



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE CIVIL**



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS PARA LAS  
TRINCHERAS, MUNICIPIO NAGUANAGUA ESTADO CARABOBO**

**Autoras:**

**Carreño Carla**

**Vittar María**

**Valencia, Abril 2009**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INEGNIERÍA**  
**ESCUELA DE CIVIL**



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS PARA LAS  
TRINCHERAS, MUNICIPIO NAGUANAGUA ESTADO CARABOBO**

**Trabajo presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título  
de Ingeniero Civil**

**Autoras:**

**Carreño Carla**

**Vittar María**

**Tutora:**

**Mariela Aular**

**Valencia, Abril 2009**



Universidad de Carabobo  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Civil



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado designado para estudiar el trabajo especial de grado titulado: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS, PARA LAS TRINCHERAS, MUNICIPIO NAGUANAGUA, ESTADO CARABOBO.

Realizado por: Carla Carreño  
María Elizabeth Vittar

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Mariela Aular

---

Tulio Potella

---

Arnoldo Gómez

## **RECONOCIMIENTO**

Las palabras de agradecimiento escritas a continuación van dirigidas a nuestros padres por haber sido respetuosos, cariñosos, pacientes, comprensivos, y haber colaborado de todas las formas posibles en la elaboración de este trabajo de grado y durante toda la experiencia universitaria. Por llorar con nosotras, celebrar nuestros logros, despertarnos cuando ya el cansancio no permitía escuchar el despertador, consentirnos, y en general por su apoyo y ejemplo integral.

A la profesora Mariela Aular por su tiempo, dedicación y asesoramiento técnico, durante todo el periodo de elaboración de este trabajo de grado. Al Ingeniero Tulio Pottella por aportar información técnica esencial y orientación. Al Cronista Oficial de Naguanagua, Armando Alcantara Borges por obsequiarnos bibliografía de su autoría sobre las Trincheras y brindarnos su atención agradable y desinteresada. Y finalmente a nuestros compañeros por compartir esta bonita experiencia que se despide dejándonos conocimiento, orgullo y nostalgia, porque hemos superado juntos esta etapa tan importante en nuestras vidas.

## **DEDICATORIA**

Con la fe de que este trabajo de investigación sea ejecutado y se logre el objetivo de mejorar la calidad de vida de los Trincherenses, dedico este trabajo a mi madre, hermanos y abuelos, por ser excelentes ejemplos de perseverancia, responsabilidad, humanidad, y honestidad, y por haberme brindado su apoyo incondicional. También dedico este trabajo a mi amiga Carla Carreño, por lograr esta meta tan importante juntas; a José Alberto Quintana por su amistad y cariño desinteresado, y finalmente a Dios por guiar mis pasos y haber puesto en mi camino a estas personas tan maravillosas.

M. Vittar

Dedico el presente trabajo a Dios por haberme acompañado en todo este camino, a mis padres y a mi hermano que tanto apoyo y paciencia me han brindado, por su compañía y dedicación. Igualmente a mis Padrinos Cecilia y Oswaldo, con cuyo apoyo y cariño siempre he contado, a mi amiga María Elizabeth Vittar por haber compartido conmigo toda esta experiencia, y a José Alberto Quintana por apoyarnos y ayudarnos en todo momento.

C. Carreño

UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS PARA LAS  
TRINCHERAS, MUNICIPIO NAGUANAGUA ESTADO CARABOBO

Autoras: Carla Carreño  
María E. Vittar  
Tutora: Mariela Aular  
Fecha: 2009, Abril

RESUMEN

El vertido directo de aguas residuales domésticas en cuerpos de agua es la causa fundamental de la contaminación de los mismos, provocando tanto la muerte de la flora y fauna presente, como enfermedades hídricas generadas a la población adyacente. El uso de Plantas de Tratamiento que eliminen los agentes contaminantes, acaba con esta problemática y restablece el equilibrio en el ecosistema afectado. El sector Las Trincheras ubicado en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo, no escapa de esta situación por lo que se presenta en este trabajo de grado una propuesta de un sistema de Planta de Tratamiento mediante lodos activados. La metodología empleada es del tipo proyecto factible, de manera que se plantea un modelo operativo viable para solventar la problemática causada por el vertido de aguas residuales al río Aguas Calientes. La propuesta comprende las unidades de desbaste, sedimentador primario, reactor biológico, sedimentador secundario, filtración, clorificación y lechos de secado. El proceso de depuración iniciará en la unidad de desbaste donde se eliminarán los sólidos de gran tamaño para no obstruir las unidades posteriores, seguidamente el agua pasará al reactor biológico, el cual seguirá un proceso de lodos activados por aireación extendida, luego la mezcla de agua tratada y lodo irá al sedimentador secundario donde se separarán, quedando así el lodo en el fondo, el cual se puede recircular o desechar a los lechos de secado; el agua pasará a una unidad de filtración para eliminar sólidos suspendidos y por último se desinfectará en la unidad de cloración. Es necesaria la ejecución de la propuesta ya que contribuirá al reemplazo de los pozos sépticos y a la eliminación del vertido de desechos al río Aguas Calientes, favoreciendo el desarrollo de la población, disminuyendo el porcentaje de enfermedades de origen hídrico, y de manera paulatina devolver al río su estado natural. Además es factible ya que la zona cuenta con el espacio disponible para la ubicación de la planta y con vías de fácil acceso tanto para el personal como para el transporte de los materiales de construcción, los cuales se encuentran comúnmente en el mercado. La propuesta es satisfactoria ya que el agua efluente tendrá 12,56 mg DBO/l, lo cual cumple con los requerimientos normativos.

Descriptores: Planta de Tratamiento, Aguas Residuales, Tratamiento de aguas.

## INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN	i
RECONOCIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
EL PROBLEMA	
Planteamiento del Problema	3
Formulación del Problema	4
Objetivos de la Investigación	4
<i>Objetivo General</i>	4
<i>Objetivos Específicos</i>	4
Justificación	5
Delimitación	6
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO	
Antecedentes	7
Aguas Residuales	8
<i>Compuestos Presentes en las Aguas Residuales</i>	9
<i>Según su naturaleza</i>	9
<i>Desde el Punto de Vista Físico</i>	9
<i>Desde el Punto de Vista Químico</i>	10
<i>Desde el Punto de Vista Microbiológico</i>	10
<i>Clasificación de las Aguas Residuales</i>	10
<i>Aguas Residuales Urbanas</i>	10
<i>Aguas Residuales Industriales</i>	11
<i>Contaminantes Específicos</i>	12
<i>Características de las Aguas Residuales</i>	12
<i>Características Fisicoquímicas</i>	12
<i>Características Biológicas</i>	13
<i>Contenido de las Partículas Radioactivas</i>	13
Necesidad de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	14
Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	15
<i>Fases del Tratamiento</i>	15
<i>Tratamiento Preliminar</i>	15
<i>Procedimiento para el cálculo de la unidad de desbaste</i>	16
<i>Tratamiento Primario</i>	18
<i>Procedimiento para el cálculo del sedimentador primario</i>	19

<i>Tratamiento Secundario</i>	21
<i>Lechos Bacterianos</i>	22
<i>Lodos Activados</i>	22
<i>Procedimiento para el cálculo de lodos activados</i>	24
<i>Procedimiento para calcular el tanque de sedimentación secundaria.</i>	28
<i>Tratamiento Terciario</i>	29
<i>Filtración</i>	28
<i>Procedimiento para el cálculo de la unidad de filtración.</i>	31
<i>Desinfección</i>	32
<i>Procedimiento para el cálculo de la unidad de Cloración</i>	34
<i>Tratamiento de los Lodos</i>	35
<i>Espesamiento</i>	35
<i>Digestión</i>	35
<i>Acondicionamiento de Lodos</i>	36
<i>Secado</i>	37
<i>Procedimiento para el dimensionado de los lechos de secado.</i>	37
<i>Análisis de Aguas Residuales</i>	38
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	38
<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	39
<i>Sólidos Totales</i>	40
<i>Marco Normativo Legal</i>	
<i>Decreto No. 883, Publicado en la Gaceta No. 5021 el 18 de Diciembre de 2005 Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos</i>	41
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MARCO METODOLOGICO</b>	
Tipo de Investigación	42
Diseño de la Investigación	42
Población y Muestra	43
Descripción de la Metodología	
<i>Fase I. Diagnóstico</i>	44
<i>Fase II. Factibilidad</i>	44
<i>Fase III. Propuesta de diseño</i>	45
Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos	45
Análisis de Datos	45
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>LA PROPUESTA</b>	

Fase I. Diagnóstico	46
Fase II. Factibilidad	46
Fase III. Propuesta de diseño	47
<i>Calculo de la Población</i>	47
<i>Caudales de Diseño</i>	48
<i>Tratamiento preliminar</i>	49
<i>Tratamiento primario</i>	50
<i>Tratamiento secundario</i>	50
<i>Reactor Biológico</i>	51
<i>Sedimentador Secundario</i>	53
<i>Tratamiento Terciario</i>	54
<i>Unidad de Filtración</i>	54
<i>Unidad de Cloración</i>	55
<i>Lechos de Secado</i>	56
<i>Cálculo del DBO del Agua Efluente de la Planta</i>	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	
Fuentes Impresas	60
Fuentes Electrónicas	61
ANEXOS	63
ANEXO 1. Líquidos Cloacales Domésticos - Características Generales (En localidades de aproximadamente 20.000 habitantes)	64
ANEXO 2. Parámetros de Diseño para el diseño del Proceso de Logos Activados.	64
ANEXO 3. Coeficientes cinéticos típicos para el proceso de lodos activados	66
ANEXO 4. Concentración de saturación de oxígeno en el agua limpia a nivel del mar y presión de vapor en función de la temperatura.	66
ANEXO 5. Lectura Barométrica en función de la altitud.	67
ANEXO 6. Tamaño y desempeño de aireadores.	67
ANEXO 7. Características de los diferentes tipos de filtro.	68
PLANOS	69

## INTRODUCCION

Esta investigación propone el Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para las Trincheras, en el Municipio Naguanagua Estado Carabobo. La misma tiene como finalidad remover contaminantes físicos y biológicos que se encuentran en el agua para obtener un efluente tratado con un contenido bajo de microorganismos patógenos que puedan ser asimilados por la naturaleza.

El tratamiento a implementar se clasifica en las siguientes etapas: un tratamiento preliminar que consta de una unidad de desbaste donde son retenidos y luego removidos los sólidos de gran tamaño que arrastran la aguas residuales por medio de rejillas con la función de evitar daños a las unidades posteriores; un tratamiento primario mediante el cual se emplea un sedimentador primario que tiene como finalidad eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante; un tratamiento secundario, donde en la unidad de lodos activados ocurre un proceso biológico aerobio, mediante el cual los microorganismos utilizan el oxígeno disuelto para remover la materia orgánica, y una vez que esta ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en el sedimentador secundario, y parte del lodo producido es retornados al reactor. El Tratamiento terciario estará conformado por una unidad de filtración donde se eliminan los sólidos suspendidos remanentes de la decantación y luego el agua va la cámara de cloración donde se lleva a cabo su desinfección, con la finalidad de aumentar la calidad del efluente para que cumpla con los estándares normativos antes de ser descargada al medio receptor. La masa biológica resultante se dispone en Lechos de Secado, donde la misma pierde hasta un 50 por ciento de su humedad para luego ser desechada.

El tratamiento de estas aguas residuales es de gran importancia ya que ofrece una solución a la gran cantidad de contaminantes que se desechan al río. Asimismo, esta medida previene enfermedades, contribuye a la conservación de plantas y animales, y devuelven el valor paisajístico y recreativo al lugar.

Este trabajo de investigación surge por el interés de contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del sector, debido a que en la actualidad no poseen una planta de tratamiento para sus aguas residuales y están siendo vertidas directamente al río Aguas Calientes.

La estructura del trabajo de investigación se muestra a continuación:

En el CAPITULO I se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, justificación y delimitación.

En el CAPITULO II se exponen las bases teóricas y antecedentes, que fundamentan los conceptos y criterios considerados durante el diseño.

En el CAPITULO III se describe la metodología de la investigación, que comprende los métodos que conducen al cumplimiento de los objetivos planteados.

En el CAPITULO IV se presentan los cálculos realizados para la elaboración de la propuesta de diseño.

Por último se muestran las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **Planteamiento del Problema**

La problemática de escasez de agua apta para el consumo humano causada por el crecimiento acelerado de las poblaciones, ha generado la necesidad de emplear diversos sistemas que buscan la preservación de los cuerpos de agua. Entre ellos el uso de plantas de tratamiento para las aguas residuales, evita la incorporación de las mismas sin previo tratamiento al receptor final y contribuye a su reuso en actividades como el riego de áreas verdes y lavado de bienes, disminuyendo así los niveles de consumo de agua potable.

De acuerdo al Banco Mundial menos del 5% de las aguas residuales de Latinoamérica reciben tratamiento. Así mismo la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2000) señaló que la cobertura de aguas servidas en Venezuela está alrededor de 73%, pero el tratamiento que se hace a estas aguas antes de ser vertidas a los mares, ríos y lagos es del 10%. Adicionalmente, según la OMS el 80% de las enfermedades de transmisión hídrica están relacionadas con la carencia de agua potable, debido al uso de aguas contaminadas y el bajo nivel de conocimientos sobre higiene, que producen una elevada desnutrición infantil, anemia, entre otras.

En la actualidad la zona de las Trincheras ubicado en el costado norte de la Parroquia Naguanagua del Municipio Naguanagua, no posee puntos de recolección y tratamiento de sus aguas residuales de origen doméstico, por lo que están siendo vertidas directamente al río Aguas Calientes, contaminando el medio ambiente y poniendo en peligro la salud de habitantes, principalmente los que residen aguas abajo del río.

De forma alterna se construyen sistemas particulares de disposición de aguas residuales, pero los mismos colapsan en corto tiempo, acentuándose la problemática que afecta a la población de Trincheras.

### **Formulación del Problema**

A partir de esta exposición sobre la problemática se generan las siguientes interrogantes:

¿Es necesario diseñar un sistema de tratamiento aguas residuales para el sector las Trincheras en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo?

¿Cómo aportar una solución técnica factible para tratar las aguas residuales provenientes del Sector las Trincheras?

### **Objetivos de la Investigación**

#### ***Objetivo General***

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados para el sector las Trincheras, Municipio Naguanagua Estado Carabobo.

#### ***Objetivos Específicos***

1. Diagnosticar la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento aguas residuales para el sector las Trincheras en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo.
2. Estudiar la factibilidad de realizar un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para las Trincheras, Municipio Naguanagua Estado Carabobo.

3. Proponer el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el sector las Trincheras en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo.

### **Justificación**

Las aguas residuales albergan microorganismos que causan enfermedades, incluyendo virus, protozoos, y bacterias. Estos pueden originarse en organismos infectados o en animales domésticos y salvajes que pueden no presentar señales de la enfermedad; la diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El agua no segura para beber y la contaminación a través del desecho inadecuado de aguas residuales son responsables de la mayoría de estas muertes. Es por esto que es evidente la necesidad de implementar mejores prácticas de manejo de estas aguas para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo.

Con el diseño de la planta de tratamiento en la zona de las Trincheras se busca contribuir con la preservación a mediano y largo plazo de los recursos naturales, además de mejorar considerablemente la calidad de vida de sus habitantes.

Del mismo modo, indirectamente se generan beneficios económicos a través de la posibilidad de explotar aun más los recursos naturales para impulsar este sector turístico por excelencia.

El aporte académico de este estudio es que a partir de este trabajo de grado se podrá realizar el cálculo estructural de las unidades de la planta, así como la elaboración del manual de uso, esto con la finalidad de que el proyecto sea ejecutado. El aporte técnico es proporcionar una alternativa de planta de tratamiento mediante el sistema de lodos activados, el cual es el que generalmente se usa en el país por las ventajas que ofrece, dejando así bases para el cálculo de plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico mediante este sistema.

## **Delimitación**

Este proyecto realizado entre los meses de Septiembre de 2008 y Abril de 2009 comprende el diseño de las unidades de Desbaste, Sedimentador Primario, Reactor Biológico, que trabajará mediante el proceso de lodos activados en la modalidad de aireación extendida; Sedimentador Secundario, Filtración, Cámara de Cloración y Lechos de Secado, que son las que contempla la planta de tratamiento de aguas residuales para tratar de los efluentes de origen doméstico del sector Las Trincheras ubicado en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo.

.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **Antecedentes**

Martínez Juan e Iván Ojeda (2005) *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas para la población de Magdalena, Municipio Zamoá, Estado Aragua*. El objetivo principal es el de proponer un sistema de tratamiento de aguas servidas para la población especificada mediante la elección del sistema de tratamiento biológico más adecuado. Se trabaja bajo la modalidad de proyecto factible, mediante una investigación de tipo descriptiva. Se concluye que se deben tratar las aguas residuales para ayudar a sanear el Lago de Valencia, ya que el Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales promueve este ideal. Se elabora una propuesta usando Biodiscos, alegando que con el crecimiento de la población a futuro, sería viable complementar la propuesta actual para aumentar la capacidad de la planta posteriormente. Además, se sustentan en que no produce malos olores ni ruido. Contribuye en este trabajo de grado con una base para el dimensionamiento de la unidad de tratamiento preliminar de la planta, así como también aportando información completaría para la elaboración de esta investigación.

Chmatil Beatriz y Eduarte Dinoska (2004) *Diseño de un Sistema de Lodos Activados y Digestor Aerobio para el manejo de lodos del C.I.I.A.S.U.C*. La finalidad fue diseñar un sistema de lodos activados y digestor aerobio y elaborar una hoja de cálculo para analizar el rango de operatividad de la planta, logrando así un control de la contaminación ambiental y el reuso de las aguas para el riego de la ciudad universitaria. Se trabaja bajo la modalidad de proyecto factible, mediante una investigación de tipo descriptiva. Lograron el objetivo planteado, con una propuesta

que satisface los niveles de DBO normativos para la reutilización del agua residual. Su utilidad para la presente investigación es la información utilizada como referencia para el diseño mediante el proceso de lodos activados y el análisis de resultados de esta unidad.

Silva María y Campos Melermy (2003) *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Base Naval C.A Agustín Armario*. El propósito de este trabajo de grado fue el de sustituir la planta de tratamiento de aguas residuales existente por otro sistema que se adapte a las condiciones actuales. Se desarrolla mediante la modalidad de Proyecto Factible, basada en una investigación de tipo descriptiva, en la cual se llega a la conclusión de que se debe sustituir la planta existente por una nueva debido a que recibe un caudal mayor al que la planta es capaz de tratar, y por este motivo se propone el diseño de un tratamiento biológico que corresponde a la implantación de Biodiscos. El aporte a este trabajo de grado es la base para la realización de los cálculos de algunas unidades de la planta de tratamiento.

## **Aguas Residuales**

Las aguas residuales son los desechos líquidos provenientes del uso doméstico (principalmente sustancias fecales y orina), comercial e industrial. Llevan disueltas o en suspensión una serie de materias orgánicas e inorgánicas. Proviene de la descarga de sumideros, fregaderos, inodoros, cocinas, lavanderías (detergentes), y residuos de origen industrial (aceites, grasas, curtiembres, etc.).

Donde existen sistemas de alcantarillado estas aguas confluyen a un sistema colector de aguas residuales, que deberían concluir su recorrido en una planta de tratamiento.

El contenido orgánico susceptible de ser descompuesto en forma natural (biodegradación) puede llegar al 80% de las sustancias de las aguas servidas. En su depuración natural (autodepuración) o artificial (plantas de tratamiento de aguas

residuales) ese contenido es eliminado o transformado, incluyendo parte de las sustancias inorgánicas. Si se trata inadecuadamente o su tratamiento es nulo, se generan graves problemas de contaminación.

La composición y su [tratamiento](#) pueden diferir considerablemente de un caso a otro, por lo que en los residuos industriales es preferible la depuración en el origen del vertido que su depuración conjunta posterior.

### ***Compuestos Presentes en las Aguas Residuales***

Los vertidos residuales arrastran compuestos con los que las aguas han estado en contacto. Estos compuestos pueden ser:

#### ***Según su naturaleza***

- **Conservativos:** Su concentración en el río depende exactamente de la ley de la dilución del caudal del vertido en el mismo. Generalmente compuestos inorgánicos y estables (Cl, SO<sub>4</sub>).
- **No Conservativos:** Su concentración en el río no está ligada directamente a la del vertido. Son todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden alterarse en el río por vía Física, Química o Biológica (NH<sub>4</sub>, Fenoles, Materia Orgánica, entre otros.)

#### ***Desde el Punto de Vista Físico***

- **Sólidos Disueltos:** Se encuentran mezclados íntimamente con el agua, siendo únicas las propiedades de la mezcla y distintas de las de los componentes por separado. No son separables por decantación.
- **Sólidos en Suspensión:** No existe mezcla íntima sólidos – agua, conservando tanto unos como otros sus propias características. Fácilmente separables por decantación.
- **Sólidos Coloidales:** Se encuentran en una situación intermedia entre los dos anteriores, su pequeño tamaño unido al hecho de estar dotados de carga

eléctrica del mismo signo impide su decantación y su posibilidad de unión en forma de flóculos, sin embargo no forman mezcla íntima con el agua

#### ***Desde el Punto de Vista Químico***

- Compuestos orgánicos
- Compuestos inorgánicos

#### ***Desde el Punto de Vista Microbiológico***

- Virus
- Bacterias
- Protozoos

### ***Clasificación de las Aguas Residuales***

Las Aguas Residuales cuando se desaguan se denominan vertidos y éstos pueden clasificarse en función:

- Del uso prioritario u origen: Aguas Residuales Urbanas (A.R.U.) o Aguas Residuales Industriales (A.R.I)
- De su contenido en determinados contaminantes.

#### ***Aguas Residuales Urbanas***

Son aquellas provenientes de las actividades domésticas y de las actividades del ser humano sin incluir las industriales.

Procedencia de la contaminación en los núcleos urbanos:

- Servicios domésticos y públicos
- Limpieza de locales
- Drenado de Aguas Pluviales

Tipos de contaminantes:

- Materia Orgánica (principalmente) en suspensión y disuelta

- N; P; NaCl y otras sales minerales
- Microcontaminantes procedentes de nuevos productos
- Las Aguas Residuales de lavado de calles arrastran principalmente materia sólida inorgánica en suspensión, además de otros productos (fenoles, plomo, insecticidas, entre otros).

### ***Aguas Residuales Industriales***

Las aguas residuales industriales son aquellas procedentes de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso, refrigeración y drenaje.

Los Líquidos Residuales derivan directamente de la fabricación de todo tipo de productos. Consisten en disoluciones acuosas a distinta concentración de los productos empleados en el proceso productivo, tales como lejías negras, baños de curtido de pieles, las melazas de la producción de azúcar, entre otros. Es imprescindible el tratamiento de esta agua previo a su vertido, debido al poder contaminante que tienen, que varía según las concentraciones de los agentes contaminantes.

Las Aguas Residuales de Proceso se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa y que puede contaminarse con los productos de fabricación o incluso de los líquidos residuales. Generalmente su contaminación es menor al 10% de la de los líquidos residuales aunque su volumen es de 10 a 50 veces mayor.

Las Aguas de Refrigeración Indirecta no han entrado en contacto con los productos y por tanto la única contaminación que arrastran es su temperatura. Es necesario considerar también la existencia de productos que evitan problemas de explotación (estabilizantes contra las incrustaciones y corrosiones, algicidas, entre otros) que pueden ser contaminantes.

### ***Contaminantes Específicos***

Son microcontaminantes derivados principalmente de los adelantos de las tecnologías industriales y que a muy escasa concentración (ppm) tienen un efecto perjudicial. Son por ejemplo: Agentes Tensioactivos, Pesticidas, Derivados Halogenados o Fosforados de Hidrocarburos, Compuestos Orgánicos específicos, Sales Metálicas, Compuestos eutrofizantes, entre otros.

### ***Características de las Aguas Residuales***

Los parámetros característicos son principalmente: Temperatura, [PH](#), Sólidos en suspensión totales (SST), Materia orgánica valorada como [DQO](#) y [DBO](#), Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal y Nitratos, Fósforo total, Nitritos, Sulfuros, y Sólidos disueltos.

### ***Características Fisicoquímicas***

Físicamente se puede apreciar aspecto, color, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), y son desechadas por los hogares e industrias procesadoras de alimentos. Es agua que contiene muy poco oxígeno y que está caracterizada por un color negrozco.

La Temperatura de las Aguas Residuales (A.R.) oscila entre 10 - 20°C (15 °C). Además están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su [molécula](#), son [proteínas](#), [ureas](#), [aminas](#) y [aminoácidos](#). Los no nitrogenados son principalmente [celulosa](#), [grasas](#) y [jabones](#).

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por [nitrógeno](#), [fósforo](#), [cloruros](#), [sulfatos](#), [carbonatos](#), [bicarbonatos](#) y algunas sustancias [tóxicas](#) como [arsénico](#), [cianuro](#), [cadmio](#), [cromo](#), [cobre](#), [mercurio](#), [plomo](#) y [zinc](#).

Los valores orientativos de la carga de algunos compuestos por habitante y día son:

- N amoniacal: 3-10 gr/hab.d

- N total: 6.5-13 gr/hab.d
- P (P043-) ; 4-8 gr/hab.d
- Detergentes : 7-12 gr/hab/d

En lugares donde existen trituradoras de residuos sólidos las aguas residuales urbanas están mucho más cargadas (100 % más).

### ***Características Biológicas***

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- [Coliformes](#) totales
- [Coliformes fecales](#)
- [Salmonellas](#)
- [Virus](#)

El tracto intestinal del hombre, por ejemplo, contiene numerosos organismos coliformes. Cada individuo evacua de  $10^5$  a  $4 \times 10^5$  millones de coliformes por día, que aunque no son dañinos, se utilizan como indicadores de contaminación debido a que su presencia indica la posibilidad de que existan gérmenes patógenos de más difícil detección. Las Aguas Residuales Urbanas contienen hasta  $10^6$  coliformes totales por cada 100 ml.

### ***Contenido de las Partículas Radioactivas***

A efectos del tratamiento, la gran división es entre materia en suspensión y materia disuelta.

- La materia en suspensión se separa por tratamientos fisicoquímicos, variantes de la sedimentación y filtración. En el caso de la materia suspendida sólida se trata de separaciones sólido - líquido por gravedad o medios filtrantes y, en el caso de la materia aceitosa, se remueven por flotación.

- La materia disuelta puede ser orgánica o inorgánica, en el primer caso el método más extendido es su insolubilización como material celular, en el segundo caso se deben emplear costosos tratamientos fisicoquímicos como la ósmosis inversa.

Los diferentes [métodos de tratamiento](#) atienden al tipo de contaminación: para la materia en suspensión, tanto orgánica como inorgánica, se emplea la sedimentación y la filtración en todas sus variantes. Para la materia disuelta se emplean los tratamientos biológicos (a veces la oxidación química) si es orgánica, o los métodos de membranas, como la ósmosis, si es inorgánica.

### **Necesidad de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

El sistema natural de un río mantiene su agua limpia y saludable a las diferentes partes de la cadena alimenticia. Los microorganismos (bacterias) se alimentan de las plantas muertas, los insectos se alimentan de los microorganismos, los peces pequeños se alimentan de los insectos y los peces mayores de los pequeños. Las aves se alimentan de los peces mayores y así continúa la cadena alimenticia. Las plantas utilizan la luz solar para producir oxígeno para el río por medio de la fotosíntesis.

Si esta cadena alimenticia se rompe, el río pierde progresivamente su habilidad de mantenerse a sí mismo limpio, hasta que pierde su capacidad de producir oxígeno. Cuando esto sucede, toda la vida del río, vegetal y animal, muere y se descompone. Este proceso de descomposición es desagradable y muy ofensivo al olfato, ya que genera sulfato de hidrógeno. Cuando un río entra en este estado, está totalmente muerto y se cataloga como un río séptico.

Cuando las aguas residuales son descargadas al río, las bacterias que se encuentran en el río se alimentan de los químicos orgánicos que estas aguas contienen y utilizan el oxígeno disuelto en el río para convertir el carbono en dióxido de carbono.

Si únicamente se descargan cantidades pequeñas de aguas residuales, el río generalmente tiene la habilidad de admitir este elemento contaminante sin que haya una reducción seria en la calidad del río. Sin embargo, cuando hablamos de

cantidades considerables, el oxígeno disponible se acaba rápidamente. La concentración máxima de oxígeno en agua de río es de 12 mg/l. Las aguas residuales típicas requieren de unos 200 mg/l de oxígeno para convertir el contenido orgánico en dióxido de carbono. Por lo tanto, aún en el supuesto caso que un río tuviera concentraciones óptimas de oxígeno, necesitaría tener un volumen 17 veces mayor al volumen de aguas residuales vertidas para neutralizar su efecto contaminante y aún así, no quedaría oxígeno para las plantas, insectos, peces y otras formas de vida del río. Esta es la razón por la cual estas grandes descargas causan el deterioro del río, debido a que no puede proveer el suficiente oxígeno para que se lleve a cabo un tratamiento natural.

Asimismo, surge la necesidad imperativa de un control analítico, exhaustivo, sistemático y periódico de las aguas residuales, debido a su incidencia negativa sobre el medio ambiente. Esto se lleva a cabo mediante regulaciones, normativas y leyes referidas al control de calidad del producto “agua”. Estas regulaciones van dirigidas a la evaluación del rendimiento del proceso aplicado en las plantas de tratamiento, ejecutando comprobaciones mediante estudios de laboratorio, revisiones y mantenimiento continuo.

### **Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de actividades que buscan la eliminación de todos aquellos factores que le dan la característica de no apta para el uso humano. Estas actividades se aplican a aguas de origen industrial, agrícola o doméstica, y constan de operaciones físicas, químicas y biológicas.

#### ***Fases del Tratamiento***

##### ***Tratamiento Preliminar***

Se hace necesario un tratamiento preliminar de las aguas residuales por la magnitud de sólidos que esta arrastra. De esta manera se elimina la materia que

podría obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores. Esta puede estar compuesta por cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares, que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada.

Generalmente esta etapa consta de tres sub-etapas que son el desbaste, el desarenado y el desengrasado. El desbaste consiste en la eliminación de los objetos voluminosos al interceptar la corriente de agua residual mediante unas rejillas formadas por barras verticales o inclinadas que pueden estar entre 50 y 150 mm de separación de los barrotes (desbaste grueso), de 20 a 50 mm (desbaste mediano) y entre 10 y 20 mm (desbaste fino), estas rejillas disponen de un sistema de limpieza que separa las materias retenidas.

En el desarenado se extraen las partículas minerales de tamaño superior a uno fijado en el diseño (generalmente 200 micras). Su funcionamiento depende de hacer circular el agua a través de una cámara, de forma que la velocidad quede controlada para permitir el depósito de arena en el fondo. Normalmente, esta arena sedimentada queda desprovista casi en su totalidad de materia orgánica y es evacuada, mediante bombas, al clasificador de arenas y, posteriormente, a un contenedor.

Por último se realiza el desengrasado con el que se eliminan las grasas, aceites y en general los flotantes, antes de pasar el agua a las fases posteriores del tratamiento. El procedimiento utilizado para esta operación es el de inyectar aire a fin de provocar la desemeulsión de las grasas y su ascenso a la superficie, de donde se extraen por medio de algún dispositivo de recogida superficial (normalmente raquetas), y luego se depositan en contenedores.

En esta fase también podemos encontrar otros elementos del tratamiento preliminar como el Aliviadero, que permite que la planta funcione siempre según el caudal del proyecto y el Medidor de Caudal que conjuntamente con el aliviadero, permite controlar la cantidad de agua que entra en la planta.

***Procedimiento para el cálculo de la unidad de Desbaste.*** Primero se debe hallar el área requerida haciendo uso del caudal de diseño, con el cual se elaboran los cálculos

para dimensionar la unidad en estudio. En este caso se utiliza el caudal máximo, y se obtiene el valor con la siguiente expresión:

$$A = Q \text{ máx}/V$$

Siendo:

A: área de la unidad (m<sup>2</sup>)

Q máx: Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

V: velocidad media del agua (m/s)

Seguidamente se calcula el número de barras

$$N = \frac{a - D}{W + D}$$

Donde:

N: número de barras

a: ancho del canal (cm)

D: separación entre barras (cm)

W: ancho de la barra (cm)

Se calculan las dimensiones del canal

$$\text{Ancho total de las barras} = N * W$$

$$\text{Ancho útil} = a - \text{Ancho total de las barras}$$

$$\text{Altura útil} = A / \text{Ancho útil}$$

Se debe realizar la revisión de la pérdida de carga

$$hf = \beta \left( \frac{W}{D} \right)^{4/3} \frac{V^2}{2g} \text{sen} \theta$$

Siendo:

hf : pérdida de carga (m)

$\beta$  : coeficiente de cálculo, que depende la sección de la barra.

$\theta$  : inclinación de barras (°)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

La Water Environment Federation (WEF) establece que la pérdida de carga no debe exceder los 15m.

Paso siguiente se calcula la pendiente del canal de aproximación con la expresión:

$$S = \left( \frac{V_{xn}}{R^{2/3}} \right)^2$$

En la que:

S: pendiente del canal (%)

$\eta$ : coeficiente de rugosidad de Manning (Para concreto es 0,016)

R: radio hidráulico (m)

Este último valor se calcula de la siguiente forma

$$R = \frac{Am}{Pm} = \frac{axh}{a + 2h}$$

Donde:

Am: área mojada (m<sup>2</sup>)

Pm: perímetro mojado (m<sup>2</sup>)

Por último se calcula el volumen de sólidos que retendrá la unidad con la ecuación que se muestra a continuación:

$$VS = Q \text{ máx} * SR$$

VS: volumen de sólidos (ls/d)

SR: sólidos retenidos (ls por millón de litros tratados)

Se estima que por medio de esta unidad se remueve el 30% del DBO contenido en el agua entrante.

### ***Tratamiento Primario***

Tiene como finalidad la eliminación de las partículas en suspensión no retenidos en el tratamiento preliminar por medio de la decantación, que es un fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua sedimenten.

Generalmente se usan Sedimentadores llamados Dinámicos, ya que permiten un rendimiento óptimo cuando se requiere altas concentraciones de partículas, debido a que incrementan las posibilidades de contacto y provocan la sedimentación. En éste los fangos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante puentes móviles con unas raquetas que recorren el fondo.

En los Sedimentadores Circulares o Estáticos, se produce la sedimentación o decantación, normalmente en caída libre de las partículas, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

Si este proceso se complementa con reactivos se denomina tratamiento fisico-químico. Habitualmente éste tratamiento fisico-químico se divide en dos etapas: en la primera, se produce la coagulación del agua en los tanques de mezcla rápida y en la segunda se produce la floculación en los tanques del mismo nombre. Los tanques de mezcla están provistos de agitadores para conseguir la mezcla del agua a depurar con los reactivos dosificados. En los tanques de floculación, hay también agitadores, pero éstos giran mucho más lento para conseguir que los microflóculos se encuentren y se agreguen sin romperse. Una vez conseguida la floculación mejora la sedimentación, ya que parte de los sólidos coloidales y disueltos pasan a ser sólidos en suspensión sedimentables.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90% de las materias decantables y el 65% de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35%.

El término DBO se refiere a la demanda bioquímica o biológica de oxígeno, y es una medida del oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho, en consecuencia la demanda de oxígeno será alta (debido a todas las bacterias) así que el nivel de la DBO será alto. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua, los niveles de la DBO empezarán a bajar.

***Procedimiento para el cálculo del sedimentador primario.*** Se debe primero calcular el volumen de la unidad con la expresión:

$$V = Q \times Tr$$

Donde

V: volumen de la unidad (m<sup>3</sup>).

Q: caudal máximo (m<sup>3</sup>/h).

Tr: tiempo de retención (horas), debe estar entre 1 y 2 horas.

Se dimensiona el estanque asumiendo una altura ponderada.

$$A = \frac{V}{hp}$$

hp: altura ponderada (m).

Con la siguiente expresión se obtiene el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

D: Diámetro del tanque (m).

Se calcula la carga superficial delante y la carga lineal sobre el vertedero.

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

Cs: carga superficial delante (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d). Este valor debe verificarse para el rango que establece la WEF el cual es de 12 a 64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d.

$$CL = \frac{Q}{L_v}$$

Donde:

CL: carga lineal sobre el vertedero (m<sup>3</sup>/md).

Lv: longitud del vertedero (m).

$$L_v = \pi D f$$

f: factor de vertido.

Las dimensiones reales del sedimentador serán:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} A x h_2$$

h<sub>2</sub>: altura del cono (m), esta altura depende de la pendiente asumida, la cual varía con la colocación de barre lodos. En el caso de llevar barre lodos se usa relaciones de 1 es a 8 o de 1 es a 12. Si no los lleva se coloca una pendiente de 45°.

Finalmente se realiza el chequeo de volumen de carga de sólidos, el cual debe ser para sedimentadores secundarios menor a 144 kgsst/m<sup>2</sup>d, valor establecido por la WEF.

$$Csd = \frac{QX}{A}$$

### ***Tratamiento Secundario***

En esta fase se elimina la materia orgánica presente en las aguas residuales. Esta materia es generada comúnmente por los desechos humanos, basura de comida, jabones y detergentes. En las zonas urbanas generalmente implementan un proceso biológico aerobio.

Este proceso requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir, y esta característica incluye todos los métodos empleados. Las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables como lo son azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, entre otros, uniendo gran cantidad de las fracciones solubles en partículas de flóculo.

Los sistemas de tratamiento secundario son clasificados como película fija o crecimiento suspendido. En los sistemas fijos de película como los filtros de roca llamados también lechos bacterianos o percoladores, la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él. En el sistema de crecimiento suspendido, como los [Lodos activados](#), la biomasa está bien combinada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas fijos de película requieren superficies más pequeñas que para un sistema suspendido, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido son más eficientes ante choques en el cargamento biológico y provee grandes disminuciones para el DBO y los sólidos suspendidos.

Existen otros procesos de depuración aerobia de aguas residuales empleados principalmente en pequeñas poblaciones, como sistemas de lagunajes, filtros verdes, lechos de turba o con tractores biológicos rotativos. Son las llamadas tecnologías blandas.

***Lechos Bacterianos.*** También conocidos como Filtros Percoladores son tanques circulares rellenos de piedras o materiales sintéticos formando un filtro con un gran volumen de huecos, destinado a degradar biológicamente la materia orgánica del agua residual, mediante un método aerobio.

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

Así mismo entre los inconvenientes se encuentran:

- Sus altos costos de instalación.
- Su puesta en funcionamiento es muy lenta.
- Generan lodos en su proceso que deben ser estabilizados antes de su vertido.
- Ocasiona proliferación de moscas.

***Lodos Activados.*** Este método consiste en una serie de mecanismos y procesos que usan el oxígeno disuelto, y promueven el crecimiento de organismos biológicos que remueven la materia orgánica presente en el agua residual mediante su incorporación a un lodo de microorganismos.

El lodo activado está compuesto por flóculos, que son la unidad ecológica y estructural del mismo, formado por microorganismos presentes en el tanque de activación. Existen dos clases de flóculos que son el biológico y el no biológico; el

componente biológico principal está constituido por una amplia variedad de microorganismos, entre los cuales se encuentran las bacterias, básicamente heterótrofas, autótrofas, proteobacterias oxidantes del hidrógeno o filamentosas, las cuales en un flóculo ideal se desarrollan en equilibrio con el resto de las bacterias. Algunas veces se encuentran Hongos, aunque el lodo activo no suele favorecer su crecimiento.

Asimismo están presentes los Protozoos, que desempeñan un importante papel en el proceso de depuración y regulación en el resto de la comunidad biótica, mejoran la calidad del efluente. Igualmente regulan la biomasa bacteriana al alimentarse de las bacterias dispersas del licor de la mezcla. Entendiéndose esto último como la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua residual.

Los Metazoos eliminan las bacterias libres y posibles patógenas como la Salmonella, Bacterias fecales, etc. Por último también se encuentran las Algas Microscópicas, que si bien no suelen formar parte del floculo, pueden aparecer cuando las aguas residuales contienen gran cantidad de materia orgánica.

El componente no biológico del flóculo contiene partículas orgánicas e inorgánicas que provienen del agua residual, junto con polímeros extracelulares que tienen un importante papel en la biofloculación del lodo activo.

Prácticamente, en todos los lodos activados existen microorganismos filamentosos formando una especie de red denominada macro estructura flocular, por lo que forman un componente normal del lodo, y en condiciones específicas pueden entrar en competencia con las bacterias formadoras de flóculo, originando una serie de efectos sobre la estructura flocular. Por un lado, su ausencia puede ocasionar flóculos pequeños y sin cohesión, produciéndose un efluente final turbio. Por otra parte, si la cantidad de filamentos es alta se pueden encontrar dos tipos de problemas biológicos:

- Esponjamiento Filamentoso o Bulking, donde el lodo activo solo sedimenta lentamente y no se compacta, provocado por una excesiva proliferación de bacterias filamentosas. Es un fallo de la macro-estructura flocular.

- Espumamiento Biológico o Foaming, donde los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada (en colores del blanco al marrón) y en muchos casos abundantes flotantes en decantación secundaria.

El procedimiento consiste en introducir el agua residual por un tanque de sedimentación primaria, donde luego se añade lodo activado al efluente del tanque de aireación, por lo general esto se hace en una relación de 1 parte de lodo por 3 o 4 partes en volumen de aguas residuales.

En estos tanques se busca la unión estrecha entre microorganismos contenidos en el lodo y el agua mediante la agitación mecánica o la inyección de aire comprimido dentro de él, para esto se usan placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores o chorros.

En los primeros 15 a 45 minutos el lodo absorbe los coloides y los sólidos en suspensión, mientras se produce la oxidación biológica donde se consumen la materia orgánica, en este los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos; en general el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas más.

El efluente del tanque de aireación pasa a un tanque de sedimentación secundaria, donde se retiene el fluido, hasta dos horas para decantar el lodo. Posteriormente se envía a un clarificador o decantador secundario destinado a separar el agua depurada de los fangos. Un porcentaje de estos últimos se recirculan al depósito de aireación para mantener en el mismo una concentración suficiente de biomasa activa; se tienen que garantizar los nutrientes necesarios para que el sistema funcione correctamente, estos son principalmente el nitrógeno y el fósforo.

El efluente de este tanque está completamente tratado y puede descargarse sin peligro. Asimismo el procedimiento es altamente eficiente debido a que remueve grandes cantidades de DBO y sólidos suspendidos. Además, son capaces de resistir los choques de cargamento biológico, requiere de poca área de construcción y es aplicable a ciudades grandes y pequeñas.

***Procedimiento para el cálculo de la unidad de Lodos Activados.*** Para comenzar el dimensionamiento se debe tomar en cuenta que el caudal entrante en la unidad será

el caudal proveniente de la fase anterior más el caudal de recirculación, esto con el propósito de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor y renovar los microorganismos. Removiendo así un porcentaje de DBO que depende de la eficiencia del sistema empleado.

Para la estimación del Caudal entrante se realiza el procedimiento sin recirculación de lodos, para estimar el porcentaje de recirculación. Una vez conocido, se le suma al caudal proveniente de la unidad anterior y se procede a diseñar de nuevo con el caudal entrante, siendo la suma del caudal máximo más el caudal de recirculación de lodos.

El procedimiento de diseño que se muestra a continuación es para el dimensionamiento definitivo, es decir con el caudal entrante a la unidad.

Se debe estimar inicialmente la carga a procesar

$$C_p = Q \cdot (S_o - S)$$

Siendo:

$C_p$ : carga a procesar (kgDBO/d)

$Q$ : caudal de diseño (l/d)

$S_o$ : DBO del agua cruda (mg/l)

$S$ : DBO a la salida (mg/l)

$$Q = Q_{\text{máx}} + (R \cdot Q_{\text{máx}})$$

$R$ : porcentaje de recirculación del cálculo preliminar (%)

$$S = S_o - (E \cdot S_o)$$

$E$ : eficiencia en remover DBO, como decimal.

Seguidamente se calcula el volumen del reactor

$$V = \frac{Q(S_o - S)}{V_s}$$

$V_s$ : carga volumétrica (kg DBO/m<sup>3</sup>d),

Este valor debe ser estimado haciendo uso de las tablas que contienen los parámetros de diseño para el proceso de lodos activados referidos en diferentes bibliografías; se recomienda tomar valores que estén dentro de los rangos sugeridos por al menos dos de las mismas.

Con el volumen obtenido se propone un número de tanques y su respectivo dimensionamiento, tomando en cuenta que la relación largo-ancho debe ser de 1 a 3.

Luego se calcula el tiempo de residencia celular

$$\theta_c = \frac{1}{Y * U - Kd}$$

Donde:

$\theta_c$ : tiempo de residencia celular (días)

Y: parámetro de metabolismo celular (mgVSS/mgDBO5)

U: radio específico de utilización (kgDBO/d)

Kd: coeficiente de descomposición microbiana ( $d^{-1}$ )

Los valores de Y, U y Kd deben ser seleccionados de la misma manera que Vs.

El siguiente paso es el de calcular la concentración de microorganismos en el reactor, la producción de lodos y razón de disposición de lodos con los valores obtenidos.

$$X = \frac{Y * Q * \theta_c * (S_0 - S)}{(1 + Kd * \theta_c) * V}$$

X: concentración de microorganismos en el reactor (mg/l)

$$P_L = \frac{V * X}{\theta_c}$$

PL: purga de lodos (kgss/d)

$$Q_w = \frac{V * X}{\theta_c * X_r}$$

Qw: caudal de purga de lodos (l/d)

Xr: concentración de microorganismos reciclables (mg/l). Se asume un valor que puede ser de 2 a 3 veces la concentración de microorganismos calculados.

$$X_r = 2 \text{ ó } 3 \text{ veces} * X$$

Se calcula ahora la razón de recirculación seguido del porcentaje de recirculación de lodos.

$$Q_r = \frac{Q * X}{X_r - X}$$

Qr: Caudal de recirculación (l/d)

$$R = \frac{Q_r}{Q}$$

R: razón de recirculación (%)

Es necesario calcular ahora el requerimiento de oxígeno para poder realizar la selección de aireadores.

$$RO = \frac{Q^*(S_0 - S)}{f} - 1,42Pl$$

Donde:

$f$ : factor de mayoración ( Esta entre un rango de 0,6 y 0,8).

La agitación se lleva a cabo por medios mecánicos que tienen la doble función de producir una mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que se lleve a cabo el proceso de degradación.

$$N = N_0 * \frac{C_{sw} - C}{C_s} \alpha * 1,024^{(T-20)}$$

Siendo:

N: coeficiente de transferencia de oxígeno del aireador para el líquido residual.

No: coeficiente de transferencia de oxígeno del aireador para agua limpia. Se encuentra en un rango entre 0,91kgO<sub>2</sub>/hp-h y 1,81 kgO<sub>2</sub>/hp-h.

C'sw: concentración de saturación de origen disuelto (mg/l).

C's: concentración de Saturación de oxígeno disuelto en agua limpia mg/l).

C: concentración de oxígeno disuelto deseado en el reactor, se encuentra entre 2 y 3 mg/l.

$\alpha$ : coeficiente de transferencia de oxígeno, se encuentra entre 0,5 y 1,30.

T: temperatura ambiente (°C)

$$C'_{sw} = C_s * \frac{b - p}{760 - p} * \beta$$

$\beta$ : factor de corrección de la concentración de saturación.

b: presión barométrica (mmHg)

p: presión de vapor saturado (mmHg)

Paso seguido se calcula la potencia del aireador

$$P = \frac{RO}{N}$$

P: potencia del aireador (hp).

$$P_{sum} = F * P$$

Psum: presión sumergida (hp).

F: factor de eficiencia, está entre 1,25 y 2.

Se debe hacer una revisión por volumen del tanque, chequeando de esta manera que la presión sumergida sea mayor a la presión volumétrica.

$$P_{vol} = 75 * 10^{-6} * V$$

Por último se selecciona una combinación de aireadores que satisfaga la presión sumergida para la cantidad de tanques colocados.

***Procedimiento para calcular el tanque de sedimentación secundaria.*** Para el dimensionamiento de un sedimentador secundario circular se debe seguir el siguiente procedimiento:

Calcular el volumen de la unidad con la expresión:

$$V = Q * Tr$$

Donde

V: volumen de la unidad (m<sup>3</sup>).

Q: caudal máximo (m<sup>3</sup>/h).

Tr: tiempo de retención (horas), debe estar entre 2 y 2,5 horas.

Se dimensiona el estanque asumiendo una altura ponderada.

$$A = \frac{V}{hp}$$

hp: altura ponderada (m).

Con la siguiente expresión se calcula un diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

D: Diámetro del tanque (m).

Luego se calcula la carga superficial delante y la carga lineal sobre el vertedero.

$$Cs = \frac{Q}{A}$$

Cs: carga superficial delante ( $m^3/m^2d$ ). Este valor debe verificarse para el rango que establece la WEF el cual es de 12 a 41  $m^3/m^2d$ .

$$CL = \frac{Q}{L_v}$$

Donde:

CL: carga lineal sobre el vertedero ( $m^3/md$ ).

$L_v$ : longitud del vertedero (m).

$$L_v = IIDf$$

f: factor de vertido.

Las dimensiones reales del sedimentador serán:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} Axh^2$$

$h_2$ : altura del cono (m), esta altura depende de la pendiente asumida, la cual varía con la colocación de barre lodos. En el caso de llevar barre lodos se usa relaciones de 1 es a 8 o de 1 es a 12. Si no los lleva se coloca una pendiente de  $45^\circ$ .

Por último se realiza el chequeo de volumen de carga de sólidos, el cual debe ser para sedimentadores secundarios menor a 88  $kgsst/m^2d$ , valor establecido por la WEF.

$$C_{sd} = \frac{QX}{A}$$

### ***Tratamiento Terciario***

Después de concluida la decantación o sedimentación secundaria el agua es llevada a estanques donde se realiza la filtración y posteriormente la desinfección. Las capas filtrantes son para retener las partículas que aun están en suspensión y que no fueron eliminadas en las etapas anteriores. La desinfección es para destruir el resto de los organismos que aun podrían estar presentes en el agua.

***Filtración.*** Su objetivo es el de remover sólidos suspendidos, el proceso depende directamente de la eficiencia de los procesos previos, ya que las partículas y

microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación son separados del agua mediante el filtrado, el cual puede efectuarse mediante el uso de separadores centrífugos (Filtros Cónicos), de mallas y discos, o de medios granulares (Arenas, Antracitas o Mixtos).

La filtración se realiza en dos etapas, la primera donde se realiza el transporte de las partículas dentro de los poros, y la segunda donde hay una adherencia de las mismas a los granos del medio.

El transporte de las partículas dentro de los poros se puede ver influenciado por varios fenómenos que se describen a continuación:

- El cernido, que se da sólo en las capas más superficiales y con partículas relativamente fuertes.
- la sedimentación, que le ocurre material suspendido relativamente grande y denso con un volumen de asentamiento alto.
- El impacto inercial, en el cual tanto la inercia de la partícula como la velocidad del agua hacen que la misma siga una trayectoria distinta a las líneas de flujo.
- La difusión de las arcillas, en zonas donde la velocidad es relativamente nula.
- La acción hidrodinámica, donde para medios viscosos y con movimientos laminares las partículas grandes adquieren diferentes velocidades en sus extremos haciéndola girar conduciéndola a zonas de velocidades bajas.

En la segunda etapa, la adherencia de las partículas a los granos del medio se debe a la fuerza Van der Waals presente en el espacio de adherencia de los granos filtrantes haciendo que las partículas que entren en él sean removidas; y a la fuerzas electrostáticas, que son generadas por las cargas de las partículas y los granos del filtro, o por puentes químicos donde las partículas se enlazan por segmentos sueltos

de cadenas poliméricas o por partículas ya adheridas al atravesar las constricciones entre los granos filtrantes.

El proceso puede darse por filtración lenta o rápida, este último puede usar como material filtrante arena o antracita, conformando lechos convencionales o profundos. Del mismo modo se puede usar una combinación de ambos, llamados filtros de lecho mixto. Los de filtración lenta son llamados filtros biológicos.

Cuando las capas filtrantes quedan saturadas de impurezas, se procede a limpiarlas invirtiendo el sentido del flujo de agua que pasa por ellas, y recogiendo el agua con partículas de impurezas por canales de limpieza. Este proceso se denomina retrolavado de filtros.

***Procedimiento para el cálculo de la unidad de Filtración.*** Inicialmente se debe calcular el caudal que sale del sedimentador que corresponde al caudal entrante del filtro, este caudal será el caudal máximo menos el caudal de purga de lodos.

$$Q_e = Q_{\text{máx}} - Q_w$$

Dependiendo de la rata de filtración deseada se estima la velocidad del proceso, con el que se calcula el área de la unidad.

$$A = \frac{Q_e}{V_{\text{filtración}}}$$

A: área de la unidad (m<sup>2</sup>).

Vfiltración: velocidad de filtración (m/min).

Con el área calculada se asume un ancho y se estima el largo de manera que la unidad tenga una sección rectangular.

El siguiente paso es dimensionar la canaleta de lavado, por lo que primero se debe estimar una velocidad de lavado que depende del sistema de filtro que se use y calcular un gasto de lavado, el cual debe ser posteriormente mayorado para un porcentaje alrededor del 30% para el diseño.

$$Q_{\text{lavado}} = A_{\text{calc}} * V_{\text{lavado}}$$

Q lavado: gasto de lavado (m<sup>3</sup>/min).

Vlavado: velocidad de lavado (m/min).

En función del caudal mayorado se define el número de canaletas y se reparte el caudal entre ellas, para dimensionarlas se procede a asumir una altura y a calcular la base mediante la siguiente expresión de Camp:

$$W = \frac{Q}{82,5 * h_o^{3/2}}$$

W: Base de la canaleta (m).

ho: altura de la canaleta (m).

Finalmente se calcula la altura de la unidad, estableciendo el espesor de las capas granulares, y su porcentaje de expansión, ya que con este se tendrá la altura total de la unidad como la sumatoria de la altura de la canaleta, la altura de expansión y la altura total de las capas filtrantes.

***Desinfección.*** Es un tratamiento físico-químico que busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales, con el objetivo de aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al medio ambiente.

El Nitrógeno, Azufre y Fosforo producen el crecimiento anormal de algas, plantas acuáticas y microorganismos, se reproducen y consumen grandes cantidades de oxígeno presente en el agua, hasta eliminarlo, ocasionando la muerte de todos los seres vivos del cuerpo de agua, y haciéndola no apta para el uso humano, este proceso se le llama Eutrofización del Agua. Es por esto que las cantidades existentes de estos componentes deben ser eliminados antes de verter los efluentes al cauce final.

Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es ideal ya que evita la formación de organoclorados que

pueden ser cancerígenos pero son usados cada vez menos por sus altos costos y porque el operador que la suministre debe estar muy bien preparado.

En la actualidad el método de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua es el que emplea el cloro y sus compuestos derivados como agentes desinfectantes. Esto debido a que tienen una acción germicida de espectro amplio, muestra una buena persistencia en los sistemas de distribución de agua porque presentan propiedades residuales, el equipo para la dosificación es sencillo, confiable y de bajo costo, el cloro y sus derivados se consiguen fácilmente y además es económico y eficaz en relación con sus costos.

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para realizar la desinfección del agua son cloro gaseoso, cal clorada, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

Para elegir cuál de estos productos se ha de emplear, la salud debe ser la consideración principal. Adicionalmente se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- La cantidad necesaria de desinfectante, que está en función del caudal de agua a tratar, la dosis requerida según la calidad del agua y las normas de calidad de agua de bebida del país. El uso de cloro gas no es recomendable para caudales menores de 500 m<sup>3</sup>/día, lo que a una dotación de 100 litros por habitante por día, típica del medio rural, significa que el cloro gas solo es recomendable para poblaciones mayores de 5.000 habitantes.
- El abastecimiento del producto es un factor que condiciona la selección del mismo, ya que en muchos casos las zonas rurales se encuentran alejadas de las ciudades y son de difícil acceso, lo cual podría sugerir la necesidad de emplear otro desinfectante o bien preparar hipoclorito de sodio en la localidad.
- La capacidad técnica disponible debe ser considerada para la selección, ya que operar instalaciones de cloro gaseoso requiere personal capacitado y competente, lo que es difícil de encontrar y remunerar en zonas rurales. Así mismo, el acceso a energía eléctrica de manera continua y estable es requisito

indispensable para el empleo de bombas. Adicionalmente, dado que el cloro gaseoso es extremadamente peligroso, es importante disponer de medios técnicos y personal capacitado para minimizar y controlar los riesgos inherentes a las instalaciones de este tipo, ya que una fuga no detectada y controlada a tiempo podría ocasionar serios accidentes que podrían poner en peligro vidas humanas.

- Los costos de la desinfección, donde el criterio para elegir el producto más conveniente será la fiabilidad, durabilidad, sencillez de la operación y disponibilidad de los repuestos del equipo. También se deben considerar los costos de transporte del cloro.

***Procedimiento para el cálculo de la unidad de cloración.*** Inicialmente con el caudal proveniente de la unidad de filtración se debe calcular el volumen del tanque.

$$V = Qe * Tr$$

V: volumen de la unidad (m<sup>3</sup>).

Tr: tiempo de retención (min), debe ser al menos 20 minutos.

Con este valor se calcula el área, asumiendo una altura, luego con este valor de área se asume un ancho y se obtiene la longitud del tanque.

$$As = \frac{V}{h}$$

As: área de la unidad (m<sup>2</sup>).

h: altura de la unidad asumida (m).

Para darle dimensión a los tabiques, se estima un ancho y una longitud, de manera que satisfaga las dimensiones de la unidad, y que cree un laberinto para el agua a desinfectar.

Calculando el área total de tabiques y sumándolo al área sin tabiques se obtienen las dimensiones totales de la unidad.

### ***Tratamiento de los Lodos***

Debido a que en el tratamiento de las aguas residuales se producen grandes cantidades de lodo, que deberán ser previamente tratados antes de ser finalmente desechados, se deben reducir su capacidad de fermentación y volumen. Estos lodos pueden ser primarios cuando se generaron por la sedimentación de las partículas más gruesas en los decantadores primarios, y secundarios cuando se trata de la biomasa depositada en los decantadores secundarios. Esta biomasa es producto de la metabolización de las partículas más finas por las bacterias en la etapa de aireación, y pueden ser lodos mixtos cuando se produce una combinación de la biomasa recirculada con los lodos biológicos en exceso. El tratamiento de los lodos depende de su composición y del tipo de agua residual del que proviene. Las fases del Tratamiento de Lodos son:

***Espesamiento.*** En esta fase se busca que el lodo adquiera mayor densidad, reduciendo su volumen, facilitando su transporte y al mismo tiempo disminuyendo los costos de instalaciones posteriores.

Esto se puede lograr mediante la concentración en espesadores, que son depósitos cilíndricos con la parte inferior cónica. Normalmente, el fango que llega a estos espesadores es de tipo mixto. Suelen tener un cono de descarga de gran pendiente.

También se encuentra la Flotación, que consiste en inyectar aire presión al lodo, con el que se forma una película en la superficie, que es removida por raquetas superficial hacia una arqueta. Muchas veces es usado para lodos ligeros con gran cantidad de bacterias filamentosas.

La Centrifugación como su nombre lo indica se utiliza para la concentración de los lodos así como también para su deshidratación.

***Digestión.*** La digestión de lodos puede ser aerobia o anaerobia, la cual es generalmente la más usada ya que se implementan en instalaciones de importancia.

La Digestión Aerobia es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Consiste en estabilizar el fango por aireación, destruyendo así los sólidos volátiles. El tiempo de aireación suele oscilar entre 10 y 20 días, según la temperatura.

La Digestión Anaerobia consiste en una serie de procesos microbiológicos que en ausencia de oxígeno convierte la materia orgánica en metano. El proceso se lleva a cabo en unos depósitos cerrados de hasta 30 m de diámetro y casi 20 de altura denominados digestores, que permiten la realización de las reacciones correspondientes, y la decantación de los fangos digeridos en su parte baja de forma cónica. En el proceso se produce un gas, denominado gas biológico (mezcla de metano y CO<sub>2</sub> principalmente) que se evacua del recinto. El fango introducido en el digestor se agita, con el fin de mantener una homogeneidad, mediante un sistema mecánico, o bien por medio de la difusión del propio gas de la mezcla. Para facilitar el proceso de digestión y reducir su duración, los fangos se calientan a temperaturas de alrededor de 30 a 37 °C, aprovechando el calor generado en la digestión.

Entre las ventajas y desventajas de la digestión anaerobia con respecto a la digestión aerobia podemos encontrar que produce menor cantidad de lodos y el metano que se produce es usado para producir calor para la digestión o como fuente de energía eléctrica mediante moto-generadores.

En cambio la característica que lo hace más desfavorable con respecto a la aerobia es que es un proceso muy lento, ya que para su puesta en marcha puede durar hasta de 30 días, además es más sensible a los tóxicos inhibidores, y en muchos casos para un buen funcionamiento se requieren grandes cantidades de producto.

### ***Acondicionamiento de Lodos***

Debido a la estructura coloidal que tienen los lodos urbanos y algunos industriales, son poco filtrables a la hora del secado posterior a la digestión, por lo que el sistema de filtración consigue un bajo rendimiento. Para evitar esto se añade a los lodos reactivos floculantes que rompen la estructura coloidal y le confiere otra de carácter granular de mayor filtrabilidad. Los reactivos más utilizados son las sales de hierro (Cl<sub>3</sub>Fe), sales de aluminio, cal (CaO) y/o polielectrolito.

## ***Secado***

En esta etapa se elimina el agua del lodo para convertirlo en una pasta sólida fácilmente manejable y transportable. Fue el primero en usarse por su simplicidad y bajo costo, y consiste en extender el lodo en capas de aproximadamente 30 cm, en una superficie al aire libre donde dependiendo de las características climáticas se pueda secar.

En el caso de grandes poblaciones y con problemas de espacio existen otros mecanismos de secado como son los filtros de banda, filtros prensa o centrifugación.

Las tortas producidas son recogidas mediante una cinta transportadora y enviada a la tolva para su retirada. El fango una vez seco puede ser transportado a un vertedero e incinerado o utilizado como corrector de suelos, destacándose así muchas veces de abono.

***Procedimiento para el dimensionado de los lechos de secado.*** En esta unidad se trabajará con el caudal de purga de lodos calculado en el reactor biológico, así mismo se debe calcular la producción de lodo anual en base a la producción diaria calculada.

$$P_{\text{anual}} = PL \times N_{\text{días}} / \text{año}$$

Planual: Producción de lodo anual (kgss/d).

Ndías/año: días al año de funcionamiento de la planta.

Se estima el área de la unidad con la siguiente expresión:

$$A = \frac{P_{\text{anual}}}{CS}$$

A: área de la unidad (m<sup>2</sup>).

Cs: Carga superficial (kgss/m<sup>2</sup>año), depende si la unidad estará techada o no, en caso de estarlo el valor de Cs varía entre 50 y 190 kg/m<sup>2</sup>año, si estará descubierto se debe tomar entre 50 y 90 kg/m<sup>2</sup>año.

Finalmente se reparte el área estimada en las celdas necesarias, y con el área por celda se dimensiona, asumiendo un ancho y así obteniendo el largo.

## **Análisis de Aguas Residuales**

Los análisis de agua más frecuentes son: DBO, DQO y Sólidos Totales. El grado de contaminación de las aguas residuales se mide por medio de la determinación de la materia orgánica presente. Dado que la determinación directa es muy dificultosa, se hace un examen de tipo indirecto determinando la cantidad de algún agente oxidante que se requiere para convertir esta materia orgánica en [anhídrido carbónico](#) y agua.

### ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)***

El método más usado es el de la [Demanda Bioquímica de Oxígeno](#), que se simboliza DBO. El DBO es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general, residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los gérmenes aerobios en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad para inhibir la eventual formación de  $O_2$  por las algas, y una temperatura de  $20^\circ C$  por un período de cinco días generalmente, durante los cuales la muestra es mantenida bajo el abrigo del aire.

Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación. El fundamento del método, consiste en medir la cantidad de  $O_2$  disuelto en un medio de incubación al comienzo y al final de este período. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el método Winkler o una modificación del mismo produce una medida de la DBO.

Mientras mayor sea la DBO mayor será la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua servida. En general las aguas potables no superan los 5 mg/100ml pero las aguas servidas pueden tener 300 mg/100ml.

La curva de consumo de oxígeno es al principio débil y después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento.

La oxidación de la materia no es sólo la causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de nitritos y de las sales amoniacales, así como las necesidades originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

De igual modo, las variaciones se producen también según la especie de gérmenes, concentración de estos y su edad, presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos consumidores propios de oxígeno que se nutren de las bacterias. Es por esto que este test ha sido constantemente objeto de discusiones y se puede decir que las dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproducibilidad, se deberán al carácter biológico del método.

### ***Demanda Química de Oxígeno (DQO)***

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. No es aplicable para las [aguas potables](#) debido al valor tan bajo que se obtendría y, en este caso, se utiliza el método de [oxidabilidad](#) con permanganato potásico. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. Debido a este agente puede haber interferencias en los resultados por la presencia de [sustancias inorgánicas](#) susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos,

yoduros, etc.) por lo que se deben mantener condiciones de metodología bien definidas y estrictamente respetadas.

Este test es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras.

### *Sólidos Totales*

Es el contenido total de materia sólida contenida en el agua, comprendiendo tanto la materia orgánica como inorgánica. Esta materia sólida la forman los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables.

Los Sólidos Disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva.

Por último los Sólidos Suspendidos se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración.

Por otra parte los Sólidos Sedimentables son sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias. Cuando estas fuerzas y velocidades cesan y el agua alcanza un estado de reposo, precipitan en el fondo, para luego ser eliminados fácilmente por cualquier método de [filtración](#).

## **Marco Normativo Legal**

***Decreto N° 883, Publicado en la Gaceta N° 5021 el 18 de Diciembre de 2005***  
***Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y***  
***Vertidos o Efluentes Líquidos***

### ***Capítulo III Del Control de los Vertidos Líquidos, Sección 1***

#### ***Artículo 8°***

Quedan también sujetas a las disposiciones contenidas en este Decreto, las actividades que generen vertidos líquidos no incluidas en la lista del artículo anterior, que se señalan a continuación:

- a) Actividades cuyos vertidos contengan elementos tóxicos o nocivos indicados en el artículo 9, grupo I.
- b) Actividades cuyos vertidos superen una Población Equivalente (PE) de 1000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>), con sólidos suspendidos por encima de 90 g/hab/día o DBO<sub>5,20</sub> mayor de 54 g/hab/día, o que afecten desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o cuerpos de agua.
- c) Las aguas servidas que en su conjunto, en cada ciudad o población, tengan descargas que excedan el límite de 1000 PE, en términos de DBO<sub>5,20</sub> o con una DBO<sub>5,20</sub> mayor de 54 g/hab/día.

### ***Capítulo II, Sección III De la Descarga de Cuerpos de Agua***

#### ***Artículo 10°***

A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros Físico-Químicos Límites máximos o rangos... Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>) 60 mg/l...

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **Tipo de investigación**

En las Normas Para la Elaboración del Proyecto de Tesis, para los Participantes de Maestría y Doctorados de La Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR, 1991), se establece que la Investigación Descriptiva:

...recoge sistemáticamente, la información sobre los hechos, las situaciones y las características de una población o área de interés. Se basa en la descripción de las situaciones, en la medición de actitudes y opiniones propias de individuos, organizaciones, eventos y procedimientos. La investigación descriptiva permite informar como es una determinada situación, señalar su naturaleza y el tipo de condiciones existentes en ese momento (p.21).

Este trabajo de grado se basa en una investigación descriptiva debido a que esta permite diagnosticar la situación actual de la población de las Trincheras, sus dificultades y necesidades, lo que posteriormente será instrumento clave para la realización de la propuesta.

#### **Diseño de la investigación**

En el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 1998), se establece que:

El Proyecto Factible en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de

organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades (p.7).

Por otra parte, Arias (1999), plantea que el proyecto factible es:

...una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de la demostración de su factibilidad o posibilidad de realización (p.82).

En el manual antes citado, se plantea lo siguiente:

Se entiende por Investigación de Campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoque de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios (p.5).

Este trabajo de grado es un proyecto factible, ya que consiste en la elaboración de una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados con el fin de solucionar el problema del vertido de las mismas sin previo tratamiento al cauce natural. Se apoya en una investigación de campo debido a que se deben identificar las características de la zona y el ambiente donde se desenvuelve la población, logrando con esto conocer las causas de la contaminación del río Aguas Calientes, y sus consecuencias a largo plazo para llevar a cabo el diseño de la propuesta.

## **Población y Muestra**

Según Best (1994):

Una población es cualquier grupo de individuos que posean una o más características en común interés para el investigador. La población puede estar constituida por todos los individuos de un particular tipo, o por una parte más restringida de ese grupo (p.259).

Por otro lado Asti (1999), señala que:

Se denomina muestra al conjunto de elementos seleccionados y extraídos de una población con el objeto de descubrir alguna característica de dicha población basándose en

el postulado de que las conclusiones formuladas, acerca de la muestra, valen también para la población de la cual esta ha sido extraída (p.56).

Para este trabajo de grado no hay población ni muestra, ya que no existe una planta de tratamiento de aguas residuales de origen domestico en el sector Las Trincheras.

## **Descripción de la Metodología**

### ***Fase I. Diagnóstico***

Se realizaron visitas a tres Entes Públicos. La Alcaldía de Naguanagua donde suministran información sobre la existencia si hubiere, de colectores y plantas de tratamiento en Las Trincheras, así como también los planos de ubicación del sector. De la misma forma en Hidrocentro proporcionan la información de caudal de agua potable con el que abastecen la zona, y mediante la búsqueda en la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) se obtuvieron los últimos censos y proyecciones existentes de población para el sector, con el que se estiman los caudales de diseño.

### ***Fase II. Factibilidad***

Mediante el análisis del plano de Las Trincheras se ubica una zona apta para la ejecución del proyecto. En este orden de ideas, se conoce que los materiales base para la ejecución del mismo como el concreto, acero y encofrado son de fácil accesibilidad en el mercado de la construcción en la región. Asimismo, se hizo una revisión bibliográfica en la que se verifica la existencia de las formulas necesarias para el diseño de un planta de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico por el proceso de lodos activados, instrumento clave para el desarrollo del trabajo de grado.

### ***Fase III. Propuesta de Diseño***

Por último se utilizó el programa Excel como recurso para los cálculos necesarios haciendo uso de las formulas antes mencionadas.

#### **Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos**

La recolección de datos se realizó mediante la técnica de fichaje, la cual consiste en encontrar y revisar trabajos de grado ya presentados, textos enfocados en el tema, sitios web, planos de ubicación, entre otras, para así poder obtener la información requerida para el desarrollo del proyecto. También se realizaron entrevistas no estructuradas a personas especializadas en el diseño de plantas de tratamiento y a personal de entes públicos. Adicionalmente se utilizó la técnica de observación mediante la visita al sitio en estudio.

#### **Análisis de Datos**

Fue analizada la información recolectada, identificando las variables que servirán para la elaboración de una propuesta satisfactoria. Esta información fue organizada mediante el análisis antes mencionado y procesada usando como herramienta el programa Microsoft Excel, que agilizó el cálculo de las unidades de la planta de tratamiento. De esta manera se pudieron resolver satisfactoriamente cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **LA PROPUESTA**

#### **Fase I. Diagnóstico**

Es necesaria la elaboración de este proyecto debido a la inexistencia de plantas de tratamiento para las aguas residuales de origen doméstico del sector Las Trincheras, ya que están desencadenando los problemas que se exponen a continuación:

- Contaminación del río Aguas Calientes y la destrucción de la flora y fauna en sus adyacencias, debido al vertido de parte de las aguas residuales de la zona a dicho río.
- Enfermedades de origen hídrico a la población adyacente.
- El retraso en el progreso del sector.

En este orden de ideas la ejecución de esta propuesta mejorará la calidad de vida de los habitantes, y por ende contribuirá al desarrollo del mismo.

#### **Fase II. Factibilidad**

La ejecución de la propuesta realizada en este proyecto de grado es factible debido a que el sector cuenta con un área de terreno que puede ser dispuesta para la ubicación de la planta. Así mismo los materiales necesarios son comunes en el mercado de la construcción y son de gran accesibilidad. Por otro lado, las vías de comunicación y ubicación permiten el acceso al sector, facilitando el transporte de materiales y mano de obra requeridos.

Otro factor que evidencia la factibilidad de la propuesta es que la bibliografía suministra las herramientas necesarias para el diseño de las unidades que conforman la planta de tratamiento.

### **Fase III. Propuesta de Diseño**

#### ***Calculo de la Población***

A partir de la información estadística suministrada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), se realiza el Cálculo de la Población Futura, para un período de diseño de 20 años, utilizando para ello el Método Aritmético debido a que la población crece linealmente.

Según los dos últimos censos realizados en el municipio Naguanagua por el INE se tiene:

Para el año 1990 = 97.572 habitantes.

Para el año 2001 = 139.264 habitantes.

Proyección 2007 = 150.781 habitantes

Se estima la Población para el periodo de diseño establecido de la siguiente manera:

$$PT = Puc + Ka(t2 - t1)$$

Donde:

Puc = Población del último censo

Ka = Pendiente de la recta en crecimiento lineal

t2 = Año del último censo

t1 = Año del censo inicial

$$Ka = \frac{P2007 - P2001}{2007 - 2001}$$

Ka = 1919.50

Ka = 1.919,50

P2029 = 193.010,00 habitantes

Este valor es multiplicado por un factor “Kr” que refleja el porcentaje de la población del municipio Naguanagua conformado por el sector las Trincheras.

$$Kr = \frac{P_{estudiada}}{P_{estimada}(2007)}$$

Siendo la población de las trincheras para el año 2007 es de 3.737 habitantes.

$$Kr = 0,02$$

$$P (2029 \text{ trincheras}) = 4.784 \text{ habitantes.}$$

### ***Caudales de Diseño***

Debido a la inexistencia de un sistema de recolección de aguas residuales que pudieran suministrar los datos del Caudal y DBO del afluente, se estima el caudal de la siguiente manera:

$$Q_{medio} = \frac{Ct}{S}$$

El valor de la Carga Orgánica Total (Ct) se obtiene con el valor de carga orgánica normativo en la decreto 883, la cual establece un valor por persona de 54gDBO/d.

Conociendo que la población en estudio es de 4.784 habitantes se tiene entonces un carga orgánica total.

$$Ct = 258,32 \text{ kg de DBO } 5,20/\text{día}$$

El valor de DBO es asumido como 276 mg/l, el cual es señalado en la bibliografía como el valor máximo registrado al año para poblaciones menores de 20000 habitantes.

$$Q_{medio} = 935.924,83 \text{ l/d}$$

El Caudal Máximo es estimado como 1,5 veces el Q medio calculado.

$$Q_{m\acute{a}x} = 1.403.887,25 \text{ l/d}$$

### *Tratamiento Preliminar*

Esta unidad realizará un desbaste de rejillas finas, con separación entre barras de 1 cm. Las variables consideradas en esta unidad son:

$$W = 0,95 \text{ cm}$$

$$D = 1 \text{ cm}$$

$$V = 0,9 \text{ m/s}$$

*Área neta*

$$A_s = 356,203 \text{ cm}^2$$

*Número de Barras*

Asumiendo un ancho (a) del canal igual a 60 cm se obtiene:

$$N = 30,26 \text{ barras} \approx 31 \text{ barras}$$

*Dimensiones del canal*

$$\text{Ancho total de barras} = 29,45 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho útil} = 30,55 \text{ cm}$$

$$\text{Altura útil} = 5,91 \text{ cm} \approx 6 \text{ cm}$$

*Revisión de la pérdida de carga*

$$\theta = 45^\circ$$

$$\beta = 2,42$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_f = 6,603 \text{ cm} < 15 \text{ cm} \text{ OK}$$

*Pendiente del canal de aproximación*

$$R = 0,049 \text{ m}$$

La paredes de la planta serán de concreto ( $\eta = 0,016$ )

$$S = 1,15 \%$$

*Volumen de sólidos*

El desbaste con rejillas permite retener hasta 50 litros de sólidos por millón de litros tratados, por lo que:

$$VS = 70,19 \text{ ls/d}$$

### ***Tratamiento Primario***

Esta etapa la conformará el sedimentador primario de sección circular y con barrelodos.

#### *Volumen de la unidad*

Estableciendo un Tiempo de Retención ( $T_r$ ) de 2 horas

$$V = 116,99 \text{ m}^3$$

#### *Dimensionado del estanque*

Se asume una Altura Ponderada ( $h_p$ ) de 3,00 m

$$A = 39 \text{ m}^2$$

$$D = 7,05 \text{ m} \approx 7,1 \text{ m}$$

#### *Carga superficial delante*

$$C_s = 36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} \quad \text{O.K.}$$

#### *Carga Lineal sobre el vertedero*

Se asume  $f = 0,6$

$$L_v = 13,28 \text{ m}$$

$$CL = 52,85 \text{ m}^3/\text{md}$$

#### *Dimensiones reales*

La altura del cono al tener barre lodos será:

$$h_2 = D/12 = 0,59 \text{ m}$$

$$V_{\text{cono}} = 7,63 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cilindro}} = 116,99 \text{ m}^3$$

#### *Volumen de la carga de sólidos*

$$C_{sd} = 57,60 \text{ kgsst}/\text{m}^2\text{d} \quad \text{O.K.}$$

### ***Tratamiento Secundario***

Esta fase estará conformada por el proceso biológico el cual será mediante Lodos Activados en su modalidad de aireación extendida y por un sedimentador secundario circular.

**Reactor Biológico.** En un cálculo preliminar siguiendo el mismo procedimiento se obtuvo un porcentaje de recirculación de 76,92%, con el que se estima el caudal entrante a la unidad.

$$Q = 2.483.757,30 \text{ l/d}$$

Otros valores considerados para el diseño son:

$$Ct = 258,32 \text{ kg de DBO } 5,20/\text{día}$$

$$So = 276 \text{ mg/l}$$

*Carga a procesar*

Se emplea un proceso de lodos activados con aireación extendida, obteniendo una eficiencia del 90%.

$$S = 27,6 \text{ mg/l}$$

$$Cp = 616,97 \text{ kg DBO/d}$$

*Volumen del reactor*

El Valor de Carga Volumétrica se estima como un valor comprendido entre los rangos normativos.

$$Vs \begin{cases} 0,1-0,4 \text{ kg DBO/m}^3\cdot\text{d} & \text{Tabla 10.4} \\ 0,16-0,24 \text{ kg DBO/m}^3\cdot\text{d} & \text{INOS} \end{cases}$$

Se toma  $Vs = 0,24 \text{ kg DBO/m}^3\cdot\text{d}$

$$V = 2.570,69 \text{ m}^3$$

Conociendo este volumen se construirán 2 tanques con las siguientes características:

$$V = 1.285,34 \text{ m}^3$$

$$h = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 11,1\text{m}$$

$$L = 33,2 \text{ m}$$

*Tiempo de residencia celular*

$$U \begin{cases} 0,05-0,15 \text{ kg DBO/d} & \text{Tabla 10.4} \\ < 0,05\text{kg DBO/d} & \text{INOS} \end{cases}$$

Se toma  $U = 0,15 \text{ kg DBO/d}$

Conociendo los siguientes valores:

$$Y = 0,55 \text{ mg VSS/mgDBO}_5$$

$$K_d = 0,06 \text{ d}^{-1}$$

$$\theta_c = 44,44 \text{ días}$$

*Concentración de microorganismos en el reactor*

$$X = 1.600,00 \text{ mg/l}$$

*Producción de lodos*

$$PL = 92,54 \text{ kgss/d}$$

*Razón de disposición de lodos*

Se asume un valor de Concentración de microorganismos recirculable de 2,3 veces la reacción de microorganismos calculados.

$$X_r = 3.680,00 \text{ mg/l}$$

$$Q_w = 25.148,04 \text{ l/d}$$

*Razón de recirculación*

$$Q_r = 1.910.582,54 \text{ l/d}$$

$$R = 0,77$$

$$R = 76,92 \%$$

Este valor es el mismo porcentaje de recirculación con el que se estimó el caudal entrante al reactor.

*Requerimiento de Oxígeno*

Se tomará un valor de  $f = 0,62$

$$RO = 863,69 \text{ kg*O}_2/\text{d}$$

*Selección de aireadores mecánicos*

$$\beta = 0,95$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{m.s.n.m} = 362,85 \\ T = 27 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Presión Barométrica "b"} = 722,8 \text{ mm Hg} \\ \text{Presión de Vapor Saturado "p"} = 23,76 \text{ mm Hg} \\ C_s = 8,38 \text{ mg/l} \end{array}$$

$$C_{sw} = 7,56 \text{ mg/l}$$

$$N_o = 1,22 \text{ kgO}_2/\text{Hp-h}$$

$$C = 2 \text{ mg/l}$$

$$\alpha = 0,9$$

$$N = 0,86 \text{ kg*O}_2/\text{hp-h}$$

*Potencia del Aireador*

$$P = 41,85 \text{ hp}$$

$$F=1,25$$

$$P \text{ sum} = 52,31 \text{ hp}$$

*Revisión por volumen del tanque*

$$P_{\text{vol}} = 51,41 \text{ hp}$$

$$52,31 \text{ hp} > 51,41 \text{ hp} \quad \text{OK}$$

*Selección de Aireadores*

Se selecciona 2 aireadores de 15 hp cada uno para cada tanque. Cada aireador con estas características presenta una zona de mezcla completa (D) de 19,01 m.

***Sedimentador Secundario***

*Volumen de la unidad*

Estableciendo un Tiempo de Retención ( $T_r$ ) de 2 horas

$$V = 206,98 \text{ m}^3$$

*Dimensionado del estanque*

Se asume una Altura Ponderada (hp) de 3,00 m

$$A = 68,99 \text{ m}^2 \approx 69 \text{ m}^2$$

$$D = 9,37 \text{ m} \approx 9,4 \text{ m}$$

*Carga superficial delante*

$$C_s = 36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d O.K.}$$

*Carga Lineal sobre el vertedero*

Se asume  $f = 0,6$

$$L_v = 17,72 \text{ m}$$

$$CL = 70,09 \text{ m}^3/\text{md}$$

*Dimensiones reales*

El sedimentador va a tener barre lodos por lo que la relación de pendiente será 1:12.

$$h_2 = D/12 = 0,78 \text{ m}$$

$$V_{\text{cono}} = 18,02 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cilindro}} = 207 \text{ m}^3$$

*Volumen de la carga de sólidos*

$$C_{sd} = 57,59 \text{ kgsst/m}^2\text{d O.K.}$$

### ***Tratamiento Terciario***

Esta fase estará conformada por la unidad de filtración y por la unidad de cloración que desinfectará el agua residual.

***Unidad de Filtración.*** Se diseña esta unidad debido a la potencial agresividad del ambiente de la zona, ya que converge con el Abra de Las Trincheras. Estará formada por un medio granular que trabajará por gravedad. El medio será mixto porque estará constituido por una capa de Arena seguida por una de Antracita, los cuales efectuarán el proceso de filtración rápida.

$$Q_e = 1.378.739,20 \text{ l/d}$$

$$Q_e = 1.378,74 \text{ m}^3/\text{d}$$

Usando una rata de  $350 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  se obtiene una velocidad de filtración igual a:

$$V_{\text{filtración}} = 349,92 \text{ m/d}$$

*Dimensiones de la unidad*

$$A = 3,94 \text{ m}^2$$

Asumiendo un ancho  $a = 1,5 \text{ m}$

$$b = 2,7 \text{ m}$$

$$A_{\text{calculada}} = 4,05 \text{ m}^2$$

*Gasto de Lavado*

Se establece una velocidad de lavado dentro del rango 0,6 a 1,0 m/min

$$V \text{ lavado} = 0,8 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q \text{ lavado} = 3,24 \text{ m}^3/\text{min}$$

Calculándolo para un 30% más del necesario:

$$Q \text{ lavado} = 4,21 \text{ m}^3/\text{min}$$

Colocando 2 canaletas:

$$Q \text{ canaleta} = 2,11 \text{ m}^3/\text{min}$$

#### *Dimensiones de la canaleta*

ho: 0,30 m

$$W = 0,16 \text{ m}$$

#### *Altura de la unidad*

Estableciendo la altura del filtro de arena como 50 cm y la de Antracita como 45 cm se tiene:

$$h \text{ filtro} = 0,95 \text{ m}$$

Estableciendo un porcentaje máximo de expansión de 50% del agregado filtrante el lecho alcanzará:

$$h \text{ lecho} = 1,425 \text{ m} \approx 1.45 \text{ m}$$

$$\text{Altura total} = 1.75 \text{ m}$$

#### *Unidad de Cloración*

##### *Volumen del Tanque*

$$Tr = 30 \text{ min}$$

$$V = 28,72 \text{ m}^3$$

##### *Dimensiones del Tanque*

Para una altura útil "h" = 2.5 m

$$As = 11,49 \text{ m}^2 \text{ (sin incluir tabiques)}$$

Asumiendo un ancho = 3 m

$$\text{Longitud del tanque} = 3,83 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

##### *Dimensiones de los tabiques*

$$\text{Ancho de tabiques} = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de tabiques} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Área tabiques} = 0,2\text{m}^2$$

*Dimensiones finales de la unidad*

$$A \text{ Total} = 12,60 \text{ m}$$

Se colocarán 4 tabiques de 10 cm de ancho para crear el laberinto

$$\text{Ancho total} = 3 \text{ m}$$

$$L \text{ total tanque} = 4,3 \text{ m} \approx 4,4 \text{ m}$$

***Lechos de Secado***

*Producción de lodos*

$$Q \text{ lodos} = 25.148,04 \text{ lodo/d}$$

*Producción anual*

$$PL = 92,54 \text{ kgss/d}$$

Días de funcionamiento al año = 365 días

$$P_{\text{anual}} = 33.778,85 \text{ kgss/año}$$

*Área de la unidad*

Tomando la unidad como techada  $C_s = 180 \text{ kgss/m}^2\text{año}$ .

$$A = 187,66 \text{ m}^2$$

Se colocarán 6 celdas por lo que cada celda tendrá:

$$A \text{ celda} = 31,28 \text{ m}^2$$

*Dimensiones de la celda*

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

$$\text{Largo} = 8 \text{ m}$$

***Cálculo del DBO del Agua Efluente de la Planta***

***Tratamiento Preliminar.*** Removiendo un 30% se tiene:

DBO de entrada = 276 mg/l

$$DBO \text{ de salida} = DBO \text{ de entrada} - (\% \text{Remoción} * DBO \text{ de entrada})$$

DBO de salida = 193,2 mg/l

***Tratamiento Primario.*** Que eliminará un porcentaje de DBO de 35%:

DBO de entrada = 193,2 mg/l

DBO de salida = 125,58 mg/l

***Tratamiento Secundario.*** Con eficiencia de 90%:

DBO de entrada = 125,58 mg/l

DBO de salida = 12,56 mg/l

***Tratamiento Terciario.*** No remueve cantidades significativas de DBO.

El agua efluente de la Planta de Tratamiento tendrá 12,56 mg DBO/l.

## CONCLUSIONES

Se diagnostica la necesidad del diseño y la construcción de la planta de tratamiento para tratar las aguas residuales de origen doméstico generadas en el sector Las Trincheras, Municipio Naguanagua, Estado Carabobo. Esta necesidad es generada por la ausencia de un sistema de recolección de aguas residuales y de plantas para su tratamiento, debido al vertido irresponsable de las aguas servidas al río Aguas Calientes, que está generando enfermedades de origen hídrico en la población, además de causar contaminación y destrucción de la flora y la fauna existente.

La zona de Las Trincheras cuenta con un área sin construcción en la cual se puede ubicar la planta de tratamiento propuesta. Asimismo la accesibilidad a la zona evitará problemas referidos al transporte de la mano de obra y de los materiales necesarios, los cuales se encuentran fácilmente en el mercado de la construcción.

El proceso estará conformado por la unidad de desbaste, seguido del reactor biológico que seguirá el proceso convencional de lodos activados. Desde este punto el agua se dirigirá al sedimentador secundario que será de sección circular y no tendrá barre lodos. El agua efluente de esta unidad pasará por un proceso de filtrado rápido en la unidad de filtración de lecho mixto. Finalmente será desinfectada en la unidad de cloración; el lodo no recirculado irá a los lechos de secado los cuales serán techados.

El agua efluente tendrá un DBO de 12,56 mg/l, el cual es un valor aceptable para ser vertido al río, cumpliendo así con el valor normativo.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda la construcción de la red de colectores de aguas residuales de origen domestico, debido a que es fundamental captar las aguas para su posterior tratamiento. El objetivo es que la totalidad de estas aguas sean incorporadas a dicho colector en lugar de ser depositadas en pozos sépticos, de manera que poco a poco estos caigan en desuso y las mismas pasen a ser competencia del estado, desde la recolección hasta su tratamiento y posterior vertido al río Aguas Calientes, evitando vertidos de aguas crudas al cauce.

Así mismo se puede complementar esta planta de tratamiento con la incorporación de un digestor, con la finalidad de estabilizar el caudal de lodos.

Se sugiere la ejecución de este diseño de planta de tratamiento de aguas residuales debido a que optimizara la calidad de vida de los habitantes del sector además de proporcionar una mejora paulatina de las condiciones del río, ya recuperación de su flora y fauna silvestre.

Se recomienda elaborar el cálculo estructural de las unidades de la Planta para poder llevar a cabo su construcción.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Fuentes Impresas**

ALCANTARA, Armando. *Las Trincheras, el Caserío Mágico*. Ediciones de la Alcaldía de Naguanagua, Naguanagua Venezuela 2008.

AROCHA, Simón. *Abastecimiento de Agua Teoría y Diseño*. Tercera Edición. Editorial Innovación Tecnológica. Caracas Venezuela.

BEST, J. *Cómo investigar en Educación*. Ediciones Morata. Madrid 1994.

Chmatil Beatriz y Eduarte Dinoska (2004) *Diseño de un Sistema de Lodos Activados y Digestor Aerobio para el manejo de lodos del C.I.I.A.S.U.C*. Valencia: Universidad de Carabobo.

GACETA OFICIAL DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA. *Decreto N° 883*, Publicación N° 5021 Extraordinaria, Caracas Venezuela, 1985.

Martínez Juan e Iván Ojeda (2005) *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas para la población de Magdalena, Municipio Zamoá, Estado Aragua*. Valencia: Universidad de Carabobo.

METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas Residuales, Tratamiento de Vertidos y Reutilización*. 3º Edición Mc Graw Hill. México 1996.

RIVAS, Mijares. *Tratamiento de Aguas Residuales*, 2º Edición. Ediciones Vega. Caracas 1978.

Silva María y Campos Melermey (2003) *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Base Naval C.A Agustín Armario*. Valencia: Universidad de Carabobo.

TAMAYO Y TAMAYO M. *El Proceso de Investigación Científica*. Editorial Limusa. México 2001.

UPEL. *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales*. 4ta. Edición. Fondo de Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas Venezuela 2006.

### **Fuentes Electrónicas en Línea**

Sanchez F. (2007). *Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas*. [Documento en Línea]. Disponible:

[http://desacad.ita.mx/contec/num\\_2730/rev27-9.pdf](http://desacad.ita.mx/contec/num_2730/rev27-9.pdf). [Consulta: 2009, Febrero 03].

Pacheco C. (2008). *Utilización de Unidad Innovadora de Pre-tratamiento de Aguas Usadas Domesticas e Industriales*. [Revista en Línea]. Disponible:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIAS16.pdf>. [Consulta: 2008, Marzo 20].

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentadores*. [Revista en Línea]. Disponible:

<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>.

[Consulta: 2008, Diciembre 09].

Lothar M. (1999). *Tratamientos Preliminares*. [Documento en Línea]. Disponible:

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-07.pdf>. [Consulta: 2009,

Febrero 15].

República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. [Documento en Línea].

Disponible: <http://www.scribd.com/doc/3288548/TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES>. [Consulta: 2009, Marzo 17].

Kelly A. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, Identificación del Problema*. [Revista en Línea]. Disponible:

<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>. [Consulta: 2009, Marzo 05].

## ANEXOS

**ANEXO 1.** Líquidos Cloacales Domésticos - Características Generales (En localidades de aproximadamente 20.000 habitantes)

Características	Diciembre-junio			Septiembre-marzo		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Gasto (MLD) .....	8,65	5,53	3,28	13,55	7,45	3,78
pH .....	7,5	7,2*	6,8	7,5	7,2*	6,7
Sólidos sedimentables (ml/l) .....	6,1	3,3	1,8	10,6	6,7	2,4
Sólidos totales (mg/l) .....	640,0	453,0	322,0	676,0	481,0	294,0
Sólidos totales volátiles (mg/l) .....	388,0	217,0	118,0	336,0	249,0	148,0
Sólidos suspendidos (mg/l) .....	258,0	145,0	83,0	236,0	146,0	58,0
Sólidos suspendidos volát. (mg/l) .....	208,0	120,0	62,0	174,0	125,0	54,0
Demanda química oxígeno (mg/l) .....	436,0	288,0	159,0	443,0	282,0	97,0
Demanda bioquím. oxígeno (mg/l) .....	276,0	147,0	75,0	216,0	136,0	46,0
Cloruros (mg/l) .....	45,0	35,0	25,0	83,0	41,0	28,0

\* Valor modal

## ANEXO 2. Parámetros de Diseño para el diseño del Proceso de Logos Activados

Anexo 2.1. Tabla 10-4

Process modification	$t$ , d	$F/M$ , kg BOD <sub>5</sub> applied/kg MLVSS · d	Volumetric loading, kg BOD <sub>5</sub> applied/m <sup>3</sup> · d	MLSS, mg/l	$V/Q$ , h	$Q_0/Q$
Conventional	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
Tapered aeration	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
Continuous-flow stirred-tank reactor	5-15	0.2-0.6	0.6-2.0	3,000-6,000	1-3	0.25-1.0
Step aeration	5-15	0.2-0.4	0.6-1.0	2,000-3,500	3-5	0.25-0.75
Modified aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	1.2-2.4	200-500	1.5-3	0.05-0.15
Contact stabilization	5-15	0.2-0.6	1.0-1.2	(1,000-3,000) <sup>a</sup> (4,000-10,000) <sup>b</sup>	(0.5-1.0) <sup>a</sup> (3-6) <sup>b</sup>	0.25-1.0
Extended aeration	20-30	0.05-0.15	0.1-0.4	3,000-6,000	18-36	0.75-1.50
Rotating disc process	5-15	0.3-0.8	0.6-1.6	2,000-3,000	4-8	0.5-1.0
High-rate aeration	5-10	0.4-1.5	1.6-1.6	4,000-10,000	0.5-2	1.0-5.0
Pulsed oxygen systems	8-20	0.25-1.0	1.6-3.3	6,000-8,000	1-3	0.25-0.5

## Anexo 2.2. INOS

Process Type	Loading			BOD <sub>5</sub> Removal (%)	Aerator Detention Time (h)	Nitrification Occurs	O <sub>2</sub> Required† (lb/lb BOD <sub>5</sub> Removed)	Recirculated Solids Rate (% Q)	MLSS‡ (mg/l)	O <sub>2</sub> Uptake (mg/g-h MLSS)	Waste Sludge (lb/lb BOD <sub>5</sub> Removed)
	F/M (lb BOD <sub>5</sub> /lb MLSS-d)	SRT (days)	lb BOD <sub>5</sub> /1000 cu ft-d @ 1000 mg/l MLSS								
Extended aeration	≤0.05	≥30	10-15	90+	16-24	Yes	1.4-1.6*	100-300	2000-6000	3-8	0.15-0.3
Conventional	0.15-0.4	4-8	20-60	90-95	4-8	Possible	0.8-1.1*	30-100	1500-4000	7-15	0.4-0.6
High rate	0.4-1.0	2-4	70-180	85-90	2-4	No	0.7-0.9	30-100	3000-5000	15-25	0.5-0.7
Modified aeration	1.5-3.0	<1	90-180	60-75	0.5-2	No	0.4-0.6	10-30	500-1500	20-40	0.8-1.2
Contact-stabilization:	0.15-0.5	3-10	30-70	85-95	—	Possible	0.8-1.1	25-75	—	—	0.4-0.6
Contact Stabilization	0.5-2.0	—	90-180	85-95	1.0-3.0	No	0.4-0.6	50-100	2000-4000	20-30	—
Single stage nitrification	—	—	—	—	3.0-6.0	Possible	0.3-0.5	—	6000-10000	10-30	—
Single stage nitrification	0.05-0.15	10-15	10-30	95+	6-12	Yes	1.1-1.5	30-100	3000-6000	3-8	0.15-0.3

\* Additional oxygen must be added if nitrification takes place.  
† Density of O<sub>2</sub> @ 0°C and 760 mm = 0.089 lb/cu ft (1.429 g/l).  
‡ MLSS = 1000 mg/l.  
§ MLSS × 0.8 ≈ MLVSS.  
Note: lb/1000 cu ft × 4.883 = g/m<sup>3</sup>.

### Anexo 2.3. WEF

PROCESO	CARGA VOLUMETRICA kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> x día	TIEMPO DE RETENCION hr.	AIRE REQUERIDO m <sup>3</sup> /kg DBO <sub>5</sub>	SSLM	RELACION DBO <sub>5</sub> /SSLM kg DBO <sub>5</sub> /día x kg SSLM	RECIRCULACION % (5)
LODO ACTIVADO CONVENCIONAL	0,3 - 0,8	6-8	62,5	< 3000	< 0,25-0,5	25-100
ESTABILIZACION TOTAL	0,2 - 0,25	24	125	<10000	< 0,1	50-150
ESTABILIZACION POR CONTACTO	0,5 - 0,8	0,5 - 1,5 (1) 2,5 - 4 (2)	75	< 7000 (3)	< 0,2 a 0,5	50-150
LODO ACTIVADO DE ALTA RATA	1,6	2,5 - 4	(4)	< 1000	< 1	20-75

### ANEXO 3. Coeficientes cinéticos típicos para el proceso de lodos activados

Table 9-7 Typical kinetic coefficients for the activated-sludge process<sup>a</sup>

Coefficient	Basis	Value <sup>b</sup>	
		Range	Typical
$k$	$d^{-1}$	2-10	5.0
$K_s$	mg/L BOD <sub>5</sub>	25-100	60
	mg/L COD	15-70	40
$Y$	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0.4-0.8	0.6
	mg VSS/mg COD	0.25-0.4	0.4
$k_d$	$d^{-1}$	0.04-0.075	0.06

**ANEXO 4.** Concentración de saturación de oxígeno en el agua limpia a nivel del mar y presión de vapor en función de la temperatura

Temp. °C	$C_s$ mg/l	$p$ mm Hg	Temp. °C	$C_s$ mg/l	$p$ mm Hg	Temp. °C	$C_s$ mg/l	$p$ mm Hg
1	14,23	4,93	11	10,08	9,84	21	8,99	18,65
2	13,84	5,29	12	10,83	10,52	22	8,83	19,82
3	13,48	5,68	13	10,60	11,23	23	8,68	21,07
4	13,13	6,10	14	10,37	11,99	24	8,53	22,38
5	12,80	6,54	15	10,15	12,79	25	8,38	23,76
6	12,48	7,01	16	9,95	13,63	26	8,22	25,21
7	12,17	7,51	17	9,74	14,53	27	8,07	26,74
8	11,87	8,04	18	9,54	15,48	28	7,92	28,35
9	11,59	8,61	19	9,35	16,48	29	7,77	30,04
10	11,33	9,21	20	9,17	17,54	30	7,63	31,82

**ANEXO 5.** Lectura Barométrica en función de la altitud.

Altitud mts.	Barómetro mm Hg.	Altitud mts.	Barómetro mm Hg.	Altitud mts.	Barómetro mm Hg.
100	750,5	1.100	662,0	2.100	583,9
200	741,1	1.200	653,7	2.200	576,6
300	731,9	1.300	645,6	2.300	569,4
400	722,8	1.400	637,5	2.400	562,3
500	713,7	1.500	629,6	2.500	555,3
600	704,8	1.600	621,7	2.600	548,4
700	696,1	1.700	614,0	2.700	541,5
800	687,4	1.800	606,3	2.800	534,8
900	678,8	1.900	598,7	2.900	528,1
1.000	670,3	2.000	591,3	3.000	521,5

(\*) Breed, Ch. B., G.L. Hosmer. "Fishes Surviving" Vol. 11. n. 181,  
John Wiley & Sons Inc. 1953.

### ANEXO 6. Tamaño y desempeño de aireadores

Zone (Diameter) of Complete Mix (ft)	Zone (Diameter) of Complete Oxygen Dispersion (ft)	Pumping Rate Through Unit (gpm)	Shaft Diam. (in.)
45	150	3,390	1.250
50	160	3,780	1.250
51	142	5,060	1.750
62	200	6,140	1.750
72	230	8,520	2.125
80	255	9,830	2.125
88	280	12,570	2.125
102	325	14,000	2.500
105	330	18,560	2.500
115	350	20,580	2.500
130	380	22,550	2.500
150	440	41,000	3.375
185	490	47,500	3.375
185	530	57,000	3.375

### ANEXO 7. Características de los diferentes tipos de filtro.

Características	Filtro Rápido con Lecho Mixto (Arena y Antracita)			Filtro Rápido con Lecho simple			Filtro Lento con Lecho simple			
	gpm/p <sup>2</sup>	4	6	10	1.5	2	3	0.12	0.16	0.24
Rata o carga superficial de filtración	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	235	350	590	87.5	117.5	176	7.00	9.33	14.00
	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	9.8	14.6	24.6	3.6	4.9	7.3	0.3	0.39	0.58
Velocidad de filtración	cm/seg	0.27	0.405	0.683	0.101	0.136	0.203	0.0081	0.0108	0.0162
Profundidad del lecho filtrante	30 - 40 cms de grava 45 - 60 cms de antracita 15 - 30 cms de arena			30 - 45 cms de grava 60 - 75 cms de arena			30 cms de grava 90 - 110 cms de arena			
Drenaje	Falsos fondos o similares			Tuberías metálicas perforadas o placas porosas, falsos fondos, etc			Tuberías perforadas de gres o cemento			
Lavado	Invertiendo el flujo con agua proveniente de un tanque elevado o una bomba. Velocidad de lavado: 0.60-1.00m/min 0.60=1.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min			Invertiendo el flujo a presión con agua proveniente de un tanque de lavado o una bomba. Velocidad de lavado: 0.80-1.20 m/min o 0.80=1.2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min			Raspando la superficie de la arena			
Pérdida de carga	De 20 cms hasta 2.70 m max.			De 30 cms hasta 2.70 m max.			De 16 cm hasta 1.20 m máx.			
Tiempo entre limpiezas	12 - 48 horas			24 - 48 - 72 horas			20 - 30 - 60 días			
Penetración del floc	Profunda			5 cm superiores (mayor cantidad)			Superficial			
Cantidad de agua usada en el lavado	1 - 3 % del agua filtrada			1 - 6 % del agua filtrada			0.2 - 0.6 % del agua filtrada			
Tratamiento previo del agua	Coagulación, floculación y sedimentación			Coagulación, floculación y sedimentación			Ninguno o prefiltración (rara vez floculación y sedimentación)			
Costo de Construcción	Más bajo que el de los filtros rápidos de arena			Más bajo que el de los filtros lentos			Alto			
Costo de operación	Igual al de los filtros rápidos de arena			Más alto que el de los filtros lentos			Bajo			
Area ocupada por los filtros	1/2 a 1/5 de la de los filtros rápidos de arena			Menor que el de los filtros lentos			Más grande que la de los filtros rápidos de arena (aprox. 12 veces mayor)			
Turbiedad y color del afluente	< 10 UT 80 % del tiempo < 20 U.C			< 5 UT 80 % del tiempo < 10 U.C			< 20 UT 80 % del tiempo < 10 U.C			