



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

SEDE: "OSCAR LUCERO MOYA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

# TRABAJO DE DIPLOMA

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EXPERIMENTAL DE AGUA RESIDUAL  
PARA LA SEDE UNIVERSITARIA "OSCAR LUCERO MOYA"

LIANA ESTER ABREU MEDINA

HOLGUÍN

2016



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

SEDE: "OSCAR LUCERO MOYA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

# TRABAJO DE DIPLOMA

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EXPERIMENTAL DE AGUA RESIDUAL  
PARA LA SEDE UNIVERSITARIA "OSCAR LUCERO MOYA"

AUTOR: LIANA ESTER ABREU MEDINA

TUTOR: MSc. RAYMUNDO CARLO RODRÍGUEZ TEJEDA

Drc. MIGUEL ALEJANDRO CRUZ CABEZAS

HOLGUÍN

2016

## PENSAMIENTO

*“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”*

*Isaac Newton*

## DEDICATORIA

*“A mi madre por ser mi guía en cada  
momento de mi vida “*

*Gracias mamá*

## AGRADECIMIENTOS

*“A mi padre por ser mi tutor incondicional en cada momento, a mis hermanos por ser mi fortaleza, a mi sobrina por llenarme de alegría, a mi novio por ser mi consultor, a mi familia por su apoyo*

*Gracias a todos”*

## **Resumen**

La siguiente investigación persigue como principal objetivo el tratamiento de las aguas residuales, en una planta de tratamiento con carácter experimental. Para ello se parte de un análisis relacionado con la actualidad y novedad del tema. Con la ayuda de bibliografías consultadas y la opinión de especialistas, se lleva a cabo un estudio de los principales sistemas convencionales, para la depuración de las aguas. Se realizaron tomas de muestras del efluente para determinar el nivel de contaminación. Finalmente se elige la temperatura idónea para el tratamiento de las aguas residuales y la tecnología adecuada que cumpla con lo establecido por la NC.27:2012 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones”. La misma está compuesta por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión. La planta puede ser utilizada para el tratamiento aeróbico de diversas aguas residuales. Su aplicación será un paso de avance para futuros estudios e investigaciones en este sentido.

## **Abstract**

This investigation pursues as main objective the waste water treatment in an experimental plant. For that it starts with an analysis related with the novelty of the theme. With the help from the consulted literature and specialists opinions, a study is carried on about the main conventional systems for the water depuration. Six samples were taken from the effluent to determine the pollution level. Finally it choose the ideal temperature for the treatment of the waste waters and the right technology that fulfill with the norm NC.27:2012 "Disposal of residuary waters to soil waters and sewerage-Specifications." The same is composed by a supplier tank, a reaction chamber, an aeration system, a settling tank, a recycle bomb and connections accessories. The plant can be used for the aerobic treatment of diverse waste waters. This investigation will be a step of advance for future studies and investigations.

## ÍNDICE

Denominación	Pág.
<b>CAPITULO – I: CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>1</b>
Introducción al capítulo...	1
1.1 Surgimiento y evolución histórica de las plantas de tratamiento de aguas residual en el mundo y en Cuba	1
1.2 Caracterización de la infraestructura del país	4
1.3 Tratamiento de Aguas Residuales	5
1.3.1 Naturaleza y características de las aguas residuales urbanas.	5
1.3.1.1 Características físicas...	6
1.3.1.2 Características Químicas...	7
1.3.1.3 Características Biológicas...	8
1.3.2 Composición de las aguas residuales domésticas. .	9
1.4 Sistemas de tratamiento de aguas residuales	12
1.4.1 Necesidad de tratamiento	13
1.4.1.1 Pre-tratamiento	14
1.4.1.2 Tratamiento primario	21
1.4.1.3 Tratamiento secundario	26
1.4.1.4 Tratamiento terciario	33
1.5 Estado del arte	34
1.6 Causas que han incidido en la manifestación del problema del objeto de investigación	38
Conclusiones del capítulo. ....	38
<b>CAPITULO – II: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EXPERIMENTAL DE AGUAS RESIDUALES.</b> .....	<b>39</b>
Introducción al capítulo. ....	39
2.1 Caracterización de las aguas residuales del Campus Oscar Lucero Moya para el diseño de la planta de tratamiento de aguas	39



residuales con carácter experimental.....	
2.1.1 Muestreo.....	40
2.1.2 Número de muestras.....	41
2.1.3 Lugar de muestreo.....	41
2.2 Resultados obtenidos de la toma de muestras.....	41
2.3 Determinación de la temperatura óptima en el tratamiento de aguas residuales en Cuba utilizando la técnica de lodos activados.....	46
2.4 Diseño de una planta para el tratamiento de agua residual con carácter experimental por la técnica de lodos activados.....	50
2.4.1 Volumen del reactor aireador.....	50
2.4.2 Área superficial y volumen del sedimentador secundario.....	63
2.4.3 Materiales de construcción y accesorios de la planta.....	64
2.4.4 Vista isométrica de la planta.....	66
Conclusiones del capítulo.....	67
CONCLUSIONES GENERALES. ....	68
RECOMENDACIONES. ....	70
BIBLIOGRAFÍA. ....	71
ANEXOS. ....	73

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, esencial en el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Los ríos, lagunas, embalses y acuíferos forman las fuentes de abastecimiento de agua potable para las poblaciones, como también son utilizadas con otros fines.

Sin embargo los cursos naturales de las aguas también son utilizados como disposición final para la evacuación de las aguas residuales producidas por el hombre.

Un importante efecto de la contaminación orgánica o biológica es el peligro para la salud. En los sistemas de alcantarillado, que llevan efluentes sin tratamiento a los cuerpos de aguas naturales, se produce la proliferación de microorganismos que causan enfermedades como el cólera y la hepatitis, las que se adquieren principalmente por beber agua contaminada o por consumir frutas y vegetales regados con la misma.

Con la necesidad cada vez mayor de suministrar agua potable a las poblaciones, se hace necesario encontrar métodos para el vertido de los desechos del agua (aguas residuales), para ello, se deben tomar medidas para desarrollar los métodos de tratamiento, antes de la disposición final de las mismas. Es aquí donde las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) alcanzan una gran significación.

El país consta de un sistema de alcantarillado deficiente, donde menos del 50% de la ciudadanía se beneficia de este. Una pequeña parte de esta población trata sus aguas en plantas que están distribuidas principalmente en las zonas occidentales y centrales del país, y parte de la cantidad restante experimentan soluciones convencionales prácticas.

Esta situación refleja que prácticamente la mayoría de la población cubana busca alternativas para deshacerse de sus desechos, vertiendo estos directamente hacia ríos o calles.

En nuestra provincia solo el 35% de la población se beneficia de un sistema de alcantarillado, el resto experimenta soluciones prácticas existiendo fosas en gran cantidad y vertiendo el agua residual en los ríos Jigüe y Marañón. Solo se cuenta con

tratamiento de agua residual (lagunas de estabilización, tanques sépticos) en algunas zonas de la provincia como el polo turístico.

De lo anteriormente planteado se deriva una contradicción que se manifiesta entre la necesidad de dar tratamiento a las aguas residuales que se generan en la sede universitaria "Oscar Lucero Moya" y la no existencia de un diseño de una planta experimental de tratamiento de aguas residuales que resulte una fuente investigativa para el futuro tratamiento de la misma.

Por lo dicho se comprende que el problema de la investigación es: ¿Cómo diseñar una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria "Oscar Lucero Moya"?

El objeto de la investigación lo constituye la Sede "Oscar Lucero Moya" de la Universidad de Holguín y el campo de acción el diseño de una planta experimental de tratamiento de aguas residuales.

Para dar solución al problema de investigación declarado se asumen los objetivos siguientes:

Objetivo General: Diseñar una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria "Oscar Lucero Moya" con fines investigativos y prácticos.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el surgimiento y evolución histórica de las plantas de tratamiento de aguas residual en el mundo y en Cuba.
- Caracterizar teórica y conceptualmente la significación práctica e investigativa de las plantas experimentales de tratamiento de aguas residuales.
- Determinar las causas que han incidido en la manifestación del problema del objeto de investigación.
- Elaborar el diseño de la planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria "Oscar Lucero Moya".

La Hipótesis que se asume en la investigación es la siguiente: Se podrá diseñar una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria “Oscar Lucero Moya” de la Universidad de Holguín si se conoce de antemano la temperatura del agua residual, las características físico-químicas y el gasto de diseño.

La variable independiente de la investigación radica en el conocimiento la temperatura del agua residual, las características físico-químicas y el gasto de diseño. La dependiente es el diseño de una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria “Oscar Lucero Moya” de la Universidad de Holguín.

Para constatar la validez de la hipótesis, dar cumplimiento a los objetivos de la investigación y resolver el problema, se emplearon un sistema de métodos de la investigación científica.

- Métodos Teóricos:

- Análisis histórico lógico: para la caracterización del surgimiento y evolución histórica de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el mundo y en Cuba.
- Hipotético deductivo: para la formulación de la hipótesis, precisión de las variables y la asunción de una lógica investigativa a partir del reconocimiento de los objetivos específicos de la investigación.
- Sistémico estructural funcional: para abordar con un enfoque sistémico el estudio del objeto y el campo de la investigación e identificar la estructura del diseño asumido para las plantas de tratamiento de agua residual así como sus componentes y relación existente entre ellos.
- Modelación: para la elaboración de los esquemas de la planta experimental de tratamiento de aguas residuales y para la modelación del gasto de salida del tanque séptico y en consecuencia la precisión de las características del agua posterior a su tratamiento primario.

- Métodos Empíricos:

- Revisión de documentos para la caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación a partir de la revisión de resultados de investigaciones anteriores.
- Entrevista para la caracterización empírica del objeto y el campo de la investigación a partir de entrevistas realizadas a investigadores.
- Métodos Matemáticos y Estadísticos:
  - Para procesar y representar los resultados del proceso de caracterización empírica del objeto y campo de la investigación.

El aporte de la investigación consiste en el diseño de una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para la sede universitaria "Oscar Lucero Moya" con fines investigativos y prácticos.

La novedad científica de la investigación radica en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental para su posterior construcción y en consecuencia la determinación de las características del agua residual tratada.

La actualidad del tema de la investigación se explica a partir del hecho de que la misma se corresponde como una de las líneas de investigación que se desarrolla en el departamento de construcciones de la Universidad de Holguín que se corresponde con estudios de "Resiliencia físico espacial de elementos estructurales e hidrotécnicos, recursos naturales y urbanos". Además la investigación constituye un resultado del Proyecto de Protección de recursos hidráulicos: Intercambio con la Universidad de Magdeburg - Stendal.

El trabajo de diploma se estructura en introducción dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos. En el Capítulo I se ilustra la caracterización histórica –teórica- metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación. En el Capítulo II se muestran el aporte de la investigación.

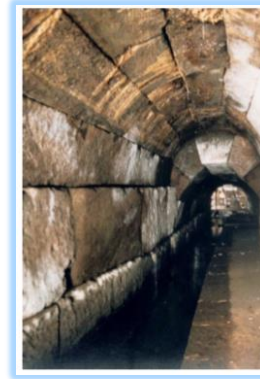
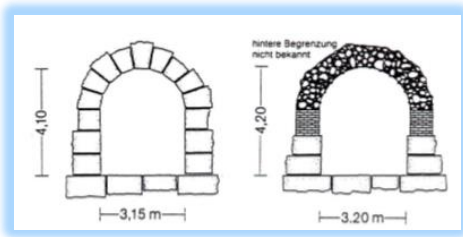
# **CAPITULO – I: CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

## **Introducción al capítulo**

El estudio se orienta a la selección de una tecnología que resulte la más óptima para ser aplicada en la sede universitaria Oscar Lucero Moya, a partir del estudio de los sistemas de tratamientos existentes, consultas bibliográficas y criterios de expertos. Se exponen generalidades y recomendaciones para el diseño de cada escalón del tratamiento escogido.

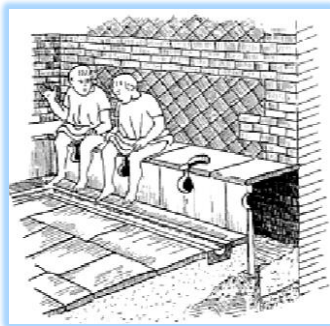
### **1.1 Surgimiento y evolución histórica de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el mundo y en Cuba**

Los métodos de depuración de aguas residuales se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta, en las antiguas ciudades asirias, en la zona comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, se utilizaron tubos de barro cocidos para la descarga de aguas residuales. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días (Figura 1). Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas y más tarde, letrinas (Figura 2). Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas



**Figura - 1: Colector principal de aguas residuales en la antigua Roma**

Fuente: Conferencia 1 de Abwassertechnik



**Figura - 2.a) Letrinas públicas en tiempos antiguos**



**Figura - 2.b) Letrina romana, antigua instalación de baños Dougga con bancos, canal y en el fondo juego de aguas.**

Fuente: Conferencia 1 de Abwassertechnik

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el

agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a estos por el desperdicio de recursos que suponían, los riesgos para la salud que planteaban y su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más dentro del tratamiento químico, con el objetivo de desinfectar el agua y hacerla apta para el consumo humano.

Un posible tratamiento de las aguas residuales urbanas, es tratar por vía biológica, en donde los microorganismos utilizan el agua residual doméstica para su propio sustento, transformándola en productos metabólicos terminales, aprovechando la característica de ser fuente rica en nutrientes, provenientes de los procesos vitales de los organismos.

Uno de los procesos biológicos más ampliamente utilizados es el de lodos activados. Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett, y su nombre proviene de la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar el residuo por vía aerobia.

El uso del agua para nuestro consumo diario y como elemento para el desarrollo de muchas actividades industriales, agrícolas y también urbanas hace que las aguas limpias se conviertan en aguas residuales, es decir, aguas contaminadas. Como hemos visto, el agua no es un bien ilimitado, por lo tanto al contaminarla nos estamos perjudicando a nosotros mismos. Por esta razón controlar la contaminación de las aguas es uno de los factores más importantes para la continuidad del equilibrio entre el hombre y el medio en el cual vive. Para mantener este control se construyen las



estaciones depuradoras, que se encargan de reducir la contaminación hasta niveles asumibles por la naturaleza.

Del mismo modo que todos pedimos una red de abastecimiento, también es necesaria una de saneamiento para depurar las aguas. Hasta hace bien poco no se le daba importancia al tratamiento del agua, pero en vista de los grandes problemas que aporta la contaminación, la construcción de plantas depuradoras y potabilizadoras va en aumento.

## **1.2 Caracterización de la Infraestructura del país.**

El país cuenta con 546 asentamientos con servicio de alcantarillado. Se caracteriza por poseer 5 350,6 km de tuberías, más 11 plantas de tratamiento de residuales administradas por INRH, 872 704 fosas a serviciar, 529 tanques sépticos, 295 lagunas de estabilización y 146 estaciones de bombeo, con 224 equipos instalados.

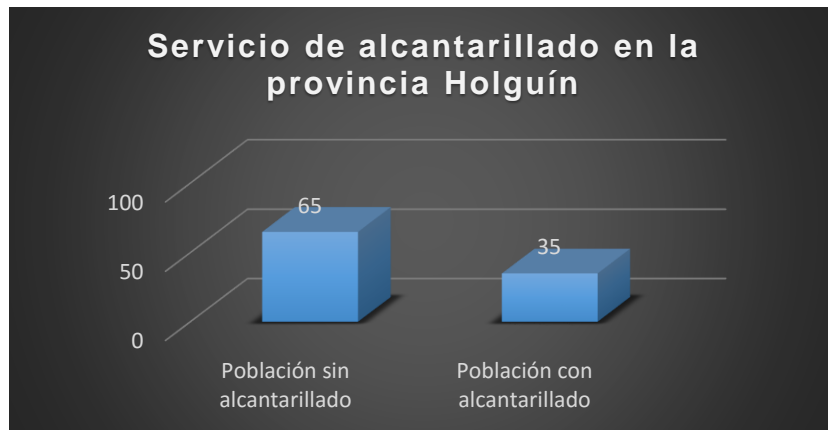
### **Servicio de saneamiento.**

Población actual servida (cobertura).

La cobertura de saneamiento en todo el país es para 10 523 295 habitantes, representando el 94.29 % de la población total residente, de ellos 3 991 347 habitantes con servicio de alcantarillado para un 35.76 %, el resto de los habitantes son servidos por fosas y letrinas. (Ver Anexo 1 Tabla 1.0).

En la actualidad, persisten problemas localizados de contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido a prácticas inapropiadas de manejo de residuales, todo lo cual ha determinado aumentos excesivos del contenido de nutrientes y materia orgánica en las aguas, con el consiguiente incremento de la vegetación acuática, muerte de peces, ausencia de oxígeno disuelto, malos olores por la descomposición anaeróbica y contaminación de las aguas destinadas al consumo para las diferentes actividades económicas, entre otras afectaciones.

En la provincia Holguín 530 580 habitantes cuentan con el servicio de acueducto mientras que solo 181 651 personas tienen servicios de alcantarillado cifra significativa que demuestra la falta de un adecuado control en este sentido. En la figura 3 se muestra el servicio de alcantarillado de la provincia Holguín.



**Figura - 3 Calidad de los servicios de saneamiento en la provincia Holguín.**

**Fuente:** Entrevista realizada al Técnico Jorge Mastrapa UEB Acueducto y Alcantarillado ,Empresas de Recursos Hidráulicos Holguín.

## **1.4 Tratamiento de Aguas Residuales**

Para abordar los aspectos conceptuales que se relacionan con el proceso de tratamiento a las aguas residuales urbanas, la autora de la investigación consideró pertinente asumir como punto de partida el análisis de su naturaleza y características.

### **1.3.1 Naturaleza y características de las aguas residuales urbanas**

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilitan los procesos de tratamiento, y las distinguen claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible. Aun así, aunque deriven sólo de efluentes domésticos, su composición varía influenciada por algunos factores como son los hábitos alimenticios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etcétera. Se caracterizan por su composición física, química y microbiológica.

Las aguas residuales pueden ser originadas por:

- Desechos humanos y animales: son los desechos más importantes en lo que se refiere a salud pública, porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas para su disposición.
- Desperdicios caseros: proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza, preparaciones de alimentos y lavado de loza.
- Corrientes pluviales: las lluvias lavan las superficies de las calles, al escurrir arrastran polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones estos escurrimientos van a dar a los drenajes, formando parte importante del volumen de las aguas residuales.
- Desechos industriales: los desechos industriales son parte importante de las aguas negras de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas ciudades se conectan los desechos industriales con las aguas negras de la ciudad para su tratamiento y eliminación final. Estos desechos varían mucho por su calidad y el volumen, pues depende del tipo de proceso de cada industria.

Por sus diferentes componentes se tienen en cuenta los tres grupos de características siguientes: físicas, químicas y biológicas.

#### **1.3.1.1 Características físicas**

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son las siguientes:

- Temperatura: Oscila entre 10 y 25 °C y su aumento produce aceleración en las velocidades de las reacciones químicas.
- Turbiedad : Se utiliza como indicativo de calidad en relación con la materia coloidal suspendida.

- Color : Cambia de gris a gris oscuro y finalmente a negro, luego de ser degradados los compuestos orgánicos y reducido a cero el oxígeno disuelto.
- Olor : Normalmente, son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Contenido de sólidos: Las aguas servidas están formadas por 1% de sólidos en suspensión y disueltos, los primeros constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrán en la decantación.

### **1.3.1.2 Características químicas**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en la misma. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad de agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.

- **Materia Orgánica:** Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasa y aceites (10%)<sup>1</sup>.
- **La demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es en sí una determinación donde las reacciones bioquímicas juegan un papel fundamental, a partir de la presencia de los microorganismos. Por vía experimental, se ha podido determinar que un porcentaje relativamente grande de la DBO total se alcanza en cinco días a una temperatura de 20°C, estimándose entre un 70 y un 80 % para las aguas residuales domésticas. Presenta como inconveniente el largo tiempo del test y la imposibilidad de diferenciar entre demanda de oxígeno carbonado y demanda de oxígeno nitrogenado. Sin embargo tiene la gran

---

<sup>1</sup> Fuente: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo\\_2.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo_2.html). Consultada mayo 2015.

ventaja de indicarnos la cantidad de materia orgánica biodegradable, lo cual tiene una extraordinaria importancia para el tratamiento biológico<sup>2</sup>.

- La demanda química de oxígeno (DQO): mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es menor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica<sup>3</sup>.
- El pH: mide la acidez de una muestra de aguas residuales. Los valores de pH que se encuentren en un intervalo de 5 a 9, no suelen tener un efecto significativo sobre la mayoría de la especies, aunque algunas son muy estrictas a este aspecto. El valor de pH del agua residual domiciliar está normalmente en un rango de 6,5 hasta 7,5<sup>4</sup>.
- El Nitrógeno: es esencial en el crecimiento de microorganismos y plantas, su limitación puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos. Sin embargo cuando se encuentra en altas concentraciones es un contribuyente esencial en los procesos de eutrofización de las aguas receptoras<sup>5</sup>.
- El Fósforo: es uno de los principales componentes para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales son ortofosfato, polifosfato y fosfato. Al igual que el nitrógeno es responsable de la producción de procesos de eutrofización<sup>6</sup>.

### 1.3.1.3 Características biológicas

A continuación se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar dentro de las características biológicas en el agua residual.

---

<sup>2</sup> Fuente: Trabajo de Diploma "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones", por Guzmán Suárez Alicia

<sup>3</sup> Fuente: Trabajo de Diploma "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones", por Guzmán Suárez Alicia

<sup>4</sup> Fuente: Trabajo de Diploma "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones", por Guzmán Suárez Alicia

<sup>5</sup> Fuente: Trabajo de Diploma "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones", por Guzmán Suárez Alicia

<sup>6</sup> Fuente: Trabajo de Diploma "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones", por Guzmán Suárez Alicia

- Bacterias: Pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación. Se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias<sup>7</sup>.
- Virus: Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adherirse a sólidos fecales, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.
- Algas: Su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono, dando lugar a los procesos de eutrofización.

### **1.3.2 Composición de las aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales urbanas son relativamente fáciles de tratar, debido al carácter biodegradable, siempre que pueda darse una alimentación equilibrada de nitrógeno y fósforo a las bacterias, se podrá llevar a cabo la depuración mediante tratamientos biológicos. Es conveniente que estas lleguen a la estación de tratamiento en un estado suficientemente fresco, ya que un agua nauseabunda es tóxica para el tratamiento.

Las aguas residuales domésticas resultan de los servicios sanitarios, lavados y cocinas, estas contienen heces, orinas humanas, grasas, detergentes, jabón y otros residuos. Teniendo en cuenta la composición de las aguas residuales (Tabla 1.1), es necesario diseñar órganos de tratamiento capaces de lograr una reducción de la carga contaminante a partir de los principales parámetros según lo establecido por la NC.27:2012.

---

<sup>7</sup> Fuente: Trabajo de Diploma Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones, por Guzmán Suárez Alicia

Tabla 1.1 Cargas contaminantes producidas por el hombre.

Parámetros	Cargas contaminantes producidas por el hombre (g/hab/d)
<b><i>DBO<sub>5</sub></i></b>	42
<b><i>DQO</i></b>	100
Sólidos Totales	70
<b><i>N</i></b>	2
<b><i>P</i></b>	0.8

Fuente: Datos aportados por el CITMA.

El agua residual generada por una persona es aproximadamente el 80% del consumo de agua. La demanda per cápita en litros por día y persona en Cuba está regulada según la cantidad de habitantes, para una población entre 10 000 y 25 000 habitantes la dotación es de 249 L/personas/días<sup>8</sup>.

Los procesos a los que se someten las aguas residuales para su depuración están sujetos a regulaciones, controles y estándares locales o estatales. La NC.27:2012, dicta los límites máximos de descarga de aguas residuales en cuerpos de aguas. Los cuerpos receptores se clasifican en A; B y C según su uso.

- Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.
- Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos

<sup>8</sup> Fuente: Trabajo de diploma "Contribuciones a la etapa de ideas conceptuales de la solución de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Gibara" por Pupo Díaz Diana Rosa.

menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A).

- Clase (C): Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

Según lo planteado anteriormente los cuerpos receptores tienen características diferentes de acuerdo a su importancia. Aquellos que se ubican en la categoría (A), requieren de parámetros con valores más exigentes ya que son los destinados al abasto público. A diferencia de los sistemas que se clasifican como B, pues los mismos no necesitan requerimientos tan severos que los de la clase A.

Seguidamente en la tabla 1.2 se muestran los límites máximos permisibles para cada uno de los cuerpos receptores, de acuerdo a la carga contaminante de las aguas residuales.

Tabla 1.2 Límites máximos permisibles promedio para las descargas de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor. (NC 27:2012)<sup>9</sup>

Parámetros	UM	Ríos y embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
<b>pH</b>	Unidades	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-10,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-10,0
<b>Conductividad eléctrica</b>	μ S/cm	1400	2000	3500	2000	2000	4000	1500	2000	4000
<b>Temperatura</b>	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
<b>Materia flotante</b>	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
<b>Sólidos Sedimentables Totales</b>	mL/L	1	2	5	1	3	5	0,5	1	5

<sup>9</sup> NC:27:2012



<b>DBO</b>	mg/L	30	40	0	40	60	100	30	50	100
<b>DQO (Dicromato)</b>	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
<b>Nitrógeno total(Kjd)</b>	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
<b>Fósforo total</b>	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

La concentración como la composición varía notablemente con la hora del día, día de la semana, mes del año y también con las condiciones locales, como los hábitos de consumo de agua. (Tabla 1.3)

Tabla 1.3 Clasificación del residual<sup>10</sup>

Parámetros		Concentración (mg/L)		
		Fuerte	Media	Débil
Filtrables		850	500	250
Sólidos	Suspendidos	300	200	100
	Fijos	70	50	30
	Volátiles	230	150	70
DBO		300	200	100
Nitrógeno total		65	40	20
Nitrógeno amoniacal		50	25	12
Fósforo total		20	10	6
Aceites y grasas		150	100	

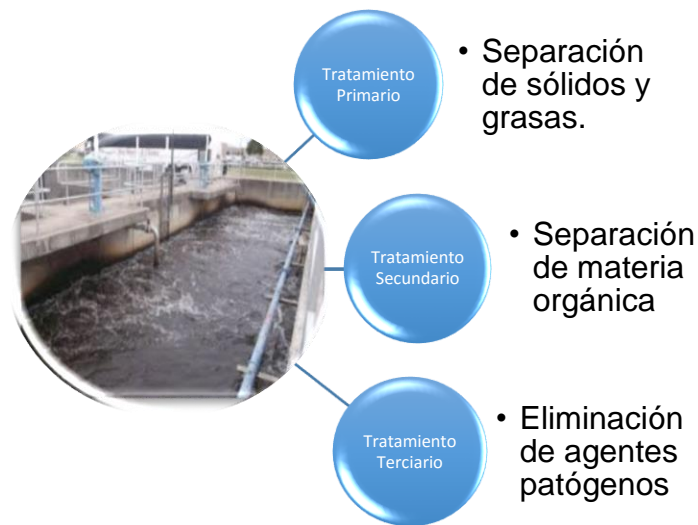
#### 1.4 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de residuales líquidos se clasifican de acuerdo con diferentes criterios, tales como: el tipo de proceso utilizado para la remoción de los contaminantes (físicos, químicos y biológicos), y el grado de tratamiento necesario de acuerdo con los objetivos que se quieren alcanzar (pretratamiento, tratamiento

<sup>10</sup> Trabajo de Diploma\* Guía metodológica para diseño de la solución de tratamiento de aguas residuales del Proyecto Integrador V de la Carrera Ingeniería Hidráulica, por Díaz García Aliammy

primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado) (Figura 4). Los métodos de tratamiento más comúnmente empleados en Cuba son las lagunas de estabilización, los lodos activados, filtros percoladores, tanques sépticos, la filtración y la desinfección, entre otros.

En la actualidad se promueven los sistemas de tratamiento natural, que son aquellos que aprovechan los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren cuando interaccionan el agua, el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, para proporcionar tratamiento a los residuales líquidos. En ellos se incluyen los humedales naturales y artificiales.



**Figura – 4: Tipos de tratamiento**

#### **1.4.1 Necesidad de tratamiento**

Con el desarrollo de los suministros del agua a las poblaciones, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos, sino para el agua misma. A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos orgánicos resultó que todos los métodos eran tan poco satisfactorios que se hizo necesario tomar medidas para remediarlos y se inició el desarrollo de los métodos de tratamiento, antes de la disposición final de las aguas negras. Los objetivos a tomar en cuenta en el tratamiento de las aguas incluyen:

- La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- La prevención de enfermedades
- El mantenimiento de aguas limpias para balnearios y propósitos recreativos.
- Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.

### 1.41.1 Pre-tratamiento

Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan restos voluminosos como palos, telas, plásticos, etc. Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación. En la figura 5 se muestran los mecanismos de pretratamiento.



**Figura – 5: Sistema de Pretratamiento**

- Cámara de rejas: En este dispositivo ocurre la operación física de desbaste o cribado la cual tiene como objetivo proteger las bombas, válvulas y otros elementos contra posibles daños y evitar que se obstruyan por trapos o elementos de gran tamaño.



**Figura – 6: Cámara de rejas de dos secciones planta María del Carmen en ciudad Habana**

**Fuente:** Trabajo de Diploma Pupo Díaz, Diana Rosa

A continuación se mostraran diferentes especificaciones de diseño planteadas por varios autores en el desarrollo de las operaciones que conforman el pre-tratamiento. (Tabla 1.4 y Tabla 1.5)

Tabla 1.4. Criterios de diseño por diferentes autores para cámara de rejas.

Especificaciones	Betancourt, I.(1987)		Metcalf & Eddy,(1996)	
	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
Tamaño de la barra(mm):				
Ancho	5-15	5-15	5-15	5-15
Profundidad	25-75	25-75	25-37.5	25-37.5
Espacio % barras(mm)	25-50	15-75	25-50	15-75
Grados de inclinación(°)	35-45	0-30	25-50	50-82.5
Vel. de aproximación(m/s)	0.3-0.6	0.6-1	0.15	0.15
Pérdida de carga admisible(mm)	-	-	150	150

Tabla 1.5. Recomendaciones de diseño por Allende, I. 2001 para cámara de rejillas.

Características	Valores
Los espacios entre barras(mm)	2,0 a 3,0
Velocidad entre rejillas para el gasto medio(m/s)	0,3 a 0,8
Ángulo de inclinación de la rejilla con la horizontal	30° a 60°

Criterios de diseño según Allende:

- El área sumergida, incluyendo barras y espacios, es aproximadamente un 200% del área de la sección transversal del conducto tributario.
- Debe preverse un área neta de rejilla sumergida, no menor de 500cm<sup>2</sup> por 1000m<sup>3</sup>/día.

Las pérdidas de carga en las rejillas, dependen de la velocidad, de la forma y ancho de las barras, los espacios entre ellas y el ángulo de inclinación de la rejilla, se expresa por la fórmula:

$$h = k * \beta * \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} \operatorname{sen} \sigma \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

h = pérdida de carga (en m).

K = coeficiente que considera el atascamiento:

Reja limpia                    K = 1

Al tiempo t                    K = 3

$\beta$  = coeficiente que depende de la sección transversal de las barras. (Tabla 1.6)

a = ancho de las barras (máximo frente a la dirección del flujo (en mm)).

b = ancho libre entre rejillas (mínimo frente a la dirección del flujo (en mm)).

V = velocidad del flujo, antes de la rejilla (en m/s).

g = aceleración de la gravedad (en m/s<sup>2</sup>).

$\sigma$  = ángulo de inclinación de la reja con la horizontal

Tabla 1.6 Valores de  $\beta$

Sección transversal de las barras	Valores de $\beta$
Rectangular y afiladas	2,48
Semicirculares aguas arriba	1,83
Circulares	1,79
Rectangulares con semicírculo delante y atrás	1,67
Aerodinámicas	0,76

Los residuos retenidos por las rejillas pueden ser quemados, enterrados, tratados por digestión, descargados en grandes masas de agua o triturados y devueltos a las aguas residuales.

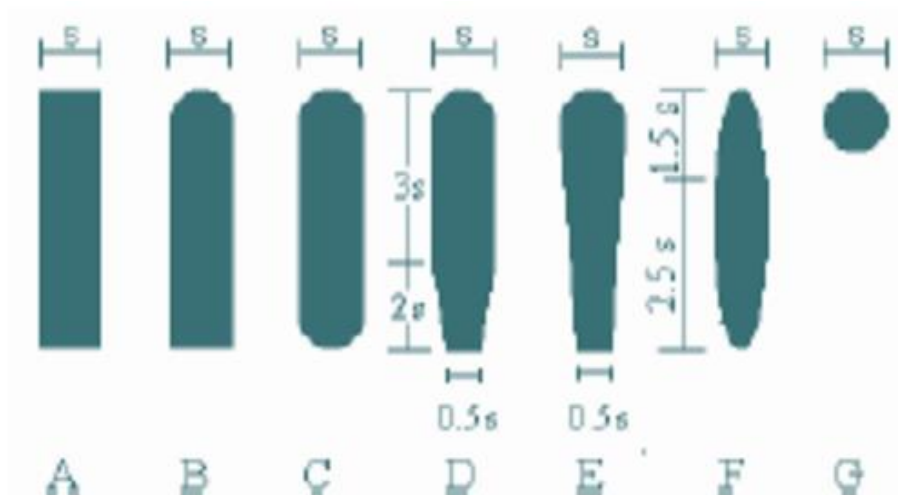


Figura - 7: Diferentes formas de rejillas (RAS 2000)

Fuente: RAS 2000

- Tamices: Afinando el proceso de eliminación de residuos sólidos, se llega a la utilización de tamices con separación libre entre barras hasta de 0.2 mm, siendo normalmente utilizados los de separación de 1 mm. Se busca igualmente un sistema sencillo autolimpiable que permita reducir partículas más pequeñas que en la cámara de rejillas.



**Figura – 8: Tamiz rotativo**

**Fuente:** Conferencia Grundlagen der mechanischen Abwasserbehandlung, Neuman Kirstin

Se recomienda el uso de los siguientes tipos de microtamices: en forma de discos, rotativos de bandejas, rotativos cilíndricos y estáticos. En caso de que el diseñador planifique otro tipo de tamiz, debe comprobarse que la eficiencia es igual o superior a la de los antes mencionados.

El tamiz fijo puede estar formado por barras de sección especial con forma sinusoidal y 3 distintas pendientes. Las luces de malla disponibles son: 0.15 mm, 0.25 mm, 0.50 mm, 0.75 mm, 1 mm y 1.5 mm.

Metcalf y Eddy, (1996) también proponen sus clasificaciones. (Tabla 1.7)

Tabla 1.7: Criterios de diseño para tamices.

Tamices	Clasificación por tamaño	Intervalo de paso (cm)
Inclinado fijo	Medio	0,025-0,25
Inclinado giratorio	Grueso	0,075*0,225*5
Tambor giratorio	Grueso	0,25-0,5
	Medio	0,025-0,25
	Fino	6-35 micras

En la tabla 1.8 se muestran los valores de diseño de capacidad hidráulica por RAS 2000.

Tabla 1.8: Capacidad hidráulica de los tamices (RAS 2000)

Rotativos de bandeja	Rotativos cilíndricos	Disco
0.6 - 2.5	0.005 - 0.04	0.004 - 0.04

- Trampa de grasas: Es la separación de aceites, grasas y sustancias con una densidad inferior a la de las aguas residuales. Es importante su eliminación porque puede crear problemas en otros procesos.
  - En rejillas finas causan obstrucciones.
  - En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al traer a la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
  - En la depuración en el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación. Su volumen y dimensiones estarán en función del tiempo de retención con que se diseñe la profundidad.

Por regla general, consiste de un tanque rectangular con flujo horizontal, como la grasa tiene un peso específico menor que el agua, subirá a la superficie, por ello, es necesario prever que la salida esté por debajo de la superficie. Cuando se requiere acelerar la flotación, puede usarse aire.

Recomendaciones para el diseño:

$$t_r = 0,5 - 2,0 \text{ min (tiempo de retención)}$$

$$h = 1,5 - 3,0 \text{ m (altura)}$$

$$b = 2 h \text{ (profundidad)}$$

$$V_a = \frac{Q}{bl} \text{ (velocidad de ascensión)}$$

Si se utiliza aire para velocidades pequeñas: 0,3 - 0,8 hasta 1,0 m<sup>3</sup> de aire/m<sup>3</sup> de agua. Se recomienda 0,5 (para el diseño).



En las tablas 1.9 y 1.10 se muestran criterios de diseño de RAS 2000.

Tabla 1.9: Capacidad de retención de grasa (RAS 2000)

Tipo de efluente	Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasa (kg)	Capacidad máxima recomendada (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habitaciones sencillas	92	23	240
Lavaplatos para restaurantes	128	32	330
Volumen de agua mayor a 115L	56	14	115
Volumen de agua mayor 190L	92	23	240
Volumen entre 190 y 378 L	144	36	378

Tabla 1.10: Tiempo de retención hidráulica (RAS 2000)

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)
3	2-9
4	10-19
5	20 o más

- Desarenador: Son canales o cámaras que se construyen con el objetivo de remover materia mineral como la arena, para prevenir desgastes de los equipos y acumulación indeseada de materia inerte pesada en tanques de sedimentación y digestores.

La mayoría de estos se construyen en forma de canales alargados y de poca profundidad, que retengan partículas con un peso específico de  $2,65 \text{ kg/m}^3$  y diámetro de  $2 \times 10^{-3} \text{ cm}$ . El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse; se recomienda un tiempo entre 20 segundos y 3 minutos. Esto se logra mediante dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo. En la tabla 1.11 se muestran criterios de diseños por diferentes autores.

Tabla 1.11: Criterios de diseño por diferentes autores.

Especificaciones	Metcalf & Eddy 1996	Allende, I2001
Tiempo de retención (s)	45 - 90	30 - 60
Velocidad horizontal (m/s)	0,24 - 0,40	0,3
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2,5 - 2,65	2,5 - 2,65

### 1.3.1.2 Tratamiento primario

- Sedimentadores Primarios:

Por este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras o sea aproximadamente de un 40 a un 60 % mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques de sedimentación primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total del 80 a 90 % de los sólidos suspendidos. La actividad biológica durante este proceso en las aguas negras, tiene escasa importancia. El proceso fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Por consiguiente a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de Tanques de Sedimentación. El diseño de estos tanques de sedimentación está sujeto a parámetros que varían indistintamente según la bibliografía (Tabla 1.12 y Tabla 1.13).



**Figura – 9: Tanque sedimentador PTR Punta de Hicacos, Varadero, Matanzas**

**Fuente: Catálogo del producto Planta de tratamiento de residuales líquidos GEIPI 2013**

Tabla 1.12: Recomendaciones para sedimentadores de alta carga (Allende I. 2001).

Especificaciones	Valores
Carga Superficial(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	120-130
Nº de Reynold	<500
Nº de Froude	<10 <sup>-4</sup>
Tiempo de retención de las placas (min)	10
Ángulo de inclinación de las placas (º)	60
Velocidad de asentamiento (cm/s)	0.14-0.42

Tabla 1.13: Criterios de diseño para sedimentadores primarios por (Betancourt R. 1987)

Índices	Intervalo	Valor típico
Sedimentación primaria seguida de tratamiento biológico:		
Tiempo de retención (h)	1.5 - 2.5	
Carga superficial(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	35 - 48	2.0
Sedimentación primaria con retornos de lodos activado:		
Tiempo de retención (h)	1.5 - 2.5	
Carga superficial(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	24 - 32	2.0
Dimensiones de tanques rectangulares:		
Profundidad (m)	3.0 - 5.0	3.6
Largo(m)	15 - 90	25 - 40
Ancho(m)	3 - 24	6 - 10
Dimensiones de tanques circulares:		
Profundidad(m)	3.0 - 5.0	4.5
Diámetro(m)	36 - 60	12 - 45
Inclinación de fondo(mm/m <sup>-1</sup> )	60 - 160	80

#### Geometría de Tanques Sedimentadores según RAS 2000

Las dimensiones del tanque están determinadas por la cantidad de aguas negras que se requiera tratar y debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado.

- Tanques rectangulares:
  - Relación longitud :ancho – 1.5:1 y 15:1
  - Profundidad: 2 - 5 m

- Tanques circulares:
  - Diámetro: 3 y 60 m
  - Pendiente de fondo: entre 6 y 17 %
  - Profundidad: 2.5 – 4 m

Los tanques cuadrados no se recomiendan y los de forma hexagonal y ortogonal son considerados como si fueran a los circulares debido a que estos están dotados de un equipo rotatorio para remoción de los sólidos. Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo a las siguientes tasas de desbordamiento superficial mínimas recomendadas:

- Para caudal medio utilizar 33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día
- Para caudal pico sostenido por tres horas utilizar 57 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia,
- Para caudal pico utilizar 65 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.
- Tiempo de retención:

Debe basarse en el caudal de aguas negras y en el volumen del tanque. Se recomienda un período de retención mínimo de 1.0 hora tanto para los sedimentadores circulares como para los rectangulares.

- Profundidad de almacenamiento de lodos:

La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales.

Diseño según Allende:

Recomendaciones:

- Cantidad de tanques
  - Por lo menos dos tanques para la sedimentación primaria (antes del tratamiento biológico) y dos tanques para la sedimentación secundaria (después del tratamiento biológico).
- Tiempo de retención y cargas (Tabla 1.14)

Tabla 1.14: Tiempo de retención de la carga.

Tipo de Tratamiento	Tiempo Retención (horas)	Carga Superficial ( $m^3/m^2 \cdot día$ )	Carga sobre el vertedor $m^3/m \cdot día$	S.T. Removid o (%)
Primario				
Cieno Activado	0,75 - 1,5	60	125 – 275	50 – 70
Lechos bacteriano	2,5	20 - 40	125 - 275	50 – 70
Intermedios				
Entre filtros	2	40	125 - 275	
Finales				
Cieno activado (convencional)	2 – 3	24 – 35	125 – 275	60 – 80
Cieno activado (modificado)	2	35	125 – 275	60 – 80
Lecho bacteriano	2 - 3	40	125 – 275	60 – 80

Otras Dimensiones:

- Longitud: 30,0 m
- Ancho: 10,0 m
- Altura: 3,0 m (profundidad) (Sin incluir espacio para acumulación de lodos.)
- Velocidad horizontal: 0,30 m/min, en tanques de gran tamaño, hasta 1,5 m/min.
- Pendiente del fondo: 1%

Tanques cuadrados

- Longitud lateral: < 20,0 m
- Pendiente de fondo: 8 %

*Tanques circulares*

- Dimensiones:
- Diámetro: < 30,0 m
- Altura pared: 1,5 a 3,0 m
- Pendiente de fondo: 8 %

### **1.4.1.3 Tratamiento secundario (Biológico)**

Se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de separar por tratamientos físico-químicos, por lo que en la actualidad los medios biológicos son los más utilizados, estos consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen lodos en mayor y menor medida, respectivamente. Estos lodos, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

A diferencia de lo que ocurre con los tratamientos primarios, en este caso se eliminan las partículas coloidales y otras similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que las bacterias aerobias digieran la materia orgánica portadas por las aguas.

Este proceso se suele materializar llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas.

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende, una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en  $\text{CO}_2$  y gas metano, este último se puede separar y utilizar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la  $\text{DBO}_5$  inicial.

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la  $\text{DBO}_5$  por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento

secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos.

En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. El tratamiento puede, aunque ello parezca una contradicción dar origen a la producción de materia orgánica nueva como resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, por esta razón debe tenerse presente la necesidad de eliminar por métodos físico- químicos o combinados la presencia de esta antes de descargar el agua en el cauce o cuerpo receptor finalmente seleccionado. Las aguas provenientes del proceso de tratamiento primario requieren una depuración posterior mediante métodos de aireación, para ello son empleados los siguientes métodos:

- **Sistema de lodos activados**

El desagüe proveniente de la cámara sedimentadora - digestora se introduce en tanques de aireación en los cuales se produce la sedimentación de los lodos junto a un proceso de aireación intensa. Los lodos que sedimentan se denominan lodos activados debido al proceso de aireación de las aguas residuales, conteniendo las bacterias aeróbicas. Los lodos se extraen por eyección recirculándose en parte hacia el tanque de aireación y la cámara de digestión primaria a fin de activar la depuración.

- Diseño según RAS 2000.

Requerimientos de nutrientes:

Los principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo. Debe como mínimo cumplirse la siguiente relación entre las concentraciones en el agua residual por tratar.



DBO: N: P

100: 5: 1

En la Tabla 1.15 se muestran los parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados según RAS 2000.

Tabla 1.15 Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados

Tipo de proceso	Carga orgánica kg DBO/kgSSVLM/d (f/m)	Carga volumétrica kg DBO/m <sup>3</sup> /d (fq/v)	Tiempo de detención (horas) (td)	Edad de los lodos (días) (θc)	SSLM mg/L (Xt)	Retorno Fracción
Convencional	0,2 - 0,5	0,3 - 1,0	4,0 - 8,0	5,0 - 15	1500 - 3000	0,25 - 0,5
Completamente mezclado	0,2 - 0,6	0,8 - 2,0	4,0 - 8,0	5,0 - 15	3000 - 6000	0,25 - 1,0
Aireación escalonada	0,2 - 0,5	0,6 - 1,0	3,0 - 5,0	5,0 - 15	2000 - 3500	0,25 - 0,7
Alta tasa	0,4 - 1,5	0,6 - 2,4	0,25 - 3,0	1,0 - 3,0	4000 - 5000	1,0 - 5,0
Aireación modificada	1,5 - 5,0	1,2 - 2,4	1,5 - 3,0	0,2 - 0,5	200 - 1000	0,05 - 0,25
Estabilización por contacto: Contacto Estabilizado	0,2 - 0,5	1,0 - 1,2	0,5 - 1,0	5,0 - 15	1000 - 3000	0,2 - 1,0
	-	incluido ya	3,0 - 6,0	-	4000 - 10000	-
Aireación extendida	0,05 - 0,25	< 0,4	18 - 36	15 - 30	3000 - 6000	0,75 - 1,5
Oxígeno puro	0,4 - 1,0	2,4 - 4,0	1,0 - 3,0	8,0 - 20	6000 - 8000	0,25 - 1,5
Zanjón de oxidación	0,05 - 0,30	0,1 - 0,5	8,0 - 36	10,0 - 30	3000 - 6000	0,75 - 1,5
Reactor SBR	0,05 - 0,30	0,1 - 0,2	12,0 - 50	No aplica	1500 - 5000	No aplica

Fuente: RAS 2000

- Geometría:

Se recomienda el uso de sedimentadores secundarios circulares y rectangulares. El empleo de otro tipo de sedimentadores debe ser sustentado técnicamente.

- Tanques circulares:

Diámetros: 3 - 60 m y que el radio no exceda 5 veces la profundidad del agua; para diámetros mayores o iguales a 27 m utilizar profundidades 4.9 - 6m.

Se recomienda la colocación de pantallas verticales desde el fondo e inclinados desde las paredes con el fin de prevenir la salida de sólidos del tanque por corrientes de densidad o térmicas.

- Tanques rectangulares:

Longitud no exceda de 10 a 15 veces la profundidad.

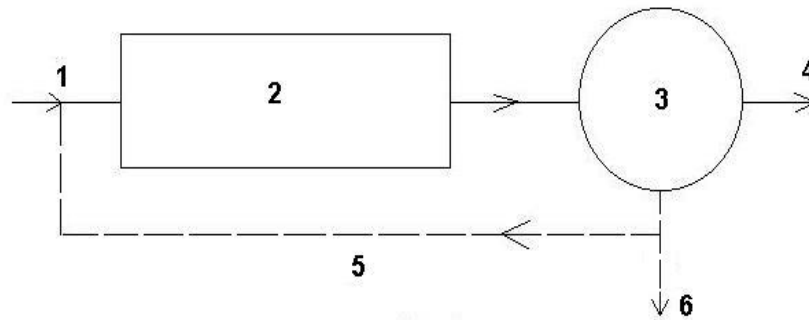
Si el ancho es mayor a 6 m, se recomienda usar un mecanismo colector de lodos múltiple.

Independientemente del tipo de tanque el colector de lodos debe cumplir las siguientes características:

- Debe tener una alta capacidad para que, cuando se desee una alta tasa de recirculación de lodos, no se formen canales en la capa superior del líquido a través del lodo.
- El mecanismo debe ser suficientemente resistente para transportar y remover los lodos densos que pueden acumularse en el tanque de sedimentación durante períodos de fallas mecánicas o en el suministro de energía.

El área superficial debe calcularse como la mayor entre las áreas calculadas con la tasa de desbordamiento superficial y la tasa másica de carga. El criterio hidráulico recomendado para determinar el área requerida es el siguiente: para sedimentadores secundarios siguiendo un proceso de filtros percoladores o un proceso de lodos activados, escoger la mayor área calculada con el caudal pico y el caudal promedio. Con respecto a la carga por el rebosadero se recomienda un rango entre 124 y 375 m<sup>3</sup>/m/día. Para tanques circulares alimentados por el centro, se recomienda una colocación del rebosadero a dos tercios o tres cuartos de la distancia radial.

Diseño según Allende (Figura 10):



**Figura – 10: Esquema ideal del sistema convencional**

Donde: Entrada (1), Tanque de aireación (2), Sedimentación (3), Salida (4), Recirculación de fangos (5), Fangos en exceso (6) .

- **Filtros percoladores**



**Figura - 11: Material percolador**

**Fuente:** Conferencia Grundlagen der mechanischen Abwasserbehandlung, Neuman Kirstin

Un filtro percolador consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque. Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho

de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados.

En la Tabla 1.16 y 1.17 se muestran las características y recomendaciones para el diseño de filtros percoladores.

Tabla 1.16: Características de diseño para diferentes tipos de filtros percoladores.<sup>11</sup>

	Tasa baja	Tasa intermedia	Tasa alta	Super alta	Rugoso	Dos etapas
<b>Medio filtrante</b>	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca	Plástico	Plástico madera roja	Roca plástico
<b>Carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*d)</b>	0,9 - 0,7	3,7 - 9,4	9,4 - 37,4	14,0 - 84,2	46,8 - 187,1 (no incluye recirculación)	9,4 - 37,5 (no incluye recirculación)
<b>Carga orgánica (kgDBO/m<sup>3</sup>*d)</b>	0,1 - 0,4	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	0,5 - 1,6	1,6 - 8,0	1,0 - 1,9
<b>Profundidad (m)</b>	1,8 - 2,4	1,8 - 2,4	0,9 - 1,8	3,0 - 12,2	4,6 - 12,2	1,8 - 2,4
<b>Tasa de recirculación</b>	0	0 - 1	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0	1,0 - 4,0	0,5 - 2
<b>Eficiencia de remoción de DBO %</b>	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 80	40 - 65	85 - 95
<b>Efluente</b>	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No nitrificado	Bien nitrificado
<b>Desprendimiento</b>	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo

Clasificación de los filtros percoladores:

- Según su producción:
  - De baja cargas o normales
  - De alta carga o rápidas
- Según su profundidad:
  - Pocos profundos: <1.5 m
  - Profundos: >1.5 m
- Tipos de distribuciones de flujo:
  - Acción jet o de accionamiento por motor eléctrico
  - Propulsión hidráulica

<sup>11</sup> Fuente: RAS 2000

Tabla 1.17 Recomendaciones para el diseño de filtros percoladores.

Parámetro	Valor recomendado
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad entre 0.90 y 2.50 m.</li> <li>• El diámetro está regido por los distribuidores y oscilan desde 6.0 a 60.0 m</li> </ul>
Cantidad de brazos rotatorios	Como mínimo 2
Altura de tubos sobre la superficie del lecho	Mínimo: 7.0 a 8.0 cm
Pendiente del piso	0.5 a 5 %

**Fuente:** Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales; Allende Abreu Ignacio V.

- **Lagunas de estabilización.**

En estos estanques ocurren procesos de tipo físico, químico y biológico, que promueven la sedimentación y digestión de los sólidos, así como la remoción de la materia orgánica. La degradación de la materia orgánica, en general ocurre por vía microbiana en presencia de oxígeno, luego es un proceso típico aeróbico en gran parte de su volumen. En las capas profundas sin embargo ocurre la digestión anaeróbica de los sólidos sedimentados.

Hoy en día se conoce que la simbiosis entre algas y bacterias (comensalismo), favorece los procesos de oxidación biológica. Por una parte ocurre la producción fotosintética liberando oxígeno y por otra parte se lleva a cabo la oxidación bacteriana. La reducción de bacterias en los estanques está en función de: la temperatura, pH, oxígeno disuelto, nutrientes, radiación solar (especialmente radiación ultravioleta) y tiempo de permanencia (retención hidráulica).

- Según el funcionamiento, las lagunas pueden ser: Anaeróbicas, facultativas y aeróbicas o de maduración (% de remoción de hasta un 85%)
- En relación con el número de estanques se dividen: en simples y compuestas.

- Considerando su posición en el sistema, pueden ser: Primarias, secundarias y terciarias
- De acuerdo a sus conexiones pueden operar: en serie y en paralelo.

No existe un método que tenga aceptación universal para el diseño de Lagunas de Estabilización. Cada investigador o grupo de investigadores que han experimentado este campo desarrollan, como producto, un modelo matemático. Entre los más utilizados se encuentran<sup>12</sup>:

- Diseño empírico por carga superficial (Towne, Davis y otros).
- Diseño empírico volumétrico (Gloyne, Hermann y otros).
- Cálculo de lagunas fotosintéticas (Oswald, Gotas y otros).
- Método racional basado en la cinética del proceso (Marais, Shaw y otros).
- Métodos o modelos basados en la dinámica del proceso en cuanto a los ciclos de nutrientes (Ferrara, Harleman).

#### **1.3.1.4 Tratamiento terciario**

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos tales como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. En la práctica resultan ser tratamientos más caros que los anteriores y se usan en casos más especiales: para purificar los desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutroficación) y en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo.

A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no es exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera

---

<sup>12</sup> **Fuente:** Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales; Allende Abreu Ignacio V.

fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO<sub>5</sub> 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.

Las técnicas de desinfección más empleadas en Cuba:

- Cloración (la más usada por ser barata y muy efectiva)
- Ozonización y radiación ultravioleta (menos utilizadas).
- Filtración (imitación de los procesos de autodepuración en ríos o lagos)

### **1.5 Estudio de antecedentes de la utilización de plantas de tratamiento con carácter experimental**

Una **planta piloto o una planta con carácter experimental** no es más que una planta de procesos a escala reducida. El fin que se persigue al diseñar, construir y operar una planta piloto es obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.

El término planta piloto o planta con carácter experimental abarca un amplio rango de escalas, desde plantas a escala laboratorio hasta plantas a escala semi-industrial.

Una planta piloto debe ser mucho más flexible que una planta a escala industrial en cuanto al rango permisible de sus parámetros de operación o variables de proceso, ya que una planta industrial opera siempre en las mismas condiciones, mientras que una planta piloto, por el hecho de estar destinada a la investigación o estudio de un proceso, debe permitir trabajar en un amplio rango de valores de temperatura, presión, etc., de manera que puedan realizarse experimentos o ensayos con valores bien distintos de las variables de proceso y poder determinar, así, los valores óptimos.

Aunque, en los últimos años se han desarrollado diversas herramientas para simulación de procesos por ordenador, estos sistemas no pueden sustituir a las plantas piloto, ya que no son capaces de predecir el comportamiento de nuevos procesos, de los que no existen datos disponibles, ni de procesos complejos.

Las plantas piloto reducen el riesgo asociado con la construcción de plantas de gran escala, siempre y cuando hayan sido diseñadas y operadas correctamente.

A continuación se muestran las 5 plantas pilotos que fueron notificadas durante la investigación, aunque no se descarta la existencia de otras plantas con características similares:

- Título del trabajo: “Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas” de Luis Fernando Giraldo Valencia e Isabel Cristina Restrepo Marulanda de la Universidad Nacional de Colombia. Este documento presenta las principales características del proceso de arranque y puesta en marcha de la planta piloto El Popal, perteneciente a la Empresa Aguas de Manizales. Además de las simulaciones de las condiciones de estabilidad del reactor biológico, a partir de un modelo matemático convencional que tuvo en cuenta la población microbiana típica de un sistema de lodos activos por aireación extendida.
- Título del libro: “Tratamiento de aguas residuales “de Rubens S. Ramalho. El autor expone la determinación experimental de los parámetros biocinéticos necesarios para el diseño de los reactores biológicos aerobios a través de reactores continuos a escala de laboratorio. En la figura 12 se muestra el esquema del reactor. El mismo está hecho de plexiglás y dividido en dos secciones: las cámaras de aireación y decantación, dichas cámaras simulan el reactor y clarificador secundario de una planta real.



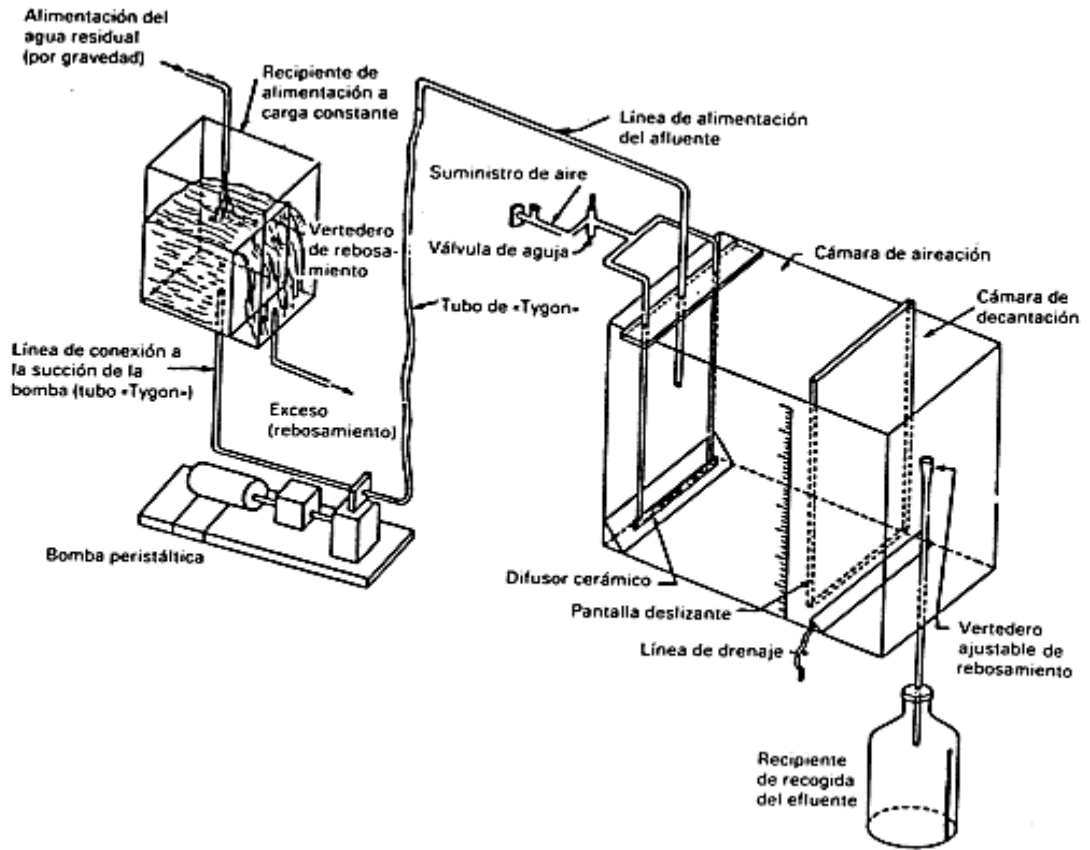


Figura - 12: Reactor de flujo continuo, modelo a escala de laboratorio.

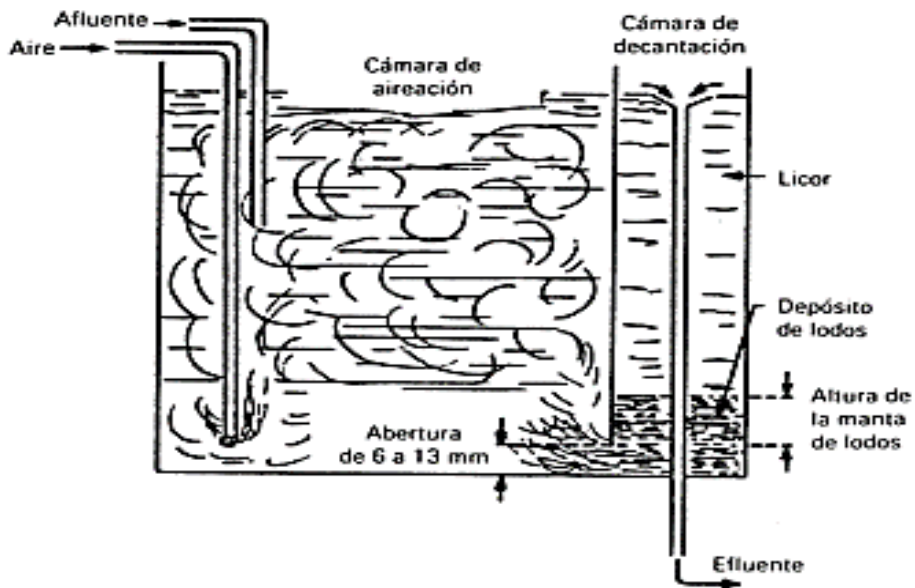
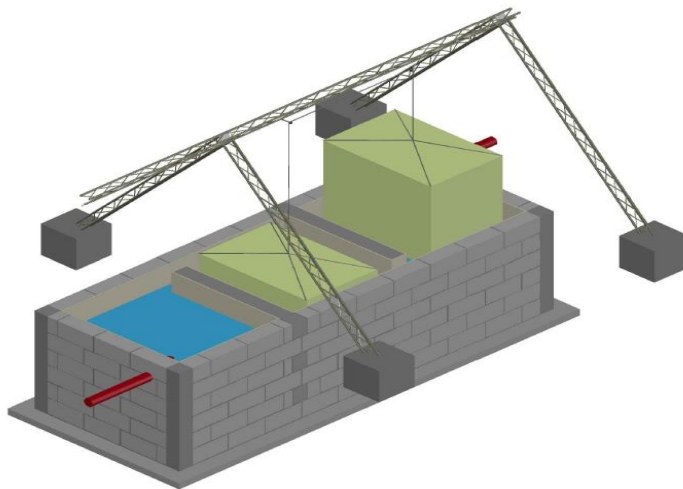


Figura - 13: Vista en sección de las cámaras de decantación y aireación.

- Título del artículo: “Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería “de José Delgado, Leonardo Rennola y Sharon Lugo. Se diseñó y construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados, constituida por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión. La planta piloto puede ser tratada para el tratamiento aerobio de diversas aguas residuales.
- Título del proyecto: “Planta piloto de tratamiento con flotadores “de Thomas Czoske. Se realizó el diseño de una planta piloto de tratamiento con flotadores para la sede universitaria Oscar Lucero Moya teniendo como principio el mismo funcionamiento de la laguna de oxidación pero con una mayor eficiencia a través de la igualdad de peso de las campanas. (Figura 14)



**Figura - 14:** Maqueta de la planta piloto

- En el laboratorio de la Facultad de Hidráulica de la Hochschule Magdeburg-Stendal, Alemania se encuentra una planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental usada para determinar la capacidad de depuración de las aguas a través de la técnica de lodos activados.

## **1.6 Causas que han incidido en la manifestación del problema del objeto de investigación**

Como resultado de la triangulación de las informaciones derivadas del análisis histórico, sistematización teórica-metodológica y caracterización del objeto- campo se pudieron precisar como causa de la investigación las siguientes:

- Desconocimiento de las características físico – químicas del agua residual que se genera en el campus de la Sede universitaria Oscar Lucero Moya.
- La inexistencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el campus de la Sede universitaria Oscar Lucero Moya.
- Contribución académica con la Universidad Magdeburg – Stendal a través del intercambio de tecnología y transferencia de conocimientos en el campo de la hidráulica.

### **Conclusiones del capítulo**

- Como resultado de la implementación de los métodos de análisis histórico-lógico y análisis documental se caracterizaron la evolución histórica y surgimiento de las plantas de tratamiento, las aguas residuales y profundizaron en los diferentes sistemas de depuración existente y la necesidad e importancia que tienen los mismos para la purificación del agua residual.
- Se expusieron varias fórmulas y elementos teóricos de diferentes autores para ayudar al entendimiento del proceso de diseño de los métodos de tratamiento de las aguas residuales, se notificaron plantas de tratamiento con carácter experimental para un mejor entendimiento del objeto de estudio y las causas que han incidido en la manifestación del problema de la investigación.

## **CAPITULO – II: DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LA TÉCNICA DE LODOS ACTIVADOS.**

### **Introducción al capítulo**

En este capítulo se desarrolla el análisis de la temperatura óptima para el tratamiento de aguas residuales en Cuba y el diseño hidráulico de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por la técnica de lodos activados constituyendo esta una excelente herramienta investigativa.

### **2.1 Caracterización de las aguas residuales del Campus “Oscar Lucero Moya” para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental**

El diseño o selección de los sistemas de tratamiento dependerá en gran medida de las características de las aguas emitidas, la selección por tanto, para ser efectiva, tiene como requisito que los resultados de caracterización estén avalados por procedimientos de buena práctica que, deben o tienen que responder a normas establecidas con carácter regional o internacional.

Como mínimo, se deben realizar los siguientes estudios de calidad de la fuente receptora:

- Oxígeno Disuelto (OD).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
- Coliformes Totales y Fecales.
- Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo)
- Sólidos Suspendidos.

De acuerdo al nivel de tratamiento deseado existen diferentes alternativas para lograr el objetivo. La tabla 2.0 presenta un resumen de los rendimientos típicos que se logran con las diferentes etapas y procesos de tratamiento.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Fuente :RAS 2000

Tabla 2.0: Tabla resumen de rendimientos típicos

Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje							
Unidades de tratamiento	DBO	DQO	SS	P	N Org.	NH <sub>3</sub> -N	Patógenos
Rejillas	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.
Desarenadores	0 - 5,0	0 - 5,0	0 - 10	desp.	desp.	desp.	desp.
Sedimentación primaria	30 - 40	30 - 40	50 - 65	10,0 - 20	10,0 - 20	0	desp.
Lodos activados (convencional)	80 - 95	80 - 95	80 - 90	10,0 - 25	15 - 20	8,0 - 15	desp.
Filtros percoladores :							
Alta tasa, roca	65 - 80	60 - 80	60 - 80	8,0 - 12,0	15 - 50	8,0 - 15	desp.
Super tasa, plástico	65 - 85	65 - 85	65 - 85	8,0 - 12,0	15 - 50	8,0 - 15	desp.
Cloración	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	100
Reactores UASB	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	desp.
Reactores RAP	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	desp.
Filtros anaerobios	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	desp.
Lagunas de oxidación:							
Lagunas anaerobias	50 - 70	-	20 - 60	-	-	-	90 - 99,99
Lagunas aireadas	80 - 95	-	85 - 95	-	-	-	90 - 99,99
Lagunas facultativas	80 - 90	-	63 - 75	30	-	-	90 - 99,99
Lagunas de maduración	60 - 80	-	85 - 95	-	-	-	90 - 99,99
Ultravioleta	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	100

La caracterización de un residual trae aparejada la determinación de su composición y de los flujos y concentraciones máximas, mínimas y medias del mismo; de aquí que una tarea de esta índole pueda llevar meses de trabajo, cuando se desee muestrear bajo diferentes condiciones climáticas u épocas del año.

### 2.1.1 Muestreo

La acción de escoger muestras representativas de las condiciones del sistema con el propósito de examinar características del mismo, se denomina **muestreo**.

La toma de muestras debe ser efectuada por personal especializado del laboratorio acreditado en nuestro caso la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos Generales (ENAST), UEB Holguín y UEB Granma (Anexos 2-12); y realizada en una de las descargas del establecimiento emisor donde se descargan efluentes líquidos a los sistemas de recolección de aguas residuales.

### **2.1.2 Número de muestras**

La forma y número de muestreo a tomar depende del tipo de descarga que se realice a los residuales, es decir si es homogénea o heterogénea.

Una muestra de agua se toma y analiza para proporcionarnos información del estado del sistema hídrico en el momento del muestreo, por lo que la representatividad de la toma de muestras es uno de los problemas principales en la caracterización de todo sistema. Una muestra no representativa puede conducir a resultados irreales sobre el tipo y cantidad de los contaminantes presentes y en definitiva a un conocimiento falseado de dicho sistema y sus condiciones.

Las muestras deben cumplir condiciones, en cuanto al tipo de envase, lugar de análisis, preservación, y tiempo.

### **2.1.3 Lugar de muestreo.**

El lugar de muestreo será una cámara o dispositivo especialmente habilitado para tal efecto, en donde concurren previamente mezclados, todos los líquidos provenientes del establecimiento emisor, ubicado entre el establecimiento emisor y el colector del servicio público. La cámara o dispositivo de control deberá ser habilitado por el establecimiento emisor, de tal forma que permita realizar sin dificultades el aforo o medición de los caudales descargados con un sistema universalmente aceptado para estos efectos. La autoridad competente se reserva la facultad de tomar muestras de control en lugares diferentes si así lo estima conveniente.

## **2.2 Resultados obtenidos de la toma de muestras**

El muestreo se realizó en uno de los registros de la Residencia Estudiantil de Posgrado según se muestra en la Figura 12 excepto la sexta muestra que se tomó en la fuente receptora, en el Río que se encuentra detrás de la Sede Universitaria Oscar Lucero Moya.



**Figura - 15: Lugar donde se realizó el muestreo**

Tipo de muestra 1: Compuesta por 6 muestras, tomadas en días alternos en horario comprendidos entre 8.00 am y 4.00 pm, por un período de 15 días .Esta muestra fue analizada por ENAST UEB Holguín (Tabla 2.1 y Resultados Certificados Anexo 14).

**Tabla 2.1 Resultados obtenidos por UEB Holguín**

No. Muestra	pH (u)	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>1-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	DQO mg/L	O <sub>2</sub> dis mg/L	ST mg/L	SS mL/L	CTT NMP/100 mL
1	7.0	2	<0.01	0.29	240	0	1317	4	9.0x10 <sup>2</sup>
2	7.56	1	1.60	0.31	160	0	984	3	1.7x10 <sup>3</sup>
3	7.70	2	0.78	0.31	144	0	1214	3	1.7x10 <sup>3</sup>
4	7.79	1	<0.01	0.34	128	0	1118	2	3.3x10 <sup>3</sup>
5	6.66	1	<0.01	0.27	160	0	1094	3	9.0x10 <sup>2</sup>
6	7.83	22	0.06	0.24	112	0	991	1	8

Tipo de muestra 2: Tomada en días consecutivos por un período de 6 días en horario comprendido entre 8.00 am y 4.00 pm. Esta muestra fue analizada por UEB Granma. (Tabla 2.2 y Resultados Certificados Anexo 13).

Tabla 2.2 Resultados obtenidos por la UEB Granma

No. Muestra	DBO mg/L	DQO mg/L	NH <sub>4</sub> mg/L
1	36.15	47.06	0.34
2	17.84	31.37	0.44
3	315.43	3607.80	0.30
4	480.99	643.14	0.52
5	295.52	2823.55	0.42
6	1.97	219.61	<0.10

Después de analizados los resultados de Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>1-</sup>), Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>1-</sup>) y Amonio (NH<sub>4</sub>) y la utilización de la fórmula siguiente se obtiene la concentración de Nitrógeno (Tabla 2.4). En la tabla 2.3 se muestran las masas molares de las sustancias.

$$m(N) = \frac{M(N)}{M(NO_3^{1-})} \times m(NO_3^{1-}) \quad (Ec. 2.0)$$

$$m(N) = \frac{M(N)}{M(NO_2^{1-})} \times m(NO_2^{1-}) \quad (Ec. 2.1)$$

$$m(N) = \frac{M(N)}{M(NH_4)} \times m(NH_4) \quad (Ec. 2.3)$$

Tabla 2.3 Datos de Masas molares de las sustancias

<b>Sustancias</b>	<b>Masa Molar (g/mol)</b>
Nitrógeno	14.0067
Oxígeno	15.9994
Hidrógeno	1.0079
Nitrato	62.0049
Nitrito	42.0055
Amonio	18.0383



Tabla 2.4 Concentración de Nitrógeno obtenido por cada muestra

No. Muestra	m(N)(mg/L)
1	0,765
2	1,055
3	0,922
4	0,632
5	0,555

Para la determinación de la concentración de Fósforo se utilizó los resultados de Fosfato  $PO_4^{3-}$  presente en el agua residual analizada y las masas molares de las sustancias (Tabla 2.5) se realizó el procedimiento anterior obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 2.6:

$$m(P) = \frac{M(P)}{M(PO_4)} \times m(PO_4) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Tabla 2.5 Datos de Masas molares de las sustancias

<b>Sustancias</b>	<b>Masa Molar (g/mol)</b>
Fósforo	30.9738
Fosfato	94.9714

Tabla 2.6 Concentración de Fósforo obtenido por cada muestra

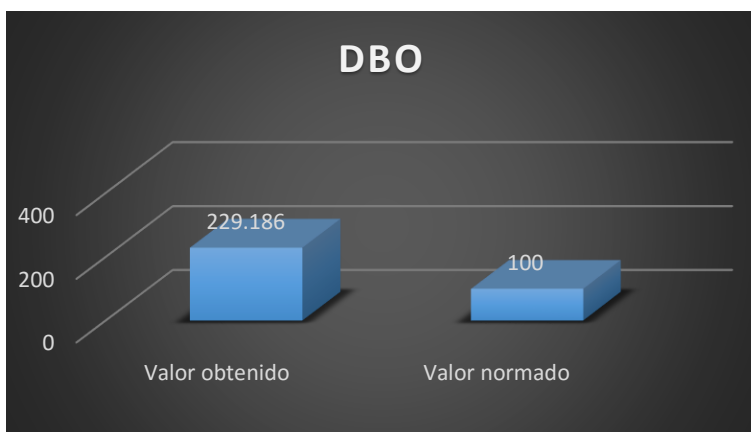
No. Muestra	m(P)(mg/L)
1	0.095
2	0.101
3	0.101
4	0.111
5	0.088

A continuación se realiza una comparación en la tabla 2.7 , figura 13 y 14 entre los valores antes tabulados y aquellos que hace referencia la norma NC.27:2012, pertenecientes a cuerpos receptores caracterizados como C pues el efluente será dispuesto en una zona hidrogeológica de menor valor.

Tabla 2.7 Carga contaminante en Campus “Oscar Lucero Moya vs. Valores normados

Parámetro	UM	Valor Promedio obtenido	Valor normado
pH	u	7.348	6-10
SS	mL/L	3	5
Nitrógeno	mg/L	0.79	15
Fósforo	mg/L	0.099	10

Figura – 16: Valor promedio de DBO obtenido vs. Valor Normado



**Figura – 17: Valor promedio de DBO obtenido vs. Valor Normado.**



A partir de las tabulaciones y gráficos realizados de valores obtenidos vs. Valores normados se puede llegar a la conclusión que el valor medio de pH obtenido 7.348 se encuentra en el límite de lo permisible según lo establecido por la NC.27:2012, para los cuerpos receptores de la Categoría C. Los valores de Nitrógeno y Fósforo (Tabla 2.7) se encuentran en bajas concentraciones con respecto a los normados porque al momento de la toma de muestras el edificio en cuestión se abastecía de la red de acueducto, al existir salideros el agua se mezcló y diluyó con las aguas albañales ocasionando una disminución de los nutrientes fundamentales de la misma pero esto no significa que no exista contaminación en el agua analizada. La misma presenta un alto contenido de materia biodegradable (DBO) y materia oxidante (DQO) lo que evidencia la contaminación existente y la pertinencia de la utilización de procesos biológicos para la eliminación de estos parámetros.

### **2.3 Determinación de la temperatura óptima en el tratamiento de aguas residuales en Cuba utilizando la técnica de Lodos Activados.**

La técnica de tratamiento de aguas residuales escogida, lodos activados. La selección de esta técnica se debe a que es utilizada en todo el mundo, los procesos de funcionamiento son conocidos, el método es eficiente y presenta un excelente rendimiento de limpieza y las características del agua hacen viable la utilización del mismo. Su análisis se realizara mediante el procedimiento de cálculo basado en la norma técnica ATV-DVWK-A 131 con un rango de temperaturas 12 a 25° C a las que estaría expuesta una planta de tratamiento de aguas residuales.

Procedimiento de cálculo:

1. Edad requerida de lodos:

Planta de tratamiento con Nitrificación

$$t_{TS,aerob,Bem} = SF * 3.41.103^{(15-T)} \text{ (días)} \quad (Ec 2.5)$$

Planta de tratamiento con Nitrificación y Desnitrificación

$$t_{TS,Bem} = t_{TS,aerob,Bem} * \frac{1}{1-(V_D/V_{BB})} \text{ (días)} \quad (Ec 2.6)$$

2. Determinación de la fracción de volumen de desnitrificación

$$S_{NO3,D} = C_{N,ZB} - S_{orgN,AN} - S_{NH4,AN} - S_{NO3,AN} - X_{orgN,BM} \text{ (mg/l)} \quad (Ec 2.7)$$

Para la concentración del Nitrógeno orgánico en la entrada de la planta se recomienda el valor de  $S_{orgN,AN} = 2mg/l$ .

3. Eliminación del Fósforo

$$X_{P,Fäll} = C_{P,ZB} - C_{P,AN} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \text{ (mg/l)} \quad (Ec 2.8)$$

4. Determinación de la producción de lodos:

La producción de lodo en una planta consiste en la descomposición de la materia orgánica resultante y almacenada, así como los sólidos resultantes en la eliminación del fósforo.

$$\ddot{U}S_d = \ddot{U}S_{d,c} + \ddot{U}S_{d,p} \text{ (kgTSdías)} \quad (Ec 2.9)$$

Para el cálculo de la producción de lodos en eliminación de:

- El carbono se utilizó la siguiente ecuación:

$$\ddot{U}S_{d,c} = B_{d,BSB} * \left( 0,75 + 0,6 * \frac{X_{TS,ZB}}{C_{BSB,ZB}} - \frac{(1-0,2)*0,17*0,75*t_{TS}*F_T}{1+0,17*t_{TS}*F_T} \right) \text{ (kgTS/días)} \quad (Ec 2.10)$$

El factor de temperatura para la respiración endógena es:

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

( Ec 2.11)

- El fósforo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\ddot{U}_{d,P} = Q_d * (3 * X_{P,BioP} + 6,8 * X_{P,F\ddot{a}ll,Fe} + 5,3 * X_{P,F\ddot{a}ll,Al})/1000 \text{ ( kg/días) Ec (2.12)}$$

Aplicando el proceso antes mencionado para temperaturas de 12, 14, 20, y 25°C solo para el proceso de nitrificación (proceso aerobio) se obtuvieron los siguientes resultados. En la tabla 2.9 y 2.10 se muestran respectivamente los valores de gasto y concentraciones de sustancias del efluente y afluente para las distintas temperaturas a analizar y los valores obtenidos en el cálculo.

Tabla 2.9 Datos generales para el cálculo.

Temperatura	12°	20°	25°	14°	20°
Datos					
Gasto (l/d)	12	12	12	15	15
Volumen del Tanque de aireación(l)	16	16	16	16	16
Volumen del Sedimentador secundario (l)	10	10	10	10	10
RV	0,75	0,75	0,75	1,5	1,5
Sustancias secas en el tanque de aireación(g/l)	1,6	1,6	1,6	1,9	1,9
Sustancias secas en lodos de retorno(g/l)	10	10	10	2,2	2,7
Índice de volumen de lodos (ml/g)	144	144	144	144	144
SF	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
<i>Valores de afluente:</i>					
DQO (mg/l)	1190	1190	1190	530	550
Nitrato (mg/l)	1,3	1,3	1,3	1	1
Amonio (mg/l)	34,5	34,5	34,5	50	57
Fosfato (mg/l)	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
Nitrito (mg/l)	0,021	0,021	0,021	0,032	0,032
Nitrógeno puro (mg/l)	61,8	61,8	61,8	65	78
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	760	760	760	260	270
<i>Valores del efluente:</i>					
Nitrato (mg/l)	12,6	12,6	12,6	55	51
DQO (mg/l)	9	9	9	15	17
Amonio (mg/l)	2,2	2,2	2,2	1,2	1,4
Fosfato (mg/l)	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Nitrito (mg/l)	0,202	0,202	0,202	0,05	0,2

Nitrógeno puro(mg/l)	15,3	15,3	15,3	60	72
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	49	49	49	5	10

Tabla 2.10 Parámetros obtenidos para las diferentes temperaturas

Temperatura					
Parámetro	12°	20°	25°	14°	20°
$t_{TS,aerob,Bem}$	6,616	3,02	1,85	5,438	3,02
$S_{NO3,D}$	15,250	15,25	15,25	6,8	10,1
$X_{P,Fäll}$	5,10	5,1	5,1	12,55	12,4
$\ddot{U}_{Sd}$	4,40	4,7	4,9	1,9	2,1

En el análisis de los resultados obtenidos se tuvo en cuenta la siguiente interrogante planteada por Allende: ¿qué ocurre con los cuerpos cuando se cambia la temperatura? La respuesta es:

Todo cuerpo al aumentar la temperatura se expande (aumenta de volumen) y por tanto, disminuye su densidad, y si la temperatura disminuye, ocurre lo contrario.

¿Qué sucede con el agua?

Si se disminuye la temperatura a cerca de 0 °C, se convierte en hielo, aumentando su volumen y disminuyendo su densidad, a 3,98 °C adquiere su densidad máxima.

Afortunadamente, esta anomalía es de gran importancia, ya que permite que en el seno y fondo de los cuerpos de agua (lagos, lagunas, etc.) helados en su superficie, exista vida.

En la selección de la temperatura óptima para el tratamiento del agua residual en Cuba mediante la utilización de la técnica de lodos activados se tuvo en cuenta que en función de la situación geográfica la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire. Las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano, de esto depende el desarrollo de la vida acuática en el agua residual tratada, las reacciones químicas y velocidades de

reacción para la purificación de la misma. Teniendo en cuenta los criterios antes expuestos se ha llegado a la conclusión que la temperatura óptima para la purificación del agua residual en Cuba sea entre 20 – 25 °C.

## **2.4 Diseño de una planta para el tratamiento de las aguas residuales con carácter experimental por la técnica de lodos activados**

Se realizó el diseño de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activados, constituida por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión. La planta piloto puede ser utilizada para el tratamiento aeróbico de diversas aguas permitiendo a su vez una amplia gama de caudales de afluentes residuales a tratar. Para acometer el proceso de diseño la autora tuvo bien considerar la propuesta de Delgado, Rennola y Lugo (2006).

### **2.4.1 Volumen del reactor aireador**

La planta piloto consta de un reactor aireador, un sedimentador secundario y su respectivo sistema de reciclo de lodo activado. El dimensionamiento del reactor se realizó combinando las expresiones de dos parámetros cinético del proceso: la tasa de utilización específica ( $U$ ) y el período de residencia medio de las células ( $\theta_c$ ); obteniéndose así la siguiente relación (Metcalf & Eddy, 1979 y RAS 2000)<sup>14</sup>:

$$V = \frac{\theta_c Q_0 Y^* (S_0 - S)}{X^* (1 + K_d \theta_c)} \quad ( Ec 2.13 )$$

Donde:

$\theta_c$  = Período medio de residencia de las células

$Q_0$  = Caudal del afluente residual a tratar

$Y$  = Fracción de sustrato convertida en biomasa

$S_0$  = Concentración del afluente, como DBO o DQO

$S$  = Concentración del sustrato que sale del reactor aireador

---

<sup>14</sup> Las expresiones matemáticas utilizadas por Metcalf & Eddy, 1979 y RAS 2000 tienen el mismo significado y utilidad aunque utilicen diferentes letras en la expresión.

$X$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles

$K_d$  = Coeficiente de mortalidad endógeno.

La ecuación anterior se evaluó para diferentes valores de volúmenes del reactor, tomando como parámetros de diseño (Metcalf & Eddy, 1979) las variables de los rangos de valores reportados en la tabla 2.11 y 2.12, de esta manera determinar el caudal de efluente necesario para cada caso y entonces seleccionar el volumen óptimo.

La evaluación de la *Ec.*(2.8) para diferentes variables de diseño se realiza para valores de volumen del reactor comprendidos entre 40 y 80 litros, con lo cual es posible determinar también el caudal de efluente a utilizar para intervalos de volumen de 10 litros , permitiendo evaluar el funcionamiento del reactor en un amplio rango de valores.

Tabla 2.11 Valores de las variables de diseño (Kiely G., 1998)

Tipo de proceso	$\theta_c$ días	$Y$ mg/mg	$X$ kg/m <sup>3</sup>	$S_0$ kg/m <sup>3</sup>	$S$ kg/m <sup>3</sup>	$K_d$ Días
Convencional	05-15	04-08	1.5-3	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Reactor de mezcla completa	05-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Aireación por etapas	05-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Aireación modificada	0.2-0.5	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Estabilización por contacto	05-15	04-08	0.2-1.80	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Aireación extendida	20-30	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Alta aireación	05-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
Sistema con	8-20	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-



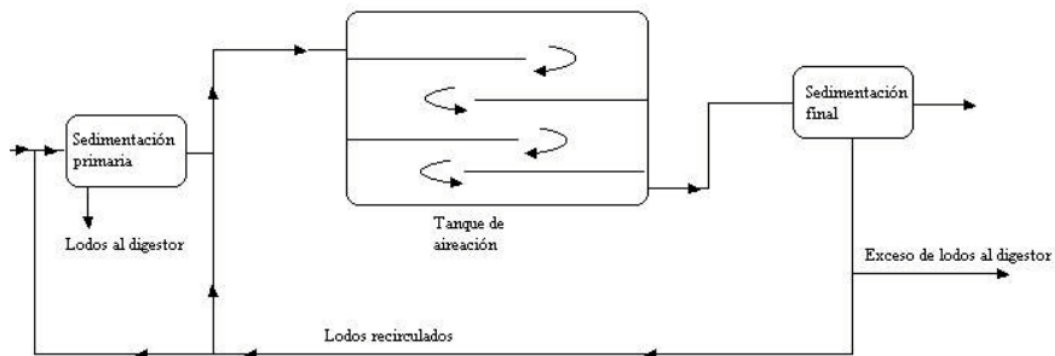
oxígeno puro						0.075
--------------	--	--	--	--	--	-------

Tabla 2.12 Valores recomendados de  $Y$  y  $K_d$  por RAS 2000 para proceso de lodos activados en aguas residuales domésticas.

Valores a 20°			
Coefficiente	Unidades	Rango	Valores
$Y$	mg/mg	0,4-0,8	0,6
$K_d$	días	0,025-0,075	0,06

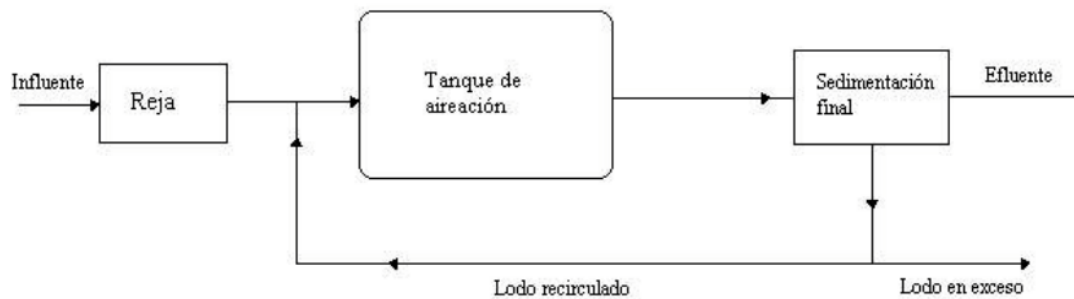
Caracterización de los diferentes procesos:

**Proceso convencional de lodos activados** (Fig.18): Todas las aguas negras sedimentadas se mezclan con los lodos activados recirculados a la entrada del tanque de aireación. El volumen de lodos recirculados es de 20 a 30% del volumen de aguas residuales que se van a tratar. Los tanques de aireación se diseñan de manera que proporcionen un tiempo de residencia hidráulica de seis a ocho horas. Los lodos activados se recirculan en una proporción que mantengan un contenido de sólidos de 1000 a 2500 ppm en el licor mixto. El índice de lodos y su edad, según se determinen para cada planta, caerán respectivamente dentro de los límites de 100 a 200 y de 3 a 4 días. Se puede esperar una eficiencia global de la planta de 80 – 95%.



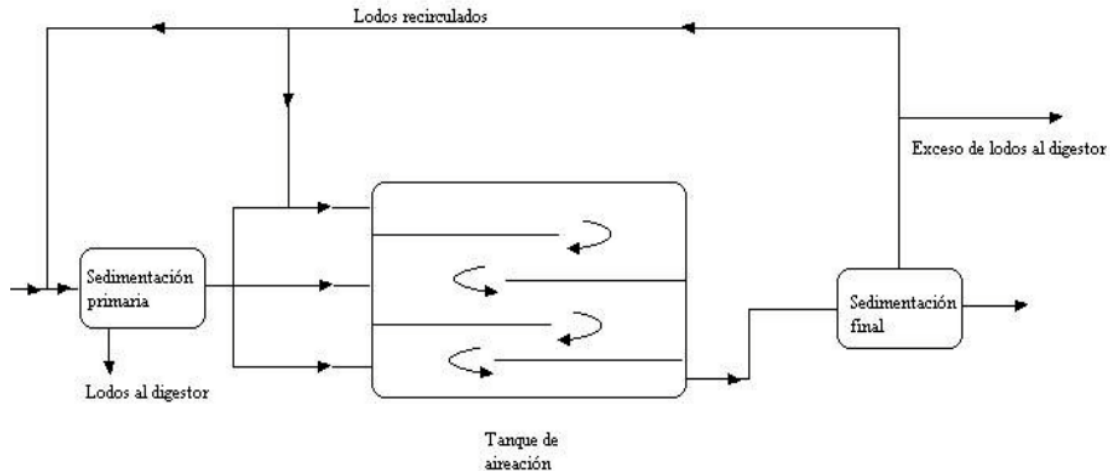
**Figura - 18** : Proceso convencional de lodos activados. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

**Aireación extendida** (Fig.19): Este proceso se conoce también como *Oxidación total*. Opera en condiciones de inanición, propiamente en la fase endógena; esto se consigue aumentando el tiempo de residencia de los lodos. Busca minimizar la producción de lodos, por el autoconsumo de los microorganismos, obteniendo lodos bastante estabilizados, sin muchas necesidades adicionales de digestión. Requiere aireación prolongada, por lo que se utiliza con descargas pequeñas y el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados.



**Figura - 19:** Aireación extendida. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

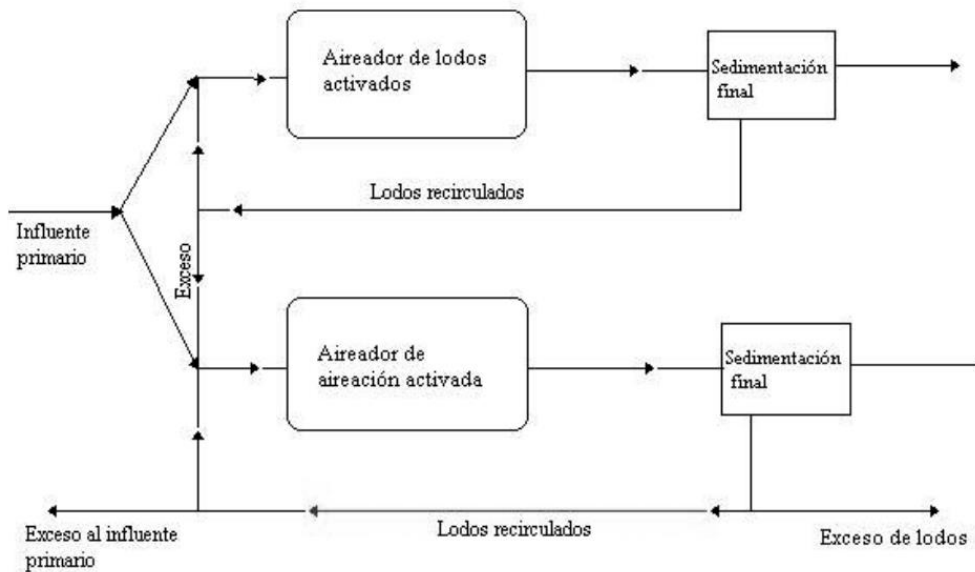
**Aireación escalonada** (Fig.20): En este proceso las aguas residuales entran al tanque de aireación por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada. Por lo tanto, la concentración de sólidos de los lodos en el licor mixto, es mayor en la primera etapa o lugar de entrada y disminuye a medida que se introducen más aguas residuales en las etapas subsiguientes. En este proceso se puede lograr un tratamiento equivalente al del proceso convencional de lodos activados, en casi la mitad del tiempo de aireación, si se mantiene la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de tres a cuatro días.



**Figura - 20:** Aireación escalonada. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

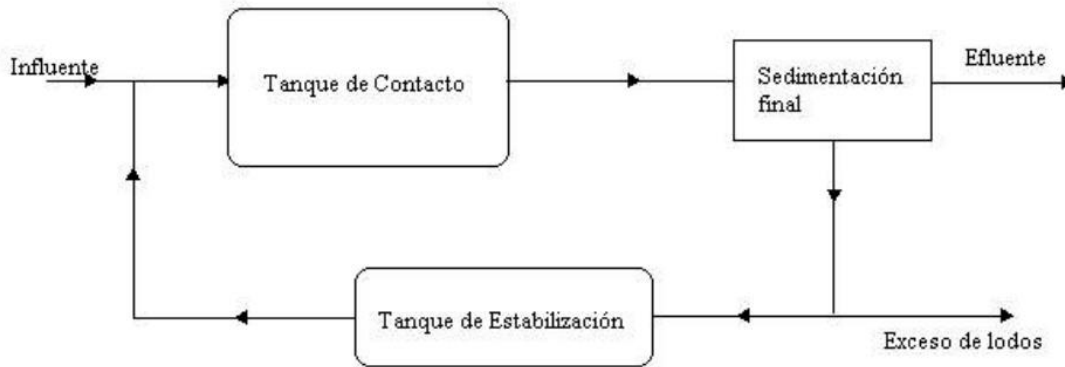
**Aireación graduada (aireación decreciente):** Este proceso se desarrolló basándose en la teoría que se necesita mayor cantidad de aire en el comienzo del período de aireación. Por este motivo, la proporción de aire que se introduce en las aguas residuales es mayor en la sección de entrada del tanque de aireación, cuando la demanda es mayor, y se va disminuyendo proporcionalmente, conforme el sustrato avanza en el tanque y la demanda decrece.

**Aireación activada (Fig.21):** Este es un tratamiento de lodos activados por etapas, con un menor período de aireación. El cultivo que se produce en la sección de lodos activados y que generalmente se desperdicia como exceso de lodos, se pasa a una sección de aireación activada que recibe también una porción del gasto de aguas residuales sedimentadas. En la sección de aireación activada que recibe también una porción del gasto de aguas residuales sedimentadas. En la sección de aireación activada, se airea la porción de aguas negras sedimentadas que se enviaron allí, con una baja concentración de sólidos (200 a 400 ppm). Se destinan tanques de sedimentación final para ambas secciones.



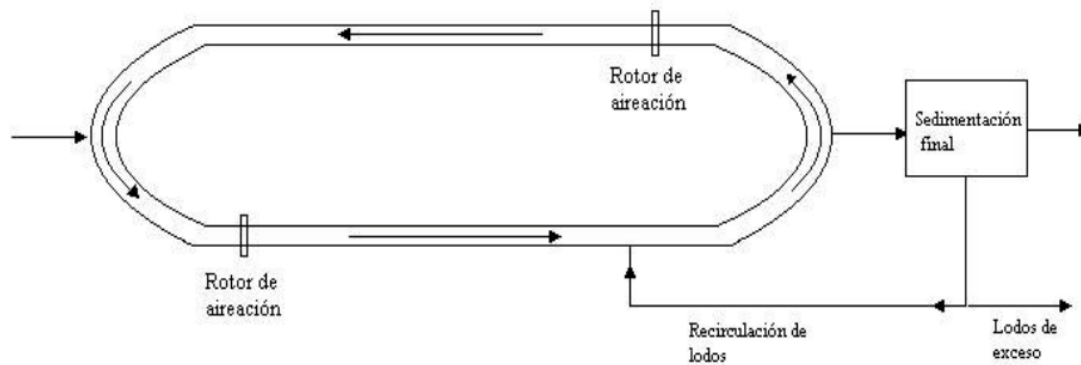
**Figura - 21:** Aireación activada. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

**Estabilización por contacto** (Fig.22): En este método, los lodos biológicamente activos se ponen en contacto íntimo con las aguas residuales durante 15 a 30 minutos solamente, tiempo durante el cual los lodos activados absorben y adsorben un gran porcentaje de la materia contaminante suspendida, coloidal y disuelta, de las aguas residuales. Entonces fluye la mezcla al tanque de sedimentación donde se separan los lodos y se pasan a un tanque regenerador en el que se estabilizan y regeneran por aireación.



**Figura - 22:** Estabilización por contacto. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

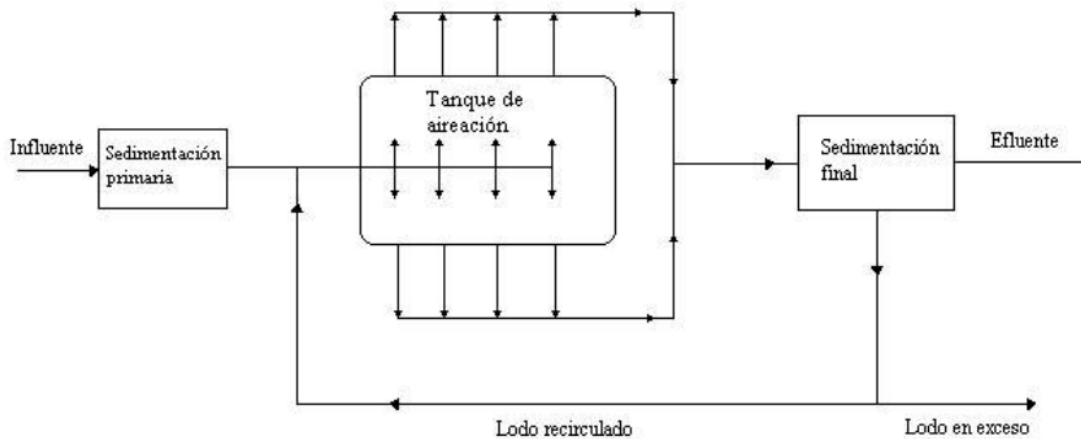
**Zanja de oxidación** (Fig.23): En realidad se trata de una aireación extendida, realizada con flujo pistón, múltiples veces; al forzar el sustrato a realizar circuitos cerrados alrededor de un canal cerrado por medio de rotores – aireadores – con forma de cepillo, que impulsan el agua en un dirección dada.



**Figura - 23:** Zanja de oxidación. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

**Completamente mezclados** (Fig. 24): El influente sedimentado entra en un tanque violentamente agitado por aireadores mecánicos o sistemas de difusión de aire

comprimido, de modo que todo el contenido del reactor mantiene una composición aproximadamente constante. La entrada de aguas residuales puede ser por varios puntos, mientras la aireación se efectúa homogéneamente. Una vez sedimentado, los lodos asentados se retornan y el efluente se descarga.



**Figura - 24:** Completamente mezclados. Fuente: Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Luis F. Giraldo Valencia e Isabel C. Restrepo Marulanda. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2003.

En las siguientes tablas (2.13 – 2.17) se muestran para el conjunto de parámetros promedio los resultados de caudal obtenido para los volúmenes establecidos entre 40 – 80 litros a intervalos de 10 litros en función de la modalidad del proceso.

Tabla 2.13 Evaluación Q para un volumen 40 L.

Tipo de proceso	$\theta_c$ (días)	Y (mg/mg)	$S_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	X (kg/m <sup>3</sup> )	$K_d$ (días)	$Q_0$ (L/días)	$Q_0$ (L/h)
Convencional	10	0,6	1	0,01	2,25	0,06	24,24	1,01
Reactor de mezcla completa	10	0,6	1	0,01	1	0,06	10,77	0,45
Aireación por etapas	10	0,6	1	0,01	1	0,06	10,77	0,45
Aireación modificada	0,35	0,6	1	0,01	1	0,06	196,44	8,19
Estabilización por contacto	10	0,6	1	0,01	1	0,06	10,77	0,45

Aireación extendida	25	0,6	1	0,01	1	0,06	6,73	0,28
Proceso Kraus	10	0,6	1	0,01	1	0,06	10,77	0,45
Alta aireación	10	0,6	1	0,01	1	0,06	10,77	0,45
Sistema con oxígeno puro	14	0,6	1	0,01	1	0,06	8,85	0,37

Tabla 2.14 Evaluación Q para un volumen 50 L.

Tipo de proceso	$\theta_c$ (días)	Y (mg/mg)	$S_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	X (kg/m <sup>3</sup> )	$K_d$ (días)	$Q_0$ (L/días)	$Q_0$ (L/h)
Convencional	10	0,6	1	0,01	2,25	0,06	30,30	1,26
Reactor de mezcla completa	10	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Aireación por etapas	10	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Aireación modificada	0,35	0,6	1	0,01	1	0,06	245,55	10,23
Estabilización por contacto	10	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Aireación extendida	25	0,6	1	0,01	1	0,06	8,42	0,35
Proceso Kraus	10	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Alta aireación	10	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Sistema con oxígeno puro	14	0,6	1	0,01	1	0,06	11,06	0,46

Tabla 2.15 Evaluación Q para un volumen 60 L.

Tipo de proceso	$\theta_c$ (días)	Y (mg/mg)	$S_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	X (kg/m <sup>3</sup> )	$K_d$ (días)	$Q_0$ (L/días)	$Q_0$ (L/h)
Convencional	10	0,6	1	0,01	2,25	0,06	42,42	1,77
Reactor de mezcla completa	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación por etapas	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación modificada	0,35	0,6	1	0,01	1	0,06	343,77	14,32
Estabilización por contacto	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación extendida	25	0,6	1	0,01	1	0,06	11,78	0,49
Proceso Kraus	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Alta aireación	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Sistema con oxígeno puro	14	0,6	1	0,01	1	0,06	15,49	0,65

Tabla 2.16 Evaluación Q para un volumen 70 L.

Tipo de proceso	$\theta_c$ (días)	Y (mg/mg)	$S_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	X (kg/m <sup>3</sup> )	$K_d$ (días)	$Q_0$ (L/días)	$Q_0$ (L/h)
Convencional	10	0,6	1	0,01	2,25	0,06	42,42	1,77
Reactor de mezcla completa	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación por etapas	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación modificada	0,35	0,6	1	0,01	1	0,06	343,77	14,32
Estabilización por contacto	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Aireación extendida	25	0,6	1	0,01	1	0,06	11,78	0,49
Proceso Kraus	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79



Alta aireación	10	0,6	1	0,01	1	0,06	18,86	0,79
Sistema con oxígeno puro	14	0,6	1	0,01	1	0,06	15,49	0,65

Tabla 2.17 Evaluación Q para un volumen 80 L.

Tipo de proceso	$\theta_c$ (días)	Y (mg/mg)	$S_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	X (kg/m <sup>3</sup> )	$K_d$ (días)	$Q_0$ (L/días)	$Q_0$ (L/h)
Convencional	10	0,6	1	0,01	2,25	0,06	48,48	2,02
Reactor de mezcla completa	10	0,6	1	0,01	1	0,06	21,55	0,90
Aireación por etapas	10	0,6	1	0,01	1	0,06	21,55	0,90
Aireación modificada	0,35	0,6	1	0,01	1	0,06	392,88	16,37
Estabilización por contacto	10	0,6	1	0,01	1	0,06	21,55	0,90
Aireación extendida	25	0,6	1	0,01	1	0,06	13,47	0,56
Proceso Kraus	10	0,6	1	0,01	1	0,06	21,55	0,90
Alta aireación	10	0,6	1	0,01	1	0,06	21,55	0,90
Sistema con oxígeno puro	14	0,6	1	0,01	1	0,06	17,70	0,74

Como se puede observar en las tablas anteriores, para volúmenes del reactor aireador comprendidos entre 40-80 litros, los caudales de afluente son relativamente pequeños, variando de acuerdo a la modalidad del proceso empleada, no obstante el caudal más bajo (0.37L/h) y en contraposición el valor máximo de caudal que presentan las diferentes tecnologías lo demanda el proceso de aireación modificada (16.37 L/h) siendo el mismo el parámetro de diseño mínimo.

Para facilitar el manejo de caudales de afluente y el transporte de la planta piloto, se decidió construir el reactor aireador de 60 L de capacidad. Es importante destacar

que los valores de los parámetros de diseño en los cuales se fundamenta la figura mostrada , son representativos para estimar la relación que existe entre el caudal de afluente a tratar y el volumen del reactor, no obstante , una vez construida la planta piloto, ésta puede ser operada para el tratamiento de afluentes cuyas características no correspondan exactamente a las aquí especificadas, con la debida manipulación de los mecanismos y accesorios (válvulas, bomba de reciclo etc.) contempladas para tal fin.

Se adoptó la forma de paralelepípedo para el reactor con dimensiones de 60x50 cm de base y 30 cm de altura, lo cual aporta un volumen de 90 litros, lo que a su vez representa un 50% de sobre diseño para efectos de seguridad.

### **Cálculo del suministro de oxígeno:**

Datos a utilizar:

$$DBO_5 \text{ entrada} = 230 \text{ mg/L}$$

$$Q_{\text{entrada}} = 0.048 \text{ m}^3/\text{día}$$

Determinación de la carga orgánica:

$$\text{Carga orgánica} = DBO_5 \text{ (a reducir al 50 \%)} * \text{Caudal} \quad \text{Ec 2.14}$$

$$\text{Carga orgánica} = \frac{115 \text{ mg/L} * 0.048 \text{ m}^3/\text{día}}{1000}$$

$$\text{Carga orgánica} = 0.0052 \text{ kg/día}$$

Determinación de la retención hidráulica:

$$R_H = \frac{L_0 - L_p}{K_T - L_p} \quad \text{Ec 2.15}$$

Siendo:

$$R_H = (\text{Retención hidráulica})$$

$$L_0 = 230 \text{ mg/L (} DBO_5 \text{ del afluente)}$$

$$L_p = 115 \text{ mg/L (} DBO_5 \text{ del efluente de salida)}$$

$$R_T = 0.43 \text{ (Ver tabla 2.17)}$$

Tabla 2.17 Valor de  $R_T$

T (°C)	15	20	25	30	35
$R_T$	0.24	0.35	0.53	0.80	1.2

Sustitución de los valores anteriores:

$$R_H = 2.326 \text{ días}$$

Determinación del oxígeno requerido:

$$O_d = a'' * Lr \quad \text{Ec 2.16}$$

Siendo:

$O_d$  = Oxígeno requerido

$a'' = 1.4$  coeficiente que varía de 0.7 a 1.4

$Lr = 0.00552 \text{ kg/día}$  (Carga orgánica)

Sustitución de los valores anteriores:

$$O_d = 0.008 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

$$O_d = 0.000322 \text{ kg/h}$$

Determinación del oxígeno suministrado por aireación mecánica:

$$O_s = O_m * \frac{C_{sw} - C}{C_s} * \alpha * \theta^{(T-20)} * Fa \quad \text{Ec 2.17}$$

Donde:

$O_s$  = Suministro de oxígeno

$O_m = 1.6$  (Rendimiento del aireador 1.8 – 2.1 kg/CUh )

$C_{sw} = 10.2$ (Nivel de saturación de oxígeno en el estanque a la temperatura T en mg/L)

$C = 1.5$  (Nivel de oxígeno disuelto en el estanque en mg/L)

$C_s = 9.2$  (Nivel de saturación de oxígeno en el agua destilada a 20°C)

$\alpha = 0.9 \left( \frac{\text{coeficiente de transferencia total del agua residual}}{\text{coeficiente de transferencia total del agua de grifo}} \right)$

$\theta = 1.02$  (Coeficiente de reacción de la temperatura)

$T = 22.5$  (Temperatura)

$Fa = 1$  (Factor de corrección para altitudes superiores a 1200 m en Cuba no se aplica, pues las cotas altimétricas no llegan a 200 m.)

Al sustituir los valores anteriores obtenemos un suministro de oxígeno:

$O_s = 1.43 \text{ kgO}_2/\text{CUh}$

Determinación de la necesidad de energía:

$$\frac{O_d}{O_s} = 0.000225 \text{ CV} \quad \text{Ec 2.18}$$

Potencia del aireador = 0.1656 W/h

#### 2.4.2 Área superficial y volumen del sedimentador secundario

Se determina a partir del caudal máximo de operación mediante el cual se estimó el volumen del reactor de aireación, y la carga superficial reportada como parámetro máximo de diseño. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$\text{Área superficial} = \frac{Q_0}{\text{Carga superficial}} \quad (\text{Ec 2.19})$$

De donde la carga superficial tiene un valor de  $20 \text{ m}^3 / \text{m}^2 - \text{día}$ .<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> **Fuente:** Entrevista aplicada al Técnico. Jorge Mastrapa de la Empresa Recursos Hidráulico Dpto. Acueducto y Alcantarillado

Aplicando la anterior ecuación para un caudal de 25 l/h, que es a su vez mayor que el máximo gasto volumétrico de afluente residual a tratar en la planta (16.37l/h), se obtuvo un área superficial mínima del sedimentador secundario de  $0.03 \text{ m}^2$ .

La geometría seleccionada para el sedimentador es la de cuerpo cilíndrico de fondo cónico, tal como la mayoría de los clarificadores para sedimentar lodos; partiendo del área superficial calculada, y tomando en consideración que la sección transversal del equipo es circular, el radio  $R_{min}$  del sedimentador resulta  $9.78 \text{ cm}$ .

Sin embargo se asignó un radio de  $30 \text{ cm}$  para garantizar flexibilidad de funcionamiento. La altura del cuerpo cilíndrico se fijó en  $25 \text{ cm}$  y la del fondo cónico en  $10 \text{ cm}$ , lo cual tiene como resultado un volumen total de  $0.224 \text{ m}^3$ , resultado de la adición de ambas partes (cilíndrica y cónica).

#### **2.4.3 Materiales de construcción y accesorios de la planta**

La planta tiene la configuración general de una planta de tratamiento de aguas residuales con lodos activados convencional.

Los principales accesorios del reactor lo constituyen: 3 láminas (móviles) de plexiglás, que dividen el reactor en 4 compartimientos de  $12.5 \text{ cm}$  cada uno y cuya función es aumentar el tiempo de retención.

Los accesorios son las mangueras que conectan el reactor con el sedimentador, los conectores, la bomba de reciclo, válvulas y estructura de sujeción de la planta. Una vez fijado el volumen y dimensiones del reactor de aireación y el sedimentador, así como también el caudal máximo a tratar, se dimensionan los accesorios tomando en cuenta la buena operatividad de la planta para las condiciones seleccionadas.

El material de construcción del reactor de aireación y sedimentador secundario debe ser resistente a la corrosión, lo mismo que las válvulas reguladoras y las líneas de flujo, además poseer la suficiente resistencia estructural para operar bajo la carga hidrostática del caudal del afluente a manejar y ser económicamente accesible. El material para la construcción del reactor y el sedimentador es plexiglás, material

transparente que permite llevar a cabo el seguimiento del proceso que ocurre en la planta, las líneas de flujo estarán constituidas por mangueras de polietileno y las válvulas reguladoras de flujo serán válvulas de globo de PVC.

El efluente residual se alimenta y retira del reactor de aireación mediante conectores de bronce de  $1/2$ " a  $3/8$ " , acoplados a válvulas de globo PAVCO de  $1/2$ " de PVC, así mismo la alimentación del sedimentador secundario será suplida mediante un "Tee" de bronce de  $1/2$ " conectada a un niple también de bronce donde se unirán las dos salidas del reactor aireador , y tendrá una salida para el efluente clarificador de 1" de diámetro unida a un niple de hierro galvanizado y una válvula de globo PAVCO de 1" .

Tanto el caudal de salida de lodos sedimentados como la purga de lodos se regulan mediante válvulas PAVCO de  $1/2$ ". Todas la tuberías conectoras de la planta serán de poliuretano transparente de 1.2 cm de diámetro a excepción de las que comunican al reactor con el sedimentador, constituidas por codos de acero galvanizado de  $1/2$ " de diámetro y manguera de poliuretano de 1" de diámetro.

El caudal de reciclo es controlado mediante una bomba centrífuga de impulsor abierto marca LITTLE GIANT de 126.5 watts y caudal máximo de 662.22 l/h, conectada a un reóstato divisor de voltaje marca POWERSTAT de 10 Amp. con un rango de 0-120 voltios.

La aireación del reactor la suministra un compresor TWIN FISH de 50 watts diseñado para proporcionar 5000 l/h de aire a 25°C y 1 atm. El aire es enviado desde el compresor hasta el reactor a través de mangueras de poliuretano de  $1/8$ " y distribuido uniformemente por difusores rectangulares de piedra porosa ubicados en el fondo (12 difusores). A cada salida del compresor se colocó una válvula de aguja de  $1/8$ " para controlar el suministro de aire.

El afluente se alimentará por gravedad desde un recipiente plástico de 70 litros de capacidad equipado con una válvula de PAVCO de  $1/2$ ".

#### 2.4.4 Vista isométrica de la planta

Con la utilización de la herramienta AutoCAD se construyó el diseño del esquema representativo en isométrico de la planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental para el Campus Oscar Lucero Moya.

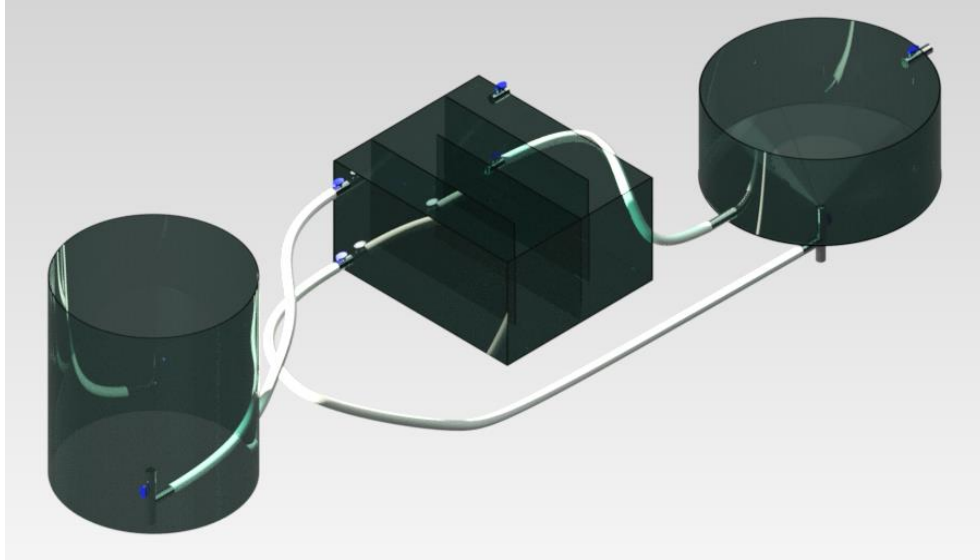


Figura – 25: Esquema representativo de la planta

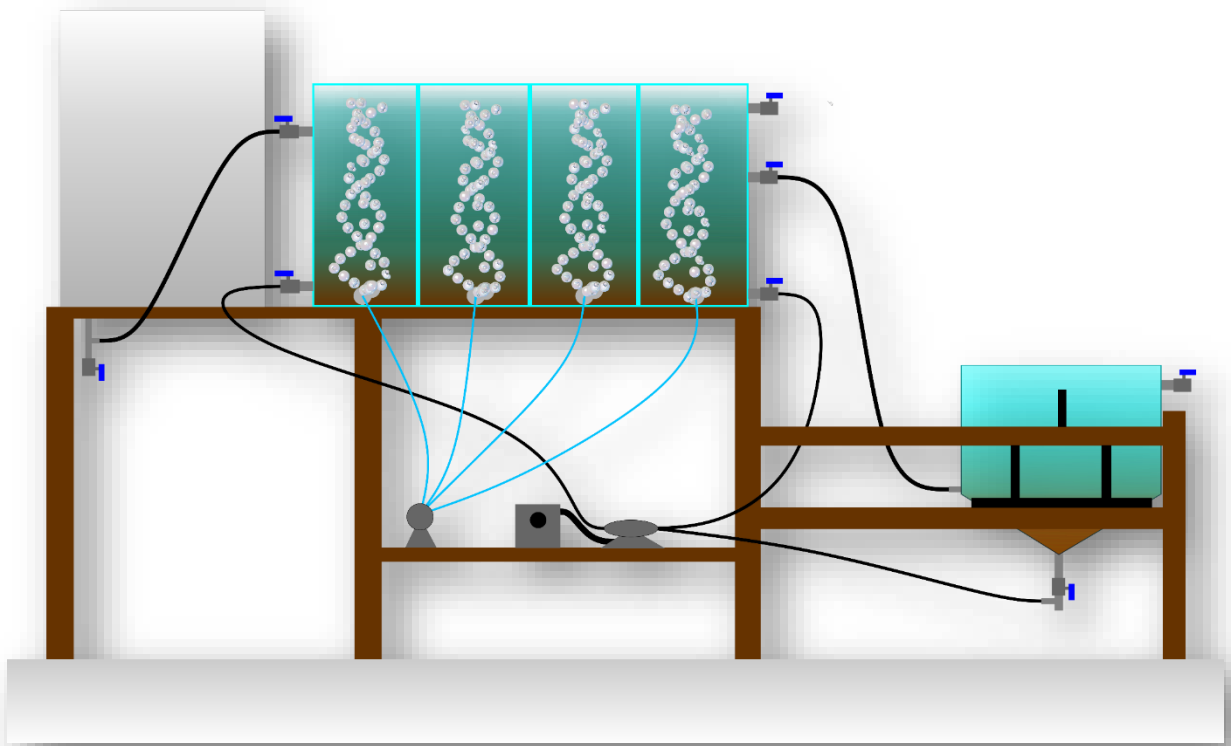


Figura – 26: Esquema representativo frontal de la planta

### Conclusiones del capítulo

- Como resultado del proceso investigativo se realizó el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental después de la caracterización del agua residual que se tratará. Se definió la técnica a utilizar. La misma consta de una unidad modular equipada con todos los accesorios necesarios para su manejo versátil, que permiten tratar una amplia gama de caudales de afluentes residuales.
- Debido a la sencilla estructura y operación, así como los principios empleados en su funcionamiento hidráulico, la planta constituye una excelente herramienta para fines prácticos e investigativos.



## Conclusiones

- Como resultado de la implementación de los métodos de análisis histórico-lógico y análisis documental se pudo caracterizar desde una dimensión histórica el surgimiento y evolución de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el mundo y en Cuba.
- La consulta del marco teórico referencial en relación con el objeto y campo de la investigación permitió caracterizar teórica y conceptualmente la significación de las plantas de tratamiento de aguas residuales con un carácter experimental.
- La triangulación de la información procedente del análisis histórico, caracterización teórico - conceptual y el análisis diagnóstico del objeto y el campo de la investigación permitió identificar las causas que han estado incidiendo en la manifestación del problema de investigación. Las mismas se refieren al desconocimiento de las características físico – químicas del agua residual que se genera en el campus de la Sede universitaria Oscar Lucero Moya, la inexistencia de sistemas de purificación de aguas residuales en el campus y la contribución académica con la Universidad Magdeburg – Stendal a través del intercambio de tecnología y transferencia de conocimientos en el campo de la Hidráulica.
- Como resultado del análisis de las muestras de agua en los laboratorios se pudo precisar la pertinencia del diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, que trasciende incluso el carácter experimental debido a las características que esta evidenció al tener la gran ventaja de indicar la cantidad de materia orgánica biodegradable, lo cual tiene una extraordinaria importancia para el tratamiento biológico.

- Como resultado del proceso investigativo se logró diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales con un carácter experimental que consta de una unidad modular equipada, constituida por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión para su manejo versátil y permite tratar una amplia gama de caudales de afluentes residuales.

## Recomendaciones

Para dar continuidad a la presente investigación la autora sugiere las recomendaciones siguientes:

- Utilizar el trabajo de diploma y los resultados que en él se revelan como consecuencia del proceso investigativo llevado a cabo para la preparación de los estudiantes que se encuentran cursando la carrera desde aquella disciplina y asignatura cuyo contenido guarden relación con la investigación.
- Sugerir a la dirección de la universidad se estudie la pasibilidad real de construir la planta de tratamiento de aguas residuales con carácter experimental diseñado para favorecer la formación de profesionales de la carrera de Ingeniería Civil.
- Presentar los resultados de la investigación en los eventos científicos y generar publicaciones científicas con los mismos.
- Dar continuidad a la presente investigación con la intención de determinar las causas que inciden en las concentraciones elevadas de DBO y DQO.
- Se sugiere ensayar en los laboratorios nuevas muestras de agua con el propósito de comparar esos resultados con los obtenidos en la presente investigación y de esta forma adoptar una conducta ingenieril.

## Bibliografía

1. Allende, Abreu, I., V." Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales", Cuba 2005
2. Delgado, José; Rennola, Leandro y Lugo, Sharon (2006):" Diseño y construcción de una planta para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas en una destilería".
3. Díaz, García, Aliammy: "Guía metodológica para diseño de la solución de tratamiento de aguas residuales del Proyecto Integrados V de la carrera Ingeniería Hidráulica". (Trabajo de Diploma). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría (CUJAE)", Ciudad de La Habana, Cuba, junio 2009.
4. Giraldo, Valencia, Luis, F.; Restrepo, Marulanda, Isabel, C. (2003):" Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbana".
5. Metcalf y Eddy:" Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales".
6. Monzón, Sánchez, Antonio (2013): " Catálogo del producto Plantas de Tratamiento de Residuales Líquidos". Grupo Empresas de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI).
7. NC.27:2012"Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones".
8. Neumann, Kirstin : " Grundlgen der biologischen Abwasserreinigung"
9. Neumann, Kirstin : " Gundlagen der mechanischen Abwasserbehandlung".
10. Neumann, Kirstin : "Abwasseranalytik"
11. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Manual de capacitación para trabajadores. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio, División de Salud y Ambiente Lima 2002.
12. Palacios, Machado, Yilemi:" Caracterización y estudio de la planta de residuales líquidos de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas". (Trabajo de Diploma).Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, junio 2005.
13. Pupo Díaz Diana, R.: Contribuciones a la etapa de ideas conceptuales de la solución de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Gibara". (Trabajo

- de Diploma). Universidad de Holguín Sede Oscar Lucero Moya, Holguín, Cuba, junio 2013.
14. Ramalho, Rubens, S.: " Tratamiento de aguas residuales". Editorial Reverté,S.A. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México
  15. Suárez, Guzmán, Alicia: "Planta de tratamiento para aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones de espacio". (Trabajo de Diploma). Universidad de Holguín Sede Oscar Lucero Moya, Holguín, Cuba, junio 2012.
  16. Torres, Salazar, Julio C., Colmenares, Mayanga, Wagner:" Caso Práctico. Diseño de una planta de tratamiento de agua residual empleando: Tratamiento anaerobio (UASB) y Tratamiento aerobio (Lodos activados)".
  17. Wiese, Jürgen,:"Abwasserreinigung mit Hilfe der SBR-Technik".
  18. Wiese, Jürgen,:"Einführung in die Abwasserreinigung"

# Anexos

## Anexo 1

Tabla -1 Representación por provincias de la Cobertura de Saneamiento

Provincia	Población	Total Servida		Alcantarillado		Fosas y Letrinas	
		Habitantes	%	Habitantes	%	Habitantes	%
<b>Total Nacional</b>	<b>11 161025</b>	<b>10. 523.295</b>	<b>94.29</b>	<b>3.991.347</b>	<b>35.76</b>	<b>6.531.948</b>	<b>58.52</b>
<b>Pinar del Río</b>	585.451	585.451	100	93.729	16.01	491.722	83.99
<b>Artemisa</b>	487.339	457.308	93.84	108.934	22.35	348.374	71.48
<b>La Habana</b>	2. 154. 454	2.154.454	100	1.550.271	71.96	604.183	28.04
<b>Mayabeque</b>	371. 203	371.203	100	83.785	22.57	287.417	77.43
<b>Matanzas</b>	697.314	697.314	100	182.095	26.11	515.218	73.89
<b>Villa Clara</b>	783. 7 08	783. 7 08	100	222.997	28.45	560.711	71.55
<b>Cienfuegos</b>	400.769	400.769	100	152.524	38.06	248.244	61.94
<b>S. Spiritus</b>	462.178	452.075	97.81	99.539	21.54	352.536	76.28
<b>Ciego de Ávila</b>	423.393	354.707	83.78	139.024	32.84	215.683	50.94
<b>Camagüey</b>	766.316	766.150	99.98	208.979	27.27	557.171	72.71
<b>Las Tunas</b>	525.645	525.645	100	74.858	14.24	450.787	85.76
<b>Holguín</b>	1.027.683	789.702	76.84	242.916	23.73	545.786	53.11
<b>Granma</b>	831.104	831.104	100	125.161	15.06	705.943	84.94
<b>Stgo de Cuba</b>	1. 053.837	763.074	72.41	509.792	48.37	253.282	24.03
<b>Guantánamo</b>	506.369	506.369	100	122.276	24.15	384.093	75.85
<b>Isla de la Juventud</b>	84.263	84.263	100	73.465	87.19	10.798	12.81

**Anexo 2:** Toma de muestra.



**Anexo 3:** Toma de muestras para análisis de concentraciones de sustancias y DQO.



**ANEXO 4:** Representación de las tres primeras muestras en el laboratorio

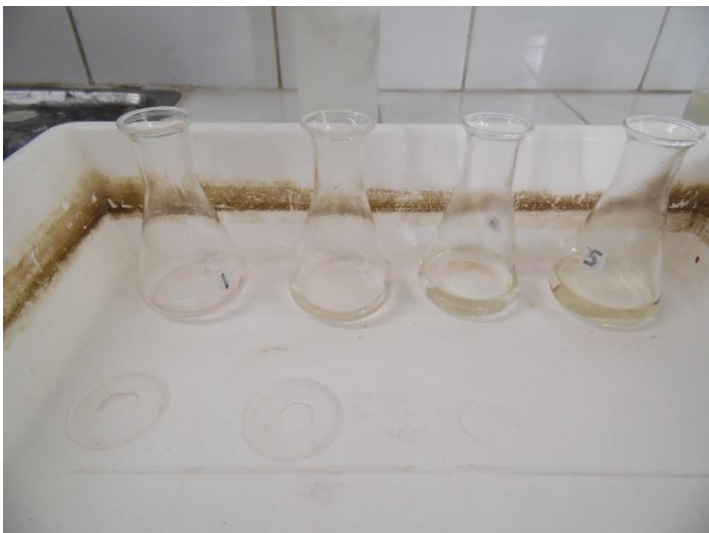


**ANEXO 5:** Representación del filtrado de las muestras





**ANEXO 6:** Método colorimétrico para la determinación de Nitrato



**ANEXO 7:** Representación de muestras para la determinación del DQO.



## ANEXO 8: Método acelerado autoclaveado



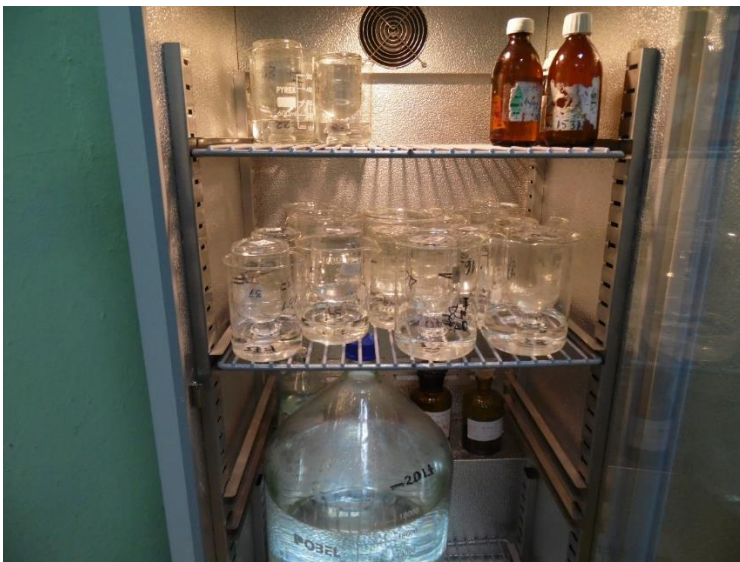
## ANEXO 9: Siembra de muestras en bacteriología



**ANEXO 10: Método electrométrico para la determinación del pH**



**ANEXO 11: Determinación del DBO a 20 °C.**



## ANEXO 12: Método colorimétrico para determinación de Nitrito



## ANEXO 13: Informe certificado de los resultados de ensayo



Empresa Nacional de Análisis  
y Servicios Técnicos

Amado Estévez no. 61 Rpto. Jesús Menéndez, Bayamo, Granma Cuba Telef.: 023-421900 E-mail: directoria@enast.grm.hidro.cu

### INFORME FINAL DE RESULTADOS DE ENSAYO

Código: RT0507

CLIENTE: Empresa Constructora de Obra de Ingeniería No. 16 Holguín

DIRECCIÓN: Calle Leyte Veidal No. 720 Mayarí, Holguín

CONTRATO: 63

Número de Trabajo: 183/2015

FECHA DE RECEPCIÓN: 12/04/16

FECHA DE ELABORACIÓN: 5/05/16

CANTIDAD DE MUESTRAS: 6

#### IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

# M	Identificación
1579	Universidad #1
1580	Universidad # 2
1581	Universidad # 3
1582	Universidad # 4
1583	Universidad # 5
1584	Universidad # 6

#### MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Nombre	Método
DQO	PA11 Determinación de la demanda química de oxígeno	Método acelerado autoclaveando muestras bajo presión con dicromato
DBO <sub>5</sub> <sup>20°C</sup>	PA12 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno	Determinación de DBO (5 días a 20 °C)

Factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95 %.

\* La incertidumbre calculada es combinada

#### RESULTADOS

M	DBO mg/L	DQO mg/L ±4,83	NH <sub>4</sub> mg/L
1579	36,15	47,06	0,34
1580	17,84	31,37	0,44
1581	315,43	3607,80	0,30
1582	480,99	643,14	0,52
1583	295,52	2823,55	0,42
1584	1,97	219,61	<0,10



\*\* Los resultados obtenidos con el símbolo de < corresponden a valores menores que el límite de cuantificación.

*Este Informe Final de Resultados es un documento generado por el SGC de ENAST que está certificado NG: ISO 9001:2008 por QNN mediante el certificado No. 088-2009.*

*Se prohíbe la reproducción total o parcial del informe, sin la aprobación escrita del Director de la UEB Granma que lo emite.*

Página 1 de 2



Empresa Nacional de Análisis  
y Servicios Técnicos

Amado Estévez no. 61 Rpto. Jesús Mecéndez, Bayamo, Granma Cuba Telef.: 023-421900 E-mail: directoria@enast.gm.hidro.cu

## INFORME FINAL DE RESULTADOS DE ENSAYO

Código: RT0507

### BIBLIOGRAFIA

- Standard Methods for the examination of Water and Waste Water, SMWW 1998, 20<sup>th</sup> Ed.
- NC: 93-04-118: 1987 Norma Cubana. Hidrosfera. Determinación de Sulfato.
- NOTA: Los resultados que contiene este informe sólo están relacionados con los ítems ensayados.

ELABORADO POR ESPECIALISTA PRINCIPAL: MSc. Yeisa Rosabal Carbonell *Y Rosabal.*

REVISADO Y APROBADO POR DIRECTOR: Lic. Isis Dalía Ruenes Llópez *s/o Y Rosabal.*

RECIBIDO POR:

FECHA DE ENTREGA:



*Este Informe Final de Resultados es un documento generado por el SGC de ENAST que está certificado NC: ISO 9001:2008 por QNV mediante el certificado No. 088-2009. Se prohíbe la reproducción total o parcial del informe, sin la aprobación escrita del Director de la UEB Granma que lo emite.*

Página 2 de 2



## ANEXO 14: Informe certificado de los resultados de ensayo



Empresa Nacional de Análisis  
y Servicios Técnicos  
Carretera Vía a Bayamo KM 2 1/2, Holguín, Cuba. Telef.: 024-865907 E-mail: maria.jabel@enast.hig.hidro.cu

### INFORME FINAL DE RESULTADOS DE ENSAYO

Código: RT0507

Número de trabajo: 163

Cliente: ECOI No. 16

Contrato: 09/16

Dirección: Calle Leyte Vidal No. 720

Fecha de recepción: 30/3/16

Fecha de elaboración: 12/4/16

Cantidad de muestras: 6

#### IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

M	Identificación
1485	Universidad Oscar lucero M-1
1486	Universidad Oscar lucero M-2
1487	Universidad Oscar lucero M-3
1488	Universidad Oscar lucero M-4
1489	Universidad Oscar lucero M-5
1490	Universidad Oscar lucero M-6

#### MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Nombre	Documentación que ampara el ensayo	Método
pH	Potencial de hidrógeno	PA01 Procedimiento Analítico para el Ensayo de pH	Método electrométrico
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato	SMWW 4000	Método colorimétrico
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito	SMWW 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Método Colorimétrico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosfato	SMWW 424 D	Método Fosfomolibdico
DQO	Demanda Química de Oxígeno	PA04 Procedimiento Analítico para el Ensayo de DQO	Método acelerado autoclaveando muestras bajo presión con dicromato
O <sub>2</sub> dis	Oxígeno Disuelto	SMWW 4500-O <sub>2</sub> B	Método iodométrico.
ST	Sólidos Totales	SMWW 2540 B	Método de los sólidos totales secados a 103-105 °C
SS	Sólidos Sedimentables	PA13 Procedimiento Analítico para el Ensayo de SS	Método de los sólidos sedimentables
CF	Coliformes Termotolerantes		

- Para el ensayo de pH, la incertidumbre de los resultados es de  $\pm 1$  u.
- Para el ensayo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, la incertidumbre de los resultados es de  $\pm 23$  u.
- Para el ensayo de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, la incertidumbre de los resultados es de  $\pm 10$  u.
- Para el ensayo de DQO, la incertidumbre de los resultados es de  $\pm 3$  u.

Factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95 %.

#### RESULTADOS

M	pH (u), T (°C)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/L	DQO mg/L	O <sub>2</sub> dis mg/L	ST mg/L	SS mL/L	CTT NMP/100 mL
1485	7,03	2	<0,01	0.29	240	0	1317	4	9,0x10 <sup>2</sup>
1486	7,56	1	1,60	0.31	160	0	984	3	1,7x10 <sup>3</sup>
1487	7,70	2	0,78	0.31	144	0	1214	3	1,7x10 <sup>3</sup>
1488	7,79	1	<0,01	0.34	128	0	1118	2	3,3x10 <sup>2</sup>
1489	6,66	1	<0,01	0.27	160	0	1094	3	9,0x10 <sup>2</sup>
1490	7,83	22	0,06	0.24	112	0	991	1	8

Se prohíbe la reproducción total o parcial del informe, sin la aprobación escrita del Director de la UEB de Holguín que lo emite.

Página 1 de 2



Empresa Nacional de Análisis  
y Servicios Técnicos

Carretera Vía a Bayamo KM 2 1/2 Holguín, Cuba. Teléf.: 024-465907 E-mail: maria.isabel@enast.hig.hidro.cu

## INFORME FINAL DE RESULTADOS DE ENSAYO

Código: RT0507

### BIBLIOGRAFÍA

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, SMWW 1998, 20<sup>th</sup> Ed.

Elaborado por: Lic. Yailen Mendoza Álvarez  
Especialista Principal

Aprobado por: Iliana Rodríguez Marín  
Directora de UEB Holguín



### Fin del Informe Final de Resultados de Ensayos

NOTA 1: Los resultados que contiene este informe sólo están relacionados con los ítems ensayados.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del informe, sin la aprobación escrita del Director de la UEB de Holguín que lo emite.

Página 2 de 2