratamiento anaerobio de la planta de aguas residuales de Guanta**”, Tesis de Grado, UDO, Anzoátegui (2003).
- [4]. G. Tchobanoglous y F. Burton. “**Tratamiento y depuración de las aguas residuales**”, Editorial Labor, S.A., España (1977).
- [5]. RIVAS, G. “**Tratamiento de aguas residuales**”, 2da. Edición, Ediciones Vega, Caracas (1978).
- [6]. Babbitt, H. y Baumann, E. “**Alcantarillado y tratado de Aguas Negras**”. Editorial Continental, S.A., México (1980).
- [7]. PUGLIELLE, C. “**Adaptación del manual de Operaciones de la Planta de Tratamiento de Efluentes de la Refinería de Puerto la Cruz a la Norma Riso**”, Tomo I, Tesis de grado, UDO, Anzoátegui (1993).
- [8]. MARSILLI, A. “**Tratamiento de aguas residuales**”, [disponible]: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm> (Diciembre 2005)

- [9]. Anónimo, **“Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”**, [disponible]: <http://www.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm> (marzo 2007)
- [10]. Anónimo, **“Tratamiento y Recuperación de Aguas Residuales Urbanas”** [disponible]: [http://www.geoscopio.org/cgi-bin/planetatierra/p\\_comunicab.pl?pagina=/medioambiente/temas/index.htm](http://www.geoscopio.org/cgi-bin/planetatierra/p_comunicab.pl?pagina=/medioambiente/temas/index.htm) (Mayo 2004)
- [11]. Anónimo, **“Agua residual y su tratamiento”**, [disponible]: <http://www.tanswer.cl/TA/UASB.htm> (Junio 2002).
- [12]. Anónimo, **“Bases Teóricas de Los Principales Procesos De Tratamiento”**, [disponible]: [http://cidta.usal.es/Unidad\\_H/ETAP/unidades/principal/3document.htm](http://cidta.usal.es/Unidad_H/ETAP/unidades/principal/3document.htm) (Mayo 2004)
- [13]. LÓPEZ, J. **“Depuración de aguas residuales”**, [disponible]: <http://www2.cbm.uam.es/jalopez/personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm> (abril 2007)
- [14]. LAFONTANT, J., **“Manual de Mediciones”**, Planta de tratamiento de aguas residuales Guanta. (2000).
- [15]. LAFONTANT, J. **“Puesta en Marcha Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para Guanta”**. (Mayo 2000)
- [16]. Crites, R. y Tchobanoglous G. **“Sistema de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados”**, Editorial Mc Graw-Hill, Colombia (2000).
- [17]. **Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Ciudad de Guanta** (2004)
- [18]. **Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Ciudad de Guanta. “Manual de soporte técnico del Sistema Compacto”**. (2004)

- [19]. LAFONTANT, J. "Oferta de Mantenimiento de la planta de tratamiento de Aguas Residuales para Guanta". (Mayo 2000).