

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UNA PLANTA MODULAR PARA  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Realizado por:

**AKYRA SACHENCKA VALLEE APONTE**

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

**INGENIERO QUÍMICO**

Puerto La Cruz, Junio de 2007

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UNA PLANTA MODULAR PARA  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

---

**Ing. Quím.** Maritza Millán Silva (M. Sc.)

**Asesor Académico:**

---

**Lic. Quím.** Johnny

**Asesor Industrial:**

Puerto La Cruz, Junio de 2007

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UNA PLANTA MODULAR PARA  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

**JURADO**

---

**Ing. Quím. Maritza Millán Silva (M. Sc.)**  
Asesor académico

---

**Ing. Quím. Hernán Raven (M. Sc.)**  
Jurado principal

---

**Ing. Quím. Osvaldo Ochoa**  
Jurado principal

Puerto La Cruz, Junio de 2007

## **ARTÍCULO 44**

*De acuerdo con el reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:*

***“Los trabajos de Grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual participará al Consejo Universitario”***

## DEDICATORIA

*Este trabajo de grado esta dedicado a la memoria de mi esposo Carlos Alberto Navarrete D'Marco (+), quien fue mi gran compañero durante 16 años y quien junto a mi compartió las alegrías y sin sabores de esta larga carrera, y quien lamentablemente, por el llamado de Dios a su lado, no puede compartir físicamente conmigo nuestro triunfo, pero que donde quiera que se encuentre, estará sentado en primera fila aplaudiendo muy fuerte.*

*Mi amor, aquí está tú sueño hecho realidad, este triunfo va por los dos, y donde quiera que estés gracias por confiar en mi, en que yo si podía.*

***“Se que no has muerto, sólo te fuiste antes, y no te gustaría que te recordaran con lagrimas en los ojos, como el que no tiene esperanza. Se que no has muerto, aunque tu cuerpo ya no esté con nosotros, siempre tu presencia se hará sentir. Serás el silencio de nuestro hogar que tanto compartimos. Serás la brisa que besará nuestros rostros, serás el recuerdo dulce que permanecerá en nuestras mentes. No has muerto, solo tomaste uno de los trenes anteriores y se te olvidó decírnoslos.”***

*La personas mueren solo cuando dejan de existir en nuestras mentes y en nuestros corazones, y definitivamente tú siempre estarás en los nuestros.*

*Te quiero mucho Carlos Alberto y definitivamente....*

**Gracias mi amor**

*A Dios, por haberme creado y estar siempre conmigo dándome las fuerzas para superar los obstáculos y alcanzar mis metas.*

*A mis padres, Carlos y Luisa, por haberme dado la vida y haberme guiado por el camino de los buenos principios, humildad y honestidad. Por haberme brindado la oportunidad de estudiar. Por haberme apoyado durante toda mi vida y haberme sostenido en los momentos difíciles. Por su amor incondicional. Por confiar siempre en mí. Por ser mi ejemplo a seguir. Por haberme enseñado a luchar y sobre todas las cosas, por que los amo.*

*A mis hijos, que lamentablemente hoy no pudieron estar, físicamente, conmigo pero a quienes siempre llevaré en mi corazón.*

*A mis hermanos Raiza y Carlos Luis, por sus cariños, consejos y por haberme dado un excelente ejemplo.*

*A mi esposo, Carlos Navarrete, por haberme dado su amor, paciencia y apoyo durante la mayor parte de este largo camino.*

*A mis primos Kathy y Juan Carlos (El negro), por su amor y ayuda incondicional.*

*A mi gran amigo, ingeniero Jesús Guzmán, por haberme alentado, siempre, a seguir adelante*

***A todos,  
Los quiero mucho y mil gracias***

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad de Oriente, por haberme brindado, a través de sus instalaciones y bajo la tutela de su cuerpo profesoral, la oportunidad de formarme profesionalmente.*

*A la empresa Oxialquilados Venezolanos, por haberme dado la oportunidad de desarrollar este proyecto.*

*A mi asesora académica, Ing. Maritza Millán, por su ayuda, su apoyo, su cariño y dedicación.*

*A mi asesor industrial por su ayuda y colaboración.*

*A mi amiga, ingeniero Noivé Guarimata, por haber sido un ángel en mi camino.*

*A mis amigos, Claudia, Angélica, Jesús, Juleissa, Ana, Flora, Stalin, Rogel, Vicente, Wilmer, Pedro, José Gregorio (El Juti), Luzmar, Nixón, José Moro, Katherine, Luis, Thomas, Sara, Angela Diaz, Norka, Rosa Camauta, Yiseth, Carlucho, Gimer, Joel, Jorge, Eulis, Jacinto, Carlota (Sra. La Nena), Ivette, por su apoyo y confianza.*

*A mis tíos y primos Aponte por sus consejos.*

*A mis tíos y primos Vallee por su cariño.*

*A mis sobrinos por alimentarme cada día de amor.*

*A mi prima Kathy por confiar en mí.*

*A mi primo Juan Carlos por sus consejos certeros.*

*A mis suegros Gladis y Luis por su cariño.*

*A mis hermanos Carlos Alfredo y Milagros, por estar.*

*Al Dr. Pablo Valles, por su ayuda incondicional, en difíciles momentos de mi vida.*

*A la Srta. Yisenia Guerra, asistente administrativa de Oxi, por todo el apoyo que me brindó dentro de la empresa.*

*Al ingeniero Eulis Brito, por su ayuda incondicional.*

*A todo el personal que labora en la empresa Oxialquilados Venezolanos.*

*A todos aquellos que de uno u otra manera hicieron posible la realización de este trabajo de grado.*

***Muchísimas gracias***



## **RESUMEN**

Este trabajo se realizó con la finalidad de diseñar una planta modular de tratamiento de aguas residuales de una menor capacidad que las ya existentes en la compañía Oxialquilados Venezolanos C.A. Para ello se recurrió a una serie de datos aportados por dicha compañía, referentes a las características de las aguas a tratar y a la normativa ambiental (decreto 883) donde se establecen las condiciones finales esperadas a las cuales deben encontrarse al momento de ser vertidas a los medios receptores. Esta planta debe tratar aguas residuales de origen doméstico. El caudal de diseño es de 2.839 l/d siguiendo las exigencias de la compañía. Primero se procedió a determinar las cargas de diseño a manejar por la planta de tratamiento de aguas residuales, siendo el proceso a utilizar el de lodos activados de aireación extendida, el cual se utiliza extensivamente en plantas compactas para comunidades pequeñas, ya que requiere una carga orgánica baja y un tiempo de aireación largo. La elección de los equipos se basó en experiencias previas con plantas de mayor capacidad, donde se utilizan básicamente tres unidades: reactor, sedimentador y clorinador. Además se realizaron los diagramas de flujo correspondientes del proceso de tratamiento de aguas residuales y el adecuado análisis de costos, el cual arrojó como resultado un monto aproximado de Bs. 16.161.500 para la construcción de la planta.

## CONTENIDO

PÁGINA DE TÍTULO .....	i
ARTÍCULO 44 .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN.....	ix
CONTENIDO .....	x
LISTA DE TABLAS .....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general.....	5
1.2. Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO II .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Conocimientos generales sobre el agua .....	10
2.3 Aguas residuales.....	12
2.3.1 Origen de las aguas residuales .....	13
2.3.1.1 Características del agua residual doméstica.....	15
2.3.1.2 Parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica.....	15
2.3.1.2.1. Color.....	15
2.3.1.2.2. Cloro libre .....	17
2.3.1.2.3. Densidad.....	17
2.3.1.2.4 Fosfatos .....	18
2.3.1.2.5. Nitrógeno .....	18
2.3.1.2.6. Ph .....	20

2.3.1.2.7. Salinidad.....	21
2.3.1.2.8. Sólidos.....	21
2.3.1.2.8.1. Sólidos disueltos .....	22
2.3.1.2.8.2. Sólidos totales .....	22
2.3.1.2.8.3. Sólidos suspendidos .....	23
2.3.1.2.8.4. Sólidos sedimentables .....	23
2.3.1.2.8.5. Sólidos suspendidos volátiles.....	23
2.3.1.2.9. Sulfuros .....	24
2.3.1.2.10. Temperatura .....	24
2.3.1.2.11. Turbidez .....	25
2.3.2 Constituyentes de las aguas residuales.....	26
2.3.3 Propiedades ofensivas de las aguas residuales.....	27
2.3.4 Crecimiento bacteriano .....	28
2.3.5 Caracterización de las aguas residuales .....	33
2.3.5.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	33
2.3.5.2 Demanda química de oxígeno (DQO).....	35
2.3.5.3 Oxígeno disuelto (OD).....	35
2.3.5.4 Carbono orgánico total (COT) .....	36
2.3.6 Depuración de aguas residuales .....	36
2.3.6.1 Niveles de tratamiento .....	36
2.3.6.2 Métodos de tratamiento.....	38
2.4. Lodos activados.....	40
2.4.1 Microbiología del proceso de lodos activados.....	41
2.4.2 Clasificación de los procesos de lodos activados.....	42
2.4.3 Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados ....	44
2.4.3.1 Rejillas .....	44
2.4.3.2 Tanque de aireación o reactor .....	45
2.4.3.3 Tanque sedimentador .....	46
2.4.3.4 Cámara de desinfección o clorinador .....	46

2.4.3.5 Equipo de aireación.....	47
2.4.3.6 Sistema de retorno de lodos .....	48
2.4.3.7. Exceso de lodos y su disposición.....	49
2.4.4 Necesidad y transferencia de oxígeno.....	50
2.5. Biodegradabilidad .....	52
2.6. Floculación.....	52
2.7. Plantas de tratamiento de aguas residuales .....	54
2.7.1 Plantas compactas de tratamiento .....	54
2.8. Parámetros de diseño.....	55
2.8.1. Caudales de diseño.....	56
2.8.2 Concentraciones de diseño.....	58
2.8.3 Carga másica de diseño.....	59
CAPÍTULO III.....	65
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	65
3.1. Selección de los equipos del proceso.....	65
3.2 Elaboración del diagrama de flujo .....	69
3.2.1 Descripción de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	73
3.3 Establecimiento de los costos preliminares.....	75
3.4 Equipos, materiales y sustancias.....	76
3.5 Muestra de cálculos.....	80
CAPÍTULO IV.....	103
ÁNÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..	103
4.1. Selección de los equipos para el proceso, de acuerdo a los parámetros de diseño .....	103
4.2. Realización de diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales.....	114
4.3. Establecimiento de los costos preliminares para la construcción de la planta	115
4.4. CONCLUSIONES .....	120

4.5. RECOMENDACIONES .....	121
4.6. BIBLIOGRAFÍA .....	122
ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO .....	127

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de las aguas <sup>[9]</sup> .....	11
Tabla 2.2 Clasificación de las aguas del tipo 1 <sup>[9]</sup> .....	12
Tabla 2.3 Parámetros necesarios para descargar las aguas al ambiente <sup>[9]</sup> .....	14
Tabla 2. 4 Composición del agua residual doméstica <sup>[12]</sup> .....	16
Tabla 2.5. Constituyentes de las aguas residuales según sus características <sup>[12]</sup> .....	29
Tabla 2.6 Caudales habituales de agua residual de origen residencial, descargada a los sistemas de recolección <sup>[12]</sup> .....	59
Tabla 2.7 Factores pico para aguas residuales provenientes de residencias individuales, establecimientos comerciales pequeños y pequeñas comunidades <sup>[12]</sup> ..	60
Tabla 2.8 Datos típicos de cantidades diarias de excrementos humanos <sup>[11]</sup> .....	61
Tabla 2.9 Valores habituales de aportes y concentración de constituyentes esperada en agua residual de origen residencial <sup>[12]</sup> .....	61
Tabla 3.1 Requerimientos para los equipos y unidades del proceso <sup>[19]</sup> .....	70
Tabla 3.2 Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados para aguas residuales domésticas <sup>[11]</sup> .....	88
Tabla 4.1 Resultados obtenidos en el diseño de la planta .....	107
Tabla 4.2 Dimensiones de las principales unidades de la planta .....	107
Tabla 4.3 Constantes para procesos de lodos activados, aireación extendida [11]...	108
Tabla 4.4. Costos generalizados de los componentes de la planta de tratamiento modular de aguas residuales.....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva de crecimiento bacteriano <sup>[12]</sup> .....	29
Figura 2.2 Crecimiento relativo de los microorganismos en el curso de la estabilización de un residuo orgánico en un medio líquido [11] .....	31
Figura 2.3 Representación esquemática del metabolismo bacteriano compuesto principalmente por reacciones catabólicas y anabólicas <sup>[12]</sup> .....	32
Figura 2.4. Clasificación de los procesos de lodos activados <sup>[9]</sup> .....	44
Figura. 2.5 Aireadores de domo poroso <sup>[12]</sup> .....	48
Figura 2.6 Difusores de aire <sup>[10]</sup> .....	49
Figura 2.7 Diagrama usual para tratamiento de agua residual proveniente de comunidades pequeñas: planta de lodos activados con aireación extendida, incluye instalaciones para remoción de arenas, grasas y aceites, infiltración del afluente con desinfección por radiación UV para reutilización del efluente en riego de campo de golf <sup>[12]</sup> .....	51
Figura 2.8 Coagulación <sup>[10]</sup> .....	53
Figura 2.9. Proceso de eliminación de la materia flotante .....	54
Figura 2.10 Esquema de una planta compacta modular disponible en tamaños adecuados para residencias individuales y comunidades pequeñas <sup>[12]</sup> .....	55
Figura 2.11 Variación horaria típica de los caudales de agua residual doméstica <sup>[11]</sup> .....	62
Figura 2.12 Variación típica del caudal y concentración del agua residual de origen doméstico <sup>[11]</sup> .....	63
Figura 2.13 Ilustración de la variación del caudal de agua residual, de la DBO y de la carga contaminante <sup>[11]</sup> .....	64
Figura 2.14 Factor pico horario para caudales de aguas residuales domésticas. El factor pico es la relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio <sup>[11]</sup> .....	64
Figura 3.1. Representación esquemática del proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida.....	72

Figura.3.2 Balance de masa en el reactor (tanque de aireación) <sup>[11]</sup> .....	73
Figura 4.1 Reacción química del proceso .....	109
Figura 4.2 Tanque de aireación (reactor).....	111
Figura.4.3 Sedimentador .....	113
Figura.4.4 Clorinador .....	114
Figura. 4.5 Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	116
Figura. 4.6 Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	117
Figura. 4.7 Corte longitudinal de la planta.....	118



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La creciente contaminación, ocasionada por el vertido incontrolado de las aguas de desecho durante los últimos años, los cuales afectan directamente al ambiente, la calidad de vida de la población y la actividad económica relacionada con el agua, ha aumentado la preocupación de los organismos gubernamentales del mundo por regular este problema, implementando así leyes o normas que controlen la disposición de estas aguas, obligando de esta manera, a industrias y comunidades a desarrollar sistemas de tratamiento para el control de efluentes con adecuados métodos fisicoquímicos y/o biológicos previo al vertido, para evitar la contaminación que ocasiona la pérdida de las condiciones mínimas para la sustención de un ecosistema saludable. Uno de estos sistemas son las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son diseñadas en base a las características usuales del agua a ser tratada y la combinación adecuada de los diferentes procesos y operaciones unitarias posibles, para lograr de una manera eficiente y económica, la calidad esperada del vertido.

Oxialquilados Venezolanos, C.A ( OXI, C.A) es una empresa creada a fines del año 1998, que inicialmente, sólo tenía como objetivo principal proporcionar productos y servicios a la industria petrolera, ésta nace como respuesta a la necesidad que existía en la región de contar con instalaciones capaces de tratar y disponer de las aguas residuales provenientes de los baños portátiles y del achique de pozos sépticos ubicados en el Complejo Criogénico de José, y cuyo manejo y traslado está a cargo de una empresa de servicios de la zona y se encuentra ubicada en la zona industrial

Los Montones, tercera etapa, al lado de Alimentos Súper “S” en la ciudad de Barcelona, estado Anzoátegui.

Para el tratamiento de dichas aguas, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual fue originalmente diseñada para el tratamiento de las aguas de procesos de la empresa Petrolite de Venezuela, S.A., que fue la primera en operar en las actuales instalaciones de OXI, C.A, a la misma se le hicieron las modificaciones correspondientes para adecuar el sistema al tratamiento de aguas residuales, cumpliendo con los reglamentos establecidos por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN).

En la actualidad, OXI, C.A, también está dedicada a la supervisión, operación y asesoría de plantas de tratamiento de aguas residuales modulares, las cuales procesan los efluentes residuales generados en campamentos ubicados en zonas extraurbanas, generalmente en los taladros de los pozos de perforación.

El término aguas residuales se refiere a los despojos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento. Estas aguas contienen, cantidades apreciables de compuestos extraños que son ofensivos a la fauna acuática y afectan las condiciones sanitarias de ríos, lagos y mares; por esto las aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado con la finalidad de modificar sus condiciones, físicas, químicas y microbiológicas antes de ser vertidas en las masas receptoras mencionadas, y así evitar problemas de contaminación en las aguas de recibimiento. Existen normas legales que rigen la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

Para el tratamiento de aguas residuales, existen una serie de procesos y operaciones unitarias las cuales se utilizan en combinación. Las operaciones unitarias que predominan en el tratamiento son floculación, sedimentación, flotación,

filtración, tamizado, mezcla y transferencia de gases. En cuanto a los procesos unitarios estos pueden ser químicos y biológicos. Estos últimos se basan en la actividad biológica, la cual ocasiona una transformación de los constituyentes orgánicos biodegradables en gases que escapan a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede ser removido por sedimentación. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, operan en función de los constituyentes existentes en estas aguas y en las normativas que éstas deben cumplir antes de ser vertidas, actuando en la remoción, hasta niveles legalmente establecidos de los contaminantes constituyentes de las aguas residuales, los cuales pueden ser de naturaleza física, química o biológica. Estas plantas pueden actuar siguiendo procesos unitarios, operaciones unitarias o ambos, para remover la mayoría de los entes contaminantes.

Hoy en día muchas empresas o compañías se ven en la necesidad de establecer personal, en campamentos con la finalidad de desarrollar cualquier proyecto de trabajo en zonas extraurbanas. Estos campamentos lo conforman una serie de instalaciones portátiles que servirán de residencias, oficinas, baños y comedores al personal, por lo cual es de hacer notar que en ellos se generan efluentes residuales provenientes de las actividades humanas.

En vista de que estos campamentos sólo se establecen por períodos cortos de tiempo y los desechos que generan no pueden ser arrojados de manera cruda al ambiente, debido al riesgo que esto representa para la salud e higiene del personal; se utilizan en estos casos las "plantas modulares de tratamiento de aguas residuales".

Estas manejan caudales menores y operan bajo el mismo sistema de las plantas fijas.

Oxialquilados Venezolanos, dispone de varias plantas, construidas bajo su asesoría (tecnología extranjera) y cuyas capacidades volumétricas de tratamiento son 13.300 l y 6.650 l. Estas plantas trabajan por el método de lodos activados, en su modalidad de aireación extendida el cual consiste en suministrar suficiente cantidad de oxígeno al agua residual, para lograr la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) transformando la materia orgánica en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y formas estables de nitrógeno.

Puesto que algunas veces la cantidad de personas establecidas en los campamentos no amerita una planta con tanta capacidad, la empresa ha decidido introducir en el mercado una planta de 2.839 l, es por esto que el principal objetivo de este proyecto es realizar el diseño del prototipo de esta nueva planta. Para ello es necesario entender las características fisicoquímicas y biológicas del agua de residuo, así como las normativas que regulan la disposición de dichas aguas. Este proyecto se realizará siguiendo una serie de etapas, las cuales, llevarán a dar cumplimiento a los objetivos planteados.

La planeación de las instalaciones, el diseño conceptual y el diseño preliminar constituyen las primeras etapas de un proyecto y de esto va a depender el éxito del mismo. Durante estas etapas se determinan los caudales y cargas de diseño, se seleccionan los procesos, se establecen los criterios de diseño, se examinan los puntos relacionados con la evaluación de riesgos y confiabilidad del proceso, además se distribuyen físicamente los elementos de la planta.

La importancia del diseño de este prototipo radica, en que éste será uno de los primeros, con esta capacidad, en el mercado de la zona, y que la finalidad de esta planta es cubrir zonas de poblaciones muy pequeñas, para las cuales no es necesario

una planta con mayor capacidad, lo que se traduce en un menor gasto de energía y de dinero.

En cuanto a antecedentes sobre el tema, se tiene que estas plantas son, relativamente, nuevas en la zona, por lo que no existe, aún, suficiente documentación sobre el diseño de las mismas. Se conoce que su operación es muy sencilla y que los resultados obtenidos de ellas son similares a los de una planta de tratamiento de aguas residuales de mayor tamaño.

Otro aspecto importante en la realización del proyecto es la estimación de costos, ya que todo proceso que se pone en ejecución, requiere de una inversión. En este análisis se contemplan todos los rubros más importantes para el desarrollo y culminación del proyecto. Tanto la etapa de construcción como la etapa de arranque y evaluación deben tomarse en cuenta, para la estimación, materiales, equipos, sustancias, horas hombre de trabajo, etc.

En vista de lo anterior se ha procedido a diseñar el prototipo de una planta modular para tratamiento de aguas residuales, para lo cual se espera cumplir con los siguientes objetivos:

### **1.1 Objetivo general**

Diseño del prototipo de una planta modular para tratamiento de aguas residuales.

## **1.2. Objetivos específicos**

1. Seleccionar los equipos para el proceso, de acuerdo a los parámetros de diseño.
2. Realizar diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales.
3. Establecer los costos preliminares para la construcción de la planta.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

A fines del año 1999, la empresa Oxialquilados Venezolanos, C.A., con experiencia en el tratamiento de aguas residuales, pone en marcha un proyecto de tratamiento de aguas residuales utilizando plantas modulares, en vista de que en los taladros de perforación petrolera se establecían campamentos que generaban despojos líquidos de tipo doméstico los cuales no podían ser arrojados al ambiente sin un tratamiento que permitiera disminuir hasta niveles permisibles los componentes de dichas aguas. Las primeras plantas fueron adquiridas en el extranjero y posteriormente la empresa se dedica a su construcción y mejoramiento.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas [1].

°Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjias en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgete entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron [1].

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso de lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico [1].

°El tratamiento de lodos activados fue desarrollado por Fowler, Adern, Munford y Lockett en Manchester, Inglaterra, a comienzos del siglo XIX, específicamente en



1914. Estos notaron que la cantidad de compuestos orgánicos biodegradables aplicados a un sistema biológico afecta el metabolismo de los microorganismos [2]. Este proceso se originó al observarse que al airear por un período de tiempo las aguas domésticas e industriales, el contenido de materia orgánica se redujo, y para el mismo tiempo se formó el lodo floculado, formada por una población heterogénea de microorganismos [3].

En el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, se han realizado en el área de tratamiento de aguas residuales trabajos de investigación, principalmente para su evaluación y control, pero son pocos los trabajos relacionados con el diseño, entre los que se pueden mencionar:

Troitiño [4], desarrolló un modelo matemático para simular el diseño de una planta convencional de lodos activados. En esa ocasión, las ecuaciones del modelo matemático, fueron probadas utilizando datos de la literatura bibliográfica y datos de una planta existente, en funcionamiento óptimo en la Cervecería Oriente C.A.

Márquez [5] realizó el diseño preliminar de un sistema de recuperación de solvente de limpieza, con la finalidad de disminuir los efectos negativos que tienen estos compuestos sobre el ambiente.

Arcia [6] hizo el diseño conceptual de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos generados por Colofonia y Trementina Nacional (Coltrenaca), empresa dedicada al procesamiento de resina natural de pino.

Mata [7] presentó un diseño conceptual sobre un sistema para el manejo y reutilización de los efluentes provenientes de las operaciones involucradas en el

proceso de producción de salmueras utilizadas para la rehabilitación y completación de pozos petrolíferos por la empresa OSCA de Venezuela C.A.

## **2.2 Conocimientos generales sobre el agua**

Sustancia que a la temperatura media del planeta Tierra es un líquido inodoro, insípido e incoloro, salvo en grandes cantidades, que es de color azulado; fundamental para la existencia de la vida. Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno en los que se descompone a altas temperaturas. Por su elevada constante dieléctrica puede disociar, descomponer y transportar numerosas sustancias [8].

Representa alrededor del 70 % de la superficie de la Tierra. Más del 97 % de toda el agua de la Tierra es salada y menos de un 3 % es dulce. Este último porcentaje es el que el hombre puede utilizar para beber, regar los campos, lavar la ropa, asearse, etc.

La mayor parte del agua dulce (2,4 %) esta retenida en los casquetes polares. El agua es el elemento más importante de la Tierra, sin el cual no hay vida, es el componente principal de la materia viva. Constituye del 50 al 90 % de la masa de los organismos vivos.

Una persona adulta necesita 3 litros de agua al día, ya sea como líquido o incluida en los alimentos. Además, se usa en el cuidado del cuerpo y de la casa, lo que no es esencial para la vida, pero sí para nuestra sociedad [8].

Del mismo modo, la industria depende del agua. Por ejemplo, para la fabricación de un kilo de plástico hacen falta hasta 500 litros de agua [8].

### 2.2.1 Clasificación de las aguas

De acuerdo con el decreto 883 [9], capítulo II artículo 3º, las aguas se clasifican como se presenta en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Clasificación de las aguas** <sup>[9]</sup>

Tipo 1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable siempre que ésta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.
Tipo 2	Aguas destinadas a usos agropecuarios.
Tipo 3	Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.
Tipo 4	Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.
Tipo 5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.
Tipo 6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.
Tipo 7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio adyacente.

En este proyecto se hablará de aguas clasificadas como tipo 1. Estas aguas, a su vez, se clasifican en subtipos, las cuales son explicadas en la tabla 2.2.

A los efectos de vertidos líquidos que vayan a ser descargados de manera directa o indirecta a ríos, estuarios lagos y embalses, estos deben cumplir, entre otros, con los rangos y límites máximos de calidad representados en la tabla 2.3.

**Tabla 2.2 Clasificación de las aguas del tipo 1 <sup>[9]</sup>**

Sub.-Tipo 1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub.-Tipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración
Sub.-Tipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

### 2.3 Aguas residuales

También denominadas aguas servidas, aguas usadas, o líquido cloacal; son aquellas aguas de abastecimiento, que habiendo sido usadas para fines diversos, acusan en su composición, generalmente, pequeñas cantidades de sustancias extrañas agregadas por los comercios, industrias o núcleos domésticos que las utilizan. Estas aguas antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, al límite de evitar que su disposición provoque problemas de polución y de

contaminación de las aguas de recibimiento. Dichos límites han sido descritos en la tabla 2.3.

### **2.3.1 Origen de las aguas residuales**

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de agua suelen llamarse, respectivamente: domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. Una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 15.000 litros por tonelada de acero fabricado. Si se practica el reciclado, se necesita menos agua [1].

La infiltración se produce cuando se sitúan conductos de alcantarillado por debajo del nivel freático o cuando el agua de lluvia se filtra hasta el nivel de la tubería. Esto no es deseable, ya que impone una mayor carga de trabajo al tendido general y a la planta depuradora.

La cantidad de agua de lluvia que habrá que drenar dependerá de la pluviosidad así como de las escorrentías o rendimiento de la cuenca de drenaje.

Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales entre el 60 y 80 % de sus requerimientos diarios totales, y el resto se usa para lavar coches y regar jardines, así como procesos como el enlatado y embotellado de alimentos [1].

**Tabla 2.3 Parámetros necesarios para descargar las aguas al ambiente** <sup>[9]</sup>

Oxígeno disuelto (OD)	Mayor de 4,0 mg/l
pH	Mínimo de 6 y máximo de 9
Color real	Menor de 500 unidades de Pt-Co
Turbiedad	Menor de 250, UNT
Fluoruros	5,0 mg/l
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
DBO	60 mg/l
DQO	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Fenoles	0,5 mg/l
Fósforo total	10 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 mg/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l

### **2.3.1.1 Características del agua residual doméstica**

Se refiere a la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales, la tabla 2.4 presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones de estos constituyentes se muestra la composición media del agua residual doméstica [11].

Los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia y por ello la mayoría de las instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción [12].

### **2.3.1.2 Parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica**

#### **2.3.1.2.1. Color**

Es causado por sólidos suspendidos, material 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 [12]. Un aumento de color puede deberse a iones metálicos como  $Fe^{++}$  y  $Mg^{++}$ , al igual que el lodo arcilla, plankton, vegetales en descomposición, etc. Aguas con coloraciones altas debidas a la presencia de material natural en descomposición no son consideradas como tóxicas o perjudiciales, pero son rechazadas por comparaciones antiestéticas sobretodo cuando son utilizadas para el consumo humano [13].

**Tabla 2. 4 Composición del agua residual doméstica** <sup>[12]</sup>

CONTAMINANTE	Concentración (mg/l)	CONTAMINANTE	Concentración (mg/l)
Sólidos totales	720	Carbono orgánico total	150
Sólidos suspendidos	220	Nitrógeno total	40
Sólidos disueltos	500	Nitrógeno orgánico	15
Sólidos sedimentables	10	Nitritos	0
DBO	220	Nitratos	0
DQO	500	Fósforo total	8
Fósforo orgánico	3	Alcalinidad	100
Fósforo inorgánico	5	Grasa	100
Cloruros	50	Coliformes totales	$10^7 - 10^8$
Sulfato	30	Compuestos orgánicos volátiles	100 – 400

La edad del agua residual puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual



cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegando a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica [11].

Conductividad: es la medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad, por lo tanto, el valor de la medida de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales. También es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego, es así como la salinidad de determinada agua residual tratada que se desea usar para riego se establece la medición de esta [12].

#### **2.3.1.2.2. Cloro libre**

Durante el tratamiento de las aguas residuales se hace necesario la desinfección de las aguas ya tratadas, el cloro posee un alto poder antibacterial, por ello es aplicado en forma de hipoclorito y éste es posible detectarlo en cualquier agua que haya estado en contacto con él. El cloro aplicado al agua en forma de hipoclorito sufre una hidrólisis hasta transformarse en cloro libre, éste reacciona con el agua para formar ácido clorhídrico e hipocloroso. Altas concentraciones de cloro pueden intensificar el olor y sabor característicos de los fenoles y formar compuestos cancerígenos como el cloroformo [10].

#### **2.3.1.2.3. Densidad**

Se define como la masa por unidad de volumen y se expresa como g/l, es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades

de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no contiene cantidades significativas de desechos es prácticamente de igual valor a la del agua a una misma temperatura.

En algunos casos, la gravedad específica del agua, se emplea en lugar de la densidad. Tanto la densidad como la gravedad específica dependen de la temperatura y de la concentración de sólidos totales presentes en las aguas residuales [12].

#### **2.3.1.2.4 Fosfatos**

Trazas de fosfato, presentes en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, incrementan la tendencia en las aguas de recibimiento de la proliferación de algas que más tarde pueda interferir con la calidad de esas aguas y con su comportamiento, al ser relacionadas para usos relacionados con el abastecimiento municipal. Como regla general se suelen reportar tan solo los fosfatos solubles [10].

#### **2.3.1.2.5. Nitrógeno**

La determinación del nitrógeno en sus distintas formas (nitrógeno orgánico, amoniacal, de nitritos y nitratos) en aguas residuales es de particular interés en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con el objeto de conocer el grado de transformación que puedan causar los líquidos tratados; y para predecir, de acuerdo al estado de concentración de los compuestos nitrogenados, el grado de eutrofización a que pueden ser sometidos los receptores finales [10].

Los nitritos y nitratos entran al agua vía ciclo del nitrógeno, más que a través de minerales disueltos.

El nitrato presenta la fase más alta de oxidación del ciclo del nitrógeno; normalmente alcanza estas concentraciones en las etapas finales de la oxidación química biológica. En aguas superficiales se presenta en mínimas cantidades, pero en aguas provenientes de pozos alcanza concentraciones por arriba de 20 mg/l.

El nitrato sirve como fertilizante y en los campos abonados, algún exceso pasa por infiltración de los terrenos permeables a las aguas de los pozos abiertos de la vecindad. En consecuencia mucho del nitrato encontrado en estas fuentes tienen su origen en labores agrícolas [13].

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteína, por ello se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente será necesario adicionarlo para lograr que el agua residual sea tratable.

El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ión amonio como en forma de amoníaco, dependiendo del pH de la solución, de acuerdo con la siguiente reacción de equilibrio [12]:



Para valores de pH superiores a 9,3 el equilibrio se desplaza hacia la derecha predominando el amoniaco, mientras que para valores por debajo de 9,3 existe un predominio de la concentración del ión amonio.

#### **2.3.1.2.6. Ph**

Se denomina potencial de hidrógeno o pH. Determina la concentración de iones  $H^+$  presente en la solución otorgándole un carácter ácido o básico de acuerdo a los aniones presentes en el agua que entra a reaccionar con el hidrogeno disponible.

Un agua muy ácida (pH bajo) o básica (pH alto), es perjudicial para destinarla a cualquier uso, sea para uso agrícola, recreacional o de consumo, posee un sabor desagradable y degrada los suelos donde es asperjada. Lo ideal es un agua con un pH neutro entre 6 y 7 [13].

Es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ión hidrógeno inadecuado presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ión hidrógeno en las aguas naturales si ésta no es modifica antes de la evacuación de las aguas.

La concentración del ión hidrógeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua [11].

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante

procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH [12].

#### **2.3.1.2.7. Salinidad**

Es el parámetro de mayor importancia a la hora de determinar la aptitud de un agua para su uso en un sistema de riego. La presencia de sales afecta el crecimiento de las plantas por tres mecanismos [14]:

- 1) Efectos osmóticos, provocado por la concentración total de sales en el agua del suelo.
- 2) Toxicidad de iones específicos, provocada por la concentración de un ión determinado.
- 3) Dispersión de las partículas de suelo, provocada por la presencia importante de sodio y por una baja salinidad.

#### **2.3.1.2.8. Sólidos**

La materia sólida presente en los líquidos residuales, que mide la concentración y estado físico de los constituyentes del líquido cloacal, es de interés para determinar la presencia de aquellos sólidos que por naturaleza le comunican propiedades indeseables al agua.

Su concentración permite predecir, en base a la eficiencia de las distintas etapas de tratamiento que se estimen como necesarias, el menor o mayor grado de purificación esperado [10].

Los sólidos a medir en la planta de tratamiento son:

#### **2.3.1.2.8.1. Sólidos disueltos**

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestas de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua.

No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación [10].

Estos sólidos pueden ser parcialmente removidos, o transformados mediante la acción biológica de microorganismos que los utilizan como substratos solubles en su mecanismo metabólico.

#### **2.3.1.2.8.2. Sólidos totales**

Analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C., no se define como sólida aquella materia que se pierde en la evaporación debido a su alta presión de vapor [10].

#### **2.3.1.2.8.3. Sólidos suspendidos**

Indican la cantidad en peso del material en suspensión que contenga la solución. Pueden ser generalmente removidos, mediante la aplicación de métodos de tratamiento físicos sencillos.

#### **2.3.1.2.8.4. Sólidos sedimentables**

Porción de sólido removible por decantación, representados por los sólidos que se decantan por una hora en un cilindro de altura específica. Esa cantidad puede ser medida volumétrica o gravimetricamente. Es muy conveniente para el control de la operación de las plantas de tratamiento. Esta determinación, puede en efecto, dar idea de la cantidad de sólidos que pueden ser removidos de los procesos ordinarios de sedimentación simple [10].

#### **2.3.1.2.8.5. Sólidos suspendidos volátiles**

Su determinación es útil para el control de operación d plantas de tratamiento de aguas de desecho, debido a que ofrece una estimación aproximada de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida de las aguas de desecho, en los lodos activados y en los desechos industriales. Estos constituyen mayormente, los sólidos orgánicos presentes en el líquido residual doméstico sin tratamiento. La prueba para determinar este parámetro informa sobre los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM) que ha usado la población microbiológica activa para absorber y degradar la materia orgánica soluble de los residuos [15].

### **2.3.1.2.9. Sulfuros**

Cuando son determinados en los líquidos residuales domésticos, permiten conocer a cerca de las siguientes formas significativas: sulfuros totales, sulfuros disueltos, luego de ser removidos los sólidos suspendidos esta determinación puede ser de interés para conocer sobre el comportamiento del líquido residual doméstico o sobre su mayor o menor estado de septización, cuando se considera la posibilidad de aplicar a las aguas residuales, pretratamientos que convierten el despojo en un líquido mas fácilmente tratable [10].

### **2.3.1.2.10. Temperatura**

En el agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua de abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varia de 7 a 8 °C, mientras que en las regiones cálidas la variación será de 13 a 30 °C

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por que afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos [12].

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la



temperatura, combinado con la disminución del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortalidad de la vida acuática. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existían en un cuerpo receptor. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Los procesos de digestión anaeróbica 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 nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5 °C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar [12].

#### **2.3.1.2.11. Turbidez**

Es una expresión de propiedad que posee la luz de dispersarse y ser absorbida en lugar de viajar en línea recta a través de un medio, las partículas en suspensión como las de carbono orgánico presente en las muestras pueden absorber la luz y aumentar significativamente las cifras de turbidez [13].

Una turbidez alta hace dudar de la potabilidad del agua, debido al alto contenido de materia en suspensión que ésta puede tener, disminuyendo el contenido

de oxígeno disuelto y aumentando la concentración de cloro necesario para desinfectar la solución.

Puede ser ocasionada por la arcilla, limo, descarga de aguas residuales domésticas o industriales o por la presencia de gran número de microorganismos.

Como medida de las propiedades de la transmisión de la luz de un agua es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión [11].

### **2.3.2 Constituyentes de las aguas residuales**

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. En la tabla 2.5 se muestra esta clasificación de acuerdo con las características de cada componente [12].

En general, el líquido cloacal contiene un 99 % o más de agua. La materia sólida está constituida por los desechos sólidos que normalmente proviene de las edificaciones que sirven el sistema cloacal: fibras de papel (celulosa), jabón, aceites y grasas; residuos de alimentos de variada procedencia y composición; heces, orina; materia mineral insoluble (arena, arcilla, grava) y otros.

Entre las sustancias orgánicas mayormente hidratos de carbono, lignita, grasas y jabones (sales metálicas de los ácidos grasos); detergente sintético; proteínas y sus productos de descomposición. Hidróxido de amonio y sales amoniacaes, resultado de la descomposición de complejos orgánicos nitrogenados. Indol y escatol, por cierto que contribuyendo notoriamente a la producción de malos olores por partes de las aguas cloacales en estado de descomposición.

Entre los hidratos de carbono: celulosa, almidón y azúcares (sacarosa, lactosa, glucosa y pentosa). Entre los productos de descomposición de proteínas: úrea, glicina (aminoácidos), sisteina (aminoácidos conteniendo azufre). Además de tales compuestos los líquidos cloacales domésticos acusan un alto contenido de compuestos minerales provenientes del agua de abastecimiento del cual ellas derivan (sulfatos, carbonatos de sodio, calcio y magnesio; nitratos, etc.).

La composición acusada por los líquidos cloacales de origen doméstico es muy variable en razón de la diversidad de factores que la afectan. Entre estos, principalmente, el consumo medio de agua por persona y por día, por cuanto determina, preferentemente su concentración (cantidad), y la dieta de la población tributaria que caracteriza apreciablemente su composición química (calidad) [10].

El contenido tiene mucho que ver con su comportamiento, con relación a los cambios que pudieran esperarse. Tal contenido se mide mas bien por su potencia polucional, mediante ciertos métodos aprobados, que por sus componentes específicos. Por ejemplo: el método que mide la DBO da a conocer su déficit de oxígeno y no propiamente el contenido [10].

### **2.3.3 Propiedades ofensivas de las aguas residuales**

Las sustancias residuales que aparecen formando parte de los líquidos cloacales pueden estar presentes como disueltas suspendidas o en un estado físico intermedio denominado coloidal.

Estas sustancias pueden ser de naturaleza mineral u orgánica. Las primeras no constituyen un problema para la disposición de las aguas, pero, en las segundas, en cambio, las materias orgánicas presentes, en una mayor proporción que las minerales,

le comunican propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados a esta agua, en especial saprofiticos, alimentándose sobre materia orgánica muerta, atacan esos complejos orgánicos destruyéndolos o estabilizándolos parcialmente a través de una serie de descomposiciones, que le comunican malos olores y apariencia física objetable [9].

La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hacen que esas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobretodo al ser descargadas en la superficie de la tierra, en el subsuelo o masas de agua superficiales.

Es el caso de presencia de bacterias del grupo entérico capaces de producir enfermedades de origen hídrico, tales como la fiebre tifoidea, paratifoideas, disentería colibacilar y cólera; la presencia de virus responsables de otras enfermedades de carácter epidémico como la poliomielitis y la hepatitis infecciosa; y la existencia de otros microorganismos que, como ciertos protozoarios y trematodes, son responsables de la existencia de otras infecciones del organismo humano, como la disentería amibiana y la bilharziasis [9].

#### **2.3.4 Crecimiento bacteriano**

El control efectivo del medio en que se desarrolla el tratamiento biológico del agua residual se basa en la comprensión de los principios fundamentales que rigen el crecimiento de los microorganismos.

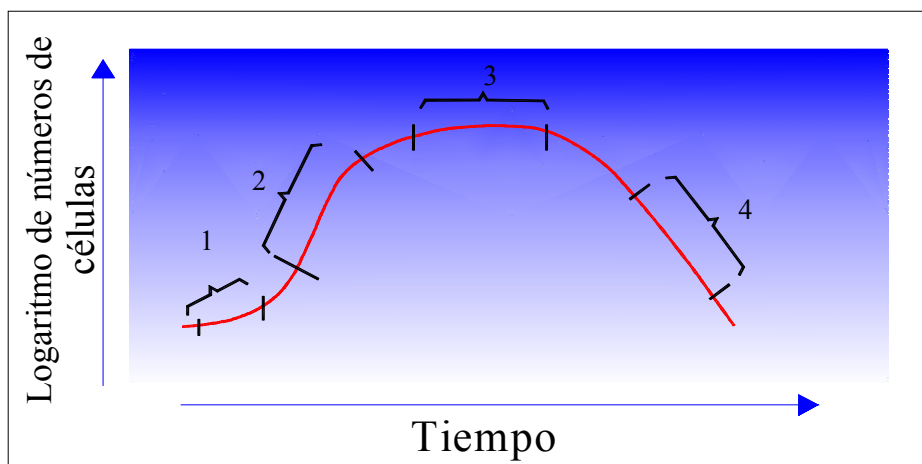
Crecimiento en términos de números de bacterias: la forma general en que se produce el crecimiento de las bacterias en un cultivo discontinuo que se muestra en la figura 2.1 Inicialmente, se inocula un pequeño número de organismos viables en

función del tiempo. El modelo del crecimiento basado en el número de células consta, más o menos, de cuatro fases diferenciadas [12]:

**Tabla 2.5. Constituyentes de las aguas residuales según sus características**

[12]

Características	Constituyentes
Físicas	Sólidos: totales, volátiles totales, fijos totales, suspendidos totales, suspendidos volátiles, suspendidos fijos, disueltos totales, disueltos volátiles, disueltos fijos totales, sedimentables; turbiedad; color; olor; temperatura; densidad y conductividad.
Químicas inorgánicas	Amonio libre, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, nitritos, nitratos, fósforo total, fósforo inorgánico, fósforo orgánico, pH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, metales, gases.
Químicas orgánicas	Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, carbono orgánico total.
Biológicas	Organismos coliformes, microorganismos específicos.



**Figura 2.1 Curva de crecimiento bacteriano** [12]

a.1. *Fase de retardo (1)*: tras la adición de un inóculo en medio de cultivo, la fase de retardo representa el tiempo necesario para que los organismos se aclimaten a las nuevas condiciones ambientales y comiencen a dividirse.

a.2. *Fase de crecimiento exponencial (2)*: durante esta fase, la célula se divide a una velocidad determinada por su tiempo de generación y su capacidad de procesar alimentos (tasa constante de crecimiento porcentual).

a.3. *Fase estacionaria (3)*: en esta fase, la población permanece constante. Las razones que se apuntan para la explicación de este fenómeno son las siguientes:

Las células han agotado el sustrato o los nutrientes necesarios para el crecimiento.

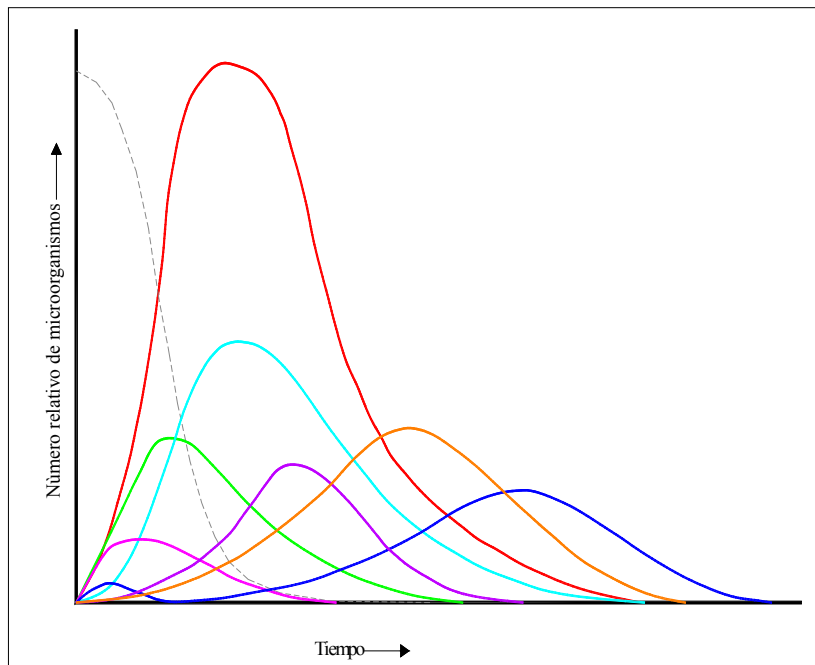
La generación de células nuevas se compensa con la muerte de las células viejas.

a.4. *Fase de muerte exponencial (4)*: durante esta fase, la tasa de mortalidad de bacterias excede la generación de células nuevas. La tasa de mortalidad suele ser en función de la población viable y de las características ambientales.

Las condiciones de pH y temperatura tienen un papel importante en la supervivencia y el crecimiento de las bacterias. A pesar que las bacterias pueden sobrevivir en un intervalo bastante amplio en valores de temperatura y de pH, el crecimiento óptimo se suele producir en un intervalo muy restringido de valores de estos dos parámetros. Las temperaturas por debajo de las óptimas tienen efectos más importantes sobre el crecimiento bacteriano que las superiores a ella, cada bacteria

posee una temperatura óptima. La mayoría de las bacterias no toleran niveles de pH por debajo de 4,0 ni superiores a 9,5 [11].

En la figura 2.2, se detalla la manera en la cual ocurre el crecimiento relativo de los microorganismos en el curso de la estabilización de un residuo orgánico en un medio líquido.



**Figura 2.2 Crecimiento relativo de los microorganismos en el curso de la estabilización de un residuo orgánico en un medio líquido [11]**

El proceso que permite a los microorganismos crecer y obtener energía es complejo; existen muchas vías y ciclos. El metabolismo bacteriano, el cual abarca todas las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la célula, esto se ilustra en forma simplificada en la figura 2.3. Las dos reacciones principales que conforman el proceso metabólico se conocen como: 1) reacciones catabólicas y 2) reacciones anabólicas. Las reacciones catabólicas producen la descomposición de moléculas orgánicas complejas en sustancias simples, junto con la liberación de energía. Las

reacciones anabólicas permiten la formación de más moléculas complejas, y generalmente requieren energía. La energía para las reacciones anabólicas se obtiene de las reacciones catabólicas [12].

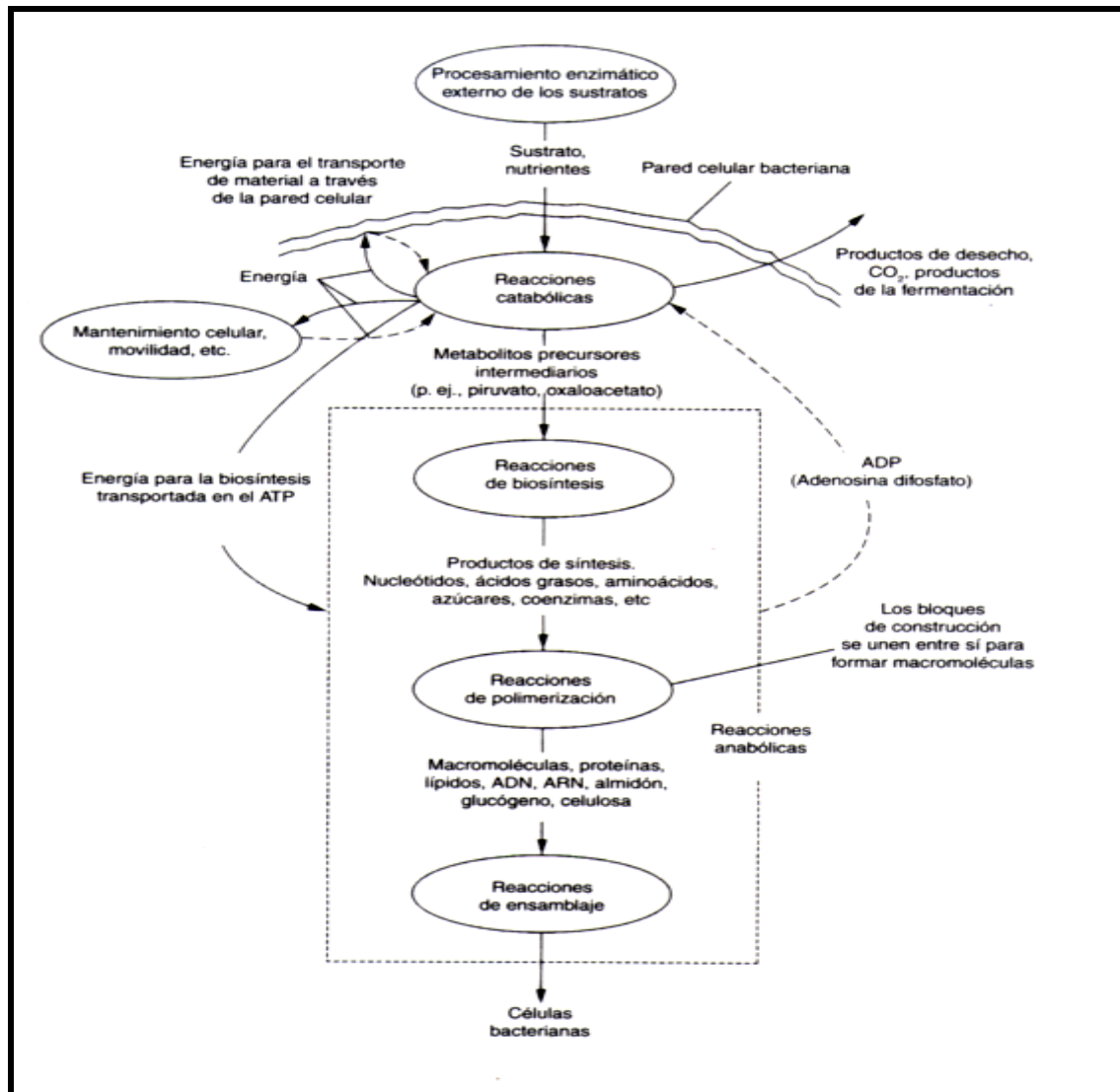


Figura 2.3 Representación esquemática del metabolismo bacteriano compuesto principalmente por reacciones catabólicas y anabólicas [12]



### **2.3.5 Caracterización de las aguas residuales**

Los parámetros más importantes en la caracterización de aguas residuales, tratadas y no tratadas para estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD) y carbono orgánico total (COT) [16].

#### **2.3.5.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la oxidación de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio.

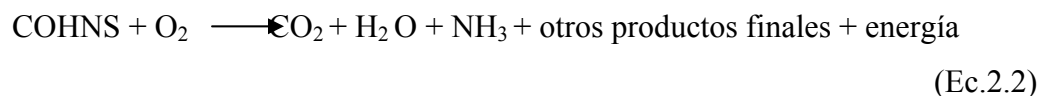
La DBO es el parámetro más usado para evaluar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Ésta representa, indirectamente, una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua, y es usada frecuentemente para conocer el poder polucional que los líquidos que acusan tales demandas. Indica el requerimiento de oxígeno molecular que las aguas deben suplir para que la descomposición pueda llevarse a cabo bajo condiciones aerobias; aguas sometidas a tratamientos biológicos, o receptores a los cuales se desea preservar, parcialmente, su contenido de oxígeno disuelto. Cualquier reducción de su contenido presupone una eliminación parcial o transformación de la materia orgánica, presente en las aguas residuales y en consecuencia, una reducción de su poder polucional [10].

El método de medición de DBO, es usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido.

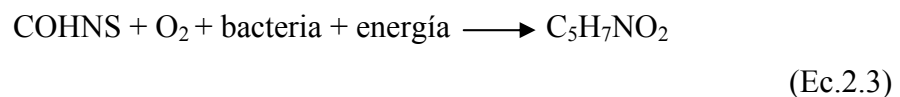
Tres actividades mas o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular; este tercer proceso es llamado respiración endógena.

El término empleado para representar los desechos orgánicos es COHNS (el cual representa los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre), y para el tejido celular es  $C_5H_7NO_2$ . Los tres procesos se definen por las siguientes reacciones químicas [12]:

### **Oxidación**



### **Síntesis**



### **Respiración endógena**



Si se considera sólo la oxidación del carbono orgánico presente en el desecho, el oxígeno requerido para completar las tres reacciones anteriores es llamado DBO última y se denota DBOU. Esta se calcula recurriendo a los coeficientes cinéticos y es por ello que para mayor rapidez, y facilidad se utilizan las pruebas de laboratorio. La DBO<sub>5</sub> es el parámetro de contaminación orgánica mas ampliamente empleado, aplicable tanto a las aguas residuales como a aguas superficiales. La DBO<sub>5</sub> es la calculada mediante la prueba estándar de laboratorio que se lleva a cabo por 5 días a 20 °C [12].

#### **2.3.5.2 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Representa una medida de la cantidad de materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales. Es utilizada, al igual que la DBO, como expresión del poder polucional del agua.

La DQO está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos (con raras excepciones) pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua, mediante acción, en medio ácido, de agentes fuertemente oxidantes. Por esto los valores de la DQO son mayores que los de la DBO [10].

#### **2.3.5.3 Oxígeno disuelto (OD)**

Puede indicar el grado de frescura o ranciedad de las aguas residuales, así como la necesidad de preverles facilidades para un adecuado control de sus olores. Es

considerado, en unión de la DBO, la determinación más significativa para los líquidos cloacales y para las aguas receptoras. El OD indica entre otras cosas: el estado de septización y potencialidad de los líquidos cloacales en producir malos olores; la calidad de las aguas receptoras en aceptar o no determinadas formas de vida acuáticas necesarias para mantener un equilibrio ecológico del sistema y como fuentes productora de alimentos; y para estimar la actividad fotosintética de las masas hídricas [10].

#### **2.3.5.4 Carbono orgánico total (COT)**

Este parámetro, puede usarse como medida de grado de polución en receptores acuáticos, y en algunos casos ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO [10].

#### **2.3.6 Depuración de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos. Existen diversos niveles y métodos para el tratamiento de esta agua y se presentan a continuación:

##### **2.3.6.1 Niveles de tratamiento**

Son todas aquellas etapas requeridas en el tratamiento, antes que el agua residual tratada pueda ser utilizada o vertida en el ambiente. Estos niveles son [12]:

**Preliminar:** remoción de constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento con los procesos y operaciones de tratamiento, y sistemas auxiliares.

**Primario:** remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendidas presentes en el agua residual.

**Primario avanzado:** remoción intensiva de sólidos suspendidos y materia orgánica presentes en el agua residual, en general llevada a cabo mediante la adición de insumos químicos o filtración.

**Secundario:** remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. La desinfección también se incluye dentro del concepto de tratamiento secundario convencional.

**Secundario con remoción:** remoción de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto).

**Terciario:** remoción de sólidos suspendidos residuales, en general por filtración en medio granular. La desinfección hace siempre parte del tratamiento terciario, incluyéndose a menudo en esta definición la remoción de nutrientes.

**Avanzado:** remoción de materiales disueltos o en suspensión que permanecen después del tratamiento biológico convencional. Este nivel se aplica en casos donde se requiere reutilizar el agua tratada o en el control de eutroficación de fuentes receptoras.

### 2.3.6.2 Métodos de tratamiento

Los constituyentes presentes en el agua residual se remueven por mecanismos de tipo físico, químico y biológico. Los métodos se clasifican por lo general en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. En los sistemas de tratamiento se realizan combinaciones de estas operaciones y procesos. A continuación se describen estos procesos y operaciones [12]:

**Operaciones físicas unitarias:** son aquellos métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas. Se cuentan como ejemplos de operaciones físicas unitarias la floculación, sedimentación, flotación, filtración, tamizado, mezcla y transferencia de gases.

**Procesos químicos unitarios:** son aquellos en los cuales la remoción o transformación de contaminantes se produce por adición de insumos químicos o por reacciones químicas. Los procesos de precipitación, adsorción y desinfección se catalogan como procesos químicos unitarios.

**Procesos biológicos unitarios:** son los métodos de tratamiento en donde la remoción de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de los procesos biológicos unitarios es la remoción de constituyentes orgánicos biodegradables de las aguas residuales. Estas sustancias se transforman en gases que escapan a la atmósfera, y en tejido celular biológico que puede ser removido por sedimentación. Los tratamientos biológicos se emplean también para remover nutrientes (nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales. Con el paso de los años se ha encontrado que, con análisis adecuado y control ambiental, casi todas las aguas residuales se pueden tratar biológicamente.

Los principales procesos que se utilizan en el tratamiento biológico de las aguas residuales pueden clasificarse con respecto a su función metabólica en procesos aerobios, anaerobios, anóxicos, facultativos y combinados. Los procesos individuales se realizan en sistemas de crecimiento en suspensión, sistemas de película bacterial adherida y en combinaciones de ellos. Los sistemas de crecimiento en suspensión, son procesos de tratamiento biológico en los cuales los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejido celular se mantienen suspendidos dentro del líquido. Mientras que los sistemas de película bacterial adherida son procesos de tratamiento biológico en los cuales los microorganismos, que son responsables de la materia orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejidos celulares, se encuentran adheridos a un medio inerte, como rocas, desechos o cerámica especialmente diseñada y materiales plásticos [12]. Por ejemplo, un proceso de tratamiento aerobio puede ser con crecimiento en suspensión o crecimiento de película bacterial adherida. Estos son [12]:

**Procesos aerobios:** procesos en el tratamiento biológico que ocurren en presencia de oxígeno.

**Procesos anaerobios:** procesos en el tratamiento biológico que ocurren en ausencia de oxígeno.

**Procesos anóxicos:** proceso por medio del cual el nitrógeno de los nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno. Este proceso se conoce también, como desnitrificación anóxica.

**Procesos facultativos:** procesos de tratamiento biológico en los cuales los organismos pueden actuar en ausencia de oxígeno molecular.

**Procesos combinados o híbridos:** combinaciones diferentes de procesos aerobios, anaerobios y anóxicos agrupados con el fin de conseguir un objetivo particular.

#### **2.4. Lodos activados**

Es un proceso biológico aerobio de crecimiento en suspensión, comúnmente usado en el tratamiento de aguas residuales, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas residuales se mezclan íntimamente en un medio favorable por un periodo de tiempo, para lograr la descomposición aerobia de los sólidos. La materia orgánica degradable, que se encuentra en el agua residual, se estabiliza por la acción de las bacterias, que utilizan esa materia a manera de alimento, ya que de ella obtienen la energía que requieren para mantenerse vivas y reproducirse.

Este proceso consiste en la agitación de una mezcla de agua residual con 15 % o más de lodo líquido, bacteriológicamente activo, en presencia de una gran cantidad de oxígeno atmosférico, durante el tiempo preciso para lograr la degradación de las materias orgánicas, seguido de una sedimentación adecuada para lograr la separación del lodo floculado, el cual se recircula hacia el inicio del tanque de aireación para mezclarlo de nuevo con el agua residual, y una posterior cloración. En este proceso se produce continuamente lodos activados nuevos de cuyo exceso es necesario deshacerse de manera periódica, dependiendo de las cantidades generadas [10].

El sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas modulares es de lodos activados en su modalidad de aireación extendida. Ésta consiste en la inyección directa de aire, por medio de difusores, que provee el oxígeno necesario para el proceso de degradación [10].



### 2.4.1 Microbiología del proceso de lodos activados

Para proyectar un sistema de lodos activados correctamente y con las debidas garantías de un buen funcionamiento, es necesario comprender la importancia de los microorganismos dentro del sistema. En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. En el reactor (tanque de aireación) las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas. En realidad, sólo una parte del residuo original se oxida a compuestos de bajo contenido energético tales como el  $\text{NO}_3^-$ , el  $\text{SO}_4^{2-}$  o el  $\text{CO}_2$ ; el resto se sintetiza en forma de materia celular [11].

Por otro lado, del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico del afluente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son, igualmente, importantes en el sistema de lodos activados. Por ejemplo, los protozoos y rotíferos ejercen una acción de refinado de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado.

También es importante el que formen un flóculo adecuado, puesto que este punto constituye un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la instalación de sedimentación.

Aunque se obtenga una excelente formación de flóculos, el efluente del sistema podría tener un alto contenido de sólidos biológicos, como consecuencia de un mal diseño de la unidad de sedimentación secundaria, mal funcionamiento de los

dispositivos de aireación, o por la presencia de organismos filamentosos como el *Sphaerotilus*, los *Escherichia coli* u hongos [11].

#### **2.4.2 Clasificación de los procesos de lodos activados**

Los procesos principales de lodos activados se pueden clasificar como lo muestra la figura 2.4. Los tipos principales de lodos activados usados para comunidades pequeñas son variaciones del proceso de aireación extendida. Dentro de la categoría de aireación extendida hay varios procesos que pueden operar de modo cíclico y ser usado para la remoción biológica de nutrientes [12].

El proceso de aireación extendida es similar al proceso convencional de flujo de pistón, excepto que éste opera en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, la cual requiere una carga orgánica baja y un tiempo de aireación largo. El proceso se usa extensivamente para plantas compactas prefabricadas para comunidades pequeñas.

El proceso de flujo pistón convencional, es un proceso de lodos activados, para comunidades grandes, en el cual el agua residual sedimentada y el lodo activado recirculado entran en el inicio del tanque de aireación y se mezcla por medio de difusores de aire o por aireación mecánica. La aplicación del aire generalmente es uniforme a lo largo del tanque durante el periodo de aireación ocurre adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica [10].

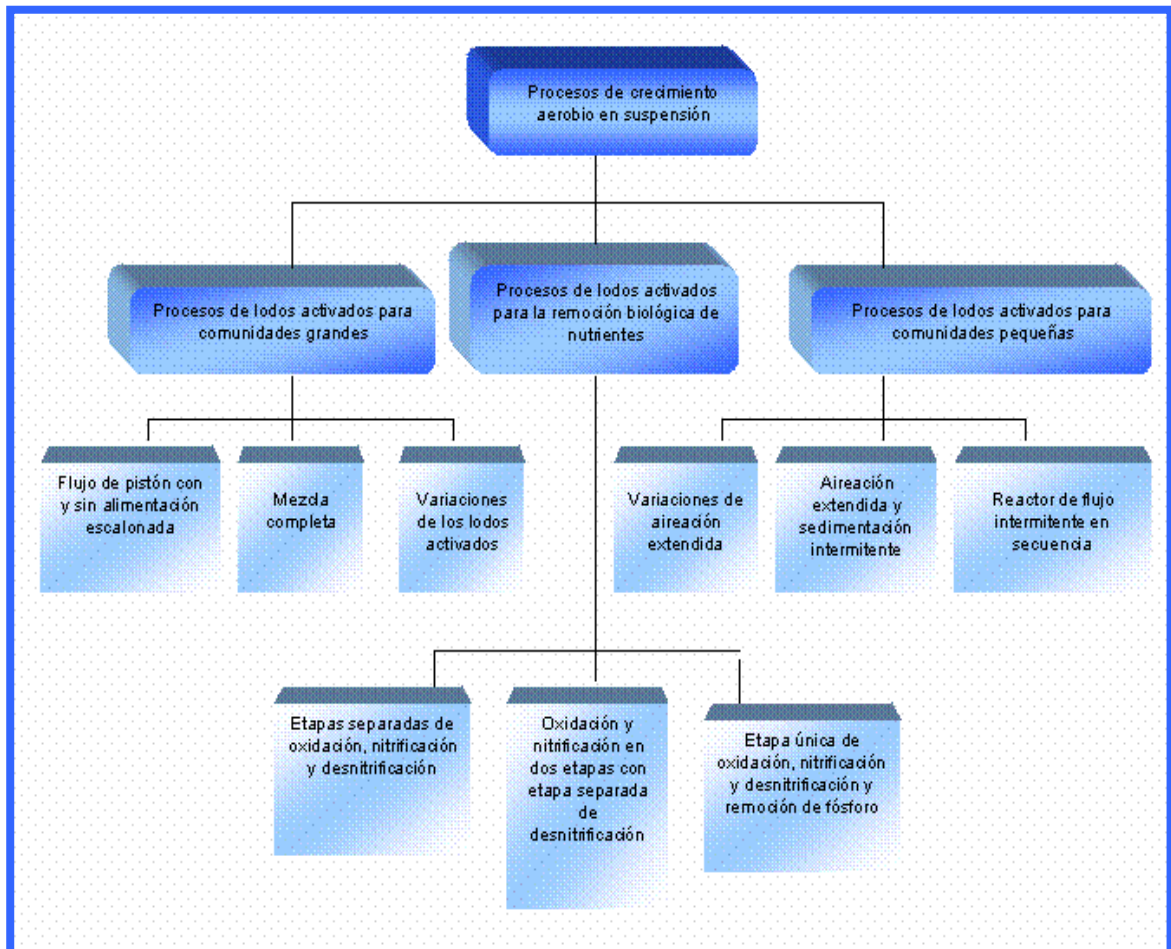
La modalidad de este proceso es que es de oxidación total, una modificación del sistema de lodos activados, esta pretende comparándola con el sistema de lodos activados convencional, minimizar la cantidad de lodo en exceso, lo cual se logra incrementando el tiempo de residencia, así el volumen del reactor es

comparativamente mayor que para el proceso convencional de lodos activados. Como resultado, todo el lodo degradable formado se consume por respiración endógena [14].

Una de las mayores ventajas del sistema de aireación extendida es que proporciona el tiempo adecuado para la estabilización del material producido por las células bacterianas [14].

En el proceso de aireación extendida el tiempo de retención es mayor que en el proceso de lodos activados convencional. Además la carga orgánica, expresada en términos de la razón de alimento para los microorganismos (F/M), es menor, está generalmente entre 0,10 y 0,25, mientras que los valores del proceso convencional de lodos activados oscilan entre 0,3 y 0,7 [14].

También existe una mayor concentración de sólidos biológicos en el aireador, encontrándose entre el rango de 3500 y 5000 mg/l para aireación extendida en comparación a 2000 y 4000 mg/l para el proceso de lodos activados convencional. Estas consideraciones traen como consecuencia condiciones de inanición para los microorganismos, obteniéndose una reducción de la concentración de sólidos volátiles en el licor mezclado (MLVSS), mediante las condiciones de respiración endógena, y por lo tanto se obtiene también una minimización de la acumulación de lodos [4].



**Figura 2.4. Clasificación de los procesos de lodos activados<sup>[9]</sup>**

### 2.4.3 Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados

#### 2.4.3.1 Rejillas

Forman parte del proceso de tamizado grueso, la cual es una operación usada para el tratamiento preliminar de aguas residuales y efluentes sépticos. Éstas se usan

para la remoción de palos, trapos y demás escombros presentes en aguas residuales crudas (partículas mayores de 15 mm).

La presencia de partículas de gran tamaño en el agua residual ocasiona problemas mecánicos en bombas y demás equipos de la planta de tratamiento. Las rejillas, constituyen un equipo de tamizado, el cual es por lo general la primera operación encontrada en una planta de tratamiento de aguas residuales; estos equipos constan, en esencia, de barras o varillas paralelas, o alambres de tamaño uniforme.

Las rejillas, generalmente, tienen aberturas (separación entre barras) superiores a 12,5 mm. En los procesos de tratamiento de agua residual, las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños, y obstrucciones ocasionados por objetos de gran tamaño como trapos y palos [12].

Los elementos separadores pueden estar constituidos por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas; y las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque generalmente suelen ser ranuras rectangulares u orificios circulares. Los elementos formados por varillas o barras paralelas reciben el nombre de rejas de barrotes, mientras que las placas perforadas y mallas metálicas de sección cuneiforme se denominan tamiz.

La función que desempeñan rejas y tamices se conoce con el nombre de desbaste, y el material separado en esta operación recibe el nombre de basuras o residuos de desbaste [11].

#### **2.4.3.2 Tanque de aireación o reactor**

Estructura donde el desagüe y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. Se produce reacción biológica [17]. Cámara donde

se lleva a cabo el proceso de lodos activados, en el que los organismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos de las aguas residuales, se mezclan íntimamente en un medio favorable, para lograr la descomposición aeróbica de los sólidos.

El contenido orgánico presente en el agua residual doméstica será oxidado a través de la actividad metabólica de la biomasa, por lo cual se hace necesario mantener un ambiente aeróbico en el reactor mediante la inyección de aire a gran volumen y baja presión a fin de garantizar la mezcla completa de sólidos y la concentración adecuada de oxígeno disuelto [12].

#### **2.4.3.3 Tanque sedimentador**

Cámara en la cual el desagüe del mezclado procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desagüe tratado clarificado [17]. En éste se lleva a cabo el proceso físico, mediante el cual se obtiene la separación de las materias sólidas, que se encuentran en la solución acuosa (también conocida como decantación), se realiza por medio de la fuerza de gravedad, las partículas sólidas caen por su propio peso al fondo del recipiente que lo contiene (diferencia de densidad entre los sólidos y el agua). Depende del tamaño y la forma de las partículas, así como también de la temperatura del agua y que ella esté en reposo.

#### **2.4.3.4 Cámara de desinfección o clorinador**

Equipo del proceso químico, donde se pone en contacto el agua residual tratada, proveniente del sedimentador, con cloro para lograr su desinfección, destruyendo o

disminuyendo los microorganismos de significación sanitaria, o para oxidar modificando el carácter químico del agua, o ambos (desinfección y oxidación).

En esta etapa se pretende lograr la desinfección del agua, control de olor y sabor a la salida de la planta, y prevención del crecimiento de algas y otros microorganismos. El residual de cloro a mantener en cualquier momento debe estar entre un rango de 0,5 y 2,0 mg/l [17]. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Las enfermedades típicas transmitidas por el agua son: el tifus, el cólera, el paratífus y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen, entre otras, la poliomeilitis, y la hepatitis infecciosa.

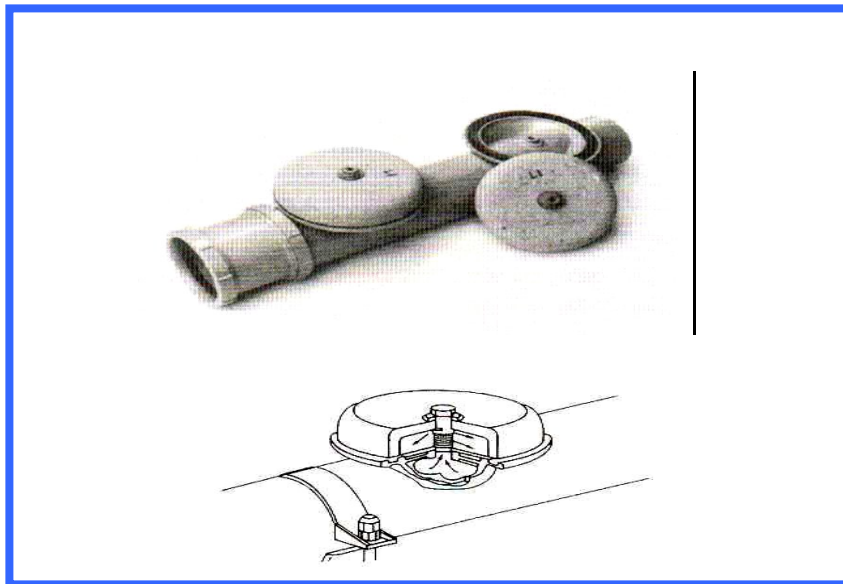
En el caso de las plantas modulares de lodos activados en su modalidad de aireación extendida, éstas usan pastillas de hipoclorito de calcio para la desinfección. El hipoclorito de calcio  $[\text{Ca} (\text{OCl})_2]$  posee una alta toxicidad para los microorganismos, alta solubilidad, es relativamente estable, es homogéneo, posee una alta penetración y es de un costo moderadamente bajo.

El  $[\text{Ca} (\text{OCl}_2)]$ , contiene por lo menos un 70 % de cloro disponible. Debido a su potencial de oxidación, el hipoclorito de calcio, se debe almacenar en lugares frescos y secos, alejado de otros productos químicos, en contenedores resistentes a la corrosión.

#### **2.4.3.5 Equipo de aireación**

Es aquel que mediante la inyección directa provee el oxígeno necesario para activar las bacterias heterotróficas. Éste, está compuesto por difusores de aire que son alimentados por medio de un soplador-motor [17].

La inyección de aire con difusores involucra la introducción de aire bajo presión en el tanque de aireación a través de platos difusores o de otros aparatos apropiados. El aire suministrado en el reactor sirve para mantener los contenidos de éste, bien mezclados [12]. En las figuras 2.5 y 2.6 se pueden ver los aereadores de domo poroso y los difusores de aire.



**Figura. 2.5 Aireadores de domo poroso** [12]

#### **2.4.3.6 Sistema de retorno de lodos**

El propósito de este sistema es mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación, y una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retornados al tanque de aireación.

Unido al tanque sedimentador se encuentra un tanque de retorno de lodos, el cual se comunica con el tanque sedimentador por la parte inferior de la pared que los divide. Éste se comunica con el reactor por medio de un orificio que está en el centro

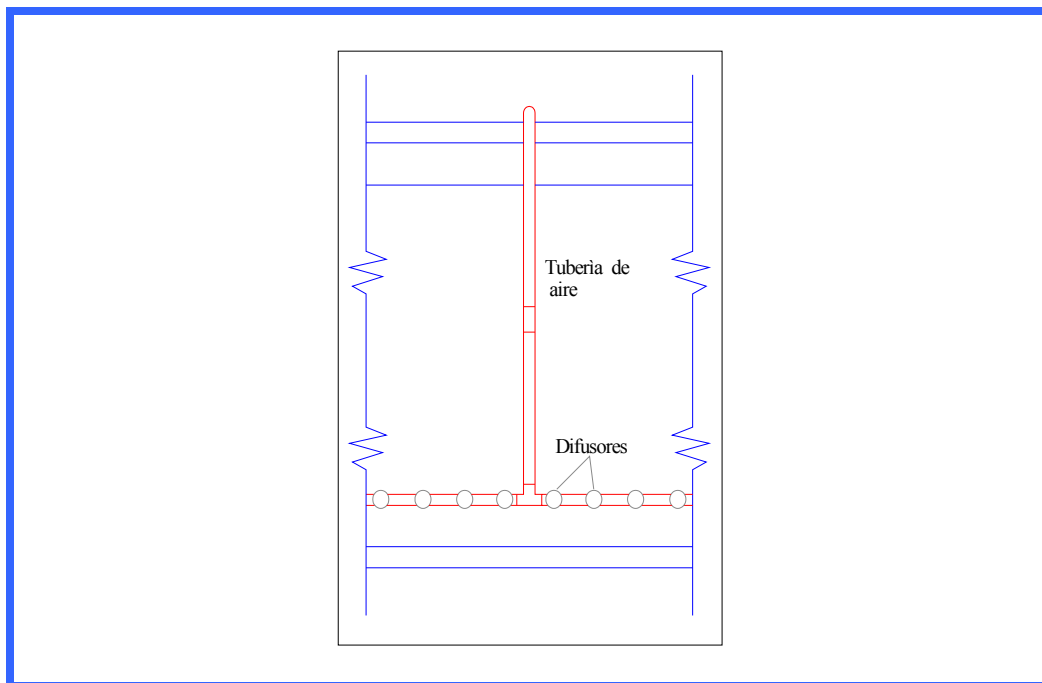


de la pared que los divide. Éste posee dos líneas de retorno de lodos, uno llega hasta el fondo y recupera todos aquellos sedimentos que precipitan, la otra se encuentra en la superficie libre de agua y recupera el material que permanece en suspensión para ser regresado al tanque de aireación [17].

#### 2.4.3.7. Exceso de lodos y su disposición

Los lodos en exceso, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos [17].

En la figura 2.6 se puede apreciar un diagrama usual para tratamiento de agua residual proveniente de comunidades pequeñas, ésta incluye instalaciones para remoción de arenas, grasas y aceites.

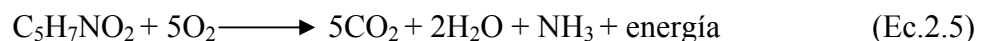


**Figura 2.6 Difusores de aire** <sup>[10]</sup>

#### 2.4.4 Necesidad y transferencia de oxígeno

La necesidad teórica de oxígeno se puede determinar a partir de la DBO del agua residual y de la cantidad de organismos purgados diariamente del sistema [11]. El tratamiento biológico utiliza microorganismos, principalmente bacterias, para degradar los compuestos orgánicos presentes en el agua, una parte de la materia es oxidada y la otra pasa a formar parte del protoplasma de los microorganismos (biomasa). En el tratamiento aeróbico, se pueden lograr efluentes con menos de 20-30 mg/l de DBO, donde los microorganismos consumen oxígeno para transformar la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, energía y materia celular. Por otro lado, se sabe que parte del residuo se convierte en tejido celular nuevo que, posteriormente se purga del sistema. Siendo esto la base fundamental de la respiración endógena, que involucra la oxidación de la materia celular para proveer el alimento a los microorganismos cuando la concentración de sustrato ha disminuido considerablemente. Asumiendo que la fórmula química para los sólidos volátiles del licor mezclado (MLVSS) es C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> la oxidación de las células corresponde a la respiración endógena. Teniendo en cuenta la ecuación, que se indica a continuación, se sabe que la DBO, de un mol de células es igual es igual a 1,42 veces la concentración de células [10]:

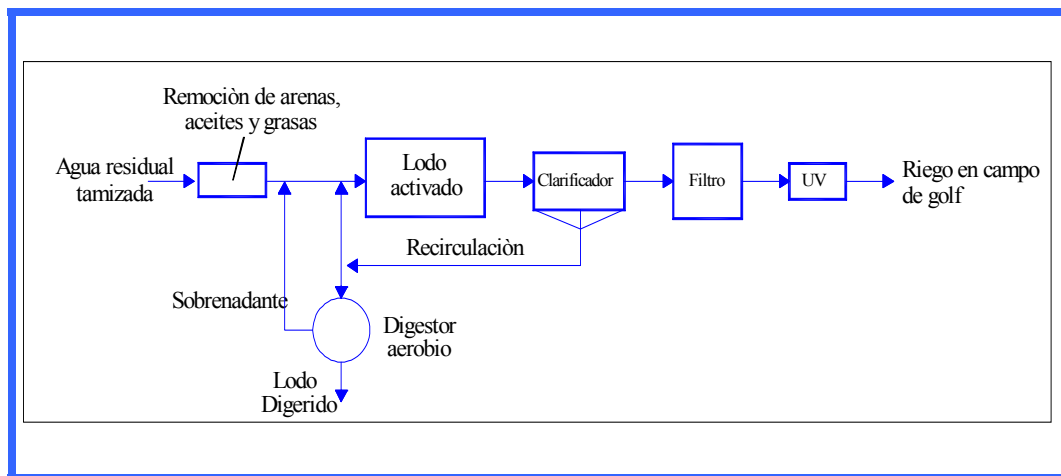
##### *Respiración endógena*



Por lo tanto, si se conoce, o se puede estimar, la eficiencia de la transferencia de oxígeno del sistema de aireación, se pueden determinar las necesidades reales de aire. El suministro de aire debe ser adecuado para: (1) satisfacer la DBO del agua residual; (2) satisfacer la respiración endógena de los organismos presentes en el lodo; (3)

proporcionar un mezclado adecuado, y (4) mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación comprendido entre 1 y 2 mg/l.

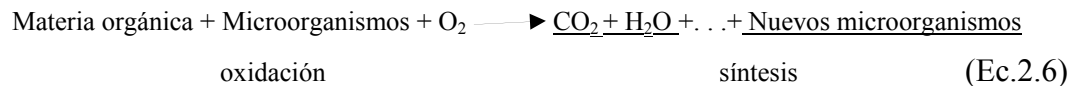
Para relaciones alimento/microorganismos superiores a 0,3, las necesidades de aire para el proceso convencional se sitúan entre 30 y 55 m<sup>3</sup>/kg de DBO<sub>5</sub> eliminada en sistemas de difusores de burbuja gruesa (no porosos), y entre 24 y 36 m<sup>3</sup>/kg de DBO<sub>5</sub> eliminada para sistema de difusores de burbuja fina (porosos). A valores mas bajos de la relación alimento/microorganismos, la respiración endógena, la nitrificación y los prolongados periodos de aireación hacen aumentar las necesidades de aire hasta entre 75 y 115 m<sup>3</sup>/kg de DBO<sub>5</sub> eliminada [13]. En los métodos estándar [18], se establece como demanda habitual de aire para todos los procesos de lodos activados excepto la aireación extendida, 93,5 m<sup>3</sup>/kg de DBO<sub>5</sub> eliminada en condiciones de carga punta en el tanque de aireación. Para los procesos de aireación extendida, las necesidades normales de aire son de 125 m<sup>3</sup>/kg d DBO<sub>5</sub> [11].



**Figura 2.7 Diagrama usual para tratamiento de agua residual proveniente de comunidades pequeñas: planta de lodos activados con aireación extendida, incluye instalaciones para remoción de arenas, grasas y aceites, infiltración del afluente con desinfección por radiación UV para reutilización del efluente en riego de campo de golf <sup>[12]</sup>**

## 2.5. Biodegradabilidad

Se define como la característica de determinados compuestos, para poder ser utilizados por microorganismos como fuente de alimentación y sustento, consecuentemente como sustrato en procesos de oxidación para obtener la energía precisa para la vida, o bien en procesos de síntesis, mediante la elaboración de la mencionada materia orgánica de productos más complejos (aminoácidos, proteínas, etc.), que acaban dando lugar, por reproducción, a nuevos microorganismos [16]:



## 2.6. Flocculación

En el tratamiento de agua y aguas residuales, aglutinación de materia en suspensión coloidal y finamente dividida después de la coagulación producida mediante agitación suave por medios mecánicos o hidráulicos.

En el tratamiento biológico de aguas residuales, que no usa coagulación, la aglutinación puede lograrse en forma biológica. Una vez desestabilizadas las partículas comienza la fase de agregación al entrar en contacto unas con otras. Existen varios mecanismos: difusión browniana; el propio movimiento térmico de las partículas (floculación pericinética). Para partículas menores de una micra (al comienzo del proceso).

### Efecto mecánico

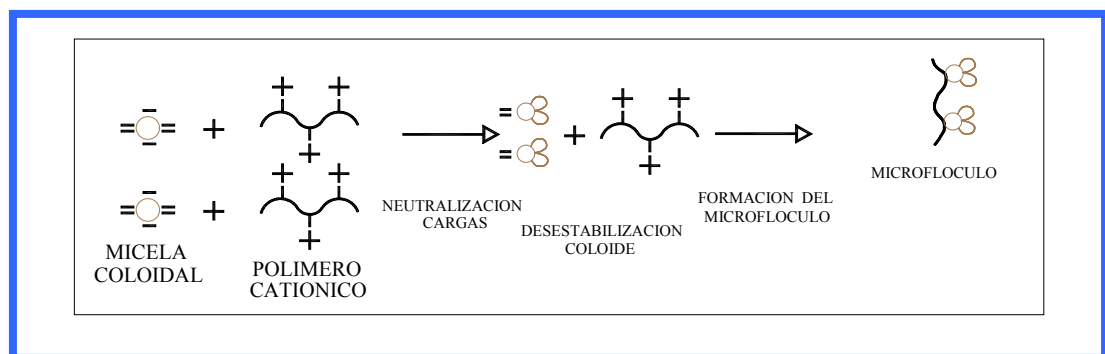
El movimiento del fluido y el movimiento de caída propio de las partículas favorece las colisiones (floculación ortocinética).

### Sedimentación

Con independencia de la finalidad del tratamiento, la separación de partículas en suspensión constituye una etapa previa o final en los procesos en que se precise eliminar o recuperar sólidos de un líquido [8]. En las figuras 2.8 y 2.9 se muestra como se llevan a cabo estos procesos de coagulación y floculación.

### Flóculo

Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación, que se obtiene mediante tratamiento químico o biológico [8].



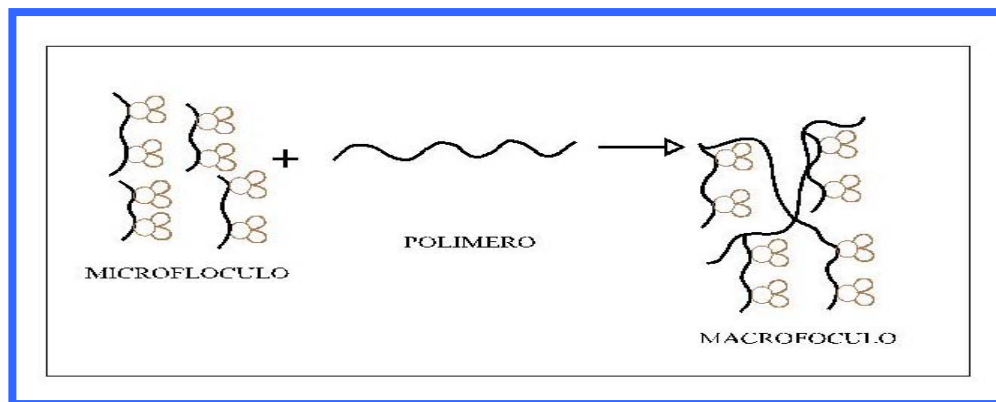
**Figura 2.8 Coagulación** [10]

## 2.7. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Son aquellas diseñadas, construidas y operadas con el objeto de convertir el líquido cloacal, proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable para ser vertido; y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso [10].

El que el efluente final sea aceptable, para su vertido en los medios receptores, viene dado por la normativa ambiental vigente.

Los principales objetivos de estas plantas son la eliminación de la materia flotante, el tratamiento de la materia orgánica biodegradable y la eliminación de los organismos patógenos [11].



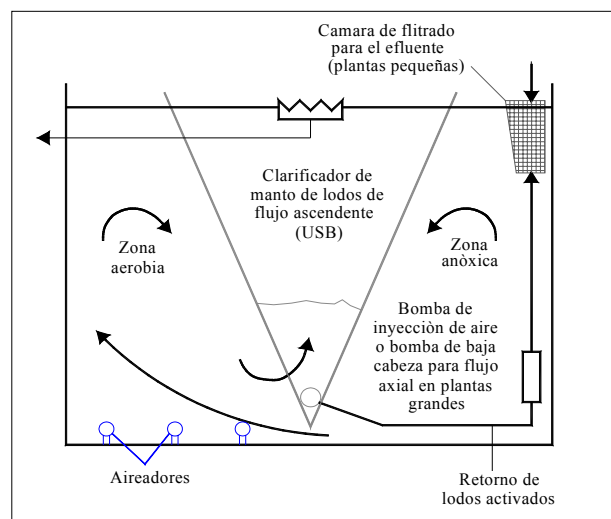
**Figura 2.9. Proceso de eliminación de la materia flotante**

### 2.7.1 Plantas compactas de tratamiento

Son plantas de tratamiento comerciales prefabricadas que se utilizan con frecuencia para el tratamiento de aguas residuales de propiedades individuales y comunidades pequeñas.

Elas pueden brindar el tratamiento satisfactorio de caudales pequeño de aguas residuales por medio del proceso de lodos activados por aireación extendida [12].

En la figura 2.10 se muestra un esquema de una planta compacta modular disponible en tamaños adecuados para residencias individuales y comunidades pequeñas.



**Figura 2.10 Esquema de una planta compacta modular disponible en tamaños adecuados para residencias individuales y comunidades pequeñas [12]**

## 2.8. Parámetros de diseño

Son todos aquellos factores que deben considerarse en el análisis y diseño de unidades para reducir o eliminar constituyentes presentes en aguas residuales, ya que de estos depende la disminución de fallas en el dimensionamiento, desempeño y confiabilidad de las instalaciones.

Para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales, es imprescindible determinar, con antelación, el origen y características del líquido de desecho a tratar,

al igual que las condiciones finales esperadas, en las cuales debe encontrarse al momento de su vertido a los medios receptores. Como ya se sabe, una planta de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo fundamental integrar de manera mas económica y eficiente los procesos y operaciones de tratamiento físico, químico y/o biológico, y debe ser capaz de proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad de agua a ser vertida en los diferentes cuerpos de agua [12].

La determinación de la calidad y composición del agua a tratar es el pilar primordial para implementar el diseño de un sistema de tratamiento, y estas características son tan individuales como la comunidad o industria que la generan, por lo cual es importante revisar las diferentes opciones para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Es igualmente necesario lograr la mejor disposición de los diferentes equipos, para obtener una purificación económica y eficaz del agua residual.

Algunos de los parámetros a considerar en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales son: caudales promedio, caudales máximos, caudales mínimos, concentraciones de contaminantes en el afluente, concentraciones que se esperan obtener en el efluente (decreto 883), carga másica de diseño y tiempo de residencia.

### **2.8.1. Caudales de diseño**

La elección racional del caudal de diseño se basa en consideraciones de tipo hidráulico y del proceso. Las unidades del proceso y los conductos para el transporte del agua residual se deben dimensionar en forma tal que permitan soportar los



caudales picos que llegarán a la planta de tratamiento. En vista que el desempeño de estas unidades de tratamiento puede verse afectada de forma significativa, como consecuencia de variaciones en el caudal o en la carga másica del contaminante afluente, se deben considerar los caudales máximo y mínimo en el diseño.

La estimación y la proyección de los caudales promedio se necesitan para definir la capacidad de diseño, así como los requerimientos hidráulicos del sistema de tratamiento. El caudal base para uso doméstico se identificó como 250 l/hab.d. Los caudales base de origen doméstico pueden variar entre 245 a 300 l/hab.d [12]. En la tabla 2.6 se pueden ver los caudales habituales de agua residual de origen residencial descargada a los sistemas de recolección [12].

Los caudales pico o máximo se asocian por lo general con periodos de tiempo lluviosos. El caudal máximo horario se usa en el diseño de instalaciones de bombeo y líneas de conducción de agua residual, y para dimensionar algunas unidades de tratamiento. En el diseño de plantas de tratamiento se emplean con mucha frecuencia los caudales máximo horario y diario. Debido a la dificultad de comparar los valores numéricos de caudales máximos para diferentes plantas de tratamiento de agua residual, se recurre a la normalización de los caudales mediante la utilización de un parámetro conocido como factor pico. El método empleado con mayor frecuencia para determinar el factor pico se basa en el análisis de datos de caudal. Los factores pico de caudal deben determinarse a partir del análisis de los registros de caudal existentes. En caso de no disponerse de registros se recomienda como factor pico horario un valor de 4 a 1 para el diseño de plantas pequeñas de tratamiento. En la tabla 2.7 se pueden apreciar diferentes valores de factores pico en distintos casos [12].

Los caudales y las características de las aguas residuales de pequeñas comunidades difieren notablemente de los sistemas de grandes dimensiones. Por lo tanto, es fundamental conocer los caudales y características previsibles de las aguas residuales a tratar.

La capacidad de una planta suele calcularse para el caudal medio diario correspondiente al año del proyecto, no obstante deben analizarse los datos de caudales, los cuales proporcionan datos importantes que permitirán realizar el dimensionamiento correcto de las diversas instalaciones de los procesos y las interconexiones entre ellos [12].

Tanto en sistemas para viviendas individuales como en sistemas para urbanizaciones y pequeñas comunidades, es necesario tener en cuenta los caudales por habitante. En la tabla 2.8 se observan valores típicos de cantidades diarias de excrementos humanos.

### **2.8.2 Concentraciones de diseño**

Es de suma importancia saber la concentración de los contaminantes en el agua, ya que esto permitirá establecer las unidades necesarias para tratar estas concentraciones y alcanzar el objetivo de la planta que es llevar a los valores permitidos las concentraciones de los contaminantes en el agua. En la tabla 2.9 se encuentran reportados valores habituales de aportes y concentraciones de constituyentes esperados en agua residual de origen residencial [12].

### 2.8.3 Carga másica de diseño

El conocimiento de la carga másica de contaminantes para el diseño de unidades de tratamiento es importante para determinar el tipo de proceso a emplear, para saber los requerimientos de paradas del proceso, para el dimensionamiento y elección de unidades del proceso. Por ejemplo, el tamaño de una unidad para aireación y la cantidad de lodo producido se relacionan directamente con la masa de DBO que debe ser procesada. Además, el tamaño de las unidades para el tratamiento de lodos se debe dimensionar en forma tal que se distribuya una carga mínima de materia orgánica por semana [12].

**Tabla 2.6 Caudales habituales de agua residual de origen residencial, descargada a los sistemas de recolección <sup>[12]</sup>**

Fuente	Unidad	Caudal, gal/Unidad .d		Caudal, l/Unidad .d	
		Intervalo	Valor habitual	Intervalo	Valor habitual
Apartamento					
Nivel alto	Persona	30-75	55	130-280	190
Nivel medio	Persona	30-80	55	190-300	250
Hotel	Huésped	30-50	40	110-210	170
Residencia individual					
Vivienda nueva	Persona	40-120	70	170-340	170
Vivienda vieja	Persona	30-80	50	110-190	150
Casa de veraneo		3-60	40	100-190	150
Motel					
Con cocina	Unidad	90-180	100	340-680	380
Sin cocina	Unidad	75-150	95	280-570	360
Zona de campamento	Persona	30-50	40	110-190	150

**Tabla 2.7 Factores pico para aguas residuales provenientes de residencias individuales, establecimientos comerciales pequeños y pequeñas comunidades** <sup>[12]</sup>

Factor pico	Residencias individuales		Establecimientos comerciales pequeños		Comunidades pequeñas	
	Intervalo	Habitual	Intervalo	Habitual	Intervalo	Habitual
Pico horario	4-10	4	6-10	4	3-6	4
Pico diario	2-5	2,5	2-6	3	2-4	2,5
Pico semanal	1,25-4	2	2-6	2,5	1,5-3	1,75
Pico mensual	1,15-3	1,5	1,25-4	1,5	1,2-2	1,25

En las figuras, 2.11, 2.12 y 2.13 se pueden ver las variaciones de los caudales, las concentraciones de DBO en aguas residuales domésticas, y cargas contaminantes. También se puede ver en la figura 2.14 el caudal pico para caudales de aguas residuales domésticas.

Cada planta de tratamiento de aguas residuales se diseña en base a las características y condiciones locales del volumen a tratar, tomando en cuenta [18]:

- Fuente y sistema de suministro de agua
- Normas, leyes y requerimientos aplicables a la localidad
- Composición del agua a tratar, considerando posibles variaciones
- Calidad del producto deseado
- Recolección de información proveniente de plantas similares

- Capacidad nominal en función a la demanda máxima diaria
- Construcción económica y saludable
- Análisis de costos

**Tabla 2.8 Datos típicos de cantidades diarias de excrementos humanos** <sup>[11]</sup>

Elemento	Unidades	Valor	
		Intervalo	Típico
Orina	l/hab.d	0,8 – 1,3	1,1
Heces	g/hab.d	100 - 140	120

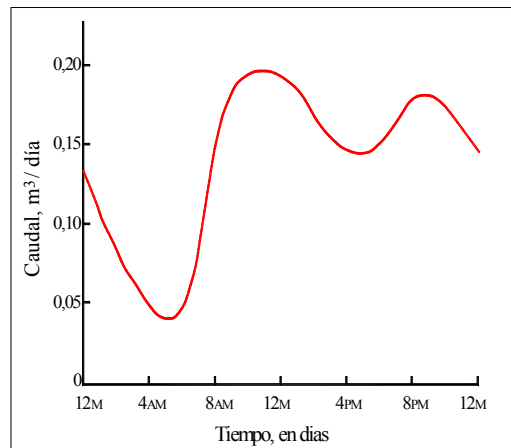
**Tabla 2.9 Valores habituales de aportes y concentración de constituyentes esperada en agua residual de origen residencial** <sup>[12]</sup>

Constituyente	Unidad	Valor habitual	Concentración, mg/l	
			Volumen, g/hab,d (l/hab.d)	
DBO	g/hab.d	85	50 (189)	120 (454)
DQO	g/hab.d	198	450	187
SST	g/hab.d	95	1050	436
NH como N	g/hab.d	7,8	503	209
N org como N	g/hab.d	5,5	41,2	17,2
NKT como N	g/hab.d	13,3	29,1	12,1
P org.como P	g/hab.d	1,23	70,4	29,3
P inorg.como P	g/hab.d	2,05	6,5	2,7
P total como P	g/hab.d	3,28	10,8	4,5
Grasas y aceites	g/hab.d	31	17,3	7,2
			164	68

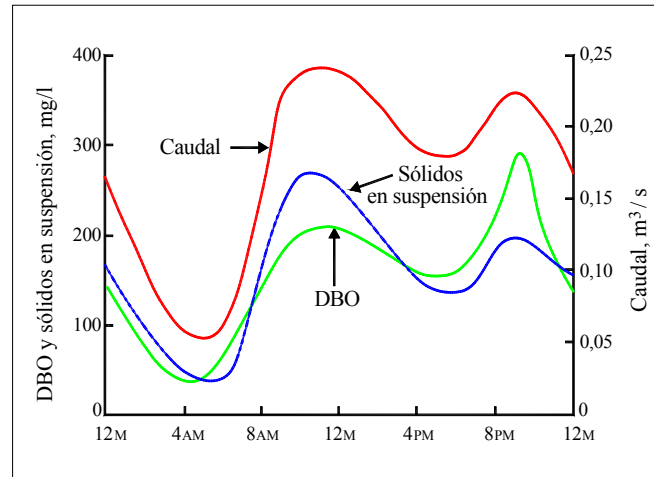
## 2.9. Análisis de costos

Al elegir un proceso de depuración de aguas residuales, debe tenerse en cuenta su costo de construcción y su funcionamiento, además de los aspectos técnicos que, naturalmente, son decisivos.

Ésta es la etapa que precede al diseño; en ésta se refleja toda inversión necesaria para el desarrollo total del proyecto, tales como: materiales, equipos, sustancias, pruebas de laboratorio y mano de obra. Luego de esta etapa se procede con la construcción y operación de la planta.

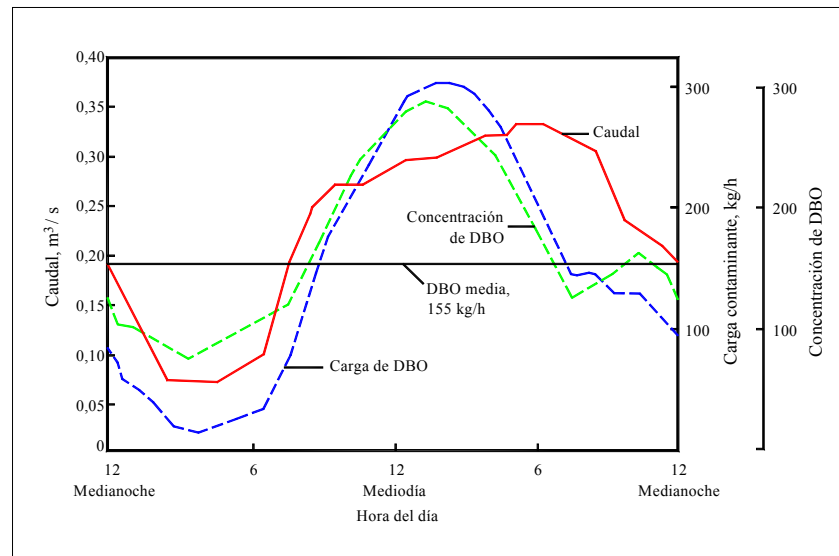


**Figura 2.11 Variación horaria típica de los caudales de agua residual doméstica**  
[11]

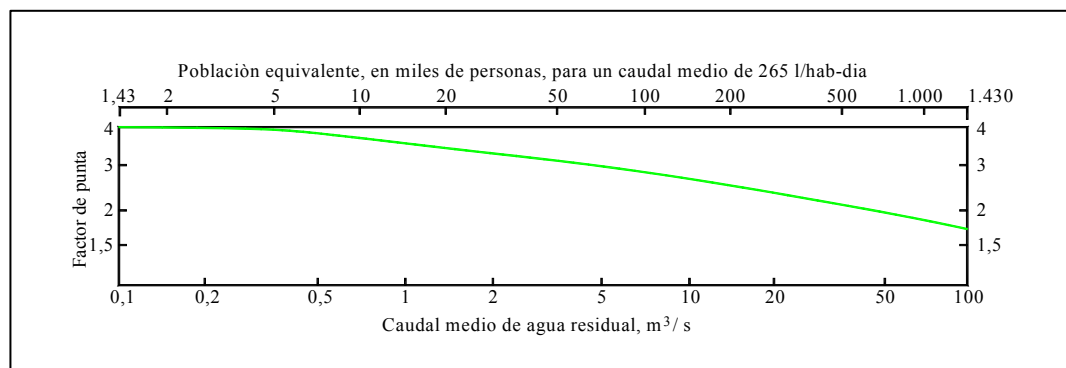


**Figura 2.12 Variación típica del caudal y concentración del agua residual de origen doméstico <sup>[11]</sup>**

La estimación de costos de un proyecto incluye por lo general la proyección de costos de capital, costos anuales de operación y mantenimiento, y costos basados en el tiempo de vida útil de equipos e instalaciones. Los costos de capital comprenden los costos de equipos, de construcción de instalaciones y de puesta en marcha. Tales costos se pueden estimar a partir de costos de construcción de proyectos recientes, entrevistas con contratistas, información de vendedores y precios de materiales publicados. Los costos de operación y mantenimiento comprenden salarios de empleados, reparación de equipos, cambio de piezas, insumos químicos, etc. Los costos basados en el tiempo de vida útil del proyecto se calculan al combinar los costos de capital amortizado con los costos anuales de operación y mantenimiento durante todo el periodo esperado para la explotación del proyecto [12].



**Figura 2.13 Ilustración de la variación del caudal de agua residual, de la DBO y de la carga contaminante [11]**



**Figura 2.14 Factor pico horario para caudales de aguas residuales domésticas. El factor pico es la relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio [11]**



## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Selección de los equipos del proceso**

Inicialmente se procedió a la recopilación y documentación de información a cerca del tipo de planta a la cual se refiere este proyecto. Se investigó todo sobre sus características, funcionamiento y antecedentes. Se obtuvo información en libros de texto, trabajos de grado, Internet, observación directa de plantas de mayor escala, asesorías profesionales, etc.

Una planta de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo fundamental integrar de la manera más económica y eficiente, los procesos y operaciones de tratamiento físico, químico y/o biológico, y debe ser capaz de proveer, sin interrupción, el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad de agua a ser vertida en los diferentes cuerpos de agua.

Para diseñar esta planta, fue necesario determinar con antelación el origen y características del líquido de desecho a tratar, al igual que las condiciones finales esperadas, en las cuales deben encontrarse al momento de su vertido a los medios receptores.

La determinación de la cantidad y composición de agua a tratar es el pilar primordial para diseñar un sistema de tratamiento, y estas características son tan

individuales como la comunidad donde la generan, por lo cual fue importante revisar las diferentes opciones para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

El número de habitantes establecidos en algunos campamentos, en las zonas extraurbanas es reducido y el agua que generan es de origen doméstico con caudales y cargas pequeños. Tomando en cuenta los datos aportados por la literatura, sobre los procesos de tratamiento existentes, específicamente para el caso de comunidades pequeñas se escogió el proceso de lodos activados de aireación extendida. Esta escogencia también se realizó, tomando en cuenta los resultados obtenidos, en las plantas de mayor escala, donde se ha podido observar que la cantidad de lodos obtenidos es pequeña, lo que no amerita una purga constante y además se ha notado una gran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales; éste es un proceso sencillo, el cual actúa a bajas cargas y un tiempo de aireación largo; lo cual representa un menor gasto de energía y por lo tanto una reducción de los costos dentro de la compañía a la hora de diseñar, construir y poner en marcha la planta.

Como ya se ha mencionado, a la hora de la elaboración del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, se deben considerar algunos parámetros como caudales y cargas de diseño a manejar por la planta y el tiempo de retención necesario para que ocurra la descomposición de la materia orgánica, los cuales servirán a la hora de realizar el dimensionamiento de cada unidad involucrada en el proceso. Estos parámetros son calculados en la sección 3.5 de este mismo capítulo.

El proceso de digestión de la materia orgánica ocurre mediante la aplicación de la técnica de lodos activados desarrollándose una operación biológica de oxidación, donde la materia putrescible es descompuesta (con ayuda de la biomasa en un medio controlado aeróbico) en compuestos estables de composición más sencilla, al límite de transformar

muchos de los complejos orgánicos, presentes normalmente en estas aguas residuales, en dióxido de carbono, agua y compuestos simples nitrogenados.

Para el diseño práctico, se toman ciertas consideraciones, importantes, entre las cuales se encuentran:

- Criterios de carga del proceso
- Producción de lodos
- Requerimientos y suministros de oxígeno
- Configuración y tamaño del reactor
- Requerimientos energéticos para la mezcla
- Sedimentación secundaria

En un proceso de tratamiento de aguas residuales, por el método de lodos activados de aireación extendida sólo se necesita que el agua residual se ponga en contacto con aire por un tiempo adecuado, tal que ocurra el proceso de degradación de la materia orgánica. Para que ocurra este contacto sólo se necesita una unidad en la que entre el agua y por medio de difusores se le aplique el aire. Esta unidad es llamada reactor y en él se mezcla el agua por medio de aire inyectado.

Además se necesitará una unidad de clarificación, una vez que el agua haya alcanzado los parámetros establecidos por la ley, la cual servirá para que precipiten los sólidos suspendidos que se presenten en el agua tratada. Y finalmente es necesaria una unidad que permita la eliminación de organismos patógenos presentes y así poder verter el agua, dentro de la normativa ambiental.

En base a las plantas ya existentes se seleccionaron para el proceso tres (3) unidades principales de tratamiento.

- Reactor
- Sedimentador
- Clorinador

Además de estas tres principales unidades, en el diseño se incluyen otros procesos y equipos tales como:

Tanque primario o tanquilla, al cual son enviados los afluentes provenientes de las casas rodantes, y en el cual, están colocadas dos (2) bombas sumergibles que servirán para el bombeo de las aguas residuales a la planta.

Rejillas de debaste, se utilizan para separar objetos de gran tamaño que el de simple partículas que son arrastradas por las corrientes de agua. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones que podrían ser dañadas u obstruidos. Generalmente son en forma de rejillas o tamices.

Difusores de aire, los cuales están conectados a una unidad de soplado de aire para suministrar suficiente cantidad de oxígeno al reactor y así lograr la reducción de la DBO

Tuberías, conexiones o válvulas, tablero eléctrico, etc.

Existen algunos requerimientos, reflejados en la tabla 3.1, que deben cumplir los equipos y unidades del proceso [19].

### **3.2 Elaboración del diagrama de flujo**

Los diagramas de flujo de procesos son representaciones gráficas de las combinaciones de las operaciones y procesos unitarios que se emplean para alcanzar los objetivos específicos del tratamiento.

Existen ciertas normas para la elaboración de diagramas de flujo, dependiendo del tipo de diagrama que se vaya a realizar. Por ejemplo, los diagramas de flujo con balance de materia son elaborados para destacar el flujo y las operaciones del proceso. En ellos se presentan datos como temperaturas, presiones y cantidades de flujo en los puntos significativos del diagrama.

Los equipos son representados por símbolos; si no se encuentran símbolos normalizados se debe crear uno representativo, manteniendo siempre las proporciones a escala.

Las líneas de flujo son gruesas para el flujo principal y finas para flujos secundarios.

Igual existen normas para cajetines, tuberías, accesorios, etc., a la hora de incluirlos en un diagrama de flujo.

En el caso, específico de este proyecto, se presentan varios diagramas de flujo.

Uno preliminar donde se muestra el proceso en forma generalizada para dar a conocer la ubicación de los equipos y líneas de flujo y la secuencia del proceso, basado en la parte teórica. En la figura 3.1 se muestra esquemáticamente y en forma detallada, cada uno de los componentes de la planta de tratamiento de aguas

residuales, mientras que en la figura 3.2 se muestran los flujos másicos de entrada y salida en todo el proceso, con las cuales se pueden aplicar los balances de masa en el reactor, el sedimentador y general, siendo la ecuación 3.1 la general de balance, con la cual se pueden realizar los diferentes balances de masa, según sea el caso donde se apliquen (general, reactor, sedimentador).

$$\text{Entra} + \text{Genera} = \text{Sale} + \text{Consume} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

*Balance General:*

$$Q.X_o = Q.X_e \quad (\text{Ec. 3.2})$$

*Balance en el reactor:*

$$Q.X_o + R.X_r = (Q+R).X \quad (\text{Ec. 3.3})$$

*Balance en el sedimentador:*

$$(Q+R).X = Q.X_e + Q.X_r \quad (\text{Ec. 3.4})$$

donde:

$Q$  = Caudal de operación; (l/d)

$R$  = Flujo recirculado; (l/d)

$X_o$  = concentración de sólidos suspendidos en el afluente al reactor (mg/l)

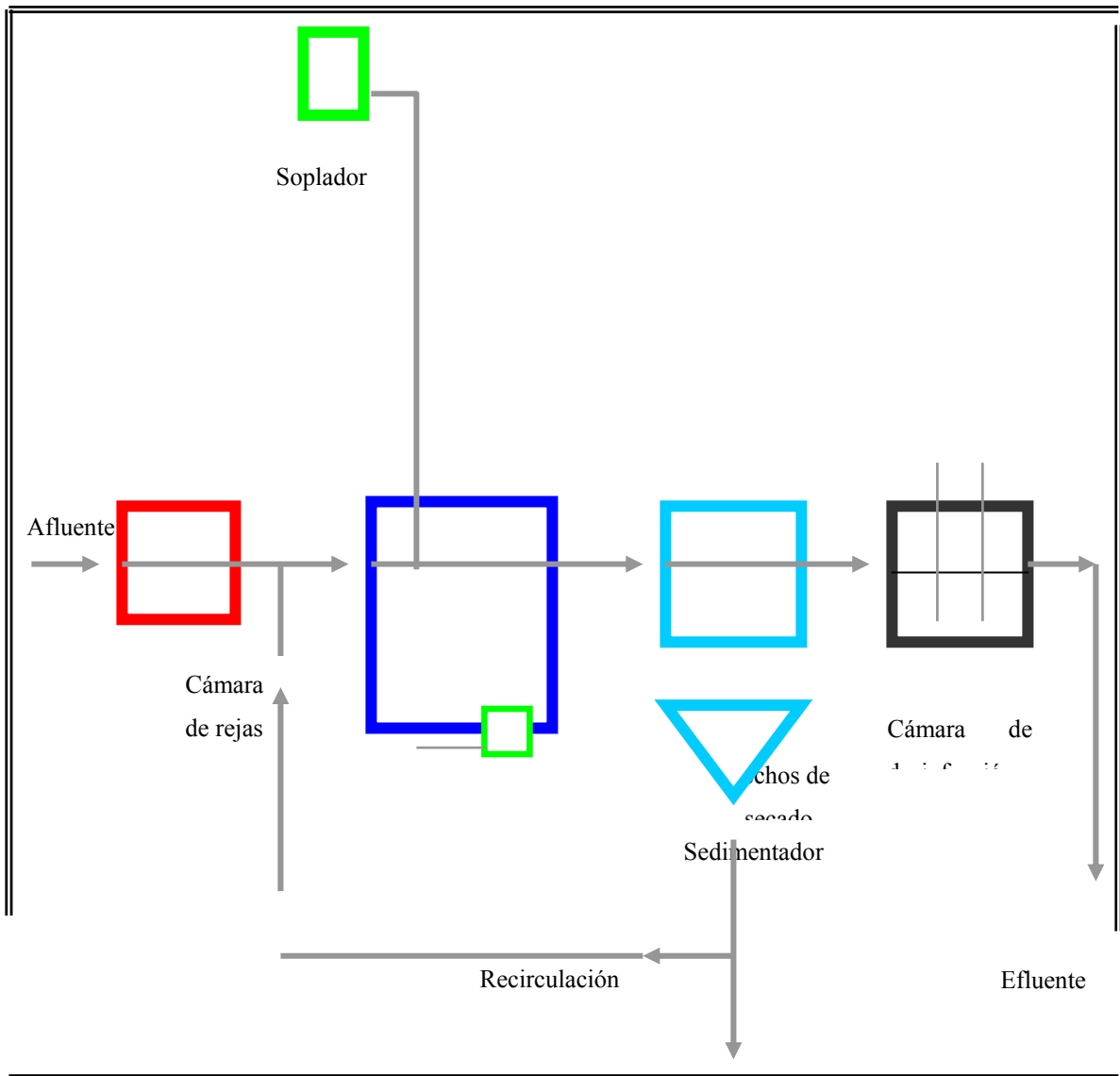
$X_e$  = concentración de sólidos suspendidos en el efluente; (mg/l)

$X_r$  = concentración de lodos de recirculación (mg/l)

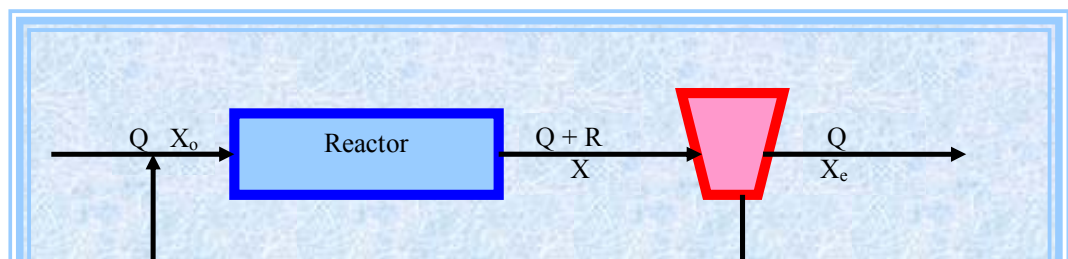
$X$  = concentración de sólidos suspendidos en el líquido de mezcla (SSLM); (mg/l)

**Tabla 3.1 Requerimientos para los equipos y unidades del proceso <sup>[19]</sup>**

CONDICIÓN	REQUERIMIENTO
1. Tanque primario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No debe presentar fugas.</li> <li>- Si las condiciones del terreno así lo requieren, el tanque debe estar enterrado o semienterrado.</li> <li>- Verificar que el tubo de ventilación esté destapado</li> </ul>
2. Tuberías, conexiones y válvulas	No debe presentar roturas, presencia de teipes, manillas de las válvulas flojas, y fugas.
3. Hermeticidad de la planta	No se debe observar fugas, ni válvulas de drenaje con pérdidas.
4. Motor-Soplador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No debe presentar ruidos mecánicos y vibraciones, producto de la falla de ajustes.</li> <li>- Verificar la integridad de la tubería a la salida del soplador.</li> </ul>
5. Tableros eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No debe presentar conexiones flojas, óxido y tapas dañada.</li> <li>- Las perillas de control deben permanecer en sistema automático.</li> </ul>
6. Etapa de debaste	No debe contener materiales sólidos
7. Aireador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe observar suficiente turbulencia en el agua producto del suministro de aire.</li> <li>- Se debe mantener una presión</li> <li>- No debe emanar olores.</li> <li>- No se debe observar exceso de espuma</li> </ul>
8. Sedimentador (clarificador)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar succión y arrastre de los sifones</li> <li>- No debe observarse sólidos en abundancia.</li> <li>- Se debe eliminar la nata</li> <li>- No debe observarse burbujas en el seno del liquido, en caso contrario implica una pérdida en el sistema de circulación de aire</li> </ul>
9. Dispensador de cloro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No debe presentar fugas por la conexión de la tubería de descarga al dispensador</li> <li>- Debe contener 06 pastillas de cloro mínimo en cada tubo colector</li> <li>- Verificar que las pastillas deslicen fácilmente por dentro de los tubos contenedores</li> <li>- El tubo colector debe tener la tapa colocada</li> <li>- La caja dispensadora debe tener la ranura, a 1 pulgada de la base (diseño original y no descarga libre)</li> </ul>
10. Cámara de reposo	No debe contener sólidos suspendidos y el agua debe ser transparente.



**Figura 3.1. Representación esquemática del proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida.**





### **Figura.3.2 Balance de masa en el reactor (tanque de aireación) <sup>[11]</sup>**

#### **3.2.1 Descripción de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales**

La primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento es la operación de desbaste. El desecho o efluente entra a un tanque primario o estación de bombeo, proveniente de las casas rodantes, por gravedad, el cual está provisto a su entrada de unas rejillas las cuales forman parte del proceso de tamizado grueso, tratamiento preliminar de aguas residuales y efluentes sépticos.

Una rejilla es un elemento con aberturas generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual. Éstas se usan para la remoción de más de *15 mm* presentes en esta agua. Este tanque posee dos bombas sumergibles que se encargan de llevar el agua al tanque de aireación. A la entrada de este tanque (reactor biológico) también se encuentran unas rejillas para atrapar desechos que hayan podido pasar el primer tamizado. Estos desechos son removidos periódicamente de una forma manual.

Luego el agua entra al tanque de aireación donde comienza el proceso biológico. Dentro de la cámara el ambiente es turbulento y rico en oxígeno. Se introduce aire bajo presión con difusores que generan pequeñas burbujas que ceden oxígeno y crean la agitación necesaria para reducir los sólidos a pequeñas partículas. En el reactor biológico (cámara de aireación), la biomasa de microorganismos utiliza la materia orgánica entrante como fuente de energía y carbón, convirtiendo ese material orgánico en  $\text{CO}_2$ , agua y nuevos microorganismos.

Las bacterias forman colonias en forma de grumos alrededor de las partículas de material orgánico, que hacen que entren en suspensión para luego de un tiempo determinado (tiempo de retención) la mezcla de nuevas y viejas bacterias sea transferida a un tanque de sedimentación (clarificador).

La cámara de sedimentación está completamente llena de líquido y opera bajo presión hidrostática. Esto resulta, en un ambiente sin movimiento en el cual los grumos de bacterias están libres de sedimentar hasta el fondo de la cámara.

La masa grumosa está biológicamente activa y se refiere como lodo activado. Cubriéndola, hay una masa de líquido claro, la parte superior del cual se transfiere, por rebose, a la siguiente cámara (clorinador). Aquí, el líquido claro entra en contacto con pastillas de hipoclorito de calcio, para llevar a cabo el último paso de tratamiento y eliminar toda bacteria patógena. Esta cámara proporciona un tiempo de retención suficiente, para que el cloro se mezcle totalmente con los microorganismos.

El agua tratada, que sale del clorinador, puede ser vertida directamente en una masa de agua, ser irrigada en forma controlada, o bombeada al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales. En el diagrama representado en la figura 3.1 se

describe esquemáticamente el proceso de aireación extendida. El lodo activado, que se acumula en el sedimentador, se regresa a la cámara de aireación con lo que se mantiene un alto contenido de bacterias activas para lograr una eficiente descomposición del agua residual.

### **3.3 Establecimiento de los costos preliminares**

Para la estimación de los costos preliminares, primero fue necesario determinar o seleccionar el tipo de proceso a utilizar en este proyecto. Esta selección se realizó, como fue descrito anteriormente, identificando primero el tipo de agua que será tratada, su origen, y sus características, lo que permitirá fijar los parámetros de diseño y seguidamente la elección de los equipos adecuados que deberán intervenir en el mismo. El proceso escogido, es un proceso sencillo y el cual involucra unidades sin muchas complicaciones. Específicamente utilizará tres unidades básicas. Anteriormente se explicaron los criterios en que se basó la selección de dichos equipos.

Para la estimación de los costos preliminares se recurrió a la investigación, una vez realizado los cálculos correspondientes, con proveedores y compañías manufactureras de los equipos y unidades que serán utilizados en la construcción de la planta.

Al elegir un proceso de depuración de aguas residuales, debe tenerse en cuenta su costo de construcción y su funcionamiento, además de los aspectos técnicos que, naturalmente, son decisivos.

Esta es la etapa que precede al diseño; en ésta se refleja toda inversión necesaria para el desarrollo total del proyecto, tales como: materiales, equipos, sustancias,

pruebas de laboratorio y mano de obra. Luego de esta etapa se procede con la construcción y operación de la planta.

La estimación de costos de un proyecto incluye por lo general la proyección de costos de capital, costos anuales de operación y mantenimiento, y costos basados en el tiempo de vida útil de equipos e instalaciones. Los costos de capital comprenden los costos de equipos, de construcción de instalaciones y de puesta en marcha. Tales costos se pueden estimar a partir de costos de construcción de proyectos recientes, entrevistas con contratistas, información de vendedores y precios de materiales publicados. Los costos de operación y mantenimiento comprenden salarios de empleados, reparación de equipos, cambio de piezas, insumos químicos, etc. Los costos basados en el tiempo de vida útil del proyecto se calculan al combinar los costos de capital amortizado con los costos anuales de operación y mantenimiento durante todo el período esperado para la explotación del proyecto.

### **3.4 Equipos, materiales y sustancias**

#### **A. Equipos**

- \_ Titulador automático, marca Metrohm, modelo 665; rango = (50/60 Hz)
- \_ Balanza analítica, marca Mettler, modelo AB204-S; rango = (0,1mg- 220g);  $\pm 0,2$  m
- \_ Balanza de precisión, marca Mettler, modelo PB3002-S; rango= (0,01-3100)g;  $\pm 0,02$  mg
- \_ Termoreactor, marca Merck, modelo TR300; rango: (25-148) °C
- \_ Unidad de destilación, marca Buchi, modelo B-314; (50/60 Hz; 220-240V; 2100 watt; 10 A).
- \_ Espectrofotómetro, marca Shimadzu, modelo UV-1240.

- \_ Sistema de digestión rápida macro, marca Buchi, modelo K-424; rango: (25-350) °C
- \_ Plancha de calentamiento, marca Corning, modelo PC35, rango = (50/60 Hz; 120V; 450watt; 10 A).
- \_ Baño de temperatura constante, marca Cannon, rango = (50/60 Hz; 120 V; 8 A)
- Electrodos combinado de vidrio y combinado de plata - cloruro de plata, marca Hach
- \_ Medidor de pH , marca Fisher Cientific, modelo 910, rango = (100/120 Hz; 50/60 Hz)

## **B. Materiales**

- \_ Cilindros graduados de 100 ml
- \_ Erlenmeyers de 125 y 250 ml
- \_ Cono Imhoff, capacidad =1000 ml
- \_ Pipetas volumétricas de 1,2 y 5 ml
- \_ Balones aforados de 100 y 1000 ml
- \_ Goteros
- \_ Espátulas
- \_ Beakers de 250 y 1000 ml
- \_ Embudos de vidrio para filtración
- \_ Papel filtro
- \_ Bureta
- \_ Termómetros en °C con escala mínima de 0,1 °C
- \_ Agitadores magnéticos
- \_ Tubos de 16 x 100 mm con tapa
- \_ Botellas de incubación Winkler de 250 y 300 ml con sellos hidráulicos
- \_ Cronómetro
- \_ Envases plásticos de 500 ml y de 1000 ml
- \_ Guantes

- \_ Tapaboca
- \_ Bata
- \_ Lentes
- \_ Pizetas
- \_ Lana de vidrio

### **C. Sustancias**

Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  
Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )  
Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )  
Ácido sulfámico ( $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ), en cristales  
Reactivo de EDTA  
Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ )  
Sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )  
Sulfato de sodio, en cristales  
Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ), en cristales  
Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), en cristales  
Nitrato de plata  
Ácido nítrico  
Cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ )  
Reactivo azul de metileno  
Reactivo molibdato-vanadato  
Metanol  
Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), al 30 %  
Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ )  
Sulfato ferroso amoniacal (FAS)  
Reactivo de azida-yodo-álcali

Ftalato hidrógeno de potasio ( $\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$ )  
Solución estándar de yoduro-yodato  
Solución patrón de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ )  
Solución intermedia de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ )  
Solución buffer de fosfato  
Solución buffer para sulfato  
Solución de verde bromocresol  
Solución de rojo de metilo  
Solución estándar de fosfatos  
Solución de digestión patrón dicromato de potasio  
Solución de sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ )  
Solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ )  
Solución de cloruro férrico  
Solución de sulfito de sodio  
Solución de sulfato de manganeso ( $\text{MnSO}_4$ )  
Solución cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )  
Solución ácido glutámico-glucosa ( $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_4\text{NH}_2\text{-C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )  
Solución patrón primario de yodato de potasio  
Solución indicadora de almidón  
Solución indicadora de N,N-diétíl-p-fenilendiamina  
Solución indicadora de fenoltaleína alcohólica  
Indicador de fenoltaleína en solución acuosa al 0,5 %  
Indicador ferroína  
Solución acuosa de ácido bórico al 4 %  
Solución acuosa de de hidróxido de sodio al 40 %  
Mezcla ácido sulfúrico-sulfato de plata  
N-Hexano: grado analítico de 99 % de pureza y punto de ebullición 69 °C

Metil-ter-butil-éter (MTBE): grado analítico de 99 % de pureza y punto de ebullición 55 a 56 °C

Agua destilada

Carbón activado

Todos los equipos, materiales y sustancias se encuentran en Oxi-Lab, laboratorio de Oxialquilados Venezolanos C.A, División de Control Ambiental que se encarga de realizar los análisis antes y después del tratamiento de las aguas en la compañía y el cual suministró datos necesarios para el diseño.

### **3.5 Muestra de cálculos**

Luego de seleccionados los equipos que intervendrán en el proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta en diseño, se realizan los cálculos para el dimensionamiento de las unidades involucradas, así como también se determinan los valores de los parámetros necesarios para el diseño, como caudales y cargas del proceso.

Igualmente se determinan la eficiencia del proceso, cantidad de oxígeno que será necesario emplear de acuerdo a la capacidad de la planta, cuanto será la producción de lodo de dicha planta y cual será la cantidad de personas a las que esta planta será capaz de servir. Esto se hace mediante la toma de una serie de datos y ecuaciones aportados por la literatura, experiencias previas, valores utilizados por la empresa y análisis de cada variable situación y tipo de planta.

**Datos:**

$$V = 2.839 \text{ l}$$



$$q = 250 \text{ l/d} \cdot \text{hab.}$$

$$Y_o = 250 \text{ mg/l}$$

$$Y = 25 \text{ mg/l}$$

donde:

$V$  = volumen del reactor en (l), fijado por la compañía, ya que es la capacidad de la planta que se quiere diseñar.

$q$  = caudal promedio por habitante; valor promedio obtenido de experiencias anteriores (l/d . hab), dentro de la compañía [19]

$Y_o$  = concentración de DBO en el afluente (mg/l), este es un valor promedio, fijado en base a pruebas realizadas en el laboratorio de la empresa, las cuales coinciden con lo encontrado en la literatura para este tipo de aguas.

$Y$  = concentración de DBO en el efluente (mg/l), en base a lo que se espera obtener después del tratamiento [12]

Para lodos activados/ aireación extendida [12]:

$$\theta = 24 \text{ hr} = 1 \text{ d}$$

$$X = 4.000 \text{ mg/l}$$

$$a = 0,8 ; b = 0,02 \text{ d}^{-1}$$

$$e = 0,8 ; X_r = 10.000 \text{ mg/l}$$

Parámetros establecidos en la bibliografía [12] de acuerdo al tipo de proceso a utilizar para el tratamiento, en este caso es lodos activados, aireación extendida, donde:

$\theta$  = tiempo de retención hidráulico (hr);

$e$  = % de sólidos volátiles contenidos en los SSLM

$a$  = coeficiente de productividad

$b$  = coeficiente de decaimiento o respiración endógena ( $d^l$ )

$X$  = concentración de SSLM ( $mg/l$ )

$X_r$  = concentración de lodos de recirculación ( $mg/l$ )

### a) Determinación del caudal de operación ( $Q$ )

El caudal que va a manejar la planta modular de tratamiento de aguas residuales domésticas se calcula de acuerdo al volumen del tanque de aireación y el tiempo de retención hidráulico establecido, aplicando la siguiente ecuación [10]:

$$Q = V/\theta \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$Q = 2.839 \text{ l} / 1 \text{ d} = 2.839 \text{ l/d}$$

donde:

$V$ : es el volumen del tanque de aireación (reactor), en  $l$ , el cual fue fijado según las exigencias de la compañía. Este volumen va a ser el ocupado por los líquidos (capacidad del tanque).

$\theta$ : es el tiempo de retención hidráulico, tabla A.1, del anexo A, para el proceso de lodos activados de aireación extendida. Por experiencias previas se ha determinado que en este tiempo se lleva a cabo un mejor proceso de síntesis y degradación de la materia y se alcanzan los objetivos de la planta. Además éste se encuentra dentro del rango recomendado por la literatura [12] para el tipo de proceso, y con este valor también entran en los rangos establecidos los demás parámetros de diseño tomados de la tabla A.1, del anexo A

**b) Número de personas que la planta puede servir**

Se calcula utilizando la ecuación 3.6 [19]:

$$N^{\circ} \text{ pers} = (Q/q) \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$N^{\circ} \text{ pers} = (2.839 \text{ l/d}) / (250 \text{ l/d.N}^{\circ} \text{ pers}) = 12 \text{ personas}$$

donde:

$q$  : es el caudal promedio, de agua residual, que genera una persona por día. Este valor es fijado en base a los datos aportados por la compañía según los valores obtenidos por ellos en las experiencias para determinar cuanto líquido residual genera una persona por día de acuerdo a las actividades realizadas por ella. Esto también se corroboró con la bibliografía [12], y se nota en la tabla 2.6, donde según la actividad que se realiza en las viviendas de estos campamentos se comportan como apartamentos de nivel medio.

**c) Cargas de diseño**

Las cargas de diseño son las cantidades, en masa, de los constituyentes más importantes que se encuentran en el agua residual. Éstas se obtienen a partir de las concentraciones de estos componentes en dichas aguas y en base al caudal a manejar por la planta.

Se calcularon aplicando las ecuaciones 3.7, 3.8 y 3.9 [12]:

$$S = Y_o Q \quad (\text{Ec.3.7})$$

$$B = X.Q \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$A = e.B \quad (\text{Ec.3.9})$$

donde:

*S*: carga de DBO (*kg/d*)

*B*: carga de SSLM (*kg/d*)

*A*: carga de SSVLM (*kg/d*)

donde:

$Y_o = 250$  mg/l.; este es un valor promedio obtenido, por experiencias anteriores, en los análisis de aguas residuales [12].

$X = 4.000$  mg/l, valor establecido en la bibliografía [11] de acuerdo al tipo de proceso a utilizar para el tratamiento, en este caso lodos activados aereación extendida. Esto se puede ver en la tabla A.1, anexo A.

Aplicando las ecuaciones 3.7 a 3.9

$$S = (250 \text{ mg/l}) \cdot (1 \text{ kg} / 10^6 \text{ mg}) \cdot (2.839 \text{ l/d}) = 0,71 \text{ kg DBO/d}$$

$$B = X \cdot Q = (4.000 \text{ mg/l}) \cdot (1 \text{ kg} / 10^6 \text{ mg}) \cdot (2.839 \text{ l/d}) = 11,4 \text{ kg SSLM/d}$$

$$A = e \cdot B = 0,8 \cdot 11,4 \text{ kg/d} = 9 \text{ kg SSV/d}$$

#### d) Factor de carga (*k*)

Ésta es la relación alimento – microorganismo (*F/M*). Para su cálculo se empleó la ecuación 3.10 [12]. Todos los valores de esta ecuación fueron descritos anteriormente.

$$k = F/M = \frac{Y_o}{\theta \cdot X \cdot e} = \frac{250 \text{ mg/l}}{1 \text{ d} \cdot 4.000 \text{ mg/l} \cdot 0,8} \quad (\text{Ec.3.10})$$

$$k = 0,078 \text{ d}^{-1}$$

Los datos  $Y_o$ ,  $X$ ,  $e$  y  $\theta$  ya fueron descritos anteriormente.

Este cálculo es necesario, ya que éste es un parámetro de diseño y con él se obtiene la relación de los dos elementos presentes en el proceso:

El sustrato biodegradable disponible (*kg DBO/d*)

La biomasa activa en el sistema (*kg SSVLM*)

**e) Eficiencia (*E*)**

Se basa en el porcentaje de DBO o DQO, removido del agua residual doméstica del sistema. Para obtener este valor se usó la ecuación 3.11 [12]:

$$E = \frac{Y_0 - Y}{Y_0} \cdot 100 = \frac{250 - 25}{250} \cdot 100 \quad (\text{Ec.3.11})$$

$$E = 90 \%$$

donde:

$Y = 25 \text{ mg/l}$ , es la concentración de DBO efluente. Es un dato fijado por la compañía en base a lo que se espera obtener, es decir la concentración de DBO que se espera en el afluente.

Debido a que la calidad del efluente tratado varía por diferentes causas (variaciones en la carga orgánica del afluente, cambios en las condiciones ambientales, etc) se crea la necesidad de garantizar que el sistema de tratamiento diseñado produzca un efluente con concentraciones menores o iguales a los límites permitidos.

A partir de la eficiencia y  $(F/M)$ , se puede obtener la medida del grado con que se utiliza el sustrato (DBO) por unidad de masa de organismos. Esta medida se llama *tasa de utilización específica* ( $U$ ) y se puede calcular con la ecuación 3.12 [12]:

$$U = [(F/M) \cdot E]/100 \quad (\text{Ec.3.12})$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.6 y 3.7 en la 3.8 se obtiene:

$$U = \frac{(F/M) \cdot E}{100} = \frac{Y_0 - Y}{X \cdot e \cdot \theta} = \frac{(250 - 25) \text{mg/l}}{1 \text{d} \cdot 4.000 \text{mg/l} \cdot 0,8}$$

$$U = 0,07 \text{d}^{-1}$$

donde:

$Y_0$ ,  $Y$ ,  $X$ ,  $e$ ,  $E$ ,  $(F/M)$ : son variables que han sido calculadas o descritas anteriormente en este capítulo.

#### f) Estación de bombeo del afluente

Aquí se determinó el caudal que será bombeado a la planta. Para ello fue necesario trabajar con el caudal pico ya que éste se usa para el dimensionamiento de tanques de homogenización, cloración y sistemas de bombeo.

Para este cálculo se utilizó la ecuación 3.13 [12]:

$$Q_{pico} = Q \cdot FP \quad (\text{Ec.3.13})$$

$$Q = 2.839 \text{ l/d} \cdot \frac{1 \text{d}}{1.440 \text{ min}} = 1,97 \text{ l/min.}$$

$$Q_{pico} = 1,97 \text{ l/min. } 2,5 = 4,925 \text{ l/min.}$$

donde:

*FP*: factor pico = 2,5 [12]

*Q*: es el valor del caudal de operación calculado previamente con la ecuación 3.5.

El factor pico es un parámetro utilizado para la normalización de los caudales, ya que a veces se dificulta comparar los valores numéricos de caudales máximos para diferentes plantas de tratamiento de agua residual. El valor de 2,5 fue tomado de la tabla 2.7, y es el usado para el caso de comunidades pequeñas [12].

#### **g) Tiempo de retención celular ( $\theta_c$ )**

El tiempo de retención celular es el tiempo promedio que los microorganismos permanecen en el sistema. Se define como la masa de los organismos removidos del sistema cada día.

Éste se calculó con la ecuación 3.14 [11]:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{a \cdot Y_0 - Y}{X \cdot \theta \cdot e} - b \quad (\text{Ec.3.14})$$

donde:

$\theta$ : tiempo de retención hidráulico (*d*), el cual fue descrito al inicio de la muestra de cálculos

*a*: coeficiente de productividad = 0,8 ; [tabla 3.2]

*b*: coeficiente de respiración endógena = 0.025  $d^{-1}$  ; [tabla 3.2]

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{0,8 \cdot (250 - 25) \text{mg/l}}{4.000 \text{mg/l} \cdot 1 \text{d} \cdot 0,8} - 0,02 \text{d}^{-1}$$

$$\theta_c = 28 \text{ d}$$

#### h) Tanque de aireación (reactor)

Este cálculo permite determinar el volumen del reactor, para realizar el dimensionamiento del mismo. Éste se realizó:

De acuerdo al tiempo de retención hidráulico, usando la ecuación 3.15 [12]:

$$V = Q \cdot \theta \quad (\text{Ec.3.15})$$

donde:

$V$  es el volumen del reactor (tanque de aireación) en  $\text{m}^3$

$Q$  fue calculado con la ecuación 3.5 y  $\theta$  es el tiempo de retención hidráulico descrito anteriormente y el cual fue tomado de la tabla A.1 anexo A.

**Tabla 3.2 Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados para aguas residuales domésticas <sup>[11]</sup>**

		Valor	
Coefficiente	Base	Rango	Típico



k	d <sup>-1</sup>	2-10	4
K	mg DBO <sub>5</sub> / l	25-100	60
a	mg SSV/ mg DBO <sub>5</sub>	0,4-0,8	0,6
b	d <sup>-1</sup>	0,02-0,1	0,055

$$V = 2.839 \text{ l/d} \cdot 1 \text{ d} = 2.839 \text{ l}$$

$$V = 2.839 \text{ l} \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 2,839 \text{ m}^3$$

De acuerdo a la carga aplicada de DBO, donde se establece que por  $1 \text{ m}^3$  de líquido hay  $0,24 \text{ kg}$  de DBO [20].

$$S = \text{DBO}_5 \text{ aplicada} = 2.839 \text{ l/d} \cdot 250 \text{ mg/d} \cdot 1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg} = 0,71 \text{ kg/d}$$

$$V = S \cdot 1 \text{ m}^3/0,24 \text{ kg} = 0,71 \text{ kg/d} \cdot 4,16 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{Ec.3.16})$$

$$V = 2,9 \text{ m}^3 \cdot 1.000 \text{ l}/1 \text{ m}^3 = 2.900 \text{ l} \text{ aprox. } 2.839 \text{ l}$$

donde:

$$S = \text{DBO}_5 \text{ aplicada} = Q \cdot Y_o ; \text{ calculada con la ecuación .3.7}$$

$V$  = volumen del reactor

La ecuación 3.16 viene del criterio establecido en la bibliografía [20], donde por cada  $\text{m}^3$  de líquido residual hay  $0,24 \text{ kg}$  de DBO

De acuerdo a la altura de los difusores de aire, establecida según manufactura de este tipo de aireadores, se fija la altura efectiva del tanque, siendo ésta de  $1\text{ m}$  [21]. Se llama altura efectiva aquella hasta la cual va a llegar el líquido, ya que por encima de esta altura se coloca la entrada de agua a la planta. Aparte el tanque tendrá unos centímetros más de altura por encima de la entrada del agua, como seguridad contra derrames, salpicaduras, ya que en este tanque existirá una gran turbulencia. Esta altura no tiene que ser tan grande, con  $20\text{ cm}$ . es suficiente de acuerdo a la magnitud de la turbulencia que se presenta en estas plantas [20].

Trabajando con un volumen de  $2839\text{ l}$  y una altura de  $1\text{ m}$  y de acuerdo a la ecuación 3.17 se procede al cálculo del área del tanque.

$$\dot{A}rea = \frac{V}{h} \quad (\text{Ec.3.17})$$

$$\dot{A}rea = L \cdot c \quad (\text{Ec.3.18})$$

donde:

$h$ : altura efectiva de reactor ( $m$ )

$L$ : largo del tanque ( $m$ )

$c$ : ancho del tanque ( $m$ )

$$\dot{A}rea = \frac{2.839\text{l}}{1\text{m}} \cdot \frac{1\text{l}}{1.000\text{m}^3} = 2,8\text{ m}^2$$

Dado que el área es, también, igual a lado por ancho, como se muestra en la ecuación 3.18, se distribuyó este valor de manera de darle al tanque forma rectangular tomando un valor para el largo de  $2\text{m}$ , por lo que aplicando la ecuación 3.18 y despejando de ella el ancho, se obtuvo el valor del mismo.

$$c = \frac{\text{Área}}{L} = \frac{2,8m^3}{2m} 1,4 m$$

**i) Cálculo de oxígeno y aire requerido**

este cálculo se aplicó en base al criterio de que la cantidad de oxígeno por kilogramo de DBO removida se encuentra en un rango de [1,25- 1,8] kg de oxígeno [22].

$$O_2 \text{ req} = \frac{[1,25 - 1,8]kgO_2}{kgDBO_{5removido}}$$

de acuerdo a la eficiencia del proceso, calculada en este capítulo, se tiene que el 90 % de la DBO será removida del agua residual del sistema, por lo que entonces se puede decir que:

$$\% DBO_5 \text{ removida} = 90 \% DBO_5 \text{ aplicada}$$

$$DBO_5 \text{ removida} = 0,9. DBO_5 \text{ aplicada} \quad (\text{Ec.3.19})$$

donde:

$$DBO_{aplicada} = S = 0,71 \text{ kg DBO/d} ; \text{ calculado con la ecuación 3.7}$$

por lo tanto:

$$DBO_5 \text{ removida} = 0,9. 0,71 \text{ kg/d} = 0,639 \text{ kg/d}$$

entonces, el rango de  $O_2$ , según el criterio:

$$O_2 \text{ Req} = [1,25 - 1,8] \frac{\text{kg}O_2}{\text{kg}DBO_{\text{removida}}} \cdot 0,639 \frac{\text{kg}DBO_{\text{removida}}}{d}$$

$$O_2 \text{ Req} = [0,8 - 1,15] \frac{\text{kg}O_2}{d}$$

omando en cuenta que:

$1,201 =$  peso (kg) de  $1 \text{ m}^3$  de aire [27]

$23,2 \% = O_2$  contenido en el aire [27]

$6\% =$  eficiencia de transferencia de un difusor de burbuja común expresado como porcentaje [21].

$$1,201 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,232 \cdot 0,06 = 0,0167 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Ec.3.20})$$

Entonces se calculó el volumen de aire que se requerirá para el proceso, a fin de suministrar la cantidad de oxígeno necesario.

$$\text{Airereq} = \frac{0,8 \text{ kg}O_2 / d}{0,0167 \text{ kg} / \text{m}^3} = 47,9 \text{ m}^3 / d \quad (\text{Ec.3.21})$$

$$\text{Airereq} = \frac{1,15 \text{ kg}O_2 / d}{0,0167 \text{ kg} / \text{m}^3} = 68,86 \text{ m}^3 / d$$

Llevando todo a unidades inglesas, en vista de que la compañía manufacturera trabaja en estas unidades:

$$\text{Aire req} = 47,9 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 35,3147 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}/1440 \text{ min} = 1,17 \text{ CFM}$$

$$\text{Aire req} = 68,86 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 35,3147 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}/1440 \text{ min} = 1,7 \text{ CFM}$$

$$\text{Aire req} = [ 1,17 - 1,7 ] \text{ CFM}$$

demás se utilizó, para comprobar el criterio anterior la ecuación 3.22, extraída de la literatura [10]:

$$R_{O_2} = a' \cdot B \cdot E + b' \cdot SSV \quad (\text{Ec.3.22})$$

donde:

$R_{O_2}$ : kilogramos de oxígeno requeridos en el sistema por día

$a'$ : coeficiente que representa la fracción de DBO<sub>5</sub> días removida, usada para suministrar energía para el crecimiento

$B$ : kg de DBO agregados al sistema por día

$E$ : eficiencia de la remoción de DBO del sistema, como decimal

$b'$ : coeficiente que representa la rata de respiración endógena

$SSV$ : kg de sólidos suspendidos volátiles contenidos en el aireador.

$a'$  se ha encontrado variar entre 0,35 y 0,55 y  $b'$  entre unos 0,01 y 0,12, estos datos se encuentran establecidos en la bibliografía [10].

ara los cálculos se establecen los siguientes valores para los coeficientes:

$$a' = 0,4 \text{ y } b' = 0,1$$

plicando los valores a la ecuación 3.18

$$R_{O_2} = 0,4 \cdot 0,71 \text{ kg DBO}/\text{d} \cdot 0,9 + 0,1 \text{ d}^{-1} \cdot 9 \text{ kg SSV}$$

$$R_{O_2} = 1,15 \text{ kg } O_2/\text{d}$$

La dentro del rango establecido inicialmente. Se tomará para el diseño el valor superior del rango ya que a mayor cantidad de aire, mayor es la cantidad de oxígeno y esto beneficia el proceso.

#### **j) Cálculo del sedimentador (clarificador)**

De acuerdo a la bibliografía [11], el tiempo mínimo de retención para un sedimentador rectangular es entre 2 a 4 horas.

Tomando el valor de 4 horas, se calculó el volumen del tanque aplicando la ecuación 3.9:

$$V_s = Q \cdot \theta = 2.839 \frac{l}{d} \cdot 4h \cdot \frac{1d}{24h} = 473,2l ; \text{llevándolo a } m^3 \quad (\text{Ec 3.9})$$

$$V_s = 0,5 m^3$$

Para el dimensionamiento se recurrió al siguiente criterio:

“Como este tanque, comparte una de las paredes laterales del reactor, entonces posee la misma medida de  $c = 1,4 m$ ”.

El volumen del sedimentador se distribuye en dos partes para efectos de cálculo, dado que la parte superior de la unidad será de forma rectangular y la parte inferior será de forma trapezoidal, para que no se adhieran los sólidos que van sedimentando.

En vista que la cantidad de sólidos que sedimentan pueden ser considerados como despreciables, ya que es un proceso donde ocurre prácticamente oxidación completa, entonces la parte inferior (tolva) no es necesario que sea de gran tamaño.

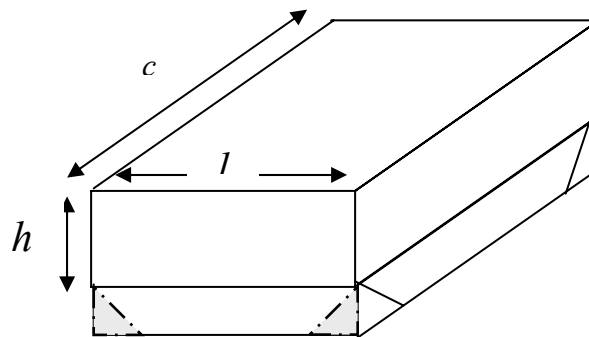
Asignando a la parte rectangular un 70 % del volumen total del tanque y a la tolva un 30 % entonces:

$$V_1 = 0,35 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,15 \text{ m}^3$$

Para determinar las dimensiones del sedimentador entonces, con el volumen 1, el lado conocido (que comparte con el reactor,  $c$ ) y fijando una altura de  $0,7 \text{ m}$  a la parte rectangular de la unidad (superior), se encuentra el lado faltante, aplicando la ecuación 3.23, del volumen de un rectángulo.

El valor de  $0,7 \text{ m}$  para la parte superior del sedimentador se fijó dado que la tolva no será necesaria de gran tamaño en vista de que la generación de lodos en este tipo de procesos es pequeña y considerando que esta altura para la parte superior será suficiente, analizando los valores tomados en plantas de mayor tamaño.



$$V_1 = L \cdot c \cdot h \quad (\text{Ec. 3.23})$$

donde:

$V_1$  = volumen de la fracción superior del sedimentador (rectangular), en  $l$

$L$  = longitud ( $m$ )

$c = 1,4 =$  ancho (pared que comparte con el reactor) ( $m$ )

$h = 0,7 =$  altura ( $m$ )

Despejando de la ecuación 3.19 se tiene que:

$$L = \frac{0,35m^3}{1,4m \cdot 0,7m} = 0,4 m$$

Para la parte inferior (tolva) entonces queda una altura de  $0,3 m$  y con eso, aplicando las ecuaciones 3.24 y 3.25 se obtiene la dimensión de la base de la tolva.

$$V_2 = A \cdot c \quad (\text{Ec 3.24})$$

$$A = \frac{a+b}{2} \cdot h \quad (\text{Ec 3.25})$$

donde:

$V_2 =$  volumen de la fracción inferior del sedimentador (tolva)

$A =$  área de un trapecio ( $m^2$ )

$a =$  base superior de la tolva ( $m$ )

$b =$  base inferior de la tolva ( $m$ )

Sustituyendo la ecuación 3.24 en la ecuación 3.25 queda:

$$V_2 = \frac{a+b}{2} \cdot h \cdot c$$

Despejando  $b$ , se obtiene:



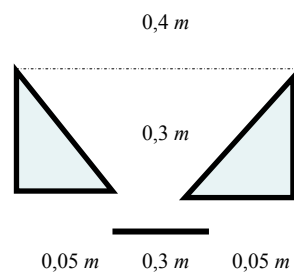
$$b = \frac{2V}{h \cdot c} - a$$

$$b = \frac{2 \cdot (0,15)}{0,3 \cdot 1,4} - 0,4$$

$$b = 0,3 \text{ m}$$

Como se puede notar la diferencia entre la base superior y la inferior, del trapecio, es solo de 0,01 m, por lo que al centrar la parte inferior da un valor de 0,05 m de cada lado.

Teniendo los valores de todos los lados de la tolva, entonces se obtiene el ángulo de inclinación de las paredes laterales de la tolva, aplicando trigonometría.



$$\text{Tang } \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha} \quad (\text{Ec 3.26})$$

$$\alpha = \text{Tang}^{-1} \quad (\text{Ec 3.27})$$

$\text{sen } \alpha = \text{cateto opuesto al ángulo } \alpha$

$\cos \alpha = \text{cateto adyacente al ángulo } \alpha$

$$\text{Tang } \alpha = \frac{0,3}{0,05} = 6$$

$$\text{Tang}^{-1} = 80^\circ$$

Dentro del sedimentador se hace necesario incluir una pequeña unidad denominada unidad de retorno de lodos, dentro de la cual van a estar situadas unas tuberías que harán regresar el lodo del sedimentador, al reactor. Esta unidad tiene como función principal evitar que se genere turbulencia por efecto de la succión del lodo, dentro del sedimentador. Ésto debe evitarse a toda costa, ya que ocasionaría que el agua se revuelva y se enturbie por la subida del lodo. En el sedimentador el agua debe estar en total calma para que los sólidos precipiten. Esa unidad de retorno de lodos, lo que hace es encapsular el agua, lo cual evita que en el sedimentador se produzca turbulencia. Esta unidad solo debe tener las dimensiones suficientes para que en ella entren las dos tuberías de retorno.

### **k) Clorinador**

Se calculó el volumen de esta cámara, de acuerdo con el caudal promedio y al caudal pico, este último usado para el dimensionamiento de este tipo de cámaras.

Para el caudal promedio = 2.839 l/d el volumen requerido es el siguiente:

$$V_c = Q \cdot t_{rt} \quad (\text{Ec 3.28})$$

donde:

$t_{rt}$ : tiempo retención en el clorinador = 30 min. [22].

$$V_c = 2.839l/d \cdot 30 \text{ min} \cdot \frac{1d}{1.440 \text{ min}} = 59,145l$$

Para el caudal máximo se utilizó también la ecuación 3.22, pero aplicando el caudal pico, calculado anteriormente en este capítulo (Ec.3.13), que es el utilizado para el dimensionamiento de este tipo de cámara, para prever los posibles cambios de caudal que puedan afectar el proceso de desinfección [12], y un  $t_{rc}$  de 15 min de acuerdo a lo indicado en la literatura [22].

$$V_c = 2,5 \cdot 2.839l/d \cdot 15 \text{ min} \cdot \frac{1d}{1.440 \text{ min}} = 73,9l$$

Con el volumen obtenido para dicha cámara, se procedió al dimensionamiento de la siguiente manera:

$$V_c = l \cdot h \cdot c \quad (\text{Ec 3.29})$$

Donde:

$l$ : largo del tanque ( $m$ )

$h$ : altura o profundidad del tanque (efectiva) ( $m$ )

$c$ : ancho del tanque ( $m$ )

El ancho del tanque viene dado por el tanque sedimentador, ya que esa es una pared compartida por ambas cámaras y tiene un valor de 1,4  $m$ .

Se procedió a fijar el largo en 0,3 $m$ , dado que esta cámara va a ser de forma rectangular sin mayores complicaciones y considerando que esta medida será suficiente para cumplir con el objetivo. Esto es basado en recomendaciones de los

ingenieros, en base a experiencias previas. Con estos dos valores y el volumen se procedió a hallar la altura efectiva del tanque.

La altura efectiva va a ser aquella a la cual va a estar situada, en el tanque, la salida de agua tratada del proceso, es decir, es la altura hasta la cual esta se va a llenar de líquido.

De la ecuación 3.29, despejando la altura se tiene:

$$h = \frac{Vc}{l \cdot c}$$

$$h = \frac{0,074m^3}{1,2m \cdot 0,3m}$$

$$h = 0,21m$$

Para la altura total del tanque se establecieron unos  $0,20m$  [20] más, por encima de la salida del agua, dando una altura total para el tanque de  $0,41m$ .

### 1) Relación de recirculación

Esto se realizó con la finalidad de obtener una relación de cuanto lodo se recirculará al reactor, en base al caudal de diseño. Para esto se hizo un balance de masa alrededor del reactor, figura 3.2:

$$Q \cdot X_o + R \cdot X_r = (Q+R) \cdot X \quad (\text{Ec.3.30})$$

Si se supone que la concentración de sólidos suspendidos totales del afluente es pequeña en relación con las otras concentraciones de sólidos suspendidos totales entonces:

$$R/Q = X / (X_r - X) = (4000 \text{ mg/l}) / (10000 \text{ mg/l} - 4000 \text{ mg/l}) = 0,67$$

$$R = 0,67 Q$$

#### m) Carga volumétrica de DBO

$$\delta = S / V_r = (0,71 \text{ kg DBO/d}) / (2.839 \text{ l}) = (0,33 \cdot 10^{-3} \text{ kg/l.d}) \cdot 1.000 \text{ l/m}^3 \quad (\text{Ec.3.31})$$

$$\delta = 0,00025 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$$

#### m) Producción de lodo (P)

El conocimiento de la producción diaria de lodo es importante, puesto que afecta al diseño de las instalaciones de tratamiento y evacuaciones del lodo en exceso. La producción diaria de lodo que hay que purgar, se puede estimar mediante la ecuación 3.32 [11].

$$P = dQ (Y_o - Y) \quad (\text{Ec.3.32})$$

$$d = \frac{a}{1 + \theta_c \cdot b} = \frac{0,7}{1 + 28d \cdot 0,025d^{-1}} = 0,41 \quad (\text{Ec.3.33})$$

donde:

*d*: producción observada, kg/kg

*b*: coeficiente de respiración endógena ( $0,025 d^{-1}$ ); [tabla 3.2]

$$P = 0,41 \cdot 2.839 l/d \cdot (250 - 25) mg/l \cdot 1 kg/10^6 mg = 5,17 \times 10^{-6} kg/d$$

Como se observa, mediante este cálculo, la cantidad de lodo que se produce por día es despreciable. Si se calcula para un tiempo de 4 meses, se obtiene que:

$$(5,17 \times 10^{-6} kg/d) \cdot 30 d/mes \cdot 4 = 6,2 \times 10^{-4} \text{ kilogramos de lodo en 4 meses}$$

## **CAPÍTULO IV**

### **ÁNÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se discuten los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, basados en los objetivos planteados en el inicio del mismo, como la escogencia de las tres unidades básicas de tratamiento basado en criterios específicos de diseño como calidad, cantidad, origen y características de las aguas a tratar; la explicación detallada de la elaboración de los diagramas de flujo del proceso y la estimación de costos del proyecto, la cual arrojó como resultado una gran factibilidad.

#### **4.1. Selección de los equipos para el proceso, de acuerdo a los parámetros de diseño**

Luego de establecer e identificar los criterios y parámetros necesarios para la selección de los equipos fundamentales para esta planta de tratamiento de aguas residuales, se pudo proceder a la selección de dichos equipos.

Por ser una planta que tratará efluentes residuales de origen doméstico provenientes de pequeños campamentos, para comunidades pequeñas se suele usar el proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida.

Como resultado, luego de conocer los parámetros de diseño relacionados con el tipo de planta, el tipo de proceso y el tipo de agua a utilizar, se determinó que para

dicha planta solo sería necesario básicamente tres unidades fundamentales para cumplir con el proceso: el reactor, el sedimentador y el clorinador.

Además de estas tres principales unidades, en el diseño se incluyen otros procesos y equipos tales como:

Tanque primario o tanquilla, donde son enviados los afluentes provenientes de las casas rodantes, y en el cual, están colocadas 2 bombas sumergibles que servirán para el bombeo de las aguas residuales a la planta.

Rejillas de debaste, se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simple partículas que son arrastradas por las corrientes de agua. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones que podrían ser dañadas u obstruidos. Generalmente son en forma de rejas o tamices.

Difusores de aire, los cuales están conectados a una unidad de soplado de aire para suministrar suficiente cantidad de oxígeno al reactor para lograr la reducción de la DBO

Tuberías, conexiones o válvulas, tablero eléctrico, etc.

Una vez seleccionados los equipos, se procedió al dimensionamiento de cada uno y a determinar todas las variables necesarias en el diseño, tales como: caudal de diseño, cargas de diseño, factor de carga, eficiencia del proceso, oxígeno y aire requerido, producción de lodo.

En la tabla 4.1 se resumen, todos los resultados obtenidos en el capítulo 3, sobre el diseño de la planta y en la tabla 4.2 las dimensiones de las tres unidades principales del proceso, también obtenidas en el capítulo anterior y en el cual se encuentra la muestra de cálculo para llegar a estos valores.



Algunos datos son valores promedio, tomados de experiencias realizadas anteriormente, los cuales fueron empleados para la realización de cálculos y los cuales se encuentran tabulados en los archivos de la compañía y en la literatura. Además existen valores constantes, cuyos rangos se encuentran en la bibliografía, de acuerdo al proceso de depuración que vaya a utilizarse. Éstas constantes se pueden ubicar en las tablas 3.2 y 4.3.

El caudal de diseño,  $Q= 2.839$  l/d, fue obtenido de acuerdo con el volumen exigido por Oxialquilados. Ésta tiene entre sus proyectos introducir una planta de menor tamaño que la que ya poseen y especificó la necesidad de una de 750 gal (2.839 l).

En cuanto a las cargas de diseño,  $S= 0,71$  kg  $DBO_5$ /d,  $B= 11,4$  kg SSLM/d,  $A= 9$  kg SSV/d, se tiene que estas resultaron con valores pequeños debido a que el caudal a manejar por la planta, es muy pequeño, aproximadamente de 2 litros por minuto como se observa en la muestra de cálculos.

La eficiencia,  $E= 90\%$ , no es más que el porcentaje de depuración que se espera obtener con la puesta en marcha de la planta. Ésta se realizó en base a las concentraciones de la  $DBO_5$ . Con los valores de la concentración de este contaminante a la entrada de la planta y el valor que se espera obtener a la salida de ésta. Este último es tomado de acuerdo a los valores establecidos en la normativa ambiental para el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos. Siempre se toma un valor a la salida de la planta menor que el establecido en la normativa con el fin de dejar un margen de seguridad para poder cumplir con lo establecido legalmente. Los valores de la normativa se encuentran tabulados en el anexo B.

De la tabla 4.3 se puede explicar que  $a$  es el coeficiente de producción bacteriana máxima; (mg/mg) definido como la relación de masa de células formadas en comparación con la masa consumida de sustrato, medida durante cualquier período finito del crecimiento logarítmico.

Para la estación de bombeo del afluente el caudal se asume en 2.839 l/d el cual fluirá por gravedad por una línea directa desde las casas hasta dicha estación. Como el caudal es pequeño, se propone usar algún dispositivo, elegido de acuerdo al caudal pico, con el fin de contrarrestar el problema que estas aguas traen consigo pequeñas impurezas como pelusas, que interfieren en el bombeo ya que obstruyen la tubería y la entrada de agua a la planta. En el anexo C se puede observar un tipo de dispositivo llamado bomba trituradora GP<sub>2010</sub>, el cual fue hallado a través de la investigación y se puede recomendar para este uso. En dicho anexo se presentan las características de este dispositivo.

El cálculo del tamaño de la cámara de aeración se realizó utilizando como criterios el tiempo de retención hidráulico (24 h) o la carga aplicada de DBO<sub>5</sub>, donde existen 6,8 kg de DBO<sub>5</sub> por cada 28,32 m<sup>3</sup> de líquido residual.

Ya que se necesitará un tanque de 2.900 l, y este es rectangular, se procedió a dimensionar el reactor de la siguiente manera, siguiendo las recomendaciones y experiencias de los ingenieros, basados en las plantas de mayor tamaño y en las especificaciones establecidas por la manufactura de los difusores de aire, los cuales poseen una altura de 0,9 m por lo cual se fijó una altura efectiva del tanque de 1 m.

$$\text{Ancho} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Nivel libre de líquido} = 0,2 \text{ m}$$

**Tabla 4.1 Resultados obtenidos en el diseño de la planta**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal de diseño	Q	l/d	2.839
Caudal promedio por habitante	q <sub>o</sub>	l/d.hab	250
DBO <sub>5</sub> afluente	Y <sub>o</sub>	mg/l	250
DBO <sub>5</sub> efluente	Y	mg/l	25
Nº de personas	Nº hab.	Pers	12
Carga de DBO <sub>5</sub> afluente	S	kg DBO <sub>5</sub> /d	0,71
Carga e sólidos suspendidos de licor de mezcla	B	kg SSLM/d	11,4
Carga de sólidos suspendidos volátiles	A	kg SSV/d	9
Factor de carga	K	d <sup>-1</sup>	0,078
Eficiencia	E	%	90
Tiempo de retención celular	Θ	D	28
Caudal pico	QP	l/m	4,925
Volumen del reactor o cámara de aireación	V	m <sup>3</sup>	2,9
Carga volumétrica	Δ	kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d	0,25
Relación de recirculación	R/Q		0,67
Oxígeno requerido	O <sub>req</sub>	kg O <sub>2</sub> /d	[ 0,8 – 1,15 ]
Aire requerido	A <sub>req</sub>	Pie <sup>3</sup> /min	[1,17-1,7]

**Tabla 4.2 Dimensiones de las principales unidades de la planta**

Unidad	Largo (m)	Ancho(m)	Altura (m)
Reactor	2	1,4	1,2
Sedimentador	0,4	1,4	1,2
Clorinador	0,3	1,4	0,41

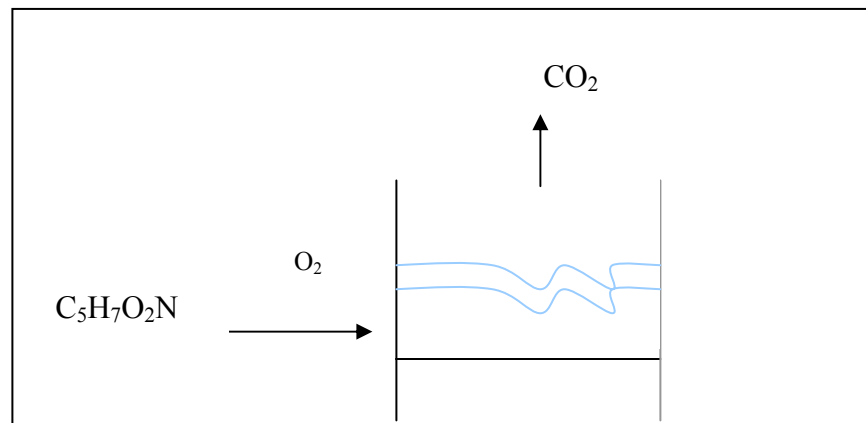
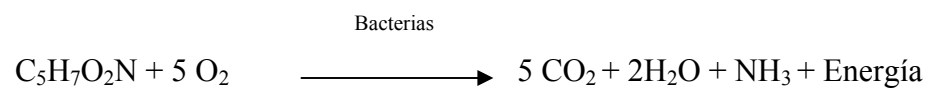
**Tabla 4.3 Constantes para procesos de lodos activados, aireación extendida**  
[11]

$a = 0,8$	Coefficiente de crecimiento celular
$b = 0,02 \text{ d}^{-1}$	Coefficiente de autoxidación o decaimiento endógeno
$e = 0,8$	% de material volátil
$X = 4000 \text{ mg/l}$	Sólidos suspendidos en el licor de mezcla
$X_r = 10000 \text{ mg/l}$	Sólidos suspendidos de retorno o de recirculación.
$\theta = 24 \text{ h}$	Tiempo de retención hidráulico

El criterio que se siguió fue básicamente que éste será un tanque rectangular cuya altura estará dada por la altura de los difusores de aire. Por ello con la altura y el volumen se obtuvo el área del tanque y luego con ese valor, y dándole un ancho de 1,4 m se obtuvo el valor del largo.

Además se adicionarán 20 cm por encima de la entrada de agua, por seguridad, lo que dará una altura total del tanque de 1,2 m. Las dimensiones obtenidas se encuentran reflejadas en la tabla 4.2.

En la figura 4.1 se puede ver la reacción química que ocurre dentro del reactor. Además el tanque de aireación, se puede observar detalladamente en la figura 4.2, la cual muestra, también, la forma y ubicación de los difusores de aire y del clarificador (sedimentador). En el tanque de aireación ocurre la siguiente reacción [12]:



**Figura 4.1 Reacción química del proceso**

De acuerdo con la cantidad de oxígeno requerido, se debe obtener la cantidad de aire necesario para proveer dicho oxígeno.

Las ecuaciones para estos cálculos están basadas en la bibliografía [23]. Se sugiere usar un soplador que produce  $14 \text{ pie}^3/\text{min}$  a 2,5 psi. Este soplador tiene el tamaño necesario para servir la demanda de oxígeno calculado, y hace funcionar el

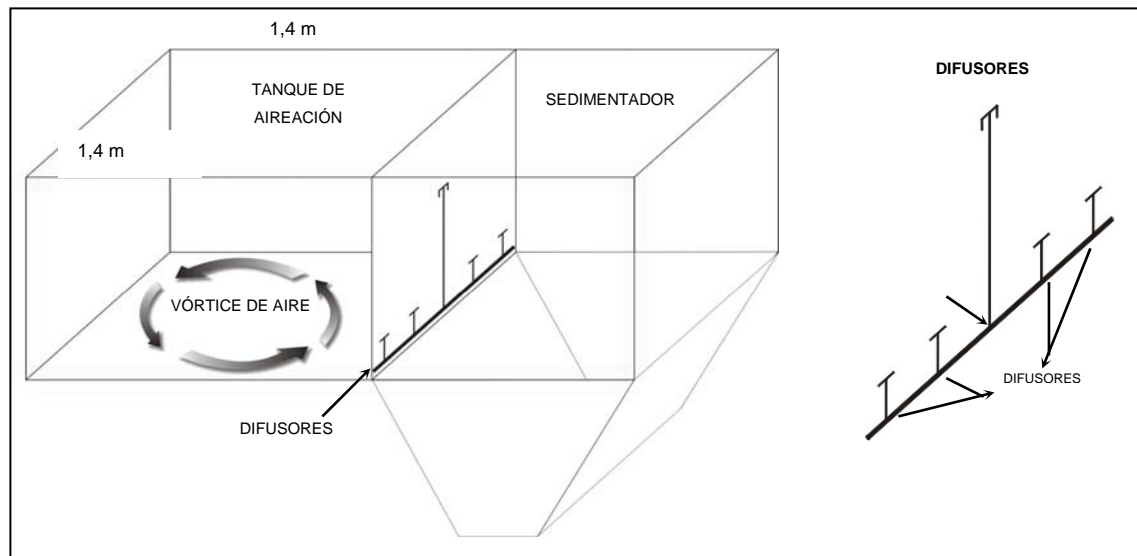
compresor. Los datos sobre este soplador se pueden hallar en el anexo C2 y C.3. Se espera tener un motor de 0,5 a 1 HP sobre la unidad instalada.

De acuerdo con las plantas existentes estas poseen dos gotas por difusor, este difusor deberá ser ubicado paralelo a la pared o tabique hermético en el extremo del clarificador. La manufactura de sistemas pequeños prefiere generalmente a localizar el difusor de manera que maximice las mejores condiciones de mezcla. Se observan los difusores generalmente localizados cerca de una pared que hace rodar el agua hacia la pared opuesta, lo que asegura la transferencia máxima adecuada de  $O_2$  al mezclarse.

En cuanto al dimensionamiento del sedimentador (clarificador) se tomó un tiempo de retención, para esta unidad, de 4 horas, dado que esta será de forma rectangular, y como ya se explicó en el capítulo anterior, el rango establecido para ello está entre 2 y 4 horas.

Con el tiempo de retención  $t=28d$  y el caudal de diseño  $Q=2.839l/d$ , utilizando las ecuaciones correspondientes, se obtuvo el volumen del sedimentador  $V=2,9m^3$ .

Por ser una planta compacta, el sedimentador estará unido por la misma pared lateral al reactor, es decir, que ya se tiene el valor del ancho del tanque del sedimentador. También poseerá la misma altura del reactor. Con todos los datos conocidos se calculó el área del tanque y posteriormente el valor del lado faltante, en este caso el largo.



**Figura 4.2 Tanque de aireación (reactor)**

Esta unidad deberá poseer forma trapezoidal en la parte inferior, ya que en este tipo de proceso existe la generación de lodos, los cuales precipitan, y la forma antes mencionada evitara que los sólidos se adhieran a la paredes del sedimentador.

En el caso preciso de esta planta modular se habla de un proceso de prácticamente oxidación completa, ya que la generación de lodos es mínima,  $P=5,17 \times 10^{-6}$  kg/d, como se puede observar en los cálculos obtenidos en el capítulo 3. Sin embargo la unidad de sedimentación debe ser de forma trapezoidal por lo antes expuesto, ya que por muy mínima que sea la generación de lodos esta debe ser tomada en cuenta en el proceso, pero del poco lodo la tolva no deberá ser tan grande. Ya que la generación de lodos no es grande, entonces la tolva no deberá ser de gran tamaño.

Además será necesario incluir una pequeña unidad, dentro del sedimentador, de retorno de lodos, dentro de la cual deberán estar situados 2 líneas de retorno de lodos

para enviar estos de regreso al reactor. Esta unidad tendrá como función principal evitar que se genere turbulencia, por efectos de las líneas de retorno de lodo dentro del sedimentador, ya que esto debe evitarse en esta unidad debido a que ocasionaría enturbiamiento del agua por la subida del lodo. El agua debe estar en total calma para lograr la sedimentación. Al estar encapsulada esto evitará que el agua de agite, por el efecto de la turbulencia, y se revuelva.

La unidad de retorno solo deberá tener las dimensiones suficientes para que en ella quepan las dos tuberías de retorno.

El sedimentador se comunicará con el reactor por medio de una abertura en forma de ventana de aproximadamente 12 x 8 cms. Ésta se encontrará en el centro de la pared que los divide. Esta ventana se deberá proyectar con un ángulo tal que se obligue al agua a entrar al tanque de retorno de lodos. De las dos líneas presentes en la unidad de retorno, una deberá llegar al fondo y recuperar todos aquellos sedimentos que precipiten y la otra estará situada en la superficie libre del agua y recuperar el material que permanece en suspensión para, también, ser regresado al tanque de aireación.

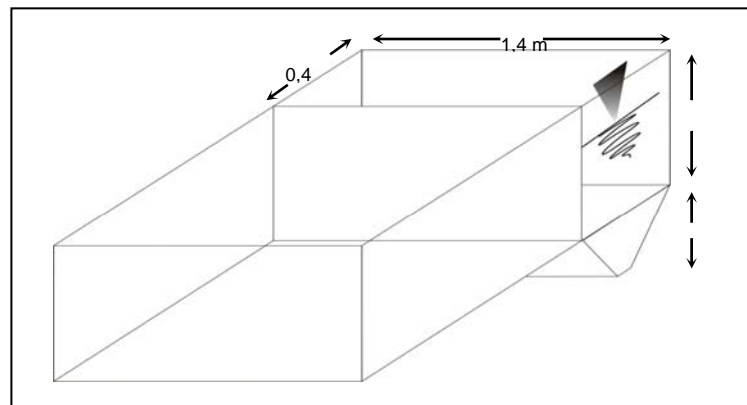
En vista que la unidad de retorno de lodos estará dentro del tanque sedimentador, estos se comunicarán por la parte inferior de la pared que los divide. En el tanque sedimentador también habrá una línea de retorno, la cual deberá estar a nivel del agua para regresar al reactor aquellas partículas que se encuentren en suspensión.

El agua clarificada abandonará esta unidad por rebose a una tubería de descarga a través de un orificio de 4" de diámetro para conducirla al tanque de desinfección.

Todos estos criterios tomados para cada componente de la unidad de sedimentación se hicieron haciendo un análisis de las plantas de mayor tamaño y de



las recomendaciones planteadas por el ingeniero asesor. En la figura 4.3 se puede observar esta unidad.



**Figura.4.3 Sedimentador**

En cuanto al clorinador las regulaciones, requieren que se clasifiquen el compartimiento de contacto con el cloro de la siguiente manera:

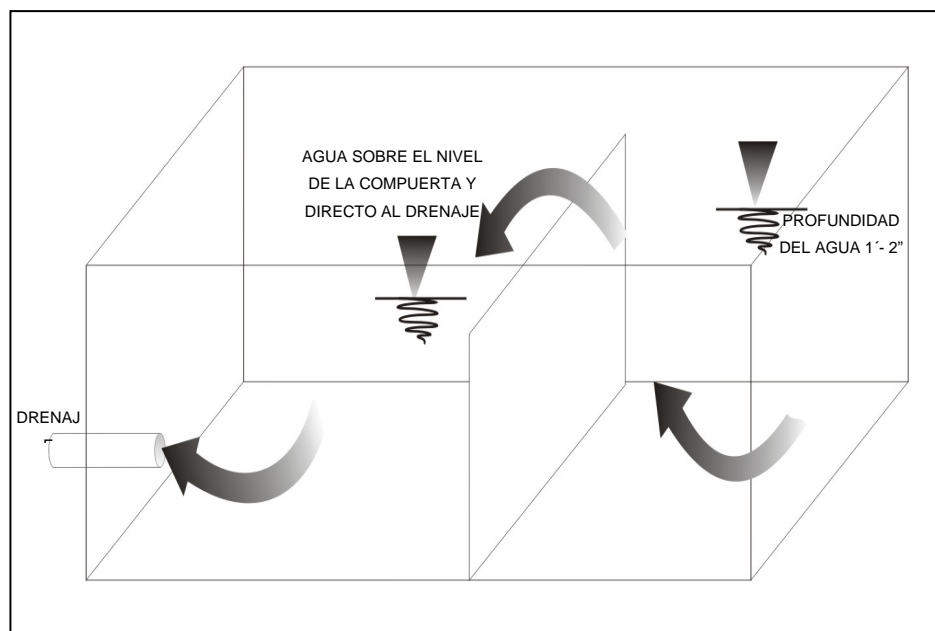
Retención requerida = 30 min en flujos promedios

15 min en flujos máximos

Estos valores se encuentran establecidos en la bibliografía [22]. Según esto, es el tiempo necesario para que se lleve a cabo el proceso de desinfección de las aguas tratadas y así, la eliminación de todos los microorganismos patógenos.

Se utilizan también valores máximos para prever las posibles variaciones, de caudal, que se puedan presentar. En el dimensionamiento se utilizó el caudal pico, criterio establecido para este tipo de unidades.

Al igual que las otras dos unidades, posee el mismo valor de la pared que comparte con el sedimentador. El efluente del sedimentador entra a la cámara de clorinación y se pone en contacto con las tabletas o pastillas de cloro, estas pastillas son de hipoclorito de calcio al 65% y el agua sale apta para el riego de la zona. En la figura 4.4 se presenta el clorinador.



**Figura.4.4 Clorinador**

#### **4.2. Realización de diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales**

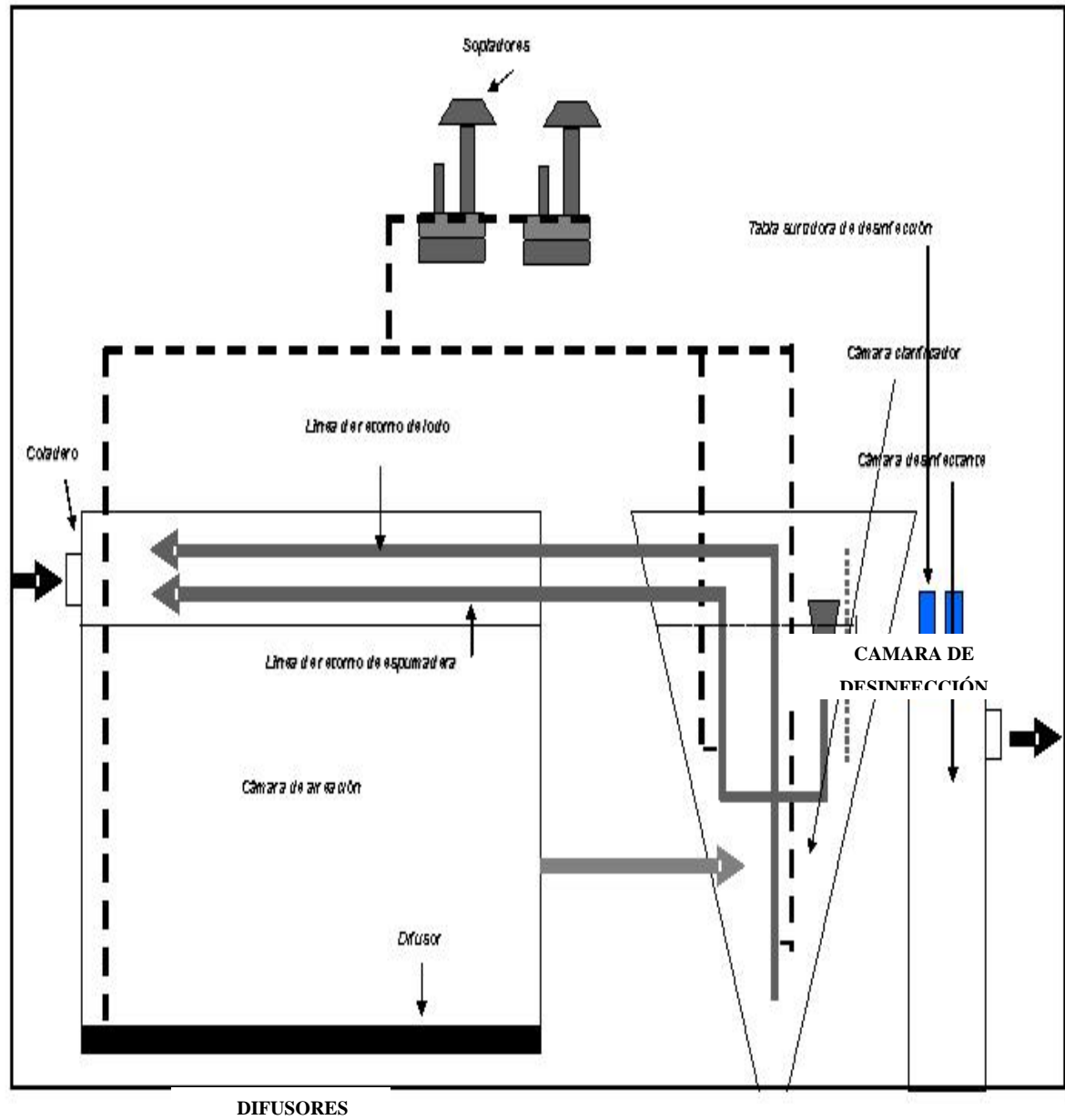
Una vez cumplido con el objetivo 1 del proyecto, el cual consistía en la selección de los equipos del proceso, de acuerdo a una serie de parámetros, se procedió a realizar los diagramas de flujo necesarios e involucrados en el proceso, para explicar esquemáticamente la ubicación de cada componente de la planta, la

secuencia del proceso, y el recorrido de las corrientes de flujo. También se agregó un diagrama de un balance de masa del proceso necesario para el cálculo de algunos parámetros de diseño.

En las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 se pueden observar el diagrama general de la planta, los componentes de la misma y como se encuentran distribuidos, y el corte longitudinal de la misma, respectivamente.

### **4.3. Establecimiento de los costos preliminares para la construcción de la planta**

Una vez que se sabe claramente cada componente que utilizará la planta, su tamaño, su cantidad, entonces se procedió a la búsqueda de cotizaciones de cada elemento, equipo o material y se realizó, el cálculo de los costos generales de la planta. En el anexo D se pueden visualizar las cotizaciones recibidas para la realización de la estimación de los costos preliminares. Los datos de mano de obra, servicios y otros, fueron suministrados por el departamento de costos de la empresa Pascla, C.A, encargada de este tipo de servicios. En la tabla 4.4 se encuentran reflejados los costos generales de cada componente de la planta modular para tratamiento de aguas residuales, así como de la mano de obra y servicios para la construcción de la misma y por ende el costo total de una planta de este tipo.



**Figura. 4.5 Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales**

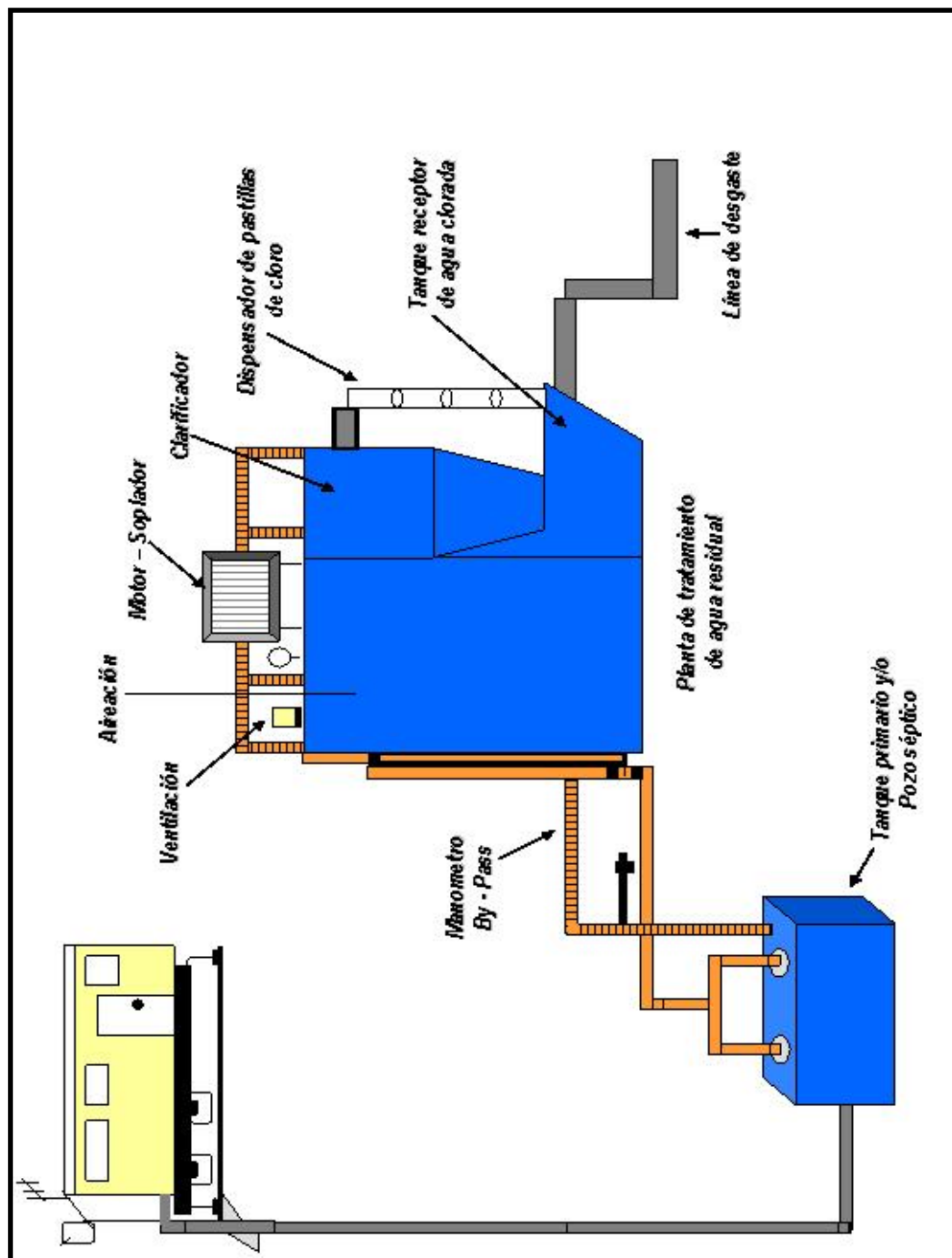


Figura. 4.6 Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales

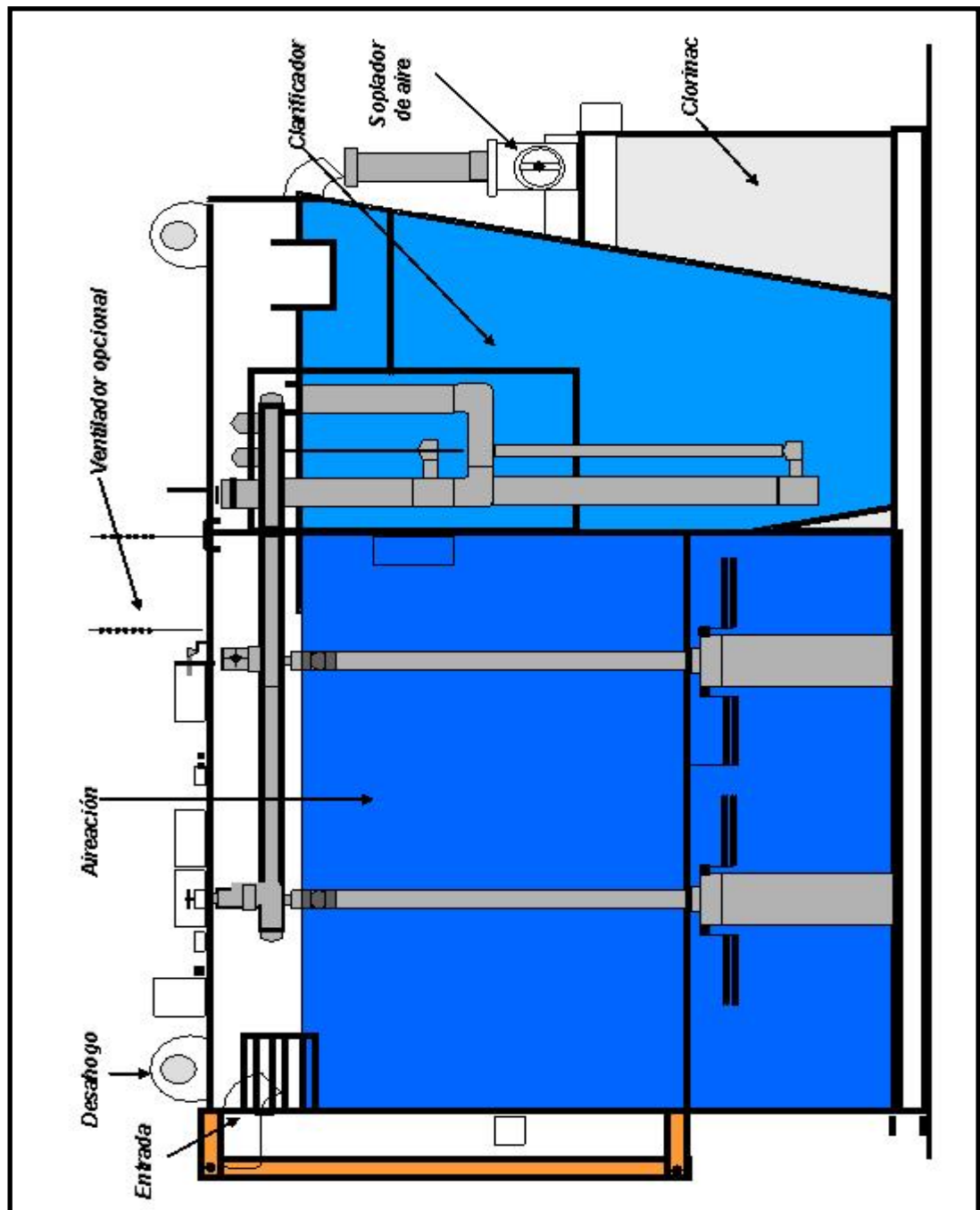


Figura. 4.7 Corte longitudinal de la planta

**Tabla 4.4. Costos generalizados de los componentes de la planta de tratamiento modular de aguas residuales.**

DESCRIPCION DEL MATERIAL	CANT.	PRECIO UNITARIO (Bs.)	COSTO TOTAL (Bs.)
Soplador de 6-7 psi	1	832.500,00	832.500,00
Motor de 0,7 HP, monofásico de 110 voltios de 1.600 a 1.800 rpm	1	350.000,00	350.000,00
<i>Total soplador motor</i>		-	1.182.500,00
Bomba neumoinyectora de levantamiento para una descarga de 1/2 pulgadas	3	973.000	2.919.000,00
Total sistema de recolección, recirculación de lodos y separación de natas		-	2.919.000,00
Bombas sumergibles de arranque automático, entrada 4 pulgadas y descarga de 2 ½ pulgadas	2	1.300.000	2.600.000,00
Total sistema de bombeo de aguas residuales domésticas		-	2.600.000,00
Construcción de un reactor de 3,36m <sup>3</sup> de acero inoxidable (Estructura)		2.200.000,00	2.200.000,00
Construcción de un sedimentador de 0,68m <sup>3</sup> de acero inoxidable (Estructura)		1.800.000,00	1.800.000,00
Construcción de un clorinador de 0,18m <sup>3</sup> de acero inoxidable (Estructura)		1.300.000,00	1.300.000,00
Construcción de un tanque primario de 1m <sup>3</sup> de acero inoxidable (Estructura)			1.100.100,00
Plomería			360.000,00
Electricidad			500.000,00
Tren de rodamiento r 16			1.200.000,00
Mano de obra herrería			500.000,00

Mano de obra pintura		200.000,00
Mano de obra plomería		150.000,00
Mano de obra tren de rodamiento		150.000,00
<b>TOTAL CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA</b>		<b>16.161.500,00</b>

#### 4.4. CONCLUSIONES

1. En el diseño específico de esta planta se trató agua de origen doméstico, con una  $S = 0,71$  kg de  $DBO_5/d$ ;  $Y_o = 250$  mg/l y se fijó un  $Q = 2.839$  l/d.

2. La planta de tratamiento que aquí se presenta se ajusta al siguiente criterio de diseño: una fosa séptica con dos bombas sumergibles de arranque automático, que puede ser conformada por un tanque especial o por una fosa séptica común y corriente ( tanque primario ) y una planta de tratamiento fabricada en metal debidamente protegida contra corrosión y compuesta de 4 compartimientos, con diferentes dimensiones, cada uno de estos con una función específica incluyendo un sistema de clorinación por contacto de pastillas. Además se necesitan equipos como: aireadores, panel eléctrico, soplador, bombas sumergibles, tuberías, pastillas de hipoclorito de calcio, rejillas de debaste.



3. Las dimensiones obtenidas de cada unidad son: reactor = 2m x 1,4m x 1,2m; sedimentador = 0,4m x 1,4m x 1,2m; clorinador = 0,3m x 1,4m x 0,41 m

4. La eficiencia,  $E= 90\%$ , no es más que el porcentaje de depuración que se espera obtener con la puesta en marcha de la planta, en base a las concentraciones de la  $DBO_5$  a la entrada de la planta y el valor que se espera obtener a la salida de ésta. Este último es tomado de acuerdo a los valores establecidos en la normativa ambiental para el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos.

5. El diagrama de flujo para este proyecto consta de solo tres unidades fundamentales de tratamiento donde fluirá el agua de manera continua. Además solo existe una corriente de recirculación del sedimentador al aireador.

6. Los costos fueron establecidos luego de la selección de equipos y materiales necesarios, por medio de cotizaciones suministradas por proveedores y empresas manufactureras, siendo el costo total para la construcción de esta planta modular de tratamiento de aguas residuales de 2.839 litros, Bs. 16.161.500,00 aproximadamente.

#### **4.5. RECOMENDACIONES**

1. Las plantas existentes, de mayor capacidad, no cuentan con una bomba trituradora ya que manejan mayores caudales. Para esta planta en diseño se recomienda agregar una bomba trituradora ya que el caudal es pequeño y arrastra

muchos desechos diminutos que podrían impedir el flujo de entrada a la planta. En los documentos anexos se muestra este tipo de bombas. Ésta debe estar ubicada en la estación de bombeo.

2. La planta debe ser fabricada en metal debidamente protegida contra corrosión, y compuesta de 4 compartimientos con las diferentes dimensiones obtenidas en el desarrollo del proyecto (capítulo 3), cada uno de estos con una función específica, incluyendo un sistema de clorinación por contacto con pastillas.

3. Realizar manual de instrucciones operacionales de la planta, con el objeto de ofrecer las herramientas necesarias, tanto a nivel de instrucciones, como de equipos, que permitan un mejor desenvolvimiento del personal cuando labore con plantas portátiles de tratamiento de aguas residuales.

4. Antes de ser introducidas al mercado se debe verificar que la planta cumpla con las normas y requerimientos ambientales y además se debe obtener el RASDA emitido por el Ministerio del ambiente que certifica que esta cumpliendo con sus objetivos.

#### **4.6. BIBLIOGRAFÍA**

[1]. Castro, A. “**Diseño computarizado de sistemas de tratamiento de aguas residuales**”, Trabajo especial de grado UCV departamento de Ingeniería Química y Petróleo, Caracas (2001).

- [2]. Guarimata, N. **“Evaluación técnica y económica del uso de coagulantes y floculantes en una planta de tratamiento de aguas servidas”**, Tesis de grado, departamento de Ingeniería Química, UDO Anzoátegui, Puerto La Cruz (2002).
- [3]. Ramalho, R. **“Introduction to wastewater treatment process”**, Academia Press; New York (1977).
- [4]. Troitiño, M y Gutiérrez, O. **“Desarrollo de un modelo matemático para una planta de lodos activados”**, Tesis de grado, departamento de Ingeniería Química, UDO Anzoátegui, Puerto La Cruz (1985).
- [5] Márquez, A **“Diseño de un sistema para la recuperación del solvente de desecho en una planta ensambladora de vehículos”**. Tesis de grado, departamento de Ingeniería Química, UDO Anzoátegui, Puerto La Cruz (1998).
- [6] Arcia, M. **“Adecuación del efluente final de aguas residuales provenientes de una planta procesadora de resina de pino”**. Tesis de grado, departamento de Ingeniería Química, UDO Anzoátegui, Puerto La Cruz (1998).
- [7] Mata, R. **“Diseño de un sistema para el manejo y reutilización de los efluentes producidos en las operaciones de las plantas de salmueras”**. Tesis de grado, departamento de Ingeniería Química, UDO Anzoátegui, Puerto La Cruz (1999).
- [8]. Anónimo (2003) Disponible: <http://aguamarket.com/diccionario/> [Marzo2003].

[9]. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. N° 5021 Decreto 883, **“Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos”**, Caracas (1995).

[10]. Rivas, G. **“Tratamiento de aguas residuales”**, segunda edición, ediciones Vega, España (1978).

[11]. Metcalf y Eddy **“Ingeniería de aguas residuales”**, segunda edición, volumen 1, McGraw-Hill, España (1995)

[12]. Crites, R. y Tchobanoglous G, **“Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones”**, McGraw-Hill, Colombia (2000).

[13]. Nalco, **“Manual de agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”**, tomo I, McGraw-Hill, México (1989).

[14]. Barnes, G. **“Tratamiento de aguas negras y desechos industriales”**, primera edición, manuales UTEHA N° 337, México (1970).

[15]. Valdés, P. **“Diseño, operación y control de sistema de lodos activados, tratamiento y disposición final de lodos”**. Cuba (1995).

[16]. Oxialquilados Venezolanos C.A. **“Curso de plantas de tratamiento de aguas servidas”**, Barcelona (2002).

[17]. **“Fabritanques”**. Disponible: <http://www.fabritanques.com.mx/aguanegrhtml> México, [Septiembre 2002].

[18]. Oxialquilados Venezolanos C.A. **“Manual de métodos y ensayos”**, Barcelona (2001).

[19]. Oxialquilados Venezolanos C.A. **“Manual de instrucciones operacionales sobre plantas compactas de tratamiento de aguas residuales”**, Barcelona (2002).

[20]. Dunn & Associates Engineering, INC. Manual **“Sanitaire, water pollution control corp”**. USA (2000).

[21]. **Ecologix Technologies, INC** <http://www.ecologix.com/>[Septiembre 2004].

[22]. Dunn & Associates Engineering, INC. **Manual purestream “Sewage treatment. the activated sludge process and variations”**. USA (2001)

[23]. **“Red Fox”**. Disponible: [http:// www.redfoxenviro.com](http://www.redfoxenviro.com) [Noviembre 2002].

[24]. Walas, S. **“Chemical process equipment”**, Butter Worth-Heinemann. USA (1990).

[25]. Pürschel, W. **“El tratamiento de las aguas residuales domésticas (técnicas de depuración)”**, tomo 6, ediciones URMO SA, España (1982).

[26]. **“Manual Environment/one corporation”** (1997).

[27]. Perry, R **“Manual del ingeniero químico”**, sexta edición tomo I, McGraw-Hill, México (1994).

[28]. **“Roots Dresser”**. Disponible: [http:// www. rootsdresser.com](http://www.rootsdresser.com) [Septiembre 2004]

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO**

<b>TÍTULO</b>	<b>“DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UNA PLANTA MODULAR PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>AKYRA SACHENCKA VALLEE APONTE</b>	<b>CVLAC: E MAIL:</b>

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

**Palma**

**Cordoba**

**Jabón**

**Saponificación**

**Grasas y aceites**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Este trabajo se realizó con la finalidad de diseñar una planta modular de tratamiento de aguas residuales de una menor capacidad que las ya existentes en la compañía Oxialquilados Venezolanos C.A. Para ello se recurrió a una serie de datos aportados por dicha compañía, referentes a las características de las aguas a tratar y a la normativa ambiental (decreto 883) donde se establecen las condiciones finales esperadas a las cuales deben encontrarse al momento de ser vertidas a los medios receptores. Esta planta debe tratar aguas residuales de origen doméstico. El caudal de diseño es de 2.839 l/d siguiendo las exigencias de la compañía. Primero se procedió a determinar las cargas de diseño a manejar por la planta de tratamiento de aguas residuales, siendo el proceso a utilizar el de lodos activados de aireación extendida, el cual se utiliza extensivamente en plantas compactas para comunidades pequeñas, ya que requiere una carga orgánica baja y un tiempo de aireación largo. La elección de los equipos se basó en experiencias previas con plantas de mayor capacidad, donde se utilizan básicamente tres unidades: reactor, sedimentador y clorinador. Además se realizaron los diagramas de flujo correspondientes del proceso de tratamiento de aguas residuales y el adecuado análisis de costos, el cual arrojó como resultado un monto aproximado de Bs. 16.161.500 para la construcción de la planta.



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA x	AS	TU	JU
<b>Ing. Quim Maritza Millán</b>	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
<b>Lic. Quim. Johnny</b>	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
<b>Ing. Quim Osvaldo Ochoa</b>	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
<b>Ing. Quim Hernán Raven</b>	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2007	06	
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

**Ing. Maritza Millán**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Diseño_Plantamodular:Aguaresidual.doc	<b>Aplicación/msword</b>

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J K L M N O P Q  
R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

**ALCANCE**

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Ingeniero en proceso\_\_\_\_\_**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Pregrado\_\_\_\_\_**ÁREA DE ESTUDIO:**Ingeniería Química**INSTITUCIÓN:**Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui\_\_\_\_\_

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:

**“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”**

---

**Akyra Vallee**

**AUTOR**

---

**Ing. Maritza Millán**

**TUTOR**

---

**Ing. Hernán Raven**

**JURADO**

---

**Ing. Osvaldo Ochoa**

**JURADO**

---

**Lic. Quim. Johnny**

**TUTOR**

---

**Prof. Yraima Salas**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**