UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TRABAJO DE DIPLOMA

Tema: Software para el diseño de unidades de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades

Autor: Anisleydis B. Pérez Hechavrría

Tutor:

MSc. Ing. Fernando Álvarez Vega

Junio/2019

Pensamiento

La diferencia entre ganar y perder es a menudo no rendirse.

Walt Disney

Dedicatoria

A mis ángeles Daysi y Doris que me acompañan y me guían desde las estrellas. Aquí está su sueño hecho realidad…. Esto es por ustedes que serán siempre más que tía y abuela mis madres y mis guías. En una sola palabra GRACIAS.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por no abandonarme en los momentos difíciles y permitirme tener este tren maravilloso que es la vida.

A mi esposo porque sin el mi vida no fuese perfecta. Gracias por creer en mi aun cuando ni yo creía.

A mi Papin por ser hermano, amigo y protector y apoyarme en cada paso de mi viaje por la vida. Gracias por ser el mejor del mundo.

A mis padres por darme la vida y exigir cada día más de mí.

A mi tutor Fernando que sin saberlo me ha permitido realizar un sueño hermoso y me ha acompañado cada minuto de este trabajo.

A mi tutor y amigo Eduardo, por dedicarme su tiempo y paciencia, por enseñarme las habilidades y proporcionarme las herramientas necesarias para la realización este trabajo.

A todos mis compañeros de clase gracias por permitirme realizar este maravilloso viaje junto a ustedes.

A mis ovejas Eva, Mayvi y Yailen por ser más que compañeras, amigas y montarse en mi tren para nunca más bajar.

A mis queridos ovejos Merencio (el habanero), Yoel, Pedro y Ariel, muchas gracias por déjame ser parte de su rebaño aun cuando llegué tarde. Para ove Pedro un agradecimiento especial por cada momento dedicado, por tenerme paciencia y soportarme, y sobre todas las cosas por nunca decime que no.

A todos los que me han acompañado en esta aventura, a los que se bajaron en otra estación y a los que continúan en este viaje...

Muchas gracias

Resumen

En la actualidad el desarrollo de herramientas informáticas a partir de software ha ganado protagonismo a nivel mundial, facilitando el trabajo de diseño mediante modelos computacionales avanzados, nuestro país cuenta aún con un gran déficit de este tipo de programas para el dimensionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, generando necesidades de avances tecnológicos y de precisión. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo es confeccionar un software que permita diseñar unidades de procesos de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades. Para la confección del mismo se utilizó el lenguaje de programación C++ y la framework Qt, las que fueron herramientas indispensables para la realización del mismo. Tras el análisis realizado de las bibliografías existentes se escogieron siete unidades de procesos: dos para el pretratamiento, dos para el tratamiento primario y cinco para el tratamiento secundario. Como resultado del trabajo realizado se obtuvo el software DUPTAR (capaz de diseñar las siete unidades de procesos escogidas), el cual cuenta con características de fácil uso, con una interface amigable y agradable, lo que le permite al usuario una óptima comprensión de los resultados que nos brinda el programa.

Abstract

Currently the development of software tools has gained prominence worldwide, facilitating the design work through advanced computer models, our country still has a large deficit of this type of software for the sizing of waste treatment systems wastewater, generating needs for technological advances and precision. Therefore, the objective of this work is to create software that allows the design of wastewater treatment process units for small communities. The C ++ programming language and the Qt framework were used to create it, which were indispensable tools for its realization. After the analysis of the existing bibliographies, seven units of processes were chosen: two for the pre-treatment, two for the primary treatment and five for the secondary treatment. As a result of the work carried out, the DUPTAR software (capable of designing the seven units of selected processes) was obtained, which has user-friendly features, with a friendly and pleasant interface, which allows the user an optimal understanding of the results that the program offers us.

Índice

Resumen
Introducción……. 1
CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA…… 7
1.1 Generalidades de las aguas residuales…….. 7
1.1.1 Aguas Residuales……. 8
1.1.2 Clasificación de las aguas residuales…… 9
1.1.3 Características de las aguas residuales…… 11
1.1.4 Principales contaminantes y parámetros de caracterización……. 12
1.1.5 Caudales de aguas residuales…… 13
1.1.6 Marco Normativo…… 15
1.2 Tratamiento y evacuación de aguas residuales……. 16
1.2.1 Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades…… 18
1.2.2 Tecnologías de tratamiento aplicados a pequeños núcleos de población…….. 20
1.2.3 Tecnologías de tratamiento más utilizadas en Cuba…… 22
1.3 Uso de la computación en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales…… 23
1.3.1 Que es un Software…… 23
1.3.2 Utilización de software en el diseño y modelación de plantas de tratamiento de aguas residuales……... 24
1.3.3 Programación en C++…… 26
CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA…… 28
2.1 Pretratamiento…….. 28
2.2.1 Cámara de rejas de limpieza manual…….. 28
2.2.2 Desarenador Rectangular de Flujo Horizontal…… 31
2.2 Tratamiento Primario……... 34
2.2.1 Tanque Séptico…… 34
2.2.2 Laguna Anaerobia…….. 37
2.3 Tratamiento Secundario…… 39
2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente…….. 39
2.3.2 Infiltración al Terreno…….. 41
2.3.3 Pozos de Infiltración…… 41
2.3.4 Zanjas de Infiltración…….. 42
2.3.5 Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal…… 44
2.3.6 Laguna Facultativa…….. 46
CAPITULO 3. Manual de Usuario…….. 49
3.1 Como utilizar el software……..... 49
3.2 Procedimientos generales…….. 51
3.3 Pretratamiento…….. 52
3.4 Tratamiento Primario……... 54
3.5 Tratamiento Secundario…… 55
3.6 Ejemplo…….. 57

Conclusiones…… 58
Recomendaciones…… 59
Bibliografía…… 60

Índice de Figuras

Fig.1 Una de las bocas de la Cloaca Máxima de Roma…… 8
Fig.2 Clasificación general de las aguas residuales, según su origen…… 9
Fig.3 Cámara de Rejas……... 31
Fig.4 Desarenadores rectangulares de flujo horizontal……..... 33
Fig.5 Vertedor SUTRO……... 34
Fig.6 Tanque Séptico…….. 37
Fig.7 HFSSH…… 45
Fig.8 DUPTAR…….. 49
Fig.9 Ventana Principal…….. 49
Fig.10 Acerca de DUPTAR…….. 50
Fig.11 Cuadro explicativo…… 50
Fig.12 Cuadro informativo…… 51
Fig.13 Cuadro descriptivo…… 52
Fig.14 Cámara de Rejas…….. 52
Fig.15 Desarenador…….. 53
Fig.16 Vertedor SUTRO…… 53
Fig.17 Tanque Séptico…….. 54
Fig.18 Laguna Anaerobia…… 54
Fig.19 Filtro Anaerobio…….. 55
Fig.20 Pozo de Infiltración…… 55
Fig.21 Zanja de Infiltración…….. 56
Fig.22 HFSSH…… 56
Fig.23 Laguna Facultativa…….. 57
Fig.24 Ejemplo…… 57

Índice de Tablas

Tab.1 Contaminantes importantes de las aguas residuales…… 12
Tab.2 Software para simulación y diseño y de EDAR…….. 25
Tab.3 Esquemas de tratamiento…….. 28
Tab.4 Criterios de Diseño de Cámara de Rejas …….. 29
Tab.5 Criterios de diseño Desarenadores rectangulares de flujo horizontal… 32
Tab.6 Criterios de diseño del Tanque Séptico……... 35
Tab.7 Tasa de contribución de lodo fresco……..... 36
Tab.8 Tasa de acumulación de lodo, según la temperatura ambiente (día).... 36
Tab.9 Criterios de Diseño de la Laguna Anaerobia…….. 37
Tab.10 Criterios de Diseño del Filtro anaerobio de flujo ascendente…….. 40
Tab.11 Tiempo de retención en función de la temperatura…….. 40

Tab.12 Criterios de Diseño de Pozos de infiltración…….. 42
Tab.13 Criterios de Diseño de Zanjas de infiltración……. 43
Tab.14 Criterios de Diseño Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal HFSSH…… 44
Tab.15 Conductividad hidráulica darciana K_D ……..... 44
Tab.16 Criterios de Diseño de la Laguna Facultativa……. 46

Introducción

Desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse tanto de las excretas como de los restos de alimentación. Durante las últimas décadas, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial. **(Espigares García y Pérez López, 1985)**

Las masas receptoras, es decir, ríos y corrientes subterráneas, lagos, estuarios y el mar, en la mayoría de las ocasiones, especialmente en las zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, para absorber y neutralizar la carga polucional que tales residuos imponen. De esta forma, han venido perdiendo sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responde al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar nuestras masas hídricas. Como consecuencia de esto, en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o aún como fuentes de energía.

Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves.

Es evidente que la polución está disminuyendo la calidad del agua en muchas partes del mundo. Con este progresivo deterioro, el uso de técnicas y modelos para predecir la conducta de los organismos indicadores de la calidad del agua, ha llegado a ser cada vez más importante. **(Guevara Vega, 1996)**

En la mayoría de las naciones, los programas de control de la contaminación, se han iniciado restringiendo las descargas, estableciendo limitaciones para determinados

compuestos químicos y parámetros, y se han identificado algunos productos químicos tóxicos en las aguas residuales, para los que se han fijado límites de vertido.

Es por esto que las aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado según su composición, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, hasta evitar que se provoquen los problemas enunciados de polución y de contaminación de las aguas receptoras.

La eliminación de las aguas residuales no es el único problema a considerar, ya que, al ser el agua un bien escaso, que cada día se necesita en mayores cantidades, es cada vez más imprescindible la reutilización de los recursos hídricos disponibles para poder satisfacer las necesidades humanas.

Generalmente, es en los pequeños núcleos de población en donde se localizan las mayores carencias relacionadas con la gestión de las aguas, debido principalmente a su particularidad de zona sensible, su localización descentralizada, la limitación de sus recursos económicos y en determinadas situaciones de no disponer de personal especializado. Todo esto propicia el escaso control de la calidad de los efluentes y la consecuente contaminación de los mismos debido a vertidos a medios receptores de aguas residuales sin tratar o procedentes de plantas de tratamientos de aguas residuales que operan incorrectamente, o simplemente no funcionan. **(Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Colectivo de Autores (CA, 2006))**

No existe una definición que delimite el número concreto de habitantes por debajo del cual una población se puede considerar pequeña. Sin embargo, en la Unión Europea cuando se habla de pequeñas aglomeraciones urbanas se suele hacer referencia a aquellas con una población inferior a los 2.000 habitantes equivalentes (h-e). Por otra parte, en el congreso sobre depuración en pequeñas poblaciones de Abril de 2010, de la International Water Association (IWA), se empleó también el límite de 2.000 h-e para hacer referencia a este tipo de poblaciones. **(Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Canarias 2010)**

Heykel Hernández Hernández, Ingeniero Químico y Especialista Ambiental del Instituto de Geografía Tropical de La Habana en su artículo (Tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en una comunidad costera de Ciudad de La Habana) hace mención a las pequeñas comunidades en un rango de 2000-5000 h-e.

En consonancia con lo anterior el presente trabajo se ha orientado a las aglomeraciones urbanas en el rango de hasta 5000 h-e, quedando fuera del estudio las viviendas aisladas o poblaciones dispersas, que no dispongan de sistemas colectores para las aguas residuales urbanas y que no constituyen, por tanto, una aglomeración.

Sin embargo, ningún programa de control tendría éxito si no se cuenta con los recursos financieros, técnicos, intelectuales y tecnológicos; para su diseño, implementación, operación y mantenimiento.

Aquí es donde la tecnología toma su importancia en cada aspecto personal y laboral, constituyendo herramientas que facilitan y agilitan nuestro día a día. Si a esto le sumamos el desarrollo acelerado de la tecnología con lo cual se vuelve casi imprescindible el uso de las mismas para mantenernos al nivel competitivo global, se vuelve inminente e indispensable el desarrollo de estas tecnologías acorde a nuestras propias necesidades. **(SUÁREZ VILLALVA 2014)**

Entre tan variados tipos de tecnologías una de gran importancia y que es básicamente la que da vida a todas las demás es el “Software”, que son conjuntos de instrucciones lógicas que nos permiten interactuar con equipos y así mismo nos ayudan a organizar y procesar datos, este procesamiento de datos puede ser utilizado ayudándonos en al desarrollo y diseño de diferentes sistemas que se ven en el campo laboral por lo cual constituyen la principal herramienta de trabajo para los que trabajamos con datos como la base para la toma de decisiones**. (SUÁREZ VILLALVA 2014)**

Se presenta a continuación la metodología de la investigación científica a desarrollar en el presente trabajo.

Metodología de la investigación del tema.

Tema: Software para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.

Planteamiento del problema científico

Situación problemática:

Hoy día no se concibe el mundo moderno sin el uso de las técnicas de la informática y las comunicaciones, siendo esta una de las ciencias que más ha avanzado en los últimos 50 años.

La industria del software ha desarrollado programas de computación de uso general como por ejemplo el Microsoft Office y otros que son de uso profesional y que se utilizan con fines más específicos, como el Auto CAD.

Los programas de computación son resultado del intelecto humano y como tal son productos con un elevado costo en el mercado.

En nuestro país, aunque no es común diseñar grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, lo cual quizás no justifica la creación o compra de un software sofisticado para su diseño; si se diseñan con frecuencia sistemas de tratamiento de aguas residuales para dar servicio a pequeñas poblaciones o grandes instituciones como escuelas, instituciones de salud, hoteles, etc. que se encuentren en lugares donde no existan sistemas de alcantarillado.

Para tales casos, se han encontrado en nuestro ámbito algunos programas de computación que además de no ser muy divulgados, no permiten diseñar todas las etapas de un sistema de tratamiento. En tal sentido nuestros proyectistas se las ingenian y realizan programaciones en Excel para agilizar los cálculos y poder efectuar algún análisis de variantes.

Por todo lo anterior, resulta de gran interés**,** proponer medios de programación para realizar todos los cálculos y simulaciones que se requieran, en función de optimizar el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, como herramienta de trabajo del proyectista.

Problema de investigación:

¿Son los programas de computación una opción viable para contribuir a agilizar los cálculos y alcanzar resultados de mayor calidad en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades?

Objeto de investigación:

El tratamiento de las aguas residuales en pequeñas comunidades.

Objetivo General:

Confeccionar un programa de computación que permita realizar el diseño de las unidades de proceso para el tratamiento de las aguas residuales generadas en pequeñas comunidades.

El Campo de acción:

La utilización de software en el diseño de unidades de tratamiento de aguas residuales.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado del arte concerniente a las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades y el uso de programas de computación para el diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.
2. Definir las tecnologías a utilizar en el tratamiento de las aguas residuales de pequeñas comunidades y establecer los procedimientos para el diseño de unidades de procesos.
3. Elaborar un manual de usuario para la utilización del software confeccionado.

Hipótesis de investigación

La confección de un programa de computación para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, permitirá agilizar los cálculos, obtener resultados con mayor calidad y conseguir realizar varios proyectos para los análisis variantes.

Tareas de investigación

1. Revisar la bibliografía técnica sobre el tema objeto de estudio.
2. Sintetizar la información revisada a partir de los objetivos de la investigación.
3. Decidir los procesos de tratamiento que serán programados.
4. Establecer los criterios y ecuaciones de diseño para los procesos a programar.
5. Describir los procedimientos de diseño de los procesos a programar.
6. Establecer algoritmo de programación para cada unidad de proceso.
7. Programar las unidades de proceso.
8. Crear una guía de utilización del programa de computación.
9. Generar ejemplos prácticos para explicar el procedimiento de uso del software.
10. Conclusiones y recomendaciones.
11. Escribir la monografía de la tesis.

CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. 1 Generalidades de las aguas residuales

Según **(BRIGAND, 2008)** el termino agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

El manejo inadecuado de las aguas residuales tiene consecuencias en la salud pública y en los ecosistemas, la práctica de colectar y tratar las aguas residuales antes de su disposición es relativamente reciente. Se han encontrado restos de alcantarillas sanitarias en las ruinas de las ciudades prehistóricas de Creta (la isla más grande de Grecia) y en las antiguas ciudades de Asiria (está situado en el suroeste asiático). Roma también las tuvo; sin embargo, se sabe que no se usaban para el transporte de aguas residuales. El sistema de drenaje de Roma no se usaba para disposición de desechos y más tarde también se evitó descargarlos en los sistemas de alcantarillado de Londres, París y Boston hasta bien entrado el siglo XIX.

Durante un tiempo no se permitía la descarga de desechos en los sistemas de alcantarillado, los residentes de las ciudades colocaban la “suciedad nocturna” en cubetas a lo largo de las calles, que algunos trabajadores vaciaban en depósitos y eran transportados por carretas hacia áreas rurales, para su disposición en terrenos agrícolas. La invención del retrete en el siglo XIX cambió drásticamente las prácticas de disposición de los desechos. El transporte de los desechos urbanos para su disposición en terrenos agrícolas no podía manejar el volumen tan grande de líquido que se incrementaba paulatinamente con el uso de los retretes. Como solución al problema, las ciudades comenzaron a usar los sistemas naturales de drenaje y los alcantarillados pluviales para conducir las aguas residuales. **(BRIGAND, 2008).** Ver figura 1.1.

A finales del siglo XIX y principios del XX se probaron varios procesos de tratamiento; alrededor de 1920, el tratamiento de las aguas residuales había evolucionado hasta llegar a los procesos que hoy se usan comúnmente. Sin

embargo, el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales se hizo empíricamente hasta mediados del siglo XX. A partir de 1960 se tuvieron avances importantes en el conocimiento del tratamiento de aguas residuales, y se formularon y cuantificaron los procesos originales. Pero la ciencia del tratamiento de aguas residuales no es estática; actualmente se desarrollan proceso avanzados con los cuales se puede producir agua potable a partir de las aguas residuales domésticas.

Figura 1. Una de las bocas de la Cloaca Máxima de Roma

Los problemas asociados al reúso de las aguas residuales, sin duda, serán un reto para la creatividad de los ingenieros en los años por venir.

1.1.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo.

Las aguas residuales urbanas “crudas” o no tratadas, tienen muchos componentes indeseables, algunos de los cuales, reducen el contenido de oxígeno, cuando se descargan en otros cuerpos de agua, mientras que algunas más, favorecen el crecimiento de ciertos microorganismos, como las algas. **(De Azevedo, 1976).**

Estos compuestos indeseables, están formados tanto por materia orgánica, como inorgánica, así como por material soluble e insoluble. Es, por tanto, muy importante, realizar la caracterización de las aguas residuales, antes de que se haga la selección y diseño del proceso para tratarlas **(Hernández, 2000).**

1.1.2. Clasificación de las aguas residuales

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales no son más que la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a las que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Ver en la figura 1.2, un esquema general según su origen.

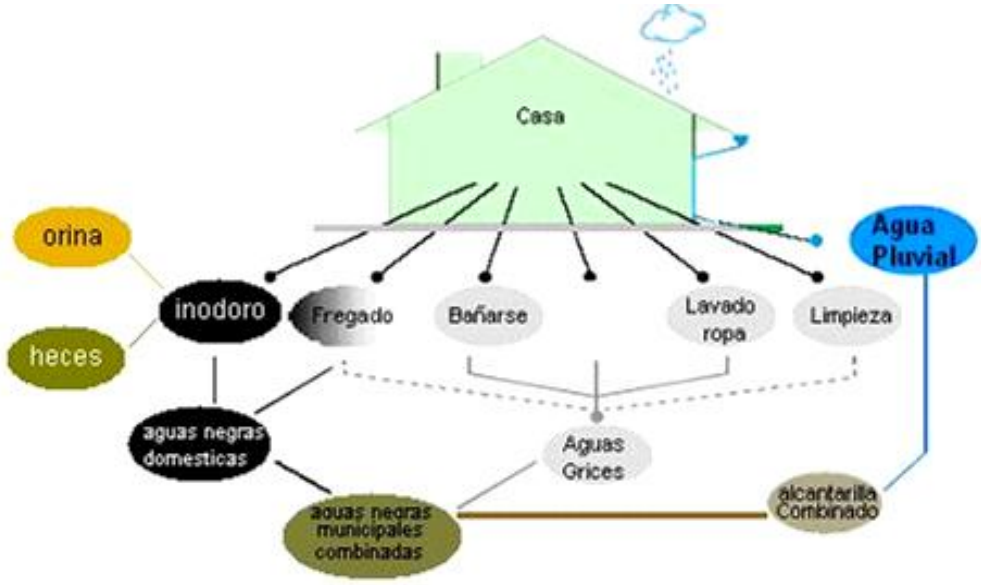

Figura 2. Clasificación general de las aguas residuales, según su origen.

La clasificación general de las aguas residuales:

Aguas negras domésticas: se consideran como tales aquellas que provienen de núcleos urbanos y que contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.). **(Forero, 1985)**

Residuos líquidos industriales: son por su naturaleza y magnitud, las que mayores afectaciones provocan al medio y que generalmente, cuando la racionalidad en el uso del agua de proceso no está presente, provocan incrementos innecesarios en los costos de producción. Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales, y cada industria debe estudiarse individualmente, aplicando los conceptos de calidad total en todo el ciclo de vida de sus producciones, para ser consecuentes con el progreso social. **(Forero, 1985)**

Aguas negras municipales (albañales): se originan de las aguas negras domésticas más los residuos líquidos industriales.

Aguas negras municipales combinadas: se originan de los albañales municipales más las aguas pluviales.

También se pueden clasificar según su composición en:

- Aguas residuales orgánicas.
- Aguas residuales inorgánicas.
- Aguas residuales mezcladas.

Entre las principales causas del origen de la contaminación de las aguas en Cuba se identifican:

- Estado deficiente de las redes de alcantarillado y su carácter parcial en la mayoría de los casos.
- Insuficiente cobertura de tratamiento de residuales.
- Elevado déficit de mantenimiento y atención a la operación de los sistemas de tratamiento existentes.
- Obsolescencia tecnológica y baja disciplina tecnológica.
- Incumplimiento de la normatividad y la legislación ambiental vigente.

- Insuficiente utilización de prácticas de producción más limpia y aprovechamiento económico de residuales.
- Insuficiente ejecución de programas de monitoreo y caracterización de residuales. **(J., C, 1986).**

1.1.3. Características de las aguas residuales

Características de las aguas residuales urbanas

Las fuentes de contaminación urbanas son aquellas en las que predomina el desarrollo de actividades de carácter doméstico. Se caracteriza por el gran número de fuentes existentes y los elevados volúmenes de aguas residuales que son generados como resultado de la actividad municipal. Una de las características más importantes de esta contaminación es su alta concentración de gérmenes patógenos, lo cual constituye una de las principales vías de transmisión de enfermedades. Algunas de las principales fuentes de contaminantes incluyen: asentamientos poblacionales, hoteles, escuelas y otras instalaciones sociales y de los servicios. [Http: //www.lacasadecoko.org/depuracion_agua.htm.].

El empleo del agua potable en los hogares genera agua servida. Parte de los residuos propios de la actividad humana son materia que consume o demanda oxígeno por oxidación de ésta, como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos, según **(Calderón, 2004).**

Estas aguas se vierten en los sistemas de alcantarillado que las conducen, en la inmensa mayoría, a los cuerpos de agua, como mar, lagos y ríos, produciendo por lo tanto la contaminación de estas aguas naturales. **(Calderón, 2004).**

Las aguas residuales producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen, y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar su contenido. La capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de

residuos a ella no tiene freno en el momento actual. Es decir, el volumen de aguas residuales depuradas no alcanza en ningún punto el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de nuestros ríos.

Para caracterizar estos residuos, se utiliza una serie de parámetros analíticos que determinan su calidad física, química y biológica. Estos parámetros son la turbidez, los sólidos suspendidos, el total de sólidos disueltos, la acidez y el oxígeno disuelto. La demanda bioquímica de oxígeno que requieren los microorganismos para vivir, junto con la presencia de materia orgánica que les sirve de nutrientes, se emplea como medida de la cantidad de residuos que existen en el agua con carácter de nutrientes. **(Col, 1987).**

1.1.4. Principales contaminantes y parámetros de caracterización

Seguidamente se muestran los parámetros más importantes en la composición de las aguas residuales urbanas, según la literatura. **(Allende, 2000); (Muñoz, 1992).**

En las aguas residuales conocidas también como aguas urbanas existen una gran cantidad de compuestos, físicos, químicos y biológicos, sin embargo, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos, son los más importantes y para ello las plantas de tratamiento deben ser diseñadas para su remoción. Los diversos tipos de aguas residuales reciben nombres descriptivos según su procedencia, siendo una de sus características típicas la presencia de sustancias consumidoras de oxígeno en comparación con el agua, por ejemplo, de un río. Ver tabla 1.1. **(A., M.A.V, 2009).**

Tabla 1. Contaminantes importantes de las aguas residuales

Contaminantes	Fuente	Importancia ambiental
Solidos Suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua filtrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos	Causan enfermedades transmisibles

Nutrientes	Desechos domésticos industriales	Pueden causar eutrofización
Compuestos orgánicos refractarios	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente
Solidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el Suministro de agua.	Pueden interferir con el rehúso del efluente.

1.1.5. Caudales de aguas residuales

Para realizar un buen diseño de un sistema de tratamiento, deben ser conocidos los caudales de aguas residuales y las concentraciones de los contaminantes. Ambos determinan las cargas contaminantes. La concentración de los contaminantes de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. En general se analiza el pH, la conductividad eléctrica, la materia en suspensión, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los nutrientes (nitrógeno y fósforo), y en algunos casos los microorganismos indicadores de contaminación fecal si se va a reutilizar el efluente depurado.

Si ya existen alcantarillados debe medirse el caudal y debe determinarse la concentración de las aguas residuales mediante análisis de laboratorio de muestras tomadas del agua por tratar.

En los casos en que no es posible medir directamente los caudales de aguas residuales y no se dispone de series históricas de las mismas o porque no existe alcantarillado, los datos sobre el abastecimiento de agua a la comunidad pueden resultar de gran ayuda para estimar los caudales de aguas residuales, considerándose que en redes de saneamiento sin infiltraciones de consideración los volúmenes de aguas negras están entre el 75 y 85% de los volúmenes de aguas distribuidos.

La capacidad de la planta de tratamiento suele calcularse para el caudal promedio diario **(NC1239 – 2018**). No obstante, por razones prácticas las plantas deben ser proyectadas teniendo en cuenta que deben hacer frente a condiciones de trabajo que

vienen dictadas por los caudales, las características de las aguas residuales y la combinación de ambos (carga contaminante).

El número de habitantes es de vital importancia ya que este no es la cifra de habitantes del sitio en cuestión, sino la cifra vinculada al alcantarillado, por tanto, hay que considerar su cifra actual y crecimiento futuro, calculados al menos para 12 años y la población flotante hacia el área de proyecto. La población de diseño (Pd) se calcula según la ecuación siguiente:

$$P_d = P_a * (1 + i)$$

Dónde:

P_a= es la población actual

i= tasa de crecimiento previsto

n= el número de años considerados

Se deberán determinar los diferentes caudales (máximo, medio y mínimo) para el dimensionamiento o verificación del funcionamiento de las unidades de tratamiento, según sus características.

- Caudal medio: $\boldsymbol{Qm} = \frac{P*D}{24*10^3} Cr$ (m^3/h)
- Caudal máximo: $\boldsymbol{Qp} = Qm * \left[1 + \frac{14}{4+\sqrt{P}}\right]$ (m^3/h)
- Caudal mínimo: $\boldsymbol{Qmin} = Qm * 0{,}4$ (m^3/h) Suele ocurrir entre las 2 y las 6 de la madrugada, se suele aplicar un coeficiente de 0,4 respecto al caudal medio.

Dónde:

Qm =Caudal medio (m^3/h)

Qp = Caudal punta (m^3/h)

Qmin = Caudal mínimo (m^3/h)

P = Población Futura

Dot= dotación (L/hab.día), que se determina según la NC-93:2013.

Cr: es el coeficiente de retorno, según las zonas se considera entre 70 – 85%

Los parámetros contaminantes (PC) de las aguas residuales domésticas (DBO_5, SST) se pueden determinar por:

$$PC = \frac{Perc.PC * P}{Q} \qquad PC = \frac{Perc.PC * 1000}{Dot * r} \qquad \text{(mg /L)}$$

Las cargas que se utilizan para el dimensionamiento de los dispositivos de tratamiento son:

Carga hidráulica: que no es más que la velocidad de paso de un volumen de agua en una unidad de área o superficie de contacto.

$$\boldsymbol{Cs} = \frac{Q}{A} \quad (m^3/m^2.d)$$

A= área o superficie de contacto, (m^2)

Q= caudal de agua residual, (m^3 /d)

Carga orgánica: se expresa por los pesos de las impurezas removidas en un período de tiempo, relacionada con el volumen o superficie de contacto.

$$\boldsymbol{Co} = \frac{Q * S_0}{V} \qquad (kgDBO/m^3.d)$$

So= DBO_5 del agua residual, (mg/L)

V= volumen del reactor, (m^3)

1.1.6 Marco normativo

La gestión integrada de las aguas terrestres, recurso natural renovable y limitado, requiere de una eficaz planificación, dirigida a satisfacer el interés general de la sociedad, la economía, la salud y el medio ambiente, con el fin de garantizar su preservación en armonía con el desarrollo económico y social sostenible y la adopción de medidas ante los eventos derivados del cambio climático.

Para poder proporcionar este servicio, se necesitan infraestructuras e instalaciones que han de construirse, mantenerse y operarse dentro de un marco ambiental y normativo. Entre los que se encuentran:

1. **La Política Nacional del Agua:** Aprobada en diciembre del 2012, da respuesta al proceso de implementación de los Lineamientos de la Política

Económica y Social del Partido y la Revolución. En esta se plantean 4 prioridades y 22 principios que, de manera general, establecen la gestión de riesgos asociados a la calidad del agua, la regulación de los vertidos, el uso eficiente de la infraestructura y la necesidad del reúso de las aguas residuales.

2. **Ley No. 124/2017, de las aguas terrestres:** que regula la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres. Esta, en el TÍTULO XIII, Capítulo III y IV, establece todo lo relacionado con la protección de las aguas terrestres. Aquí se regula el manejo y control del vertimiento de las aguas residuales y su reutilización.
3. **Lay 181 de Medio Ambiente.**
4. **NC 27: 2012, Vertimiento de las aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones.** Establece los Límites Máximos Permisibles de las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores y al alcantarillado público.
5. **NC 521: 2007, Vertimiento de Aguas Residuales a la Zona Costera y Aguas Marinas — especificaciones.** Establece los Límites Máximos Permisibles para las Descargas de Aguas Residuales a la Zona Costera y a los Cuerpos Receptores Marinos.

1.2. Tratamiento y evacuación de aguas residuales

Una **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (P.T.A.R.)**, es la unidad o conjunto de unidades destinadas a mejorar la calidad del agua de tal forma que produzcan en los cuerpos receptores, efectos compatibles con las exigencias legales y/o con la utilización aguas abajo de la población.

La solución más extendida para el control de la polución por aguas residuales, es tratarlas en plantas donde se hace la mayor parte del proceso de separación de los contaminantes, dejando una pequeña parte que completará la naturaleza en el cuerpo receptor. Para ello, el nivel de tratamiento requerido está en función de la capacidad de autopurificación natural del cuerpo receptor. Por lo tanto, el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y

un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reutilización.

Sobre los tratamientos para lograr reducir los contaminantes de las aguas residuales la literatura especializada en tecnologías **(Degremont, 1979); (Germain, 1982); (Metcalfddy, 1985); (Vernaldo, 2000)** coinciden en que se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos, los cuales pueden ponerse en juego por separados o conjuntamente.

El efluente final puede ser descargado o reintroducido de nuevo en una masa de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Procesos de tratamiento:

Físicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas, dentro de los cuales se encuentran: el cribado y desmenuzado, desarenado, mezclado, sedimentación, flotación y filtración**. (García, 2001).**

Químicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales la disminución o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por las reacciones químicas como: la precipitación, transferencia de gases, absorción, neutralización, reacciones de oxidación reducción, intercambio iónico y la desinfección. **(García, 2001).**

Biológicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por medio de la actividad biológica. Este tipo de tratamiento es usado para eliminar las sustancias biodegradables del agua residual. Los más comunes son: los filtros rociadores, lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aireadas (Se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones.) y zanjas de oxidación. **García, 2001).**

Fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas constan de tres elementos principales:

- Recogida y conducción de las aguas generadas hasta la estación de tratamiento.
- Tratamiento de las aguas residuales.
- Evacuación de los productos resultantes del tratamiento, efluentes depurados y lodos.

1.2.1. Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades

Pequeñas comunidades, características

En la actualidad, son las pequeñas aglomeraciones las que presentan más carencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. Por ello, es en este tipo de población rural y dispersa donde deberá hacerse, en un futuro próximo, un gran esfuerzo para corregir sus carencias en saneamiento y depuración.

Hasta ahora, y con mayor frecuencia de lo deseado, las estaciones depuradoras para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, han sido concebidas y diseñadas como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, estas estaciones presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles por las entidades responsables, donde, en la mayoría de los casos, los recursos técnicos y económicos son muy limitados. **(García, 2006).**

En la mayoría de los casos, se tiende a agrupar varios núcleos cercanos en un solo punto de vertido, constituyendo una única aglomeración urbana. De esta forma, se reparten los costes asociados a la depuración entre las distintas entidades que constituyen la aglomeración.

En su definición deben tenerse en consideración no sólo aspectos económicos sino también medioambientales y sociales. A continuación, se aportan algunas recomendaciones al respecto.

- Factores medioambientales

Cada masa de agua ha de tener unos objetivos medioambientales definidos en los planes de cuenca. Dichos objetivos medioambientales deben abarcar no sólo aspectos cualitativos (calidad físico-química del agua y biológica de los ecosistemas asociados) sino también cuantitativos (mantenimiento de caudales ecológicos). Las características del medio receptor van a influir en la dificultad para alcanzar dichos objetivos y pueden condicionar la definición de la aglomeración. Así, se deben tener en cuenta:

- ✓ **Grado de dilución de los vertidos:** tomando normalmente como referencia el caudal de estiaje y el poder de dilución del medio de receptor.
- ✓ **Factores hidromofológicos:** tienen importancia en el caso de masas de agua en movimiento (ríos, arroyos, etc.). Junto con el grado de dilución, estos factores (pendiente, forma del lecho, etc.) influyen en el poder auto-depurador de la masa de agua receptora.
- ✓ **Nivel de extracción de agua:** condiciona el caudal de dilución y puede ser un factor importante para el mantenimiento de los caudales ecológicos. **(García, 2006).**

- **Factores socioeconómicos**

- ✓ Se deben analizar los costes y medios requeridos por cada una de las posibles soluciones planteadas. Así, se deben considerar:
- ✓ Los costes de construcción y explotación de todas las infraestructuras necesarias (colectores, estaciones de bombeo, depuradoras, transporte y tratamiento de los fangos, etc.)
- ✓ Los medios disponibles para la explotación y mantenimiento de las infraestructuras: la disponibilidad de medios y recursos va a depender del nivel económico de la población, de su grado de concienciación medioambiental. Hay que tener en cuenta las infraestructuras ya existentes en la zona (tanto a nivel material como organizativo). **(García, 2006).**

1.2.2. Tecnologías de tratamiento aplicables a pequeños núcleos de población

En materia de tratamiento de aguas residuales, las pequeñas aglomeraciones precisan actuaciones que compatibilicen las condiciones exigidas a los efluentes depurados con técnicas de funcionamiento sencillas y con costes de explotación y mantenimiento que puedan ser realmente asumidos.

La mayoría de las tecnologías de depuración existentes son también aplicables a las pequeñas aglomeraciones, si bien deben primarse las que mejor se ajusten a los siguientes requisitos.

Procesos que requieran un tiempo mínimo de operador

- Equipos que requieran un mínimo de mantenimiento
- Funcionamiento eficaz ante un amplio rango de caudal y carga
- Gasto mínimo de energía
- Instalaciones donde los posibles fallos de equipos y procesos causen el mínimo deterioro de calidad en el efluente
- Máxima integración en el medio ambiente

Las impurezas presentes en las aguas residuales pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. **(García, 2006).**

La utilización de uno u otro, depende de varios factores tales como:

- La calidad del agua residual a tratar (concentración de contaminantes)
- El tamaño de la población a sanear (volumen de agua a tratar)
- El punto de disposición final y las normativas reguladoras

En las pequeñas aglomeraciones urbanas, las etapas de diseño, construcción y explotación de sus instalaciones de tratamiento, deben ser abordadas con la misma rigurosidad con la que se acometen estas etapas en las aglomeraciones de mayor tamaño. **(García, 2006).**

Clasificación de las tecnologías de tratamiento

Las tecnologías de depuración pueden ser clasificadas en dos grandes bloques: tecnologías intensivas y extensivas. La diferencia entre ambas radica en dos aspectos fundamentales: el empleo de equipos electromecánicos, con la consecuente necesidad de aportar energía eléctrica al sistema, y la superficie requerida para su implantación. A continuación, se enumeran las distintas tecnologías que actualmente se aplican en pequeñas aglomeraciones urbanas:

Pretratamiento. Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda causar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos operaciones y sistemas auxiliares. En el caso de los residuales industriales, el pretratamiento de los constituyentes se realiza en sus fuentes de origen antes de verter a la red de alcantarillado.

En pequeñas comunidades, los pretratamientos más utilizados son las rejas y las cámaras desgrasadoras siendo estas últimas imprescindibles cuando se utilizan lechos bacterianos a los que no les preceden tratamientos primarios.

Tratamiento primario. En estos se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta.

En pequeñas comunidades los tratamientos primarios más utilizados son el tanque séptico, el tanque Imhoff, los sedimentadores. En muchas comunidades se emplean los tratamientos primarios como único método de tratamiento.

Tratamiento secundario convencional. Está encaminado principalmente a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte de él.

En pequeñas comunidades generalmente constituye el proceso final de tratamiento, los más utilizados son, los pozos de infiltración, las zanjas de infiltración, los filtros de arena, los lechos bacterianos, los biodiscos; en estos últimos siempre habrá que ubicar un sistema de decantación o decantación digestión conjunta luego del tratamiento secundario.

1.2.3 Tecnologías de tratamiento más utilizados en Cuba

El tratamiento de aguas residuales domésticas se encuentra lejos de ser satisfactorio en la mayoría de los países de América Latina. Como promedio, solamente 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en esta región son sujetas a cualquier tipo de tratamiento, además, la operación de las plantas de tratamientos existentes es inadecuada.

En Cuba, a partir del triunfo del gobierno revolucionario comenzó a experimentarse un desarrollo sostenido en el mejoramiento sucesivo de las condiciones de vida de las poblaciones que carecían de servicios básicos de agua potable y saneamiento, siendo la premisa fundamental ampliar la infraestructura hidráulico – sanitaria y promover el uso eficiente del agua.

En la actualidad, y así ha quedado expresado en la Política Nacional del Agua, aprobada en diciembre de 2012; el desarrollo de los servicios de agua y saneamiento, el uso racional del agua y las necesidades de rehúso, seguirán siendo una política de gobierno de alta prioridad.

Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos, aún queda mucho por hacer, más de 820 mil fosas y letrinas son inadecuadas. Donde existe alcantarillado, solamente el 31,8% de estas aguas reciben tratamiento de depuración en 10 plantas de residuales y más de 500 lagunas de estabilización en general en mal estado técnico. Esto ha contribuido a un incremento de la carga contaminante que se vierte, lo cual es un mal reflejo de las acciones de solución que se ejecutan.

Es por ello que se requiere del estudio de tecnologías de tratamiento que sean menos costosas y sofisticadas que los sistemas convencionales y que a la vez permitan reducir la contaminación de las fuentes de agua, proteger la salud de los pobladores y evitar el deterioro del medio ambiente.

Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran:

Pretratamiento: cámaras de reja, Desarenado y Desengrasado.

Tratamiento primario: Fosas sépticas, Tanques Imhoff y lagunas anaeróbicas.

Tratamiento secundario: Sistemas de aplicación al suelo (Zanjas Filtrantes, Lechos Filtrantes, Pozos Filtrantes), los humedales artificiales, las lagunas de estabilización y las tecnologías convencionales (filtros percoladores, lodos activados, los biodiscos).

1.3. Uso de la computación en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales

1.3.1. Que es un Software

Se conoce como software al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, en el que se integran grupos de elementos lógicos indispensables que lograr la realización de tareas determinadas.

Los componentes lógicos incluyen, entre otros, las aplicaciones informáticas; tales como procesadores de texto, que facilitan al usuario para llevar a cabo todo tipo de tareas relacionadas a la edición de textos; el llamado software de sistema, conocido como el sistema operativo, que es la base fundamental que faculta al resto de los programas para que funcionen debidamente, favoreciendo de esta manera también el funcionamiento conjunto entre los componentes físicos y el resto de las aplicaciones, y de esta manera proporcionar una interfaz para el usuario.

[http://www.desarrolloweb.com/articulos/499.php]

Software es una palabra proveniente del inglés que en español no posee una traducción adecuada al contexto, por lo cual se la utiliza sin ningún tipo de traducción y así fue registrada por la Real Academia Española. Aunque puede no ser estrictamente lo mismo, suele reemplazarse con palabras afines tales como programas (informáticos) o aplicaciones (informáticas) o soportes lógicos.

Existen muchas descripciones para referirse a lo que es un software, pero posiblemente la más precisa y más adecuada sea:

Es el conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados, que forman parte de las operaciones de un sistema de computación.

En base a esta descripción, la definición de software va por encima de los programas de computación en sus variados tipos: código fuente, binario o ejecutable; también su

documentación, los datos a procesar e incluso la información de usuario forman parte del software: es decir, engloba todo aquello que no se puede tocar, todo lo que no posee un estado físico propio. [http://www.desarrolloweb.com/articulos/499.php]

La pablara software fue usada por primera vez con este significado por John W. Tukey en 1957. En la ingeniería de software y las ciencias de la computación, en la que se describe al software como toda la información procesada por los sistemas informáticos: programas y datos. [http://ingenieriadesoftware.mex.tl/52753_XP-Extreme-Programing.html]

La concepción de leer variadas series de instrucciones (programa) desde la memoria de un dispositivo para controlar los cálculos fue introducido por Charles Babbage como parte de su máquina diferencial. La teoría que forma la base de la mayor parte del software moderno fue propuesta por Alan Turing en su ensayo de 1936, los números computables, con una aplicación al problema de decisión.

1.3.2. Utilización de software en el diseño y modelación de plantas de tratamiento de aguas residuales

El desarrollo de modelaciones computacionales a partir de software ha ganado protagonismo, ya que permite desarrollar virtualmente el flujo a través de obras hidrométricas, y otros procesos complejos, dando la posibilidad de tener una idea real para realizar ensayos físicos, ahorrando así tiempo en diseño, concepción, y materiales a utilizar, logrando además exactitud en los resultados.

Utilizar software especializado para realizar la simulación de los procesos de una planta de tratamiento de agua residual constituye una decisión muy importante. Estas aplicaciones permiten al usuario manejar varias unidades de proceso relacionadas entre sí, permitiéndole probar el comportamiento de estas unidades mediante la modelación de los procesos. **(Gutiérrez, 2016)**

Existen varios tipos de estas aplicaciones que van desde aplicaciones de formación o académicas, hasta herramientas de modelación y simulación. Se encuentran simuladores claramente orientados a ambientes profesionales, que ofrecen documentación completa, incluso cursos de formación. Dentro de estos ambientes en

función de las necesidades y usuarios finales existen dos tipos de simuladores: los de propósito general y los específicos. Los más utilizados son los de propósito general, ya que permiten diseñar el esquema de la planta de tratamiento a modelar. Además, permiten en función de las librerías adquiridas o disponibles, utilizar diferentes modelos para cada proceso planteado en el esquema de tratamiento.

La International Association on Water Quality (IAWQ) en 1982, conformo un grupo de estudio encargado de desarrollar modelos matemáticos que permitieran expresar los diversos procesos biológicos existentes en las plantas de tratamiento. Además de generar un entorno generalizado mediante modelos simples ("Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Activated Sludge Process"). Hasta el momento los modelos más utilizados son los propuestos por la International Water Association (IWA) desde el (ASM1- activated sludge model 1) (Henze et al., 2000), hasta todos los modelos de la serie ASM de 1987,1995, 1999 y el modelo de digestión anaerobia (ADM1-anaerobic digestión model 1). **(Iturrate et al., 2005)**

En la tabla 1.2, se muestran algunos de los software más conocidos en la modelación y diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Tabla 2. Software para simulación y diseño y de EDAR

Software	Creador	Origen
ASIM	EAWAG	Suiza
DESASS	Calagua Group-UPV	España
BIOWIN	Envirosim Associates L.d	Canadá
EFOR	DHI.Inc	Dinamarca
GPS-X	Hydromantis Inc.	Canadá
SIMBA	IFAK-System Gmbh	Alemania
STOAT	WRc Group	Reino Unido
WEST	Hemmin N.V	Bélgica
EDAR 1.0	CEIT-Cadagua	España
AQUASIM	EAWAG	suiza

(Sánchez Ramírez & Cols, 2015)

Hasta el momento estas aplicaciones se han utilizado en diversos entornos con resultados satisfactorios. La principal característica de las aplicaciones mencionadas es el fácil manejo, lo cual permite observar por parte del personal técnico las

consecuencias de modificar los criterios de operación en plantas existentes. **(Dold et al., 1980)**

En Cuba, no es común diseñar grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, lo cual no justifica la creación o compra de un software sofisticado para el diseño de las mismas; si se diseñan sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones o grandes instituciones, que se encuentren en lugares donde no existan sistemas de alcantarillado.

Para tales casos, se han encontrado algunos programas de computación que además de no ser muy divulgados, no permiten diseñar todas las etapas de un sistema de tratamiento. En este sentido los proyectistas se las ingenian y realizan programaciones en Excel para agilizar los cálculos y poder efectuar algún análisis de variantes. Este último se ha convertido en la herramienta principal de trabajo dentro de la rama tecnológica, lo que demuestra el déficit que aún existe en el país en el desarrollo de tecnologías y de programas tipo software.

1.3.3. Programación en C++

Históricamente, C++ fue diseñado por Bjarne Stroustrup en 1979 con el objetivo de añadir soporte a «*programación orientada a objetos*» al Lenguaje C. Este objetivo se logró, y el lenguaje tomó mucha popularidad. Hoy en día, C++ es el tercer lenguaje de programación más utilizado del mundo, luego de Java y C, según el índice TIOBE. (**TIOBE - The Software Quality Company)**

Hablamos de uno de los lenguajes de programación más populares del mundo, famoso por su soporte a orientación a objetos. Es una poderosa herramienta profesional para hacer todo tipo de software.

Un lenguaje de programación es una especificación sobre cómo han de ser escritos los programas. De algún modo, hay dos aspectos en todo lenguaje de programación:

- Hacía el programador, un lenguaje es un conjunto de posibles construcciones. C++, por ejemplo, soporta «*orientación a objetos*», «*programación genérica*», algunos elementos de «*programación funcional*», y naturalmente «*programación estructurada*» así como «*programación modular*» entre otras.

C++ consiste, por tanto, en esas posibles construcciones, visto desde el punto de vista del programador.

- Hacía el hardware, un lenguaje de programación es una disposición en memoria de instrucciones y datos. Los datos en particular son bastante complejos. Se organizan en áreas como STACK, HEAP, DICTIONARY, FREE MEMORY, y otras según el lenguaje en particular. Además, se especifican otros detalles estructurales, como la forma exacta en que funcionan los objetos y las clases, por poner un ejemplo de C++.

El framework Qt vio la luz pública en el año 1995. Fue desarrollado por dos ingenieros noruegos, Haavard Nord y Ririk Chanble-Eng, como respuesta a la necesidad de disponer de un GUI para una aplicación C++ multiplataforma orientado a objetos. Estos ingenieros fundaron la compañía QuasarTechnologies en 1994, nombre que fueron evolucionando hasta convertirse en Trolltech.

En la última década, Qt ha pasado de ser un producto usado por unos pocos desarrolladores especializados, a un producto usado por miles de desarrolladores open source en todo el mundo, por lo que el futuro de esta tecnología es hoy día muy prometedor.

Al Qt, se le incorporó el mecanismo del “archivo ui.h”, que permitía implementar slots sin necesidad de herencia, y que era incluido automáticamente por el código fuente generado por UIC. QtDesigner tenía un editor de código integrado para poder editar el archivo ui.h, y una funcionalidad (llamada *source*) para añadir variables e includes. También disponía de capacidad de carga de *plugins* para dar soporte a Custom Widgets (haciendo que fueran visibles en QtDesigner) e incluso un *parser* de archivos de proyecto .pro. Adicionalmente, se podían realizar conexiones a Bases de Datos y ver el contenido de sus tablas. **(Jasmin Blanchette, 2016)**

Qt Creator es un IDE creado por Trolltech para el desarrollo de aplicaciones con las bibliotecas Qt, requiriendo su versión 4.x. Está disponible para los sistemas operativos Linux, Max y Windows, permitiendo al desarrollador crear aplicaciones para múltiples sistemas o plataformas móviles. La versión actual es la 5.10.1. **(Jasmin Blanchette, 2016)**

CAPITULO 2. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

En Cuba, los sistemas de tratamiento de aguas residuales que más se han utilizado en pequeñas y medianas comunidades y en instituciones, han sido los tanques sépticos y las lagunas de estabilización, los cuales en su mayoría presentan insuficiencia en su funcionamiento, generalmente por una mala operación. Otros sistemas utilizados, pero en menor consideración son los tanques Imhoff combinados con filtros biológicos (hace años han dejado de utilizarse por lo complejo de su construcción) y más recientemente los humedales artificiales y los biodiscos.

No se tiene experiencia en nuestro país de la construcción de reactores UASB.

Para este trabajo de tesis se incluirán en el programa el diseño de las unidades de proceso de los esquemas tecnológicos que se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 3. Esquemas de tratamiento

Esq.	Pretratamiento	Trat. primario	Trata. secundario
E-1	Rejas	T. Séptico	Filtro anaerobio
E-2	Rejas	T. Séptico	Humedal de flujo subsuperficial
E-3	Rejas	T. Séptico	Infiltración al terreno
E-4	Rejas	L. Anaerobia	Humedal flujo subsuperficial
E-5	Rejas	L. Anaerobia	L. facultativa
E-6	Rejas + desarenador		L. facultativa

2.1. Pretratamiento

Las unidades de pretratamiento a diseñar serán la cámara de rejas de limpieza manual y el desarenador rectangular de flujo horizontal. Como son para pequeñas comunidades, los caudales son bajos, por lo que serán unidades de un solo canal con canal bypass de desvío lateral para el exceso de caudal durante alguna emergencia o mantenimiento.

2.1.1. Cámara de rejas de limpieza manual

- **Criterios de diseño**

Tabla 4. Criterios de Diseño de Cámara de Rejas

Parámetro	Criterio recomendado
Forma de barra	Rectangular, circular, aerodinámica No deben utilizarse barras de refuerzo
Ancho de barra (sección frente al flujo)	5—15 mm
Espesor de barra	25—40 mm
Espaciamiento (abertura) entre barras	25—50 mm 50 mm recomendado
Inclinación con la vertical	30—60°
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias
Canaleta de desvío (Bypass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia
Material de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado; aluminio
Tiempo de retención en canal de aproximación	≥ 3 s
Largo de canal de aproximación	≥ 1.35 m
Velocidad a través de las barras	0,3-0,6 m/s para caudal promedio ≤ 0.9 m/s para caudal máximo
Velocidad de aproximación a las rejas	≤ 0,45m/s
Pérdida de carga máxima	0.15 m
Escalón al pie de la reja	10 - 15cm
Borde libre	≥ 20cm
Ancho mínimo donde se ubicarán las rejas	0.4m
Disposición final de residuo	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

Los canales de aproximación antes de las rejas deben ser lo suficientemente largos para evitar remolinos cerca de las rejas, para ello la velocidad deber ser de alrededor de 0.45 m/s para que los sólidos arenosos no sedimenten.

- ***Datos para el diseño***
  - Caudal medio (m^3/s): ***($Q_{med.}$)***
  - Diámetro del colector de entrada (m): ***(ϕ)***
  - Diámetro o sección de las barras perpendicular al flujo (mm): ***(s)***
  - Separación entre barras (m): ***(b)***
  - Ángulo de inclinación de las barras (º): ***(α)***

- Relación: $\frac{h}{\emptyset} = 0.48$

- ***Procedimiento de diseño***

  - Altura promedio (m): $\boldsymbol{h} = \frac{h}{\emptyset} * \emptyset$

  - Ancho del canal (m): $\boldsymbol{W} = \frac{Qmax}{Vaprx * hmed}$

Si este valor es menor que el mínimo, entonces asumir ancho mínimo establecido 0,4m. Es mejor sacrificar la velocidad de aproximación, ya que el ancho mínimo es necesario para la buena operación.

- Número de barras: $\boldsymbol{n} = \frac{w-b}{s+b}$

El valor resultante se redondea a un número entero y se recalcula el ancho real

- Ancho real del canal (m) $\boldsymbol{W} = s * n + b(n+1)$

- Ancho neto del canal (m): $\boldsymbol{Wn} = \mathrm{b(n+1)}$

- Área neta sumergida (m^2): $\boldsymbol{Ans} = 0.75\% * Wn * ls$

- Longitud de la reja sumergida (m): $\boldsymbol{ls} = \frac{hmed}{sen\alpha}$

- Velocidad a través de las rejas (m/s): $\boldsymbol{Var} = \frac{Qmed}{Ans}$

Este valor debe estar entre 3,0 y 0,6m/s para caudal medio. De no ser así se deberán cambiar valores asumidos.

- Pérdida de carga (m): $\boldsymbol{hf} = \beta * k \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{Var^2}{2g}\right) sen\ \alpha$

  Debe ser menor que 0,15m

Dónde:

β: coeficiente que depende de las formas de las barras

Rectangular y afiladas ----------2.48

Semicirculares aguas arriba --------1.83

Circulares ----------1.79

Aerodinámicas ---------- 0.76

k: coeficiente que considera el atascamiento de las rejas

Rejas limpias ----------1

Rejas sucias a un tiempo t ----3

<u>Dimensionamiento de la cámara</u>

- Longitud de la transición de entrada (m): $\boldsymbol{L1} = 1.37 * (W - \emptyset)$

Se recomienda transición si W > φ

- Longitud del canal de aproximación (m): $\boldsymbol{L2} = 1{,}35$
- Longitud de la cámara (m): $\boldsymbol{L3_{min}} = \frac{hmed+bl}{sen\alpha} + W$

No debe ser mucho mayor que este número para evitar sedimentación; ***bl*** es el borde libre.

- Longitud de la transición de salida (m): $\boldsymbol{L4} = \frac{L1}{2}$
- Altura total de la cámara (m): $\boldsymbol{H} = h_{med} + bl$

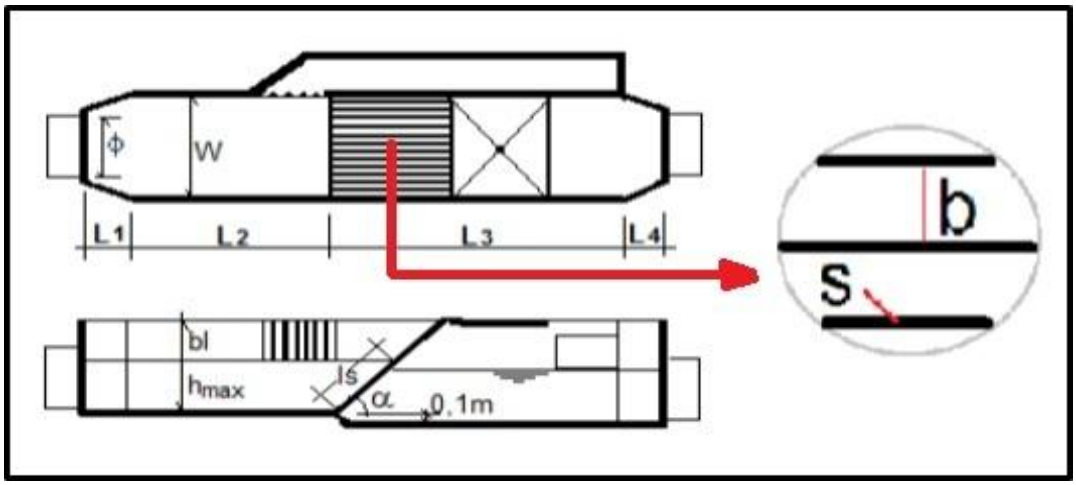

Figura 3.Camara de Rejas

2.1.2. Desarenadores rectangulares de flujo horizontal

- ***Criterios de diseño***

Tabla 5. Criterios de diseño Desarenadores rectangulares de flujo horizontal

Parámetro	Criterio recomendado
Velocidad horizontal	Vmáx = 0.3 m/s Vmin ≥ 0.80 Vmax
Carga hidráulica	< 70 m^3/m^2.h
Tiempo de retención hidráulica	≤ 60 s para Vmin ≥ 45 s para Vmax
Relación L/B	10 < L/B < 20
Relación B/h	1 < B/h < 5
Relación L/h	10 < L/h < 30
Altura de sedimentación hs	0,2 m
Densidad de la arena	S=2.65
Diámetro de la arena gruesa	0,15 – 1mm
Sección de control de velocidad	Canaleta Parshall o vertedor Sutro
Número de canales	Dos en paralelo, cada uno con drenaje (Uno en operación y otro para limpieza)
Borde libre	bl > 0,2m

- ***Datos para el diseño***
  - Caudal medio (m^3/s): ***($Q_{med.}$)***
  - Diámetro de la arena (mm): ***(d)***
  - Peso específico relativo de la arena: ***(Ss)***
  - Velocidad horizontal máxima (m/s): ***(Vh)***
  - Relación ***(L/B)***
  - Diámetro del conducto tributario: (***B2)***
- ***Procedimiento de diseño***
  - Velocidad de sedimentación (m/s): $\boldsymbol{Vs} = \frac{d(Ss-1)^{2/3}}{\nu^{1/3}}$
  - Área de sedimentación (m^2): $\boldsymbol{As} = \frac{Q}{Vs}$
  - Ancho del desarenador (m): $\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{As}{L/B}}$

Si este valor es menor que el mínimo, entonces asumir ancho mínimo establecido 0,4m. En este caso, diseñar un desarenador con un solo canal y bypass.

- Longitud del desarenador (m): $\boldsymbol{L} = \left(\frac{L}{B}\right) * B$
- Tirante de agua en el canal (m): $\boldsymbol{h} = \frac{Q}{B*Vh}$
- Altura total de agua (m): $\boldsymbol{ht} = h + hs$
- Verificar 1<B/h<5
- Verificar 10<L/h<30

Dimensionamiento de la cámara

- Longitud de la transición de entrada (m): $\boldsymbol{L1} = 1.37 * (B1 - B2)$

Esta relación tiene que ser < L/3

Se recomienda transición si B1 > B2 donde B2 es el ancho del canal de llegada.

- Longitud de la transición de salida (m): $\boldsymbol{L4} = \frac{L1}{2}$
- Altura total de la cámara (m): $\boldsymbol{HT} = ht + bl$

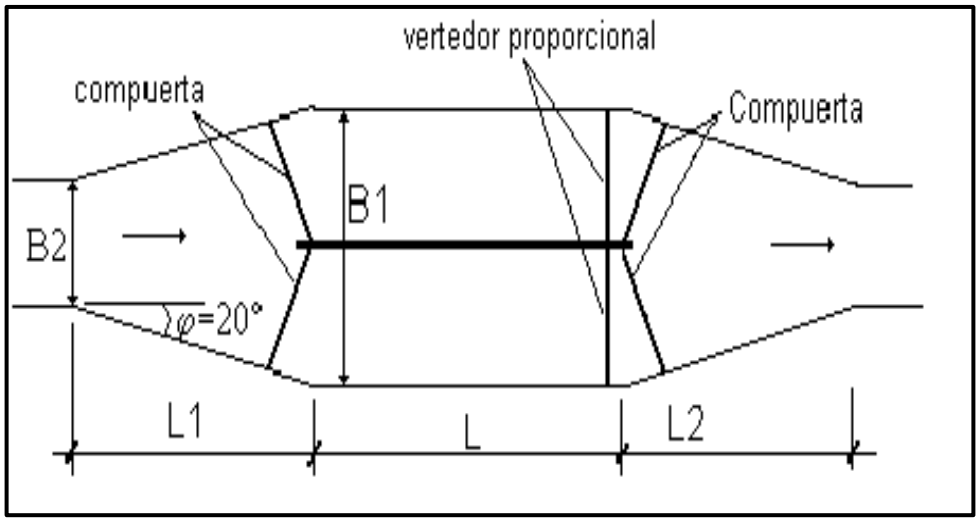

Figura 4. Desarenadores rectangulares de flujo horizontal

Diseño del vertedor proporcional SUTRO

- **Datos requeridos**
  - Altura de la base del vertedor ***(a)=5cm***
  - Ancho del desarenador (m): ***(B)***

- Tirante de agua en el desarenador (m): ***(h)***

- ***Procedimiento de diseño***

- Altura de la curva del vertedor (m): $\boldsymbol{H} = h - 0{,}1 - a$
- Ancho de la base del vertedor (m): $\boldsymbol{b} = \frac{Q}{2{,}74\sqrt{a}\left(H-\frac{a}{3}\right)}$
- Realizar una tabla de valores de H=0 hasta H=H (puede ser cm a cm) y calcular los valores de (x/2) de la ecuación (m): $\boldsymbol{x} = b * \left[1 - \frac{2}{\pi} arctan\sqrt{\frac{H}{a}}\right]$

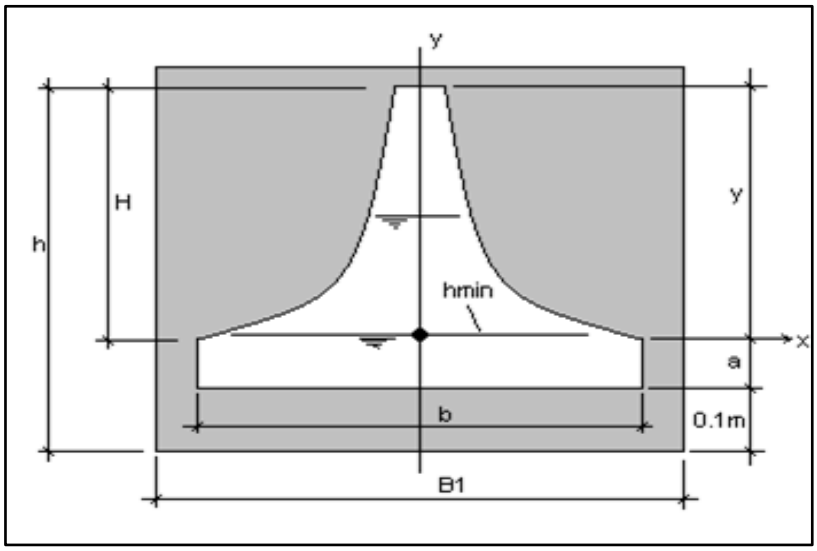

Figura 5. Vertedor SUTRO

2.2. Tratamiento primario

Para el tratamiento primario se diseñarán las unidades de tanque séptico, laguna anaeróbica y sedimentador primario.

2.2.1. Tanque séptico

- Se diseñarán unidades primarias de dos cámaras.

- ***Criterios de diseño***

Tabla 6. Criterios de diseño del Tanque Séptico

Parámetro	Criterio recomendado
Caudal máximo	$30m^3/d$
Tiempo de retención	Mínimo 6 h hasta 24 h
Relación L/B	2 a 4
Profundidad útil **para Vt hasta $6m^3$** **para Vt entre 6 y $10m^3$** **para Vt mayor a $10m^3$**	1,2 m < H < 2,2m 1,5 m < H < 2,5m 1,8 m < H < 2,8m
Diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida	≥ 0,05 m.
Espacio entre el nivel del líquido y la tapa	≥ 0,30 m
Inmersión de la tubería de entrada	≥ 10cm
Inmersión de la tubería de salida	h/3, mínimo 40cm
Ancho del tanque séptico	≥ 0,6 m
Diámetro mínimo de las tuberías de entrada y salida	φ mínimo 100mm
Dispositivos de entrada y salida	Tees o pantallas
Distancia de las pantallas a la pared	0,2 – 0,3m
Pendiente del fondo orientada hacia el punto de ingreso.	2%
Período de remoción de lodos	Mínimo 1 año máximo 5 años
No se aceptará el uso de tanques sépticos en paralelo	
Se aceptará la compartimentación del tanque si	$Vt > 5m^3$
Para tanques de 2 cámaras, el volumen útil de la 1ª cámara **Para tanques de 3 cámaras, el volumen útil de la 1ª cámara**	2/3 * Vt 1/2 * Vt
Número máximo de cámaras	4

- ***Datos para el diseño***
  - Población servida por el tanque (hab): ***(P)***
  - Caudal de aporte unitario de aguas residuales (L/hab.día): ***(q)***. (Considerar el 80% del consumo de agua).
  - Relación Largo ancho ***(L/B)***
  - Profundidad útil (m): ***(Hu)***
  - Tasa de contribución de lodo fresco (L/hab.día): ***(Lf)***
  - Tasa de acumulación de lodo, según la temperatura ambiente (día): ***(K)***

Tabla 7. Tasa de contribución de lodo fresco

Tipo de aporte	Unidades	Contribución de lodo fresco Lf (L /U. día)
Ocupantes permanentes (residencias, hoteles)	persona	1
Ocupantes temporales		
Fábrica en general	persona	0.30
Edificios públicos o comerciales	persona	0.20
Escuelas	persona	0.20
Locales de corta permanencia	local	0.02
Baños públicos	tasa sanitaria	4.0

Tabla 8. Tasa de acumulación de lodo, según la temperatura ambiente (día)

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K (días) para temperatura ambiente (T) en ºC	
	10 ≤ T ≤ 20	T ≥ 20
1	65	57
2	105	97
3	145	137
4	185	177
5	225	217

- ***Procedimiento de diseño***

  - Tiempo de retención hidráulica (d): $\boldsymbol{tr} = 1.5 - 0.3 * \log(P * q)$
  - Volumen de sedimentación (m^3): $\boldsymbol{Vs} = 10^{-3} * P * q * tr$
  - Volumen de acumulación de lodos (m^3): $\boldsymbol{V_d} = 10^{-3} * P * Lf * K$
  - Volumen de acumulación de natas: se considera un valor de $\boldsymbol{V_n}$=0,7 m^3.
  - Volumen total (m^3): $\boldsymbol{V_T} = Vs + Vd + Vn$
  - Profundidad útil (m) ***Hu*** (es la altura del tanque sin incluir el espacio libre)
  - Área superficial (m^2): $\boldsymbol{As} = \frac{V_T}{Hu}$
  - Ancho (m): $\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{As}{\left(\frac{L}{B}\right)}}$
  - Largo (m): $\boldsymbol{L} = \left(\frac{L}{B}\right) B$

- Altura de la espuma (m): $\boldsymbol{He} = \frac{Vn}{As}$

- Altura total del tanque (m): $\boldsymbol{H_T} = Hu + He + 0{,}4$

- Volumen de la primera cámara (m^3): $\boldsymbol{V_{1C}} = \frac{2}{3} * V_T$

- Longitud de la primera cámara (m): $\boldsymbol{L_{1C}} = \frac{V_{1C}}{B*Hu}$

- Longitud de la segunda cámara (m): $\boldsymbol{L_{2C}} = L - L_{1C}$

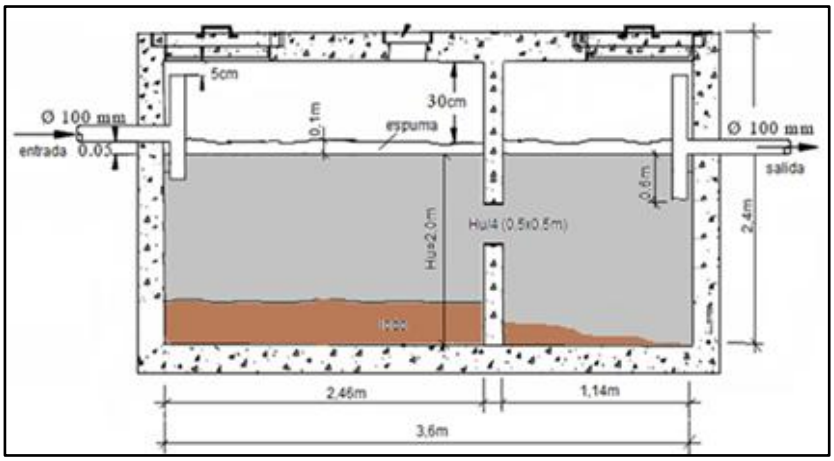

Figura 6. Tanque séptico

2.2.2. Laguna Anaerobia

- ***Criterios de diseño***

Tabla 9. Criterios de Diseño de la Laguna Anaerobia

Parámetro	Criterio recomendado
Siempre son lagunas primarias	
Carga orgánica volumétrica Recomendado	> 60 gDBO5/m^3.d 110±20 gDBO5/m^3.d
Carga orgánica superficial	Ls=1000 y 2500 $KgDBO_5$/ha.d
Tiempo de retención	2,5 -3,5 días. Máximo 4 días.
Geometría	normalmente cuadrada
Relación L/B	≤ 1,5
Profundidad	2.5 y 4,0m
Remoción de DBO_5	40 - 50%

Para caudales mayores a 50 L/s, se recomienda que se cuente con al menos 2 lagunas anaerobias en paralelo para asegurar la continuidad de la operación en caso de limpieza y retirada de lodos.

- ***Datos para el diseño***
  - Caudal de diseño (m^3/d): (***Qd)***
  - DBO_5 afluente (mg/L): (***So)***
  - DBO_5 efluente (mg/L): (***Se)***
  - Temperatura del aire mes más frio (ºC): (***T)***
  - Tiempo de retención (d): ***(R)***
  - Relación largo/ancho: ***(L/B)***
  - Profundidad (m): ***(H)***
  - Talud valor de la relación (1:m): (***m)***

- ***Procedimiento de diseño***
  - Carga orgánica límite ($gDBO_5/m^3.d$):

    Para temperaturas entre 20 y 20ºC: $\boldsymbol{L_v} = 5 * T$

    Para temperaturas > 25ºC: $\boldsymbol{L_v} = 6{,}0 * T - 25$

  - Volumen de la laguna (m^3): $\boldsymbol{V} = Q * R$
  - Área superficial de la laguna (m^2): $\boldsymbol{A_s} = \frac{V}{H}$
  - Ancho (m): $\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{As}{\left(\frac{L}{B}\right)}}$
  - Largo (m): $\boldsymbol{L} = \left(\frac{L}{B}\right) B$

<u>Dimensionamiento de la laguna</u>

- Longitud fondo (m): $\boldsymbol{L_{fon}} = L - [H * m]$
- Ancho de fondo (m): $\boldsymbol{B_{fon}} = B - [H * m]$

- Longitud nivel operación (m): $\boldsymbol{L_{ope}} = L + [H * m]$
- Ancho nivel operación (m): $\boldsymbol{B_{ope}} = B + [H * m]$
- Área nivel operación (m^2): $\boldsymbol{A_{ope}} = L_{ope} * B_{ope}$
- Carga superficial impuesta ($KgDBO_5/ha.d$): $\boldsymbol{L_s} = \frac{Q*S_0*10}{A_{ope}}$

Si la carga superficial impuesta es mayor que la carga superficial recomendada cambiar parámetros asumidos.

Cálculo de la eficiencia de la laguna

- Constante global de reacción de DBO_5 (d^{-1}): $\boldsymbol{K'a_T} = (0.0207 * T) - 0.207$ válida para R>2 días.
- DBO_5 efluente (mg/L): $\boldsymbol{S_e} = \frac{S_o}{K_{an}*(\frac{Se}{S_0})^n*R+1}$ $\boldsymbol{S_e} = \frac{S_o}{K'a_T*R+1}$
- Eficiencia de la laguna (%): $\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{S_0}-\boldsymbol{S_e}}{\boldsymbol{S_0}} * 100$

Comparar la eficiencia calculada con los criterios de diseño.

2.3. Tratamiento Secundario

Las unidades a diseñar serán, el filtro anaerobio, los humedales artificiales y la filtración al terreno como tratamiento secundario del tanque séptico y la laguna facultativa como tratamiento secundario de la laguna anaeróbica y como único tratamiento.

2.3.1. Filtro anaerobio de flujo ascendente

En general se diseñan en función del tiempo de retención hidráulico, salvo que se trate de un líquido muy concentrado, en cuyo caso se diseñará en función de la carga orgánica. Pueden ser de mampostería, hormigón, metálicos, plásticos o de fibras de vidrio; circulares o prismáticos, con y sin falso fondo, abiertos o cerrados. Además, pueden ser independientes o adosados a un tanque séptico.

- ***Criterios de diseño***

Tabla 10. Criterios de Diseño del Filtro anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Criterio recomendado
Como solución se utiliza en terrenos impermeables o cuando el manto freático no pueda ser contaminado	
Medio soporte (piedra o plástico dispuesto en capas)	ϕ 3cm h=0,2 m ϕ 2cm h=0,4 m ϕ 1cm h=0,3 m ϕ 0,5cm h=0,1 m
Carga orgánica **Para el volumen total del filtro** **Para el volumen de medio filtrante**	 0,15 – 0,5 $KgDBO_5/m^3.d$ 0,25 – 0,75 $KgDBO_5/m^3.d$
Velocidad superficial, para evitar arrastre de sólidos	< 1,0 m/h
Profundidad útil para cualquier volumen	Hu=1,8 m
Relación L/B	1 ≤ L/B ≤ 3
Longitud máxima	< 3*Hu
Volumen útil mínimo	1250 L
Eficiencia de remoción de DBO_5	75 – 95%

El tiempo de retención hidráulico varía en función de la temperatura y el caudal afluente:

Tabla 11. Tiempo de retención en función de la temperatura.

Q (L/d)	Tiempo de retención hidráulico (d)	
	T (15-25ºC)	T (>25ºC)
< 1500	1	0,92
1501 – 3000	0,92	0,83
3001 – 4500	0,83	0,75
4501 – 6000	0,75	0,67
6001 – 7500	0,67	0,58
7501 - 9000	0,58	0,5
> 9000	0,5	0,5

- ***Datos para el diseño***

  – Población servida por el tanque (hab): ***(P)***

- Caudal de aporte unitario de aguas residuales (L/hab.día): ***(q)***. (Considerar el 80% del consumo de agua).
- DBO_5 afluente (mg/L): (***So)***
- Tiempo de retención (d): ***(tr)***
- Carga orgánica ($KgDBO_5/m^3.d$): ***(Cv)***
- Relación Largo ancho ***(L/B)***
- Profundidad útil (m): ***(Hu)***

- ***Procedimiento de diseño***

-Volumen útil de medio filtrante (L): $\mathbf{Vu} = 1{,}6 * P * q * tr$ (en función del tiempo de retención).

-Volumen útil de medio filtrante (L): $\mathbf{Vu} = \frac{P * q * S0}{10^3 * Cv}$ (en función de la carga orgánica).

-Área superficial (m^2): $\mathbf{As} = \frac{\mathrm{Vu}}{\mathrm{Hu}}$

Si el filtro será adosado al tanque séptico entonces

-Ancho del filtro (m): $\boldsymbol{B} = B_{TS}$

-Longitud del filtro (m): $\boldsymbol{L} = \frac{As}{B}$

Si el filtro es independiente del tanque séptico entonces

-Longitud del filtro (m): $\boldsymbol{L} \leq 3 * Hu$

-Ancho del filtro (m): $\boldsymbol{B} = \frac{As}{L}$

-Comprobar relación L/B: 1 ≤ L/B ≤ 3

-Comprobación de la velocidad superficial (m/h): $\boldsymbol{Vs} = \frac{Q}{As}$

-Eficiencia (%): $\boldsymbol{E} = 100(1 - 0.87 * \mathrm{tr} - 0.5)$

2.3.2. Infiltración al terreno

2.3.2.1. Pozos de infiltración

Es un sistema de infiltración apropiado para la disposición de pequeños volúmenes de agua residual en el suelo permeable.

- ***Criterios de diseño***

Tabla 12. Criterios de Diseño de Pozos de infiltración

Parámetro	Criterio recomendado
Espacio entre el muro y el terreno natural	≥ 10cm
Altura del fondo por encima del nivel freático	≥ 2,0 m
Geometría	Circular
Profundidad útil	≤ 5,0 m
Diámetro máximo **Diámetro mínimo**	≤ 2,5 m 1,5 m

La altura de infiltración quedará fijada por la distancia del nivel a donde llega el tubo de descarga y el fondo del pozo.

- ***Datos para el diseño***
  - Población servida (hab): ***(P)***
  - Caudal de aporte unitario de aguas residuales (L/hab.d): ***(q)***
  - Profundidad efectiva de las zanjas (m): ***(H)***
  - Tasa de infiltración (L/m^2.d): ***(I)***
- ***Procedimiento de diseño***
  - Área de infiltración necesaria (m^2): $\boldsymbol{A_{inf}} = \frac{P*q}{I}$
  - Diámetro del pozo de infiltración (m): $\boldsymbol{D} = \frac{A_{inf}}{\pi*H}$

2.3.2.2. Zanjas de infiltración

Consiste en una excavación larga y estrecha realizada en la tierra para acomodar las tuberías de distribución del agua residual sedimentada en el tanque séptico.

- ***Criterios de diseño***

Tabla 13. Criterios de Diseño de Zanjas de infiltración

Parámetro	Criterio recomendado
Altura del fondo por encima del nivel freático	≥ 2,0 m
Longitud máxima deseable de cada zanja **Todas las zanjas tendrán igual longitud**	20,0 m (máximo hasta 30m)
Profundidad mínima de las zanjas	0,5 m
Ancho de las zanjas mínimo **Ancho de las zanjas máximo**	0,45 m 0,9 m
Pendiente de los drenes	1,5 – 3%
Cantidad de zanjas	Mínimo 2
Separación mínima entre los drenes	≥ 2,0m
Material filtrante inferior grava limpia **Material filtrante rodeando los drenes** **Relleno de tierra excavada**	ϕ 2,5 - 5cm h > 0,15 m ϕ 1,5 - 5cm h > D+0,05 m h 0,1 – 0,15 por encima del terreno

Se utilizan tubos de barro vitrificado o PVC de 100mm de diámetro con juntas abiertas o con perforaciones, que permitan la distribución uniforme del líquido en el fondo de las zanjas. La mitad superior de las juntas deben cubrirse para evitar la entrada de partículas de grava o de suelo que obstruya el flujo.

- ***Datos para el diseño***

-Población servida (hab): ***(P)***
-Caudal de aporte unitario de aguas residuales (L/hab.d): ***(q)***
-Profundidad de las zanjas (m): ***(H)***
-Ancho de las zanjas (m): ***(B)***

-Tasa de infiltración (L/m^2.d): ***(I)***

-Longitud unitaria de zanjas (m): ***(L_Z)***

- ***Procedimiento de diseño***

  - Área de infiltración necesaria (m^2): $\boldsymbol{A_{inf}} = \frac{P*q}{I}$
  - Longitud requerida de zanja de infiltración (m): $\boldsymbol{L} = \frac{A_{inf}}{2*H+B}$
  - Cantidad de zanjas: $\boldsymbol{N_Z} = \frac{L}{L_Z}$

2.3.3. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal HFSSH

Un HFSSH consiste en zanjas o canales construidos y donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas.

- ***Criterios de diseño***

Tabla 14. Criterios de Diseño Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal HFSSH

Parámetro	Criterio recomendado
Carga orgánica afluente	6 - 11 $gDBO_5/m^2.d$
Carga hidráulica	0,05 – 0,2 $m^3/m^2.d$
Tiempo de retención hidráulico	3 - 5 días
Área específica	3 - 10 m^2/PE
Relación largo/ancho L/B	3 - 10
Profundidad del lecho	0,3 – 0,9m (0,60m) (depende de la vegetación)
Pendiente del fondo	0,1 - 3 %
Tipo de relleno	Arenas, gravas, material artificial
Vegetación	Típica de zonas húmedas
Alimentación	Continua

Tabla 15. Conductividad hidráulica darciana K_D

Tipo de medio	Tamaño efectivo D10(mm)	Porosidad n (%)	Conductividad hidráulica K_D (m/d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

- ***Datos para el diseño***

- Caudal de diseño (m^3/d): ***(Q)***
- DBO_5 afluente (mg/L): (***Co)***
- DBO_5 efluente (mg/L): (***Ce)***

- Porosidad del medio filtrante: ***(n)***
- Profundidad del agua en el humedal (m): ***(h)***
- Conductividad hidráulica Darciana (m/d): ***(K_D)***
- Pendiente del fondo del humedal hacia la salida (m/m): ***(S)***
- Temperatura del agua en el mes más frío (ºC): ***(T)***
- Relación Largo ancho ***(L/B)***
- Borde libre (m): ***(BL)***

- ***Procedimiento de diseño***
  - Constante de velocidad de reacción (d^{-1}): $\boldsymbol{K_T} = 1{,}2675 * (1{,}047)^{(T-20)}$
  - Tiempo de retención: $\boldsymbol{tr} = \frac{\log(Co/Ce)}{K_T}$
  - Área superficial del humedal: $\boldsymbol{As} = \frac{\boldsymbol{Q} * \boldsymbol{tr}}{\boldsymbol{h} * \boldsymbol{n}}$ $\qquad \boldsymbol{As} = \mathrm{B} * \mathrm{L}$
  - Área de la sección transversal: $\mathbf{Ac} = \frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{K_D} * \boldsymbol{S}}$ $\qquad \boldsymbol{Ac} = \mathrm{B} * \mathrm{h}$
  - Pendiente del fondo del humedal: $\boldsymbol{S} < 0{,}1\frac{h}{L}$ (comparar con criterios de diseño)
  - Ancho del humedal (m): $\boldsymbol{B} = \frac{Ac}{h}$
  - Longitud del humedal (m): $\boldsymbol{L} = \frac{As}{B}$
  - Altura total del humedal (m): $\boldsymbol{H_T} = h + BL + 0{,}1$

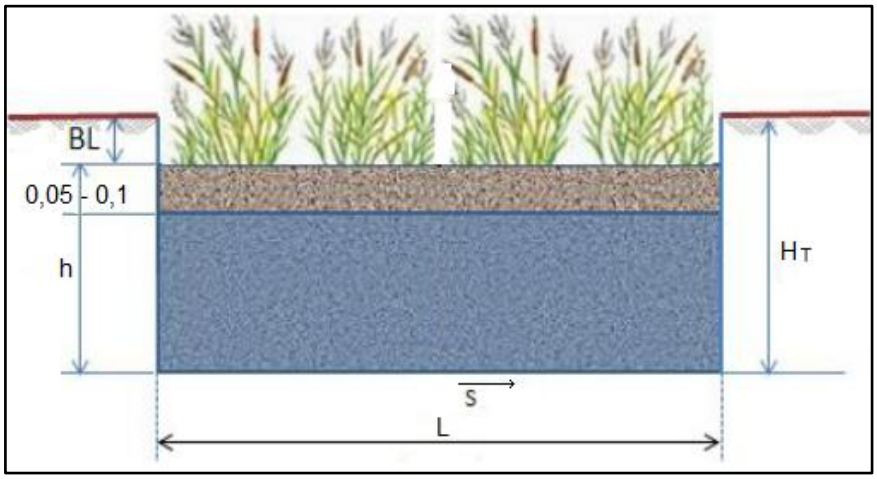

Figura 7. Tanque séptico

2.3.4. Laguna Facultativa

- ***Criterios de diseño***

Tabla16. Criterios de Diseño de la Laguna Facultativa

Parámetro	Criterio recomendado
Pueden ser lagunas primarias o secundarias	
Carga orgánica volumétrica Recomendado	> 60 gDBO5/m^3.d 110±20 gDBO5/m^3.d
Carga orgánica superficial máxima permisible	180 - 320 KgDBO_5/ha.d
Tiempo de retención	10 - 20 días
Superficie máxima	2,0 ha
Geometría	Normalmente rectangular
Relación L/B	2 – 2,5
Profundidad	1,5 y 2,0m hasta 2,5m
Remoción de DBO_5	80 - 90%

- ***Datos para el diseño***
  - Caudal de diseño (m^3/d): (***Qd)***
  - DBO_5 afluente (mg/L): ***(So)***
  - DBO_5 efluente (mg/L): ***(Se)***
  - Coliformes fecales en el afluente (NMP/100ml): ***(No)***
  - Coliformes fecales en el efluente (NMP/100ml): ***(Ne)***
  - Temperatura del aire mes más frio (ºC): (***T)***
  - Tiempo de retención (d): ***(R)***
  - Relación largo/ancho: ***(L/B)***
  - Profundidad (m): ***(H)***
  - Talud valor de la relación (1:m): (***m)***

- ***Procedimiento de diseño***

  - Carga orgánica límite (KgDBO$_5$/ha.d): $\boldsymbol{Ls_{max}} = 350 * (1.107 - 0.002 * T)^{(T-25)}$
  - Volumen de la laguna (m^3): $\boldsymbol{V} = Q * R$
  - Área superficial de la laguna (m^2): $\boldsymbol{A_s} = \frac{V}{H}$
  - Ancho (m): $\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{As}{\left(\frac{L}{B}\right)}}$
  - Largo (m): $\boldsymbol{L} = \left(\frac{L}{B}\right) B$

<u>*Dimensionamiento de la laguna*</u>

  - Longitud fondo (m): $\boldsymbol{L_{fon}} = L - [H * m]$
  - Ancho de fondo (m): $\boldsymbol{B_{fon}} = B - [H * m]$
  - Longitud nivel operación (m): $\boldsymbol{L_{ope}} = L + [H * m]$
  - Ancho nivel operación (m): $\boldsymbol{B_{ope}} = B + [H * m]$
  - Área nivel operación (m^2): $\boldsymbol{A_{ope}} = L_{ope} * B_{ope}$
  - Carga superficial impuesta (KgDBO$_5$/ha.d): $\boldsymbol{L_{s\ imp}} = \frac{Q * S_0 * 10}{A_{ope}}$

Si la carga orgánica impuesta es mayor que la carga orgánica límite cambiar parámetros asumidos.

<u>*Cálculo de la eficiencia de DBO$_5$ de la laguna*</u>

  - Coeficiente de dispersión: $\boldsymbol{d} = \frac{(L/B)}{-0.2618 + 0.2539 * (L/B) + 1.01368 * (L/B)^2}$
  - Constante cinética de reacción de DBO$_5$ (d^{-1}): $\boldsymbol{Kf_T} = 0.15 * 1.07^{(T-20)}$
  - Coeficiente: $\boldsymbol{a} = \sqrt{1 + 4 * kf * R * d}$
  - DBO$_5$ efluente (mg/L): $\boldsymbol{Se} = \frac{So * 4 * a * e^{\left(\frac{1-a}{2*d}\right)}}{(1+a)^2}$

    Comparar con NC de vertimiento, si no cumple cambiar parámetros de diseño

- Eficiencia de DBO_5 de la laguna (%): $\boldsymbol{E = \frac{S_0 - S_e}{S_0} * 100}$

Cálculo de la eficiencia de remoción de Coliformes

- Constante cinética de remoción de CF(d^{-1}): $\boldsymbol{Kbf_T = 0.6 * 1.07^{(T-20)}}$
- Coeficiente: $\boldsymbol{a = \sqrt{1 + 4 * kbf * R * d}}$
- CF efluente (NMP/100ml): $\boldsymbol{Ne = \frac{No*4*a*e^{(\frac{1-a}{2*d})}}{(1+a)^2}}$

  Comparar con NC de vertimiento, si no cumple cambiar parámetros de diseño

- Eficiencia de remoción de CF de la laguna (%): $\boldsymbol{E = \frac{N_0 - N_e}{N_0} * 100}$

CAPITULO 3. MANUAL DE USUARIO

"Diseño de Unidades de Proceso de Aguas Residuales" (DUPTAR), es un software que permite el diseñar de unidades de procesos para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. El mismo es capaz de procesar, mediante el ingreso de variables conocidas por el usuario, datos necesarios para el diseño en cuestión.

El software cuenta con una pestaña principal y tres secundarias correspondientes a cada etapa de tratamiento (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario). Cada venta abierta podrá ser minimizada mientras el usuario se encuentre utilizando otra, de manera que las tres ventanas correspondientes a cada etapa de tratamiento podrán estar abiertas a la vez. Las mismas serán ejemplificadas a continuación.

3.1 Como utilizar el software

Buscar la carpeta DUPTAR doble click, aparecerán varios archivos buscar el ejecutable DUPTAR y doble click. (Ver imagen)

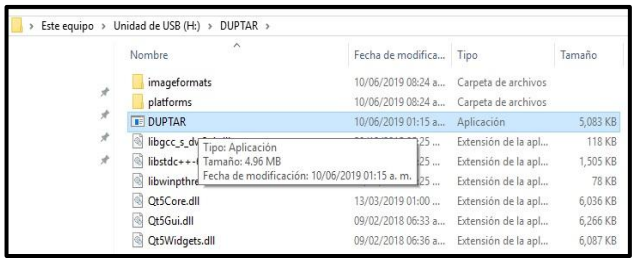

Figura 8. DUPTAR

Una vez ejecutado el programa aparecerá la ventana principal (Ver imagen).

Figura 9. Ventana Principal

En la parte superior izquierda de la venta aparecerá la barra de menú: al hacer click en *Archivo* se desplegará el menú *Salir*, lo que permitirá salir del programa de manera segura. De igual modo al hacer click en ayuda se desplegará el menú *Ayuda* y *Acerca de DUPTAR*. Al dar click en la primera aparecerá este manual de usuario con información acerca del programa.

Al dar click en la segunda aparecerá una nueva ventana donde el usuario encontrará información acerca de los creadores del software.

Figura 10. Acerca de DUPTAR

A la derecha de la ventana principal aparecen tres botones con los nombres de cada una de las etapas de tratamiento, al pararnos momentáneamente sobre los botones aparecerá un cuadro de dialogo que describe el proceso en cuestión, junto al logo que identifica el programa.

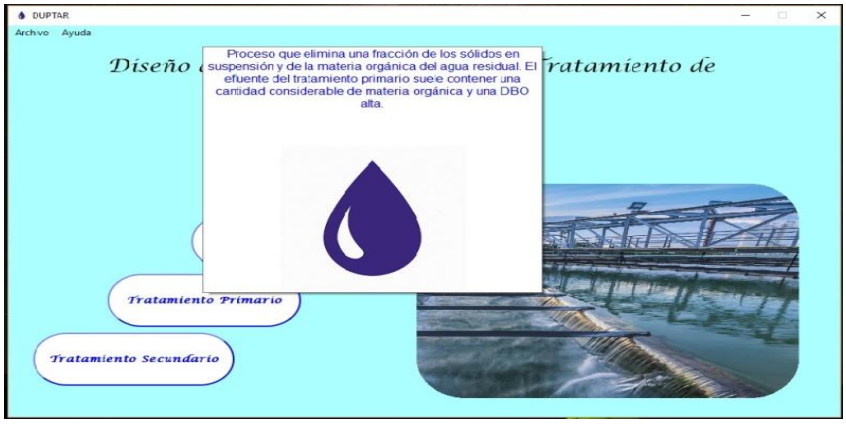

Figura 11. Cuadro explicativo

3.2 Procedimientos generales

Al dar click sobre cualquiera de estos botones, aparecerá una nueva ventana con las unidades de proceso a diseñar desplegadas en un menú horizontal mediante pestañas.

En la parte superior izquierda de cada ventana se encuentran los *Datos de Entrada* que deberá ingresar el usuario. Los datos de entrada deberán ser entrados con puntos y nunca con comas.

En la parte inferior izquierda aparecerán los *Valores a Escoger* por el usuario (caso de ser necesario) para el correcto procesamiento de datos. En el centro de la ventana se encuentra el cuadro *Resultados* donde aparecerán los valores calculados para el diseño de la unidad de proceso en cuestión.

Al deslizar el mouse por encima de cada variable aparecerá un cuadro de dialogo que muestra el nombre y la unidad de medida de la variable en cuestión.

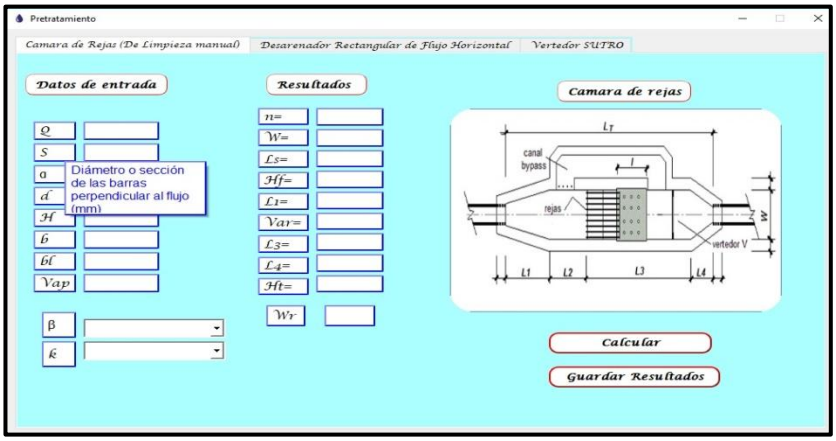

Figura 12.Cuadro informativo

En la parte superior derecha se encuentra la imagen de la unidad de proceso que se está diseñando. Al desplazar el mouse sobre el nombre de la imagen aparecerá un cuadro de dialogo con una breve descripción de la unidad de proceso junto al logo de DUPTAR. (Ver Imagen).

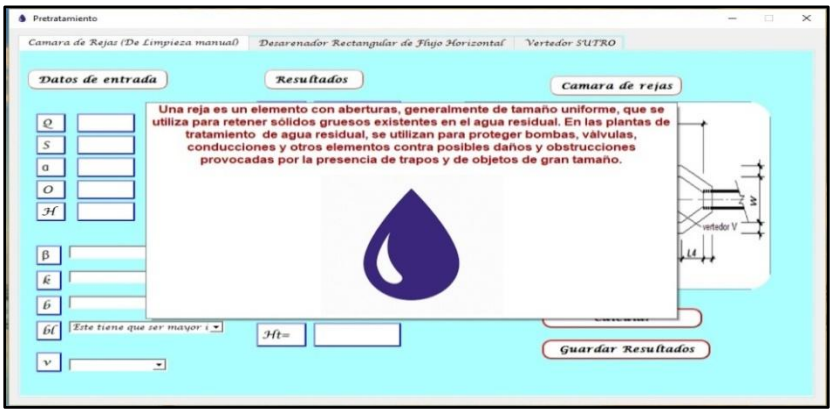

Figura 13. Cuadro descriptivo

En la parte inferior izquierda aparecerán los botones ¨*Calcular*¨ y ¨*Guardar Resultados*¨. El primero permitirá al programa, una vez ingresados los datos por el usuario, determinar los resultados deseados. El segundo permitirá imprimir los resultados en un archivo *Extencion.txt.*

En caso de algún error cometido por el usuario o incumplimiento de los criterios de diseño por los que se rige el programa, aparecerá en la parte inferior de la ventana un ¨*warning*¨ con letras en rojo que explica de forma breve y concisa la acción que deberá tomar el usuario para el correcto procesamiento de datos y cumplimiento de los criterios de diseño.

3.3 Pretratamiento.

Al dar click sobre el botón *Pretratamiento* aparecerá el primer proceso a diseñar en el menú de pestañas, el que será la ¨*Cámara de Reja (De Limpieza Manual)*" (Ver imagen).

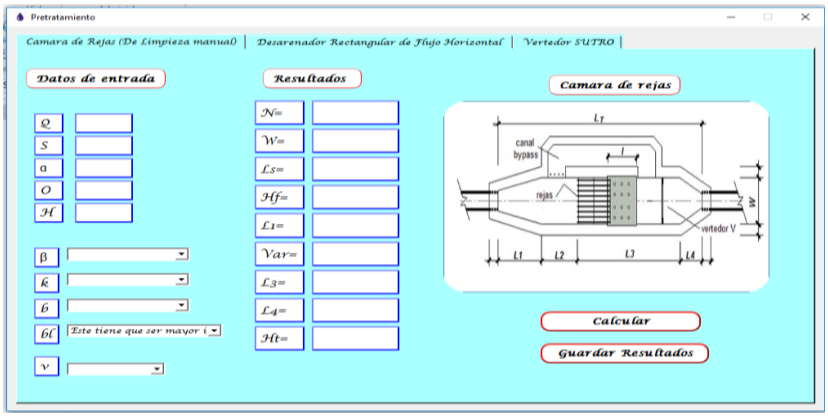

Figura 14. Cámara de Rejas

En la segunda pestaña aparece la unidad de proceso *"Desarenador Rectangular de flujo Horizontal¨* (Ver imagen).

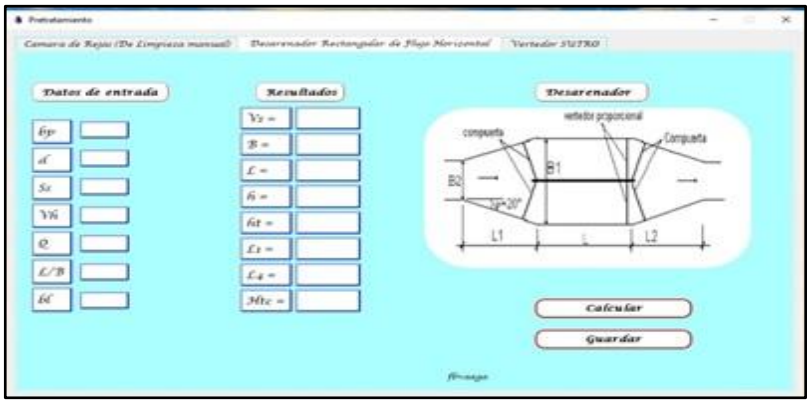

Figura 15. Desarenador

Para finalizar el cálculo del *Desarenador* se debe dar click en la pestaña donde aparece el nombre ¨ *Vertedor SUTRO¨*, cuyo diseño complementa el diseño de esta unidad de proceso. (Ver imagen).

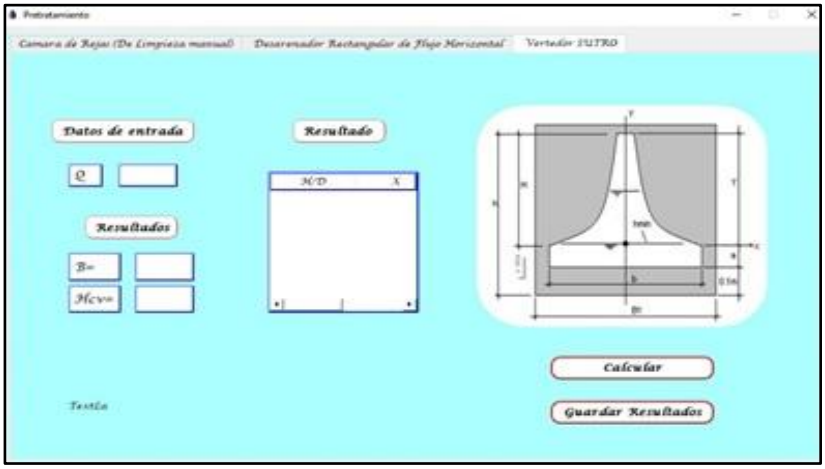

Figura 16. Vertedor SUTRO

En el centro de la ventana como resultados aparecerá una tabla con la relación H/D y X, con las que el usuario podrá plotear la curva que conforma el vertedor sutro.

3.4 Tratamiento Primario

Al dar click sobre el botón T*ratamiento Primario*, aparecerá el primer proceso a diseñar en el menú de pestañas.

El primer proceso de la ventana *Tratamiento Primario* será ¨*Tanque Séptico*". (Ver imagen).

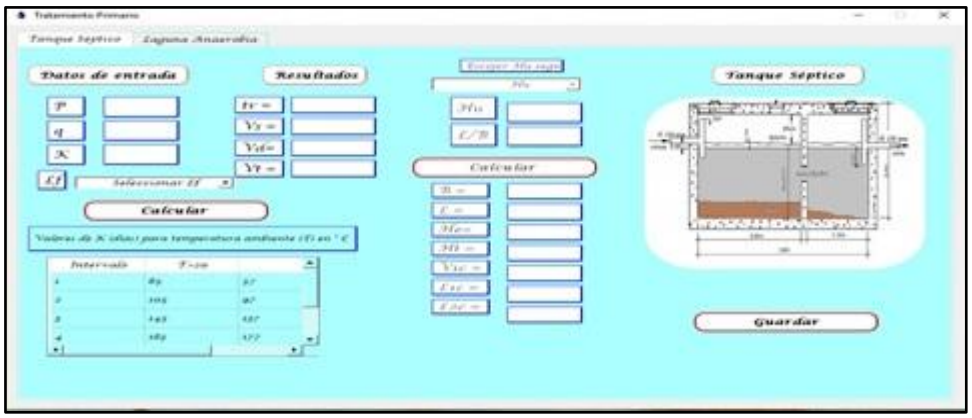

Figura 17. Tanque Séptico

Al hacer click sobre ¨*Laguna Anaerobia*¨ aparecerá una nueva pestaña donde se encuentra la segunda unidad de proceso. (Ver imagen)

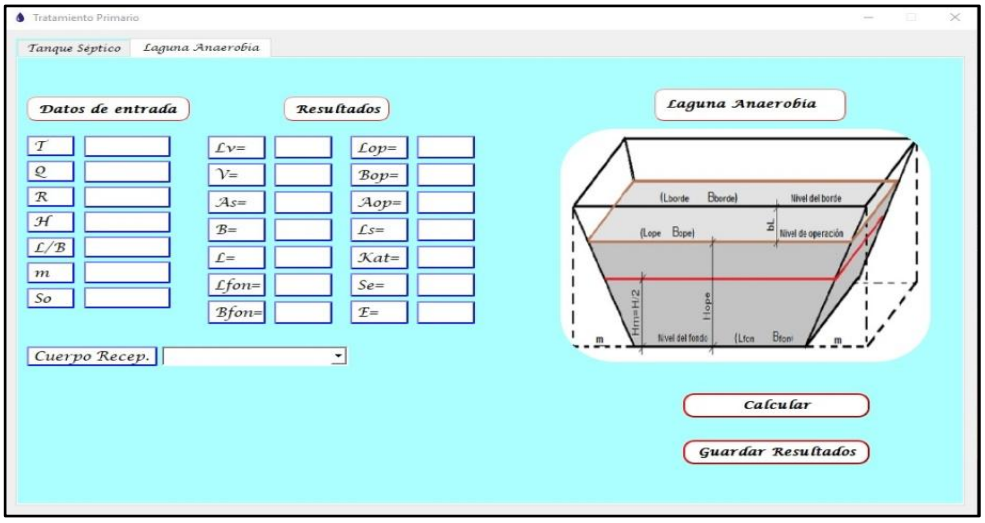

Figura 18. Laguna Anaerobia

3.5 Tratamiento Secundario.

El primer proceso de la ventana *Tratamiento Secundario* será el ¨*Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente*¨ (Ver imagen).

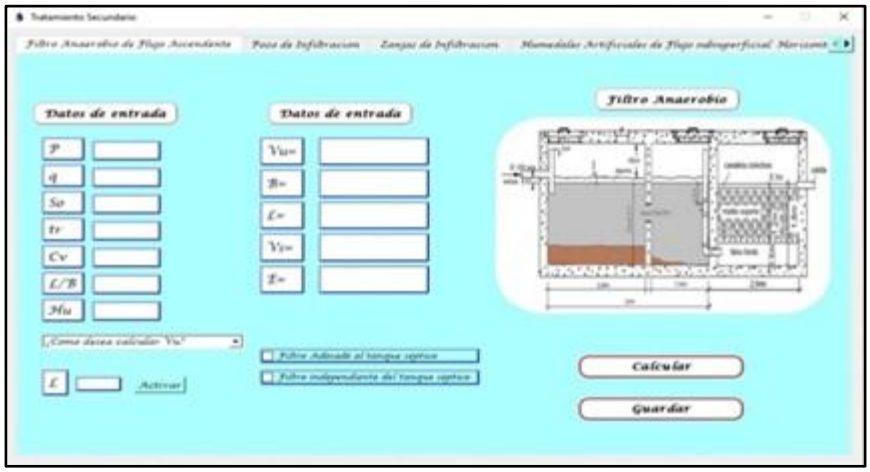

Figura 19. Filtro Anaerobio

Esta es una unidad de proceso complementaria con el tanque séptico que puede diseñarse unido a este o separado.

Al hacer click sobre ¨*Pozo de Infiltración*¨ aparecerá una nueva pestaña donde se encuentra la segunda unidad de proceso del *Tratamiento Secundario*. (Ver imagen).

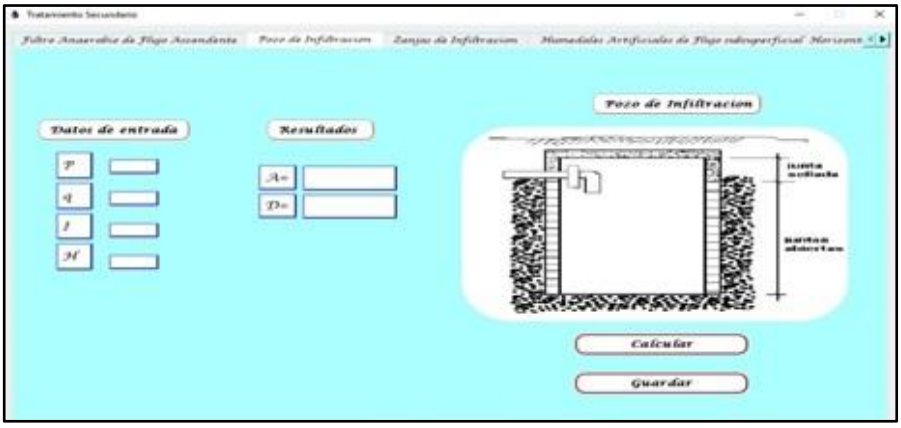

Figura 20. Pozo de Infiltración

Al hacer click sobre ¨*Zanjas de Infiltración*¨ aparecerá una nueva pestaña donde se encuentra la tercera unidad de proceso del *Tratamiento Secundario*. (Ver imagen)

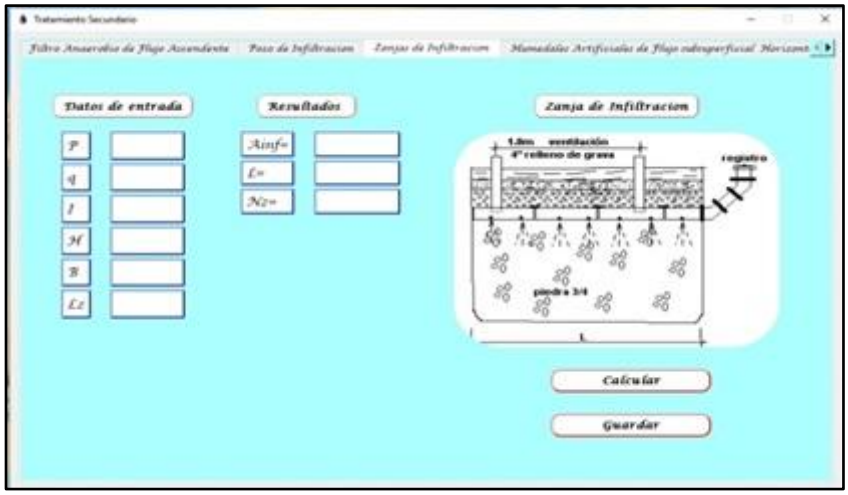

Figura 21. Zanja de Infiltración

Al hacer click sobre ¨*Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal*¨ aparecerá una nueva pestaña donde se encuentra la cuarta unidad de proceso del *Tratamiento Secundario*. (Ver imagen).

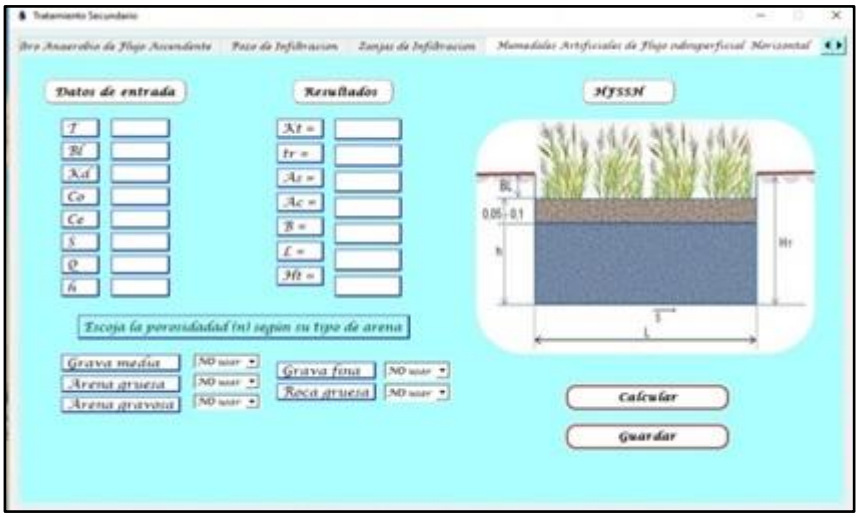

Figura 22. HFSSH

Al hacer click sobre ¨*Laguna Facultativa*¨ aparecerá una nueva pestaña donde se encuentra la quinta unidad de proceso del *Tratamiento Secundario*. (Ver imagen)

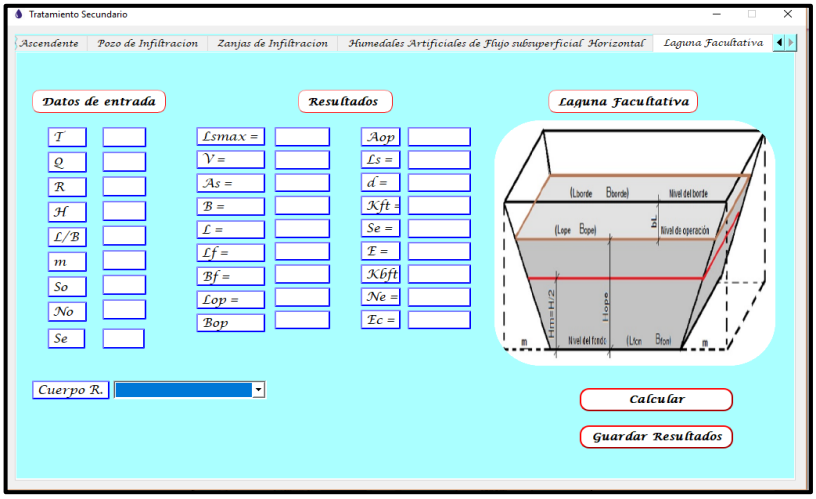

Figura 23. Laguna Facultativa

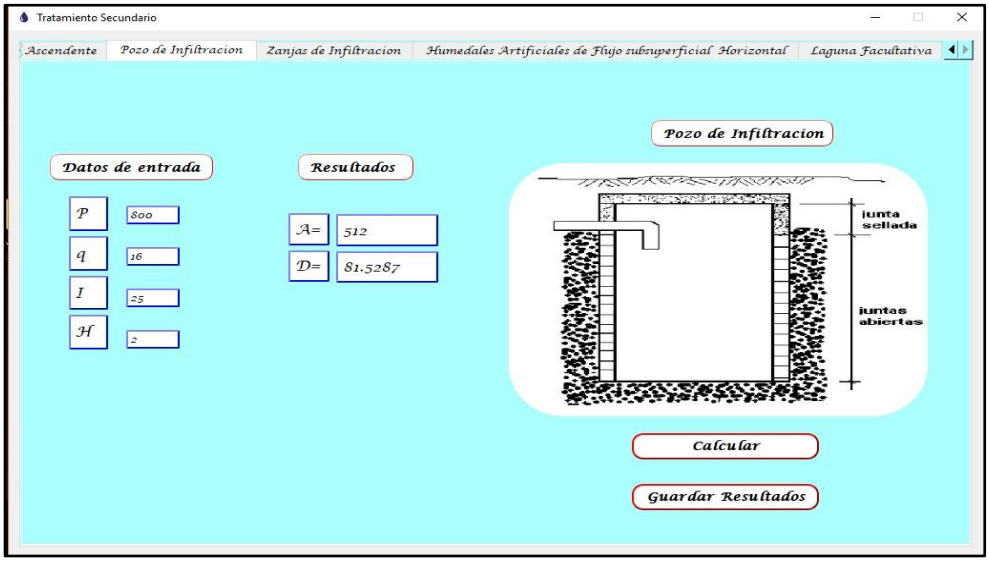

Figura 24. Ejemplo de Pozo de Infiltración

Conclusiones

Del análisis realizado a la bibliografía existente, se puede concluir que:

1. Del análisis de la bibliografía referente al tema, resultó viable escoger siete unidades de proceso que incluyen pretratamiento, tratamiento primario y secundario, para la confección del software, cuya utilización es frecuente en nuestro país.
2. Existen diversos software capaces de diseñar y modelar unidades y sistemas de tratamiento de aguas residuales, los que son utilizados por los países del primer mundo y cuyas licencias representarían altos costos para el país.
3. Se establece en el trabajo el procedimiento de diseño para cada unidad de proceso a calcular, en función de los criterios y restricciones de diseño, los datos requeridos, las ecuaciones y modelos a utilizar y las variables que serán presentadas como resultados.
4. Se confeccionó el programa de computación DUPTAR empleando el lenguaje de programación C++; el mismo permite diseñar unidades de procesos para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.
5. Se comprobó el funcionamiento de la herramienta informática mediante la solución de ejemplos resueltos en la bibliografía.

Recomendaciones

1. Continuar trabajando en la herramienta con el fin de mejorar las prestaciones del software.
2. Se recomienda que este programa sea la base para la creación de futuros software más desarrollados.
3. Se recomienda el uso del programa a fin de agilizar y facilitar los trabajos ingenieros de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, M. (2001): "Qué Es La Programación Orientada A Objetos." [http://www.desarrolloweb.com/articulos/499.php]
- ALVAREZ VEGA, F. (2018): "Tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades". Monografía de curso.
- ALVAREZ VEGA, F. (2018): "Tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades". Ejemplos resueltos. Monografía de curso.
- ALVAREZ MEDINA, L. (2016): "Estudio de los parámetros de diseño en el pretratamiento de pequeñas Plantas Depuradoras de Residuales."
- A., M. A. V. (2009). "Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales."
- ALEGRIA ESCOBAR, M. (2018):"Diseño Hidraulico de una Planta de Tratamiento De aguas residuaes".Tesis de Grado.
- Allende Abreu, I. (2000). "Diseño hidráulico de plantas de tratamiento para aguas residuales." (Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE) La Habana).
- BARBOSA CORBACHO; J. (2010): " Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales"
- BAUTISTA, J. (2014): "Programación Extrema." [http://ingenieriadesoftware.mex.tl/52753_XP---Extreme-Programing.html]
- BLANCHETE,J. (2006): "C++ GUI Programming with Qt 4"
- BRIGAND Sylvain, L. V. (2008).
- CALDERON, C. (2004) "Etapas de Tratamiento de aguas Servidas."
- Col, B. y. (1997) "Contaminación e ingeniería ambiental."

- CORTES MARTINEZ, F. (2017): "Dimensionamiento de Lagunas de Estabilización. "
- Degremont, (1979). Water Treatament Handbook. Francia.
- ESTRADA GALLEGO. I., (2010): "Monografía sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales."
- Forero, I. R. S. (1985) "Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales."
- Garcia J., B. A., Mujeriego R., Freixes A., y Peñuelas G. (2001) "Wastewater treatment by pond systems."
- García Fernández, J.M. y J. Gutierréz (2015). Manual de lagunas de estabilización. INRH. Cuba.
- Germain, L. (1982) "Tratamiento de aguas."
- Iturrate. A., & Urcola, A. L., (2005). "Optimización del diseño, operación y control de las EDAR utilizando modelos matemáticos y herramientas de simulación". "Tecnología del agua", (266), 74-79.
- J., C. (1986). "Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación de aguas residuales. "
- LEÓN SERRANO, Gonzalo. (1996). "Ingeniería de sistemas de software". 4ta. ed. Madrid – España. Isdefe, pp. 24-30.
- MARTIN GARCIA, I. y (C.A.) (2006): "Guía sobre tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. "
- Metcalf-Eddy (2014). "Watewater Engineering. Treatment and Resource Recovery". Quinta edición. Mac Graw Hill. EE.UU.

- NC 27: 2012, Vertimiento de las aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones.
- Muñoz, H. A. (1992). "Depuración de aguas residuales." (Tercera Edición. Colección Senior número 9. Colección de texto.).
- OAKLEY STEWART;M. (2005): " LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN HONDURAS" Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad.
- ORTEGA DE MIGUEL, E. y (C.A.),(2010): "Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones"
- ORTIZ BARDALES, P.E. (2014): Taller “Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”
- SANCHEZ RAMIREZ; J. (2015): "Specialized engineering software for the design and simulation of wastewater treatment plants: A review"
- SUÁREZ VILLALVA, C. (2014): "Desarrollo de un software para el dimensionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales”
- YANES,F. (2000): ”Criterios para la selección de procesos de aguas residuales”
- VALLEE APONTE, A. (2007):”Diseño del prototipo de una planta modular para tratamiento de aguas residuales.”
- Vernaldo, S. (2000) "Tratamiento de Aguas Residuales.".

Anexos

Se anexa el ejecutable del software DUPTAR de forma digital en una carpeta del mismo nombre.