



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
fundada en 1947
Santiago de Cuba, República de Cuba



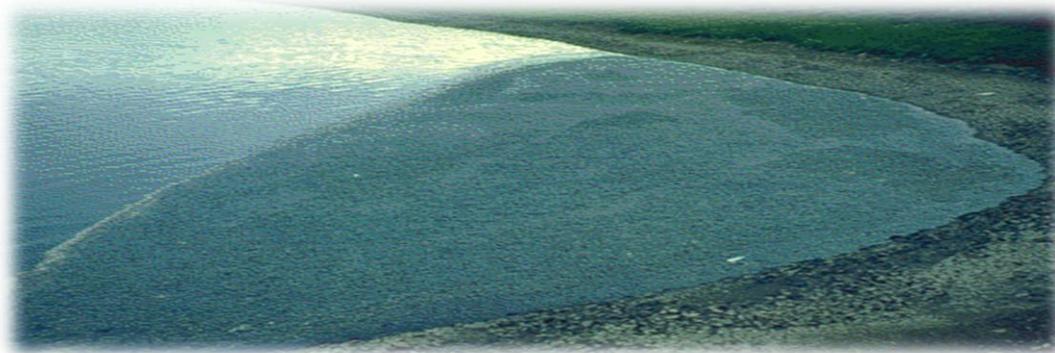
Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero hidráulico

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Autor: Yoel Artigas Ricardo

*Tutores: M.Sc. Profesor: Onell Pérez Hernández.
Ing. Renier Hernández Avila.*



Santiago de Cuba

Junio 2019

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Pensamiento

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

<<...Luego vienen toda una serie de necesidades, relacionadas también con el agua, tal como el abastecimiento de la población, que es otro problema serio, tal como el abastecimiento de agua que necesitan las industrias, que es otro problema serio. De donde se deduce que no hay desarrollo posible para nuestro país si no hay desarrollo de la hidráulica"... >>



Fidel Castro Ruz, 10 de agosto de 1963.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Dedicatoria

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Cuando una persona quiere superarse y ser alguien de bien en la vida se traza metas y el conseguir graduarme hoy es un sueño cumplido, durante mi periodo de estudiante tuve que esforzarme mucho y dar lo mejor de mí, superar cada prueba que me ponía la vida pues al final de una larga carrera siempre existirá una luz llamada recompensa y éxito que será el pago por todos los esfuerzos que cada cual es capaz de hacer ya que como sabemos cada persona en la vida es responsable de sus actos y lo que seamos capaces de sembrar hoy es lo que vamos a recoger en el mañana y en todo momento.

De tal manera quiero dedicarle este gran logro de mi vida:

A mis padres: Yoel Artigas Rodríguez y Maylín Ricardo Mondeja que supieron estar a mi lado en todo momento apoyándome en cada decisión que tomaba, por darme el amor y la confianza, la paz y tranquilidad y más que eso por ser mis amigos guiándome siempre por el mejor camino con todo el amor del mundo.

A mi hermano que me dio la fuerza para seguir adelante sin mirar atrás y sin dudar un segundo.

A mis abuelos que me dieron su apoyo y a mis tíos que me ayudaron en todo momento.

A mi novia Daniela García por estar siempre conmigo siendo mi cómplice, por darme consejos cuando los necesite y por apoyarme en todo.

A mis tutores y demás profesores del departamento que influyeron de una forma u otra en mi formación como profesional.

A todos mis amigos del aula por siempre estar ahí cuando los necesité y ser incondicionales para conmigo.

Muchas Gracias.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Agradecimientos

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Cada persona se proyecta sueños para su futuro próspero, para llegar hacer alguien en la vida y sentirse útil dentro de la sociedad, para que sus familiares cercanos se sientan orgullosos de sus logros y para sentirse bien consigo mismos pero para alcanzar cada una de esas metas se necesita mucho del apoyo de personas queridas que siempre están al lado nuestro.

Es por ello que quiero agradecer con mucha humildad y cariño a:

A todos mis familiares que de una forma u otra han contribuido con mi formación profesional y muy en especial a mis padres y hermano.

A mi novia Daniela García por su apoyo incondicional.

A mis compañeros de aula y amigos que me han apoyado en todo momento.

A mis tutores Onell Pérez Hernández y Reynier Hernández Avila que han hecho posible la realización de este trabajo de diploma y me han dado su ejemplo ante todo como profesionales.

A los demás profesores del Departamento de ingeniería Hidráulica que me han instruido profesionalmente.

Muchas Gracias.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Resumen

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

RESUMEN

Esta investigación aborda la descripción y diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales del polo turístico de Guardalavaca y la comunidad del mismo nombre, ubicadas en la costa norte de la Provincia de Holguín. El mismo está estructurado en: Resumen, Introducción, Capítulo 1: (Estado del arte), Capítulo 2: (Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la red hotelera Guardalavaca), Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas, Bibliografía y Anexos. Se realizaron y analizaron algunos muestreos a las aguas residuales de estas instalaciones que llegan al sistema de lagunas de estabilización tales como: DBO₅, DQO, Sólidos Sedimentables, Coliformes Termololerantes y se compararon con la NC-27: 2012, así como se calcularon los Índices de Biodegradabilidad tanto a la entrada como a la salida del sistema en distintos años.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Abstract

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Abstract

This research addresses the description and diagnosis of the wastewater treatment system of the tourist pole of Guardalavaca and the community of the same name, located on the north coast of the Province of Holguín. It is structured in: Summary, Introduction, Chapter 1: (State of the art), Chapter 2: (Description and Diagnosis of the residual water treatment system of the Guardalavaca hotel network), Conclusions, Recommendations, Bibliographic References, Bibliography and Annexes. Some samplings were carried out and analyzed to the wastewater of these facilities that arrive at the system of stabilization ponds such as: DBO₅, DQO, Sediments Solids, Thermololerant Coliforms and were compared with NC-27: 2012, as well as the Index were calculated of Biodegradability both at the entrance and exit of the system in different years.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Índice

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Índice	Páginas
INTRODUCCIÓN	1
1 Capítulo1: Estado del Arte.....	7
1.1 ¿Qué se entiende por aguas residuales?.....	7
1.1.1 Características de las aguas residuales.	8
1.1.2 Clasificación de las aguas residuales.	9
1.2 Principales parámetros.....	10
1.2.1 Tratamiento del agua residual.	12
1.2.2 Etapas del tratamiento del agua residual.....	14
1.3 Tratamiento físico.....	19
1.3.1 Tratamiento biológico.	19
1.3.2 Tratamiento químico.....	20
1.4 Potenciales impactos ambientales.	21
1.5 Tratamiento de aguas residuales por procesos biotecnológicos.....	22
1.6 La fotobiodepuración de aguas residuales.....	23
1.7 Problemas socioculturales asociados a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	23
1.8 El déficit mundial del tratamiento de aguas residuales.....	24
1.9 Tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización. ...	25
1.9.1 Objetivos de las lagunas de estabilización.	25
1.9.2 Clasificación de las Lagunas de Estabilización.....	26
1.9.3 Lagunas Facultativas.....	26
1.9.4 Lagunas Aerobias.....	27
1.9.5 Ventajas y desventajas del sistema aeróbico.	28

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

1.9.6	Laguna Anaerobia.	28
1.9.7	Ventajas y desventajas del sistema anaerobio.	29
1.9.8	Operación y mantenimiento de las lagunas anaerobias.	30
1.10	Descripción del Emisario Submarino.	30
1.10.1	Ventajas del Emisario Submarino.	31
1.10.2	Beneficios de la construcción del Emisario Submarino mediante tuberías de polietileno.	31
1.10.3	Principales usos de los emisarios submarinos.	32
1.10.4	Justificación para el uso del Emisario Submarino.	33
1.10.5	Reparación en emisarios submarinos.	33
1.10.6	Fases del tratamiento mediante Emisario Submarino.	34
2	Capítulo 2: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la red hotelera Guardalavaca.	37
2.1	Introducción.	37
2.2	Descripción del sistema de tratamiento.	38
2.2.1	Colectores Principales.	38
2.2.2	Estaciones de Bombeo de Residuales.	38
2.2.3	Características del órgano de tratamiento.	43
2.2.4	Disposición final.	45
2.3	Diagnóstico del sistema de tratamiento.	45
2.3.1	Espejo de agua del sistema de lagunas	45
2.3.2	Diques de las Lagunas	45
2.3.3	Registro del colector de entrada	46
2.3.4	Estructuras de entrada y salida	46
2.4	Impactos del sistema de lagunas sobre el medio ambiente de la zona ...	46

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.5	Conclusiones del Diagnóstico	46
2.6	Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales.....	47
2.7	Límites Máximos permisibles promedios para la descarga de aguas residuales según NC-27:2012 de acuerdo a la clasificación del cuerpo receptor	49
2.8	Sistema de Tratamiento de aguas residuales de Guardalavaca.	50
2.9	Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca en el año 2019.....	52
2.9.1	Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca año 2018	54
2.10	Comparación de resultados obtenidos, según los muestreos realizados por diferentes años.	54
2.11	Calculo de la eficiencia del sistema lagunar en distintos años.....	55
2.12	Cálculo del valor promedio de DBO ₅ del sistema lagunar en el pasado año 2018.....	56
2.13	Propuesta como solución al tratamiento de las aguas servidas del polo turístico de Guardalavaca.	58
3	Conclusiones.....	59
4	Recomendaciones.	60
5	Referencia Bibliográfica.	61
6	Bibliografía.	63
7	Anexos.	66

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Introducción

INTRODUCCIÓN

Desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de las aguas residuales ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse de los residuos que dañan el Medio Ambiente. Durante las últimas décadas de este siglo, 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. 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, de absorber y neutralizar la carga contaminante que tales residuos imponen. Los problemas causados por las aguas residuales 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. (Espigares García, M. y Pérez López, JA, 1985).

Es evidente que la polución está disminuyendo la calidad del agua en muchas partes del mundo. Con este progresivo deterioro, se ha hecho cada vez más importante el uso de técnicas y modelos para predecir la conducta de los organismos indicadores de la calidad del agua. 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. Los vertidos de aguas residuales pueden contener desde algunos centenares a varios miles de productos diferentes, muchos de ellos subproductos que ni siquiera han podido ser identificados. Es por esto que las aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado según su composición,

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, hasta evitar que se provoquen los problemas enunciados de contaminación de las aguas receptoras. (Espigares García, M. y Pérez López, JA, 1985).

A partir de los comienzos de la construcción de redes hoteleras, en el mundo se ha manifestado un crecimiento gradual en la creación de polos turísticos y en la mejora de sus tecnologías. En un principio se consideraba que los beneficios que se obtenían eran mayores que los problemas que se ocasionaban. Esta forma de pensar solo cambió cuando las creaciones de infraestructuras de hospedaje y recreación vacacional se hicieron tan masivas que los problemas ambientales eran evidentes y sus impactos empezaron a afectar la salud y el medio de convivencia en regiones urbanas. La relación entre el aumento de hoteles y el incremento consecuente de la contaminación fue descrita como un fenómeno que prevalece no solo en el archipiélago cubano sino, también en muchos países y regiones del mundo. (Berro, T, 2005).

Esta investigación está encaminada a realizar una descripción y un diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización facultativa de Guardalavaca y comunidad de su mismo nombre situados en la costa norte de la Provincia de Holguín y a buscar soluciones que nos permitan dar un uso más eficiente y racional a las aguas residuales.

Como sabemos el agua es la madre de la vida y la matriz, los seres vivos y en especial el hombre la utilizan para el desarrollo de sus actividades diarias y esencialmente para su propio bienestar. El 97% del agua que prevalece en nuestro planeta tierra es salada concentrada en océanos y mares, lo que nos deja con un 3% de agua dulce y de ella las dos terceras partes se encuentra concentrada en forma de hielo y nieve en los glaciales quedando libre solamente menos del 1% para el consumo de todos los seres vivos. (Landívar Pupo, 2018). El medio ambiente sufre de una contaminación incesante debido al mal uso de los recursos naturales y entre ellos del agua pues el hombre no le da la atención que requiere la misma es por ello que hay que crear una conciencia sobre la

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

racionalidad del recurso agua, sobre una cultura ambiental que se fundamente en todos los órdenes por lo que se hace necesario tomar medidas buscando un mejor control, manejo, ahorro y empleo del agua.

La situación de las aguas residuales de todo el mundo ha sido tema de gran interés y preocupaciones pues como se sabe estas aguas contaminadas son expulsadas a ríos, arroyos, lagunas, mares y otras fuentes donde no tienen un tratamiento adecuado es decir no quedan totalmente libres de bacterias que perjudican el medio ambiente y traen consigo consecuencias poco beneficiosas para la salud humana, existen diversas formas para tratar el agua residual y una muy eficiente lo constituyen las lagunas de estabilización las cuales empezaron a desarrollarse hace aproximadamente 3000 años y hasta nuestros días se sigue empleando el lagunaje como método de tratamiento de aguas residuales.

Cuba desde inicios de la década de los años sesenta se consideraba en el contexto latinoamericano y caribeño como una de las naciones donde más se había incrementado el empleo de lagunas de estabilización para tratar las aguas y en 1976 ya existían un total de 499 alcanzando el primer lugar en la región latinoamericana con 350 lagunas lo que respondía al gran interés del país en general por el tratamiento de las aguas y unido a ello al cuidado del medio ambiente. (Landívar Pupo, 2018).

En la Costa Norte de la Provincia de Holguín el polo turístico más importante lo constituye la playa Guardalavaca (Ver anexo 1) que por sus características es uno de los que más ingresos económicos aporta al país, por lo que demanda una gestión sostenible de las aguas residuales. El sistema de evacuación y tratamiento de residuales de Guardalavaca cuenta con tres estaciones de bombeo y dos lagunas de estabilización que satisfacen las necesidades actuales y perspectivas en materia de evacuación de los sectores Centro y Este de la playa, no siendo así para la depuración de las aguas servidas, debiendo incrementar la capacidad a tal fin. Es por ello que se hace necesario pensar en otras soluciones para el

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

tratamiento de aguas residuales según lo demande el desarrollo de las instalaciones turísticas y el número de habitantes en esta zona.

Por otra parte para darle respuesta a los problemas asociados con los residuos líquidos de estas instalaciones hoteleras se puede además analizar como una forma viable la introducción de tecnologías capaces de extraer un alto contenido de bacterias y microorganismos patógenos de estas aguas, logrando purificar la mayor parte de las mismas pero teniendo presente que para garantizar el funcionamiento y la puesta en práctica de estas, hay que contar con los recursos económicos necesarios, buscando mayor economía y calidad de trabajo, lo que nos enmarca en que la realidad de nuestro país está dada en implantar tecnologías poco mecanizadas pero muy eficientes que nos conduzcan a un bajo nivel de inversión y operación, es por ello que esta instalación turística debe considerar el emisario submarino como parte componente del sistema de tratamiento pues a través del mismo se realiza la conducción y vertimiento de aguas residuales en el fondo del mar, y cuando comienza a subir hacia la superficie, el alto grado de salinidad del mar acaba con las bacterias gracias a las diferentes corrientes marinas que las van disolviendo evitando la aparición de partículas en la bahía. (Sánchez Moreno, Hernando, 2000). (Ver anexo 3).

El emisario se puede concebir como la obra que mitiga el impacto ambiental producido por descargas libres en el mar de las aguas de estas instalaciones hoteleras que constituyen un peligro para el medio ambiente de la zona.

Este trabajo está encaminado a sugerir en cierto sentido alguna vía para tratar de aprovechar al máximo las aguas residuales sin embargo se hace necesario comenzar por la caracterización del sitio en general o concentrar los esfuerzos primeramente en los principales problemas que presenta el lugar en cuestión razón por la cual se seleccionó comenzar con la instalación hotelera de Guardalavaca conformada por dos grandes complejos, Las Brisas y Club Amigo que incluyen 6 hoteles y con la comunidad de su mismo nombre ubicada en la costa norte de la Provincia de Holguín.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Diseño de la Investigación:

Problema Científico:

Funcionamiento adecuado del sistema de lagunas de estabilización de Guardalavaca y comunidad anexa.

Objeto de la Investigación:

Sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales en lagunas de estabilización.

Objetivo General:

Realizar una descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales del Polo Turístico del Norte de Holguín y comunidad anexa así como un diagnóstico que nos permita brindar recomendaciones para lograr un mejor funcionamiento del sistema.

Objetivos Específicos:

1. Realizar una descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización de Guardalavaca y la comunidad de su mismo nombre.
2. Realizar un diagnóstico de la situación actual del funcionamiento de las lagunas a partir del reconocimiento en el terreno del objeto de la investigación.

Campo de acción:

Descripción y Diagnóstico del sistema de lagunas de estabilización.

Hipótesis:

Si se realiza una descripción y diagnóstico a los sistemas de lagunas de estabilización de Guardalavaca y su comunidad anexa nos permitirá conocer el estado de funcionamiento de este y se podrán brindar recomendaciones que permitirán mejorar la actividad de remoción de la materia orgánica.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Tareas de Investigación:

1. Realizar una revisión bibliográfica referente al tema de estudio.
2. Realizar ruta o recorrido en la zona objeto de estudio.
3. Toma de muestras del agua residual correspondientes al objeto de estudio.
4. Descripción y Diagnóstico del sistema de lagunas de estabilización objeto de estudio.
5. Entrega del documento en forma de Trabajo de Diploma.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Capítulo I

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

1 Capítulo1: Estado del Arte.

La revisión bibliográfica es un tipo de investigación científica que permite de manera ágil y sencilla obtener los avances científicos y técnicos publicados en diferentes regiones y momentos históricos y determina su aplicabilidad en relación con el estudio que nos atañe. (Pérez, 2003).

1.1 ¿Qué se entiende por aguas residuales?

El término agua residual define un tipo de agua, previamente utilizada, que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. Las llamadas aguas negras son las aguas residuales que están contaminadas con heces u orina y se identifican por la coloración oscura que presentan, (Ver anexo 2). La FAO define aguas residuales como:

“Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales. (FAO).”

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Existen diferencias entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. (FAO).

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

1.1.1 Características de las aguas residuales.

a) Sustancias químicas (composición):

Las aguas residuales están formadas por un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

1. Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.
2. Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

La concentración de materiales orgánicos en el agua se determina a través de la DBO₅, la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente.

3. Aniones y cationes inorgánicos y compuestos orgánicos. (Beato Otilio, 2002).

b) Características bacteriológicas:

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

1. Coliformes totales: La denominación genérica Coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Las características de los coliformes son; ser aerobias o anaerobias facultativas; ser bacilos Gram negativos; no ser esporógenas.
2. Coliformes fecales: Conocido también como la *Escherichia coli* es considerado una enterobacteria que se encuentra generalmente en los

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

intestinos animales, y por ende en las aguas negras, pero se lo puede encontrar en todos lados, dado que es un organismo ubicuo.

3. Salmonellas: es un género de bacterias que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, formado por bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, con flagelos peritricos y que no desarrollan cápsula ni esporas. Son bacterias móviles que producen ácido sulfhídrico (H₂S). Emplean glucosa por poseer una enzima especializada, pero no lactosa, y no producen ureasa ni tienen metabolismo fermentativo.
4. Virus: es un agente infeccioso microscópico acelular que solo puede multiplicarse dentro de las células de otros organismos. (Beato Otilio, 2002).

c) Materia en suspensión y materia disuelta:

1. La materia en suspensión se separa por tratamientos fisicoquímicos, variantes de la sedimentación y filtración. En el caso de la materia suspendida sólida se trata de separaciones sólido - líquido por gravedad o medios filtrantes y, en el caso de la materia aceitosa, se emplea la separación L-L, habitualmente por flotación.
2. La materia disuelta puede ser orgánica, en cuyo caso el método más extendido es su insolubilización como material celular (y se convierte en un caso de separación S-L) o inorgánica, en cuyo caso se deben emplear caros tratamientos fisicoquímicos como la ósmosis inversa.

Los diferentes métodos de tratamiento atienden al tipo de contaminación: para la materia en suspensión, tanto orgánica como inorgánica, se emplea la sedimentación y la filtración en todas sus variantes. Para la materia disuelta se emplean los tratamientos biológicos (a veces la oxidación química) si es orgánica, o los métodos de membranas, como la ósmosis, si es inorgánica. (Beato Otilio, 2002).

1.1.2 Clasificación de las aguas residuales.

- Aguas residuales domésticas: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

- Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- Aguas residuales industriales: Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (Gómez Apac, Hugo Ramírez. Matute Mejía, Genaro Lino. Ortiz Jahn, César Paul. Borrantes Cáceres, Roxana María).

1.2 Principales parámetros.

- Temperatura: está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como «energía cinética», que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. La temperatura resulta un componente de gran interés para el tratamiento del agua residual debido a que provoca afectaciones en las actividades biológicas de las plantas de tratamiento, un ejemplo de ello lo constituye la influencia que tiene en la producción de lodo.
- pH: Es un factor importante en el tratamiento de las aguas servidas debido a que si no se escoge un pH favorable para el sistema de tratamiento de aguas en cuestión puede producir afectaciones en el tratamiento biológico de las mismas ejemplo de ello lo es la acción de las enzimas que son necesarias para la descomposición y es afectada por el pH deteriorando la eficiencia del sistema.
- Sólidos disueltos: Son los componentes sólidos que están contenido dentro del agua residual ya sean de tamaño grande (basura) o pequeño (Arena) que perjudican el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): Se define como la cantidad de

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar el material orgánico en condiciones aeróbicas. Es una medida de la fortaleza contaminante del residual. La prueba constituye una oxidación bioquímica, cuya velocidad de reacción depende de la temperatura y de la población de microorganismos, la cual se ha estandarizado a una temperatura de 200 °C debido a que la prueba se originó en Inglaterra, donde esa es la temperatura media del agua. Se seleccionó un tiempo de incubación de 5 días como valor práctico en el que se alcanza la oxidación del 80% del material carbonáceo. La oxidación completa se alcanza para un tiempo de incubación de 20 días. Cuando se vierten residuales con altas concentraciones de materia orgánica la oxidación de esta ocurrirá en el cuerpo receptor, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que provoca la muerte de peces, malos olores, turbidez, espuma, etc. (Beato, 2002).

- Demanda química de oxígeno: Al igual que la DBO_5 , es una medida de la fortaleza contaminante del residual, en términos de la cantidad total de oxígeno requerido para la oxidación de toda la materia orgánica a CO_2 y H_2O . Se realiza la oxidación de los compuestos orgánicos por la acción de un oxidante fuerte (Dicromato de potasio) en medio ácido. La DQO tiene como gran desventaja que no diferencia entre el material orgánico oxidable biológicamente y el inerte, y en algunas ocasiones, algunos compuestos inorgánicos. Su gran ventaja radica en el corto periodo de tiempo requerido para su realización (3h) lo que condiciona que se utilice con frecuencia como sustituto de la DBO_5 con fines de control. Muchas veces se establecen correlaciones entre la DBO_5 y la DQO con objetivos prácticos (Beato, 2002).
- Nitrógeno (N): En los residuales se encuentran, principalmente, en forma orgánica o amonio, después sufre diversas transformaciones, pues las bacterias aeróbicas son capaces de oxidar el amonio a nitrito y nitratos que a su vez son utilizados por plantas y otros organismos como nutrientes para su crecimiento. Bajo condiciones anaeróbicas un grupo de bacterias

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

desnitrificantes reduce los nitratos a nitritos y, eventualmente, a nitrógeno gaseoso

- Fósforo (P): Es un compuesto esencial para el crecimiento de las algas en lagunas y ríos. Cuando están presentes grandes cantidades de N y P puede producirse un crecimiento excesivo de algas (eutrofización) que afecta la calidad del cuerpo receptor por la presencia de malos olores. Los organismos presentes en los procesos biológicos para tratar las aguas residuales requieren de la presencia de este cuerpo (en las proporciones explicadas) para su reproducción y la síntesis de material celular. Los cuerpos inorgánicos de P de mayor significado son los fosfatos y sus formas molecularmente deshidratadas (polifosfatos) (Beato, 2002).

1.2.1 Tratamiento del agua residual.

- El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.
- Toda agua residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para el diseño de una planta de tratamiento apropiada al agua servida que se está produciendo.
- La tesis fundamental para el control de la polución por aguas residuales ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción de los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Para ello, el nivel de tratamiento requerido es función de la capacidad de auto purificación natural del cuerpo receptor. A la vez, la capacidad de auto purificación natural es función, principalmente, del caudal del cuerpo receptor, de su contenido en oxígeno, y de su "habilidad" para reoxigenarse.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

- Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías, y eventualmente bombas, a una planta de tratamiento municipal. Las aguas de lluvias también son consideradas como aguas residuales debido a que estas pueden arrastrar, a través de los techos y la superficie de la tierra, varios contaminantes incluyendo partículas del suelo, metales pesados, compuestos orgánicos, basura animal, aceites y grasa por lo que también requieren de un tratamiento adecuado antes de ser descargadas al ambiente. Ejemplos de procesos de tratamientos para el agua de lluvia incluyen tanques de sedimentación, humedales y separadores de vórtice (para remover sólidos gruesos).
- Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se usan para eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc). Los

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. (Metcalf- Eddy).

1.2.2 Etapas del tratamiento del agua residual.

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. (Metcalf- Eddy).

a) Tratamiento Preliminar

El primer paso en el tratamiento preliminar del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más corriente es hacer pasar el agua residual afluyente a través de rejas o tamices. (Metcalf–Eddy).

➤ Cámara de reja o cribado.

Las materias contenidas en las aguas residuales pueden encontrarse en suspensión, dispersión coloidal y disuelta.

La materia en suspensión puede ser sedimentable o no.

La materia no sedimentable y de cierto tamaño es removida por la acción de cribado, dado su facilidad en la construcción y operación, es generalmente la primera operación que se realiza en la planta de tratamiento.

La operación de cribado es realizada mediante rejas o mallas y con los objetivos siguientes:

- Evitar obstrucciones en los conductos.
- Proteger los equipos.
- Reducir la absorción y adherencia de oxígeno.

Las rejas consisten en un conjunto de barras, situadas en paralelo y dejando una cierta distancia entre ellas, son las generalmente usadas cuando se hace manual la limpieza de la misma; cuando la limpieza se hace mecánica, pueden ser rejas, mallas, e incluso estas últimas pueden ser flexibles.

Clasificación de las rejas

- Según su colocación

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

- ✓ Fijas.
- ✓ Movibles.
- ✓ Móviles.
- Según la forma de limpieza.
 - ✓ Manual
 - ✓ Mecánica
- Según el tamaño de los espacios entre barras.
 - ✓ Finas (0.1 a 1.5cm.)
 - ✓ Mediana (1.5 a 2.5cm.)
 - ✓ Gruesa (2.5 a 5.0cm.)
- Según la sección transversal de las barras.
 - ✓ Cuadradas.
 - ✓ Redondas o circulares.
 - ✓ Rectangulares.
 - ✓ Aerodinámicas.

Las cribas más usadas en nuestro país, son rejas fijas o movibles, de limpieza manual, medianas o gruesas.

Las rejas se sitúan en unos canales y el conjunto recibe el nombre de “cámara de rejas”. (Allende).

➤ **Desarenadores.**

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

La mayoría de los desarenadores se construyen en forma de canales alargados y de poca profundidad, que retengan partículas con un peso específico de 2.65 y diámetro de $2 \cdot 10^{-2}$ cm.

Los desarenadores se suelen colocar después de las rejas y antes de los sedimentadores primarios, aunque en algunas instalaciones precede a las rejas.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Clasificación de los desarenadores

- De flujo horizontal
 - ✓ Simples.
 - ✓ De rendijas y bolsillo.
- De flujo vertical:
- De flujo helicoidal.

Recomendación para el diseño:

- Tiempo de retención
 - ✓ Máximo (60s).
 - ✓ Promedio (30s).
- Velocidad del flujo (0.30 m/s).
- Peso específico (2.5 - 2.65).

Los desarenadores más empleados son los rectangulares de flujo horizontal y se diseñan de modo que se mantenga una velocidad lo más cercana posible a 0.3 m/s y que proporcione suficiente tiempo como para que sedimenten en el fondo del canal las partículas de arena y permita la circulación a través de la unidad de la materia orgánica (Allende).

b) Tratamiento Primario.

➤ **Digestión anaerobia.**

La digestión de los lodos bajo condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno molecular) se produce como resultado de las actividades de microorganismos que comúnmente son divididos en dos grupos:

Un grupo que generalmente se halla presentes en grandes cantidades de agua residuales, hidroliza y fermenta las sustancias orgánicas complejas (grasas, carbohidratos y proteínas) y las convierten en compuestos orgánicos simples (ácidos grasos, como butírico, acético y propiónico), que se denominan ácidos volátiles y orgánicos Este grupo comprende muchas bacterias facultativas y

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

anaerobias que colectivamente reciben el nombre de formadoras de ácidos. Durante este periodo el pH presenta valores de 5 a 6 y es muy probable que se produzcan malos olores y espuma, así como flotación de los lodos.

El segundo grupo de organismos importantes en la digestión anaerobia de los lodos comprende aquellos que dan lugar a la formación de metano y de anhídrido carbónico empleando los productos del periodo anterior. Las bacterias que dan origen al metano son estrictamente anaeróbicas y su crecimiento es más lento que el de los formadores de ácidos, asimismo requiere un ámbito de pH de 6.5 a 8.0.

Condiciones óptimas de la digestión anaeróbica de los fangos.

- La temperatura más favorable: 38°C, por debajo se retarda y a los 4.5°C cesa rápidamente, por encima se retarda y luego incrementa de nuevo hasta un máximo de los 55°C.
- pH del lodo: entre 7.2 y 7.4.
- Relación adecuada entre las bacterias formadoras de ácidos y las formadoras de metano.
- Alcalinidad entre 1000 y 5000 mg/L y ácidos volátiles menores que 250 mg/L. (Allende).

➤ **Sedimentación.**

Es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad, con el propósito fundamental de obtener efluentes clarificados. También es necesario producir un fango con una concentración de sólidos que pueda ser manejado y tratado con facilidad.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el grado principal de tratamiento de agua residual o bien pueden utilizarse como un paso preliminar para el tratamiento posterior. En el primer caso, los tanques sirven para la eliminación de sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras y de gran parte de las materias flotantes. Si se emplea como paso previo a un tratamiento biológico, su función es reducir la carga en las

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

unidades de tratamiento. Los lodos de sedimentación primaria, que estén proyectados y operados eficazmente, deberán eliminar del 50 al 65 % de los sólidos suspendidos y del 25 al 40 % de la DBO₅ (Metcalf – Eddy).

➤ **Tipos de tanques sedimentadores.**

Las dimensiones de los tanques de sedimentación con capacidad inferior a 100 m³, deben regirse a las unidades compactas (Fosa séptica o Tanque *Imhoff*). En caso de que la capacidad de los tanques sea mayor a 100 m³, se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- En caso de Tanques Rectangulares la relación longitud / ancho, deberá ser superior a 4:1 y la relación ancho profundidad, deberá ser superior a 2:1.
- Si los Tanques son de remoción manual de lodo o por carga hidrostática, la profundidad mínima será de 1.50 m. En el caso de sedimentadores de remoción mecanizada de lodos, la profundidad mínima será de 2.00 m.
- Los pozos de acumulación y adensamiento de lodo deberán tener paredes con inclinación de por lo menos 1.5:1.0 y su volumen no deberá ser considerado en la determinación de la capacidad del tanque.
- Las tuberías de descarga de lodo deberán tener un diámetro mínimo de 150 mm. (Metcalf–Eddy).

➤ **Lechos de secado.**

El secado puede definirse como la reducción del agua contenida en los sólidos o materiales semejantes.

Esta reducción puede realizarse por distintos métodos:

- Centrifugas continuas.
- Secado por calor o incineración.
- Filtración.
- Filtración al vacío.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

- Prensas.
- Secado al aire.

Bajo condiciones climáticas favorables, los lodos bien digeridos, extendidos a una profundidad de 20 a 30 cm, se secan (evaporación y percolación) en 10 ó 14 días y hay problemas de olor.

Los lechos de secado generalmente consisten en capas graduadas de grava o piedra triturada bajo una capa de 10 a 15 cm de arena para filtros. Unos tubos de barro o material plástico tendidos con juntas abiertas, sirven de subdrenes. Cuando se realiza la operación de extracción de los fangos, en la acción de barrido, se arrastra arena, para evitar este fenómeno. (Allende).

1.3 Tratamiento físico.

- Tamizado.
- Remoción de gas.
- Remoción de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos o lodo. (Metcalf- Eddy).

1.3.1 Tratamiento biológico.

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Post – precipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaeróbica y humedales artificiales utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

específicas para controlar la presencia de contaminantes. (Metcalf- Eddy).

1.3.2 Tratamiento químico.

- **Eliminación del hierro del agua potable:** Los métodos para eliminar el exceso de hierro incluyen generalmente transformación del agua clorada en una disolución generalmente básica utilizando cal apagada; oxidación del hierro mediante el ion hipoclorito y precipitación del hidróxido férrico de la solución básica. Mientras todo esto ocurre el ion OCl está destruyendo los microorganismos patógenos del agua.
- **Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas:** Los métodos para eliminar el exceso de hierro incluyen generalmente transformación del agua clorada en una disolución generalmente básica utilizando cal apagada; oxidación del hierro mediante el ion hipoclorito y precipitación del hidróxido férrico de la solución básica. Mientras todo esto ocurre el ion OCl está destruyendo los microorganismos patógenos del agua.
- **Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas:** Para transformar el agua en vapor en las centrales térmicas se utilizan calderas a altas temperaturas. Como el oxígeno es un agente oxidante, se necesita un agente reductor como la hidracina para eliminarlo.
- **Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas:** El tratamiento de las aguas residuales domésticas incluye la eliminación de los fosfatos. Un método muy simple consiste en precipitar los fosfatos con cal apagada. Los fosfatos pueden estar presentes de muy diversas formas como el ion Hidrógeno fosfato.
- **Eliminación de nitratos de las aguas residuales domésticas y procedentes de la industria:** Se basa en dos procesos combinados de nitrificación y desnitrificación que conllevan una producción de fango en forma de biomasa fácilmente vertible. (Rivas Mijares, G, 1978).

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

1.4 Potenciales impactos ambientales.

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (ej. El hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Los **impactos directos** incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los **impactos indirectos** del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un impacto total negativo y no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.5 Tratamiento de aguas residuales por procesos biotecnológicos.

El proceso natural de la limpieza del agua se consigue gracias a una bacteria que se alimenta de los desechos que contienen las aguas servidas. Gracias a esta bacteria aparecen los sistemas de tratamiento de aguas por medio biológicos de biodigestión, donde por medio de diversos métodos se pone en contacto esta bacteria con el agua para acelerar el procesos natural. Utilizando una película fija de bacteria en diversas piezas de ingenierías distintas (estudiadas para tener mejor contacto con el agua a la hora de limpiarla) el agua se pone en contacto con

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

la bacteria para provocar una biodigestion mucho más rápida que el proceso natural. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

En presentación de rodillos, empaques, módulos o molinos la película fija tiene el mismo propósito, la diferencia entre las tecnologías radica en la forma en la que se acelera el propio proceso natural y desde luego en el espacio necesario para construir una planta de tratamiento de aguas con estas características. En comparación con otras tecnologías y métodos para la limpieza de las aguas residuales, la película fija es sin duda una de las opciones más fuertes gracias a su tamaño, fácil utilización, coste y espacio necesario para su construcción. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.6 La fotobiodepuración de aguas residuales.

La fotobiodepuración de aguas residuales es un proceso que implica la presencia de luz solar y organismos fotosintéticos para en el proceso de depuración. Generalmente la fotobiodepuración es llevada a cabo por microorganismos fotosintéticos, como microalgas y cianobacterias, en fotobioreactores, reactores específicamente diseñados para aprovechar la luz solar y favorecer el crecimiento de estos microorganismos. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.7 Problemas socioculturales asociados a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la repoblación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

impactos adversos sobre el medio ambiente humano. Si no se incluye estas consideraciones en la planificación del proyecto, existe el riesgo sustancial. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.8 El déficit mundial del tratamiento de aguas residuales.

Visto de una perspectiva mundial existe capacidad inadecuada del tratamiento de las aguas residuales, especialmente en países poco desarrollados. Esta circunstancia ha existido desde, por lo menos, los años 70 y es debido a la superpoblación, a la crisis del agua y al costo de construir sistemas de tratamiento de aguas residuales. El resultado del tratamiento inadecuado de las aguas residuales es un aumento significativo de la mortalidad (sobre todo) de enfermedades prevenibles; por otra parte, este impacto de la mortalidad es particularmente alto entre los infantes y otros niños en países subdesarrollados, particularmente en los continentes de África y de Asia. Particularmente, en el año 2000, los Naciones Unidas han establecido que 2.64 mil millones personas tenían el tratamiento o disposición de las aguas residuales inadecuado. Este valor representó a 44 por ciento de la población global, pero en África y Asia aproximadamente la mitad de la población no tenía ningún acceso cualesquiera a los servicios del tratamiento de aguas residuales. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

En Cuba se realizan investigaciones y proyectos constantes con la finalidad del tratamiento de las aguas servidas, buscando soluciones viables y muy efectivas, pero de bajo costo de inversión y operación, teniendo como objetivo principal el rehúso de más del 75% de las aguas residuales y el cuidado y preservación del Medio Ambiente. Debido a ello en Guardalavaca se emplean sistemas de tratamiento de residuales mediante lagunas de estabilización del tipo facultativas que tienen bajos costos de inversión, operación y mantenimiento con respecto a otros sistemas de tratamiento de aguas servidas.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

1.9 Tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización constituyen un sistema de tratamiento bioquímico de crecimiento suspendido, sin recirculación de sólidos sedimentados. A pesar de constituir el sistema más simple y sencillo de tratamiento de aguas residuales, son de una naturaleza muy compleja desde el punto de vista de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos responsables de su eficiencia. (Fair, Geyer y Okún), (Ver figura 1.1).



Figura 1.1: Ejemplo de una Laguna de estabilización.

1.9.1 Objetivos de las lagunas de estabilización.

- Protección epidemiológica, a través de la disminución de microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales.
- Protección y preservación del Medio Ambiente, a través de la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual.
- Reutilización del agua tratada con fines de interés económico como la

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

agricultura y regadío de áreas verdes de instituciones estatales en perfeccionamiento. (Fair, Geyer y Okún).

1.9.2 Clasificación de las Lagunas de Estabilización.

Existen diferentes tipos de lagunas de estabilización entre las que se encuentran: Aerobias, Anaerobias, Facultativas y de Maduración. (Fair, Geyer y Okún). En el Polo Turístico de Guardalavaca se está empleando para el tratamiento de las aguas servidas un sistema de lagunas facultativas.

1.9.3 Lagunas Facultativas.

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido de nutrientes y bacterias coliformes. Su profundidad suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical.

Se llaman lagunas facultativas a las lagunas que operan, en su estrato superior como lagunas aeróbicas, en su estrato inferior como lagunas anaerobias, y en el estrato intermedio, con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamada zona facultativa (Ver figura 1.2). En las lagunas facultativas existe el crecimiento de algas lo que representa, básicamente, el suministro de oxígeno fotosintético para la actividad aerobia bacterial y, por otro lado, la necesidad de removerlas de la laguna para controlar el aumento de la concentración de sólidos en suspensión, y el material biológico biodegradable (Ver figura 1.3). La concentración de algas se representa generalmente por la concentración de clorofila. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

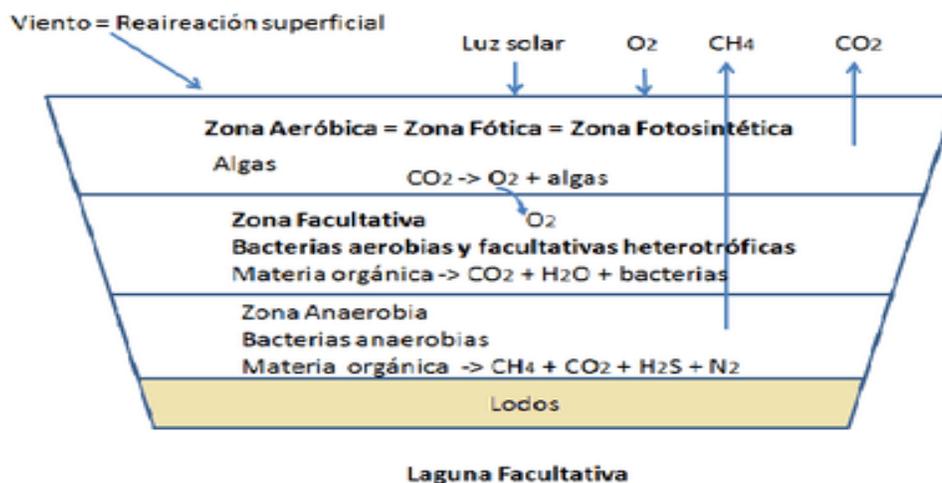


Figura 1.2: Laguna Facultativa.

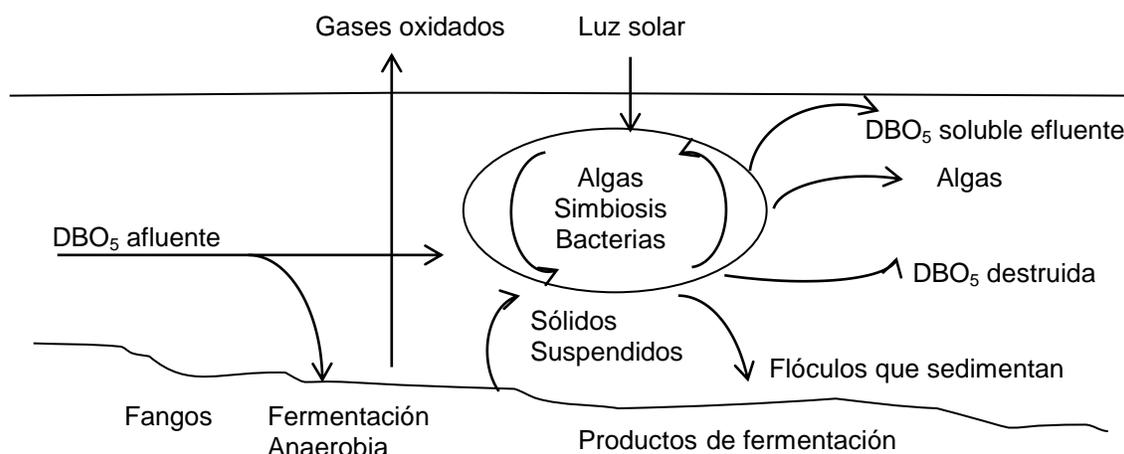


Figura 1.3: Remoción de DBO₅ en una laguna facultativa (Marais).

1.9.4 Lagunas Aerobias.

En el tratamiento de las aguas servidas, se llaman lagunas aeróbicas o lagunas de estabilización, cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptador de electrones, el proceso es aeróbico y se conoce también como respiración aeróbica. La oxidación biológica aeróbica es la conversión bacteriana de los elementos, de su forma orgánica a su forma inorgánica altamente oxidada, en un proceso conocido también como Mineralización.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

La temperatura del agua residual a tratar afecta la tasa de actividad biológica, los requerimientos de oxígeno en el proceso aeróbico, la producción de lodos y el volumen requerido por el reactor biológico. Debido a ello la temperatura máxima para la actividad biológica aeróbica eficiente es del orden de 38°C. Además otro factor que influye en el funcionamiento de estas lagunas es el pH que tiene que estar entre 6,5 y 8,5 para que estos sistemas biológicos operen favorablemente, valores superiores o inferiores a dichos límites deterioran la eficiencia. Y en los procesos de nitrificación, las lagunas aeróbicas requieren de suficiente alcalinidad para reaccionar con el ión hidrógeno producido. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.9.5 Ventajas y desventajas del sistema aeróbico.

a) Ventajas:

- Ausencia de olores
- Mineralización de todos los compuestos biodegradables
- Bajo costo
- Elevada estabilización de la materia orgánica
- Simples de construir y operar. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

b) Desventajas:

- Tasa alta de síntesis celular y por consiguiente alta producción de lodos.
- Requiere de energía eléctrica para oxigenación y mezcla.
- Gran proporción de células en los lodos que hace. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.9.6 Laguna Anaerobia.

La laguna anaeróbica o laguna anaerobia es un bioreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante. Una laguna anaerobia puede considerarse un proceso anaerobio a tasa baja en el

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

cual la materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) principalmente.

Generalmente las lagunas anaerobias son abiertas a la atmósfera, pero pueden también estar cubiertas para recoger el metano producido o para controlar la emisión de olores. Aunque existe una transferencia atmosférica de oxígeno en la capa superior de una laguna anaerobia abierta la laguna recibe cargas orgánicas altas que hacen que su contenido sea anaerobio y que no exista crecimiento de algas que produzcan oxígeno. Los gases producidos en la descomposición anaerobia tienen una acción mínima de mezcla: La laguna anaerobia permite, por lo tanto, obtener la sedimentación de los sólidos sedimentable del afluente y la acumulación de material flotante. Tanto el lodo asentado como el material flotante proveen área superficial para el crecimiento microbial, con el incremento obvio de la edad de lodos sobre el tiempo de retención hidráulica.

La temperatura en los sistemas anaeróbicos es un componente de gran interés para su funcionamiento eficiente y efectivo es por ello que para este proceso en general la temperatura óptima es de 32-38°C. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.9.7 Ventajas y desventajas del sistema anaerobio.

a) Ventajas:

- Tasa baja de síntesis celular y por consiguiente poca producción de lodos.
- El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.
- No requiere oxígeno, por lo tanto usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.
- Produce metano el cual puede ser útil como energético. El metano tienen un valor calórico de aproximadamente 36,500 kJ/m³.
- Tiene requerimientos nutricionales bajos. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

b) Desventajas:

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

- Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.
- Tiene riesgos de salud por H₂S.
- Requiere concentraciones altas de alcalinidad
- Puede presentar olores desagradables por H₂S, ácidos grasos y amidas. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

1.9.8 Operación y mantenimiento de las lagunas anaerobias.

Estas lagunas tienen requerimientos operacionales y de mantenimiento mínimos que, sin embargo, deben revisarse y cumplirse periódicamente, por el operador, con el objetivo de eliminar los problemas que frecuentemente se presentan en este tipo de plantas de tratamiento de aguas residuales. (Romero Rojas, Jairo A, 1994).

De manera general el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización es el método más simple que existe, presentan grandes ventajas de construcción pues se hacen de tierra, necesitan poca fuerza de trabajo calificado aunque es de vital importancia darle el mantenimiento que llevan durante un periodo de tiempo determinado. Resultan muy económicas y son muy efectivas en cuanto a la función que desempeñan. En nuestro país el lagunaje es un método muy usado debido a las facilidades económicas que brinda y por los resultados favorables que tienen en cuanto al tratamiento del agua residual para su reúso en otras actividades.

1.10 Descripción del Emisario Submarino.

Los emisarios submarinos son fundamentalmente tuberías (generalmente de polietileno) que conectan la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales con el mar. Es decir, están constituidos por conducciones en parte terrestres y en parte marítimas, hasta llegar al punto de vertido, situado lo suficientemente alejado de la costa. (Horrach Torrens, Juan Mateo, 2016). (Ver figura 1.4).

Estos se construyen para conseguir que las aguas marinas y las condiciones que se dan en el lecho marino contribuyan a la desinfección del agua. Salinidad,

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

temperatura, radiación ultravioleta y las corrientes marinas contribuyen a un proceso químico, físico y biológico que harán que estas aguas residuales se purifiquen, reduciendo así el impacto medioambiental. (BLOGPLASTICS).

1.10.1 Ventajas del Emisario Submarino.

- Su construcción resulta muy rápida.
- Requieren de un mínimo y sencillo mantenimiento.
- Emplean poca fuerza de trabajo calificado.
- Son más eficientes en la remoción de la carga contaminante (BLOGPLASTICS).

1.10.2 Beneficios de la construcción del Emisario Submarino mediante tuberías de polietileno.

1. Las tuberías que generalmente se emplean para la construcción de un Emisario Submarino son las de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) por los siguientes motivos:
2. Flexibilidad del material: Las tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) se caracterizan por su flexibilidad. Sus características físicas se fundamentan en una elevada capacidad de deformación, añadida a una capacidad de relajación de tensiones, características propias de los materiales del rango de las poliolefinas (PE y PP).
3. Facilidad para la unión de tubos: Los tubos de PEAD permiten aplicar la técnica de soldadura por termofusión, también conocida como soldadura a tope. Esto permite la construcción de tramos tan largos como se desee. Los tubos se van conectando y se van formando tramos. Los tubos se unen por soldadura por termofusión en la orilla para ir construyendo dichos tramos y luego se transportan por superficie (flotando) y su hundimiento controlado en forma de una "S".
4. Alta Resistencia a las inclemencias marítimas: Las condiciones climatológicas que se pueden dar en el mar, especialmente en zonas de más al norte, pueden

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

ser extremas. Los emisarios submarinos construidos a partir de tuberías de PEAD garantizan que no haya roturas ni fugas debido a los fuertes oleajes, las corrientes marítimas o la inestabilidad del lecho submarino. La flexibilidad y resistencia del material garantizan la durabilidad del emisario submarino. Además el PEAD es un material con gran resistencia a la corrosión del agua de mar. Una característica que otros materiales como el acero no cumplen del mismo modo.

5. Materiales muy ligeros: En comparativa con otros materiales como el hormigón o el acero, el polietileno es mucho más liviano. Esto garantiza que los trabajos de obra se realicen con mayor rapidez y la obra del emisario submarino no se prolongue tanto en el tiempo.
6. Mayor vida útil: La adherencia en las paredes interiores de los tubos de PEAD es muy reducida. Esto hace que la vida útil se prolongue mucho más.
7. Buen comportamiento hidráulico: La baja rugosidad del polietileno de alta densidad, le da un muy buen comportamiento hidráulico.
8. Reducción de costos: La posibilidad de montar tramos largos en tierra como hablábamos anteriormente, permite reducir el número de uniones en el fondo del mar, que suele ser uno de los motivos por los cuales el costo de la obra del emisario submarino también aumenta. (BLOGPLASTICS).

1.10.3 Principales usos de los emisarios submarinos.

- En los casos de descargas de aguas residuales, los sistemas de emisarios y difusores se usan frecuentemente como medio para reducir el grado de tratamiento que se aplica a los albañales previos a su descarga.
- Los emisarios se usan para la descarga de efluentes sanitarios e industriales con diversos grados de tratamiento, así como para las descargas pluviales y las termales.
- Los emisarios submarinos pueden emplearse para la toma de agua de mar y la conducción de aguas saladas al mar (BLOGPLASTICS).

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

1.10.4 Justificación para el uso del Emisario Submarino.

- Se justifica usar un emisario submarino en los casos en que es necesario proteger las zonas costeras de los posibles efectos adversos de una descarga.
- En toda descarga a un cuerpo de agua, existe una zona (la llamada zona de mezcla) donde el efluente se mezcla con las aguas receptoras y en la que puede haber 3 efectos adversos localizados aunque el grado de tratamiento sea provisto.
- El objetivo de un emisario es alejar la descarga de la costa para protegerla de estos posibles efectos. Un ejemplo clásico de esta aplicación se produce cuando una descarga está localizada cerca de una zona de playas de baño.
- En cualquier caso, el propósito del emisario es descargar lejos de zonas sensibles. La descarga del emisario debe ser localizada para evitar zonas sensibles, tales como arrecifes de coral, áreas de pesca y de cultivo o de recolección de mariscos.
- Aquellas descargas que no tengan el potencial de afectar adversamente los usos de las aguas cercanas al punto de descarga, podrían ser efectuadas directamente o cerca de la orilla, aunque muchas veces es preferible, por razones estéticas, que las descargas ocurran bajo el nivel del agua y que se usen emisarios cortos. (BLOGPLASTICS).

1.10.5 Reparación en emisarios submarinos.

- Las anomalías o fallos en emisarios submarinos se producen, en su mayoría, por deficiencias del proyecto en sus etapas de construcción o ejecución. También pueden tener origen en factores externos (anclas de barcos, dragas, aparatos de pesca, etc.) o en situaciones anómalas como fenómenos sísmicos.
- Por lo general, los trabajos de reparación consisten en la utilización de abrazaderas metálicas que comprimen una banda de material elastómero neopreno contra los extremos de los tubos a reparar.
- En caso de que sea necesario realizar una reparación, hay que tener en cuenta

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

las particularidades del emisario y que no se puedan realizar soldaduras bajo el agua. (BLOGPLASTICS).

1.10.6 Fases del tratamiento mediante Emisario Submarino.

1- Tratamiento Físico: Este cumple dos funciones fundamentales.

- La eliminación total de las partículas sedimentables y flotantes del líquido que ingresa a la planta, con el objetivo de proteger efectivamente las unidades mecanizadas de elevación y transporte, así como favorecer los fenómenos de estabilización utilizados posteriormente por el sistema.
- El acondicionamiento de las partículas a degradar, a través de la disminución del tamaño de sólidos suspendidos gruesos y el aumento de oxígeno disuelto por aereación del fluido, con el objeto de optimizar las etapas posteriores de remoción.

De esta forma el diseño conceptual de esta etapa incluye:

- cribas o rejillas (fijas o mecanizadas).
- unidades desarenadoras.
- desgrasador.
- Conminutor o triturador del material orgánico suspendido. (SALAS J, H, 1994).

2- Transporte y Pretratamiento Biológico: En esta etapa se transportan las aguas desde la costa hasta un punto en el océano en que se den las condiciones óptimas de dilución y dispersión para el desarrollo de la etapa 3.

Debido al importante tiempo de residencia de las aguas en los ductos de impulsión y en el emisario, se verifica en éstos el fenómeno natural de la autodepuración asociado a los residuos líquidos domésticos. Por esto, se reduce la cantidad de oxígeno demandado por la materia orgánica y/o se disminuye la cantidad de microorganismos presentes en las aguas. Por lo tanto, se distingue la presencia de un pretratamiento biológico como segunda etapa en la capacidad global del sistema.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Por otro lado el tiempo de residencia al interior del emisario es altamente significativo para la duplicación bacteriana. En diversos estudios realizados ha sido posible observar que las bacterias llegan debilitadas a la zona de descarga del emisario, con su metabolismo enlentecido (estado de dormancia) lo que facilita su abatimiento en el impacto con el medio marino. (Mondaca y Padilla, 1995).

Las partes o unidades distintivas del sistema, en esta etapa son:

- Cámara de Carga.
- Ducto o Tubería Submarina.

3- Tratamiento Submarino: En esta última fase del tratamiento, situada en el volumen de agua circundante al punto de descarga, se verifican al menos las siguientes funciones:

- Reducción de la contaminación orgánica y bacteriológica mediante procesos físicos asociados a la mezcla y dilución de aguas servidas en el mar.
- Reducción de la contaminación bacteriana mediante procesos físicos y biológicos relacionados con factores diversos como: temperatura, radiación ultravioleta, osmosis, salinidad, algas bactericidas, etc.
- Degradación de la materia orgánica por la acción bacteriana y del zooplancton, incorporándola a las cadenas trópicas.

En esta etapa es posible diferenciar 2 unidades básicas:

- Sistema de difusores, que es la estructura terminal del conducto y cuya función principal es producir una gran dilución inicial del efluente.
- Área de tratamiento natural, constituida por un cierto volumen de agua donde se desarrolla básicamente un tipo de tratamiento secundario. (SALAS J, H, 1994)

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.



Figura 1.4: Ejemplo de un Emisario Submarino.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Capítulo II

2 Capítulo 2: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la red hotelera Guardalavaca.

2.1 Introducción.

Las aguas residuales representan un peligro para el hombre y para la preservación de la flora y la fauna debido a que estas son vehículo de contaminación pues portan una gran cantidad de sustancias y microorganismos contaminantes perjudiciales para todo ser vivo, en nuestro país y especialmente en la provincia de Holguín, municipio de Banes, existen riesgos que pueden afectar el eficiente y suficiente tratamiento de las aguas servidas que brindan las instituciones encargadas.

Una de estas instalaciones la constituye la red hotelera Guardalavaca conformada por dos grandes complejos, Las Brisas y Club Amigo que incluyen 6 hoteles. Esta zona se encuentra ubicada en las coordenadas 21°07'30"N 75°49'44"O. El Polo Turístico Guardalavaca cuenta con 1184 habitaciones, un total de 528 viviendas en la zona lo que representan 1500 residentes permanentes y unos 50 usuarios compuestos por empresas constructoras, entidades del turismo, instalaciones comerciales, campamento de constructores y otros. Además de presentar una playa de 1,5 Km de largo, un ancho promedio de franja de sol de 10 m y una capacidad de carga turística de unos 12 mil bañistas, acudiendo a la misma un promedio de 6000 visitantes por día donde todas estas entidades aparecen controlados para establecer una demanda total de aproximadamente 32 L/s para un volumen diario de 2765 m³. (Tillan Días, Carlos. Bauzá Montero, Daniel. Lorenzo Rojas, Cecilia, 1998), lo que nos enmarca en la realidad de que a grandes consumo de agua potable se asocian problemas con las aguas residuales de estas instalaciones y unido a ello las deficiencias existentes en el sistema de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de residuos líquidos afectan también el proceso de desinfección de estas aguas causando afectaciones al medio ambiente.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.2 Descripción del sistema de tratamiento.

La playa cuenta desde finales de la década del ochenta del siglo XX con una infraestructura de alcantarillado, tratamiento de residuos líquidos compuesto por un sistema de lagunas de estabilización y disposición final de las mismas en pozos de infiltración. (Tillan Días, Carlos. Bauzá Montero, Daniel. Lorenzo Rojas, Cecilia, 1998).

2.2.1 Colectores Principales.

Dispone de dos colectores principales, el CP-I y el CP-II. El primero paralelo a la costa tiene una longitud de 1,54 Km de Φ 250, 350 y 400 mm, capta las aguas residuales de las instalaciones turísticas, y el otro colector de 0,92 Km de longitud y Φ 250 mm colecta los desechos líquidos de los edificios de viviendas. Ambos colectores se unen en un registro común y descarga finalmente en la estación de bombeo. (Tillan Días, Carlos. Bauzá Montero, Daniel. Lorenzo Rojas, Cecilia, 1998).

En sentido general la explotación de los colectores no es buena existiendo registros con deficiencias constructivas, mal tapados, que permiten la entrada de aguas pluviales y materias extrañas al alcantarillado (Ver anexo 4).

2.2.2 Estaciones de Bombeo de Residuales.

➤ Estación de Bombeo No.1:

Esta estación de bombeo se encuentra situada en las coordenadas 21.120953 N y 75.839491 W y capta el agua residual que generan los quioscos ubicados en la arena y el residual de la escuela de buceo, luego la distribuye hasta un registro rompe presión de donde es transportada por gravedad hasta la estación de bombeo No.2. Esta estación de bombeo no se encuentra en funcionamiento debido al mal estado de la técnica provocando riesgo de contaminación de la playa de Guardalavaca. El residual generado por las entidades antes mencionadas se está recogiendo a través de los carros limpia fosas y vertiéndose sin ningún tratamiento previo en la laguna No.2. Los datos de la estación de bombeo se encuentran en la tabla 2.1 y la curva de la bomba en la Figura 2.1.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Tabla 2.1: Datos de la Estación de bombeo No.1

Bomba	Caudal (L/s)	Carga (m.c.a)	Potencia (KW)	Est. Técnico
ABS Modelo Ab0641-S35/2-D* 10-M fabricada en Alemania.	10.6	17	3.5	Mal

➤ Estación de Bombeo No. 2:

La estación de bombeo No.2 se encuentra al lado derecho del Hotel Delta Las Brisas ubicada en las coordenadas 21.124780 N y 75.827963 W. Esta envía al sistema de tratamiento las aguas residuales procedentes de la estación No.1 y además recoge el residual de las instalaciones turísticas objeto de estudio y la comunidad de la zona en cuestión mediante colectores secundarios que se unifican en un colector principal hasta dicha estación de bombeo. Esta estación de bombeo no contaba con el suministro de energía adicional por lo que fallos de esta producían descargas de aguas residuales crudas en el estero aledaño muy próximo a la playa. En la actualidad cuenta con un grupo electrógeno de emergencia. La estación de bombeo tiene buen nivel de automatización pero faltan revisiones periódicas, en sentido general el mantenimiento no es bueno, en ocasiones se queda trabajando una sola bomba sin reserva.

Los datos de la estación de bombeo No.2 se encuentran en tabla 2.2 y la curva de la bomba en la figura 2.2. (Ver anexo 5).

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Tabla 2.2: Estación de bombeo principal.

Bomba	Caudal (L/s)	Carga (m.c.a)	Potencia(KW)	Est. Técnico
ABS Modelo AFP1077ME350/4-42 fabricada en Alemania	54.4	30.9	35	Regular
G. Electrónico			60 KVA-220 V	Bueno

➤ Estación de Bombeo No.3:

La estación de bombeo No.3 se encuentra ubicada en las coordenadas 21.121306 N y 75.822817 W, la misma capta el residual tratado en la laguna No.1 y lo bombea hasta la laguna No.2 donde continua su tratamiento, esta estación de bombeo se encuentra en buen estado de operación aunque no cuenta con un grupo electrógeno que lo respalde para su funcionamiento en casos de perdida de fluido eléctrico. A pesar de ello no habrá problemas con las aguas residuales debido a que si ocurrieran obstrucciones con la electricidad el residual de la laguna No.1 se dispondría por gravedad hacia otra batería de 6 pozos de infiltración que se encuentran en el estado aledaño a la zona. Datos de la estación de bombeo No.3 (Ver tabla 2.3) y las curvas de la bomba (Ver figura 2.2) y (Ver anexo 6).

Tabla 2.3: Datos de la estación de bombeo No.3

Bomba	Caudal (L/s)	Carga (m.c.a)	Potencia(KW)	Est. Técnico
ABS Modelo AFP1077ME350/4-42 fabricada en Alemania	54.4	30.9	35	Regular

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

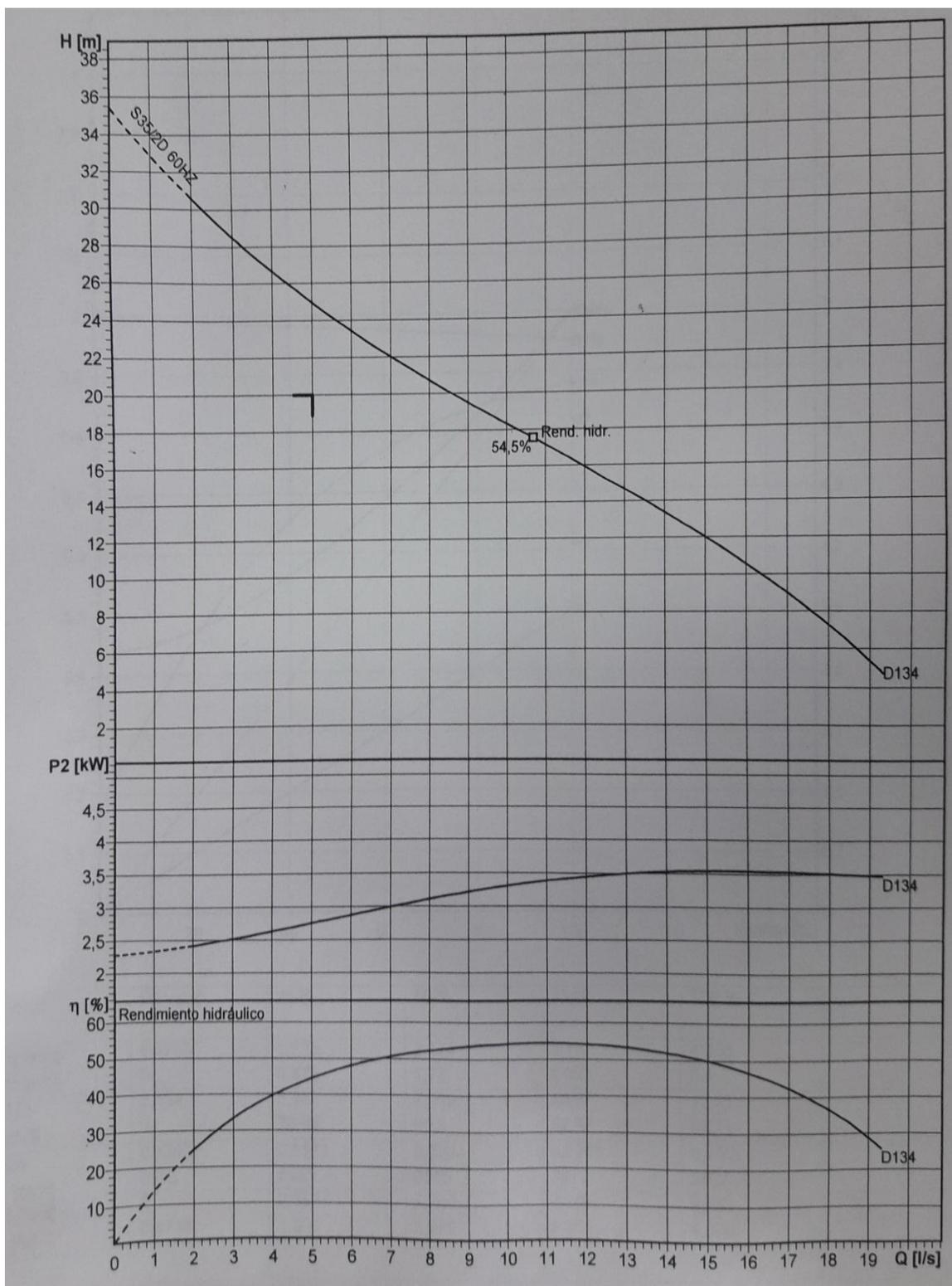


Figura 2.1: Curvas de la bomba, estación de bombeo No.1.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

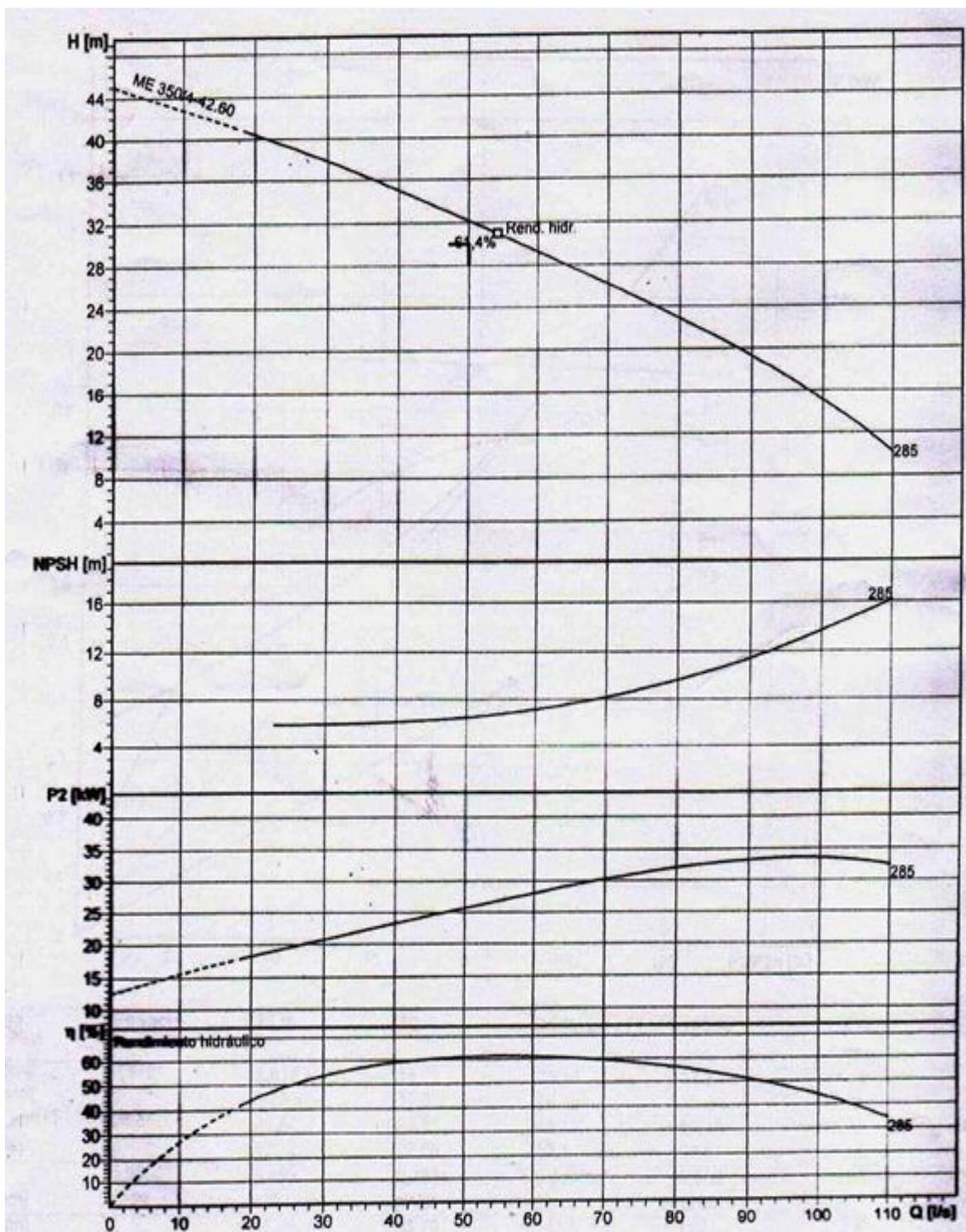


Figura 2.2: Curvas de las bombas, estación de bombeo No.2 y No.3.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.2.3 Características del órgano de tratamiento.

La laguna de estabilización facultativa No.1 existente en Guardalavaca se encuentra ubicada en las coordenadas 21.120222 N y 75.823186 W y tiene las siguientes características: consta con un volumen igual a 48000 m³, una profundidad de 2,20 m y un área de 2,16 ha, con un periodo de retención de 29 días. (Tillan Días, Carlos. Bauzá Montero, Daniel. Lorenzo Rojas, Cecilia, 1998). Esta laguna presenta buena presencia y se han medido notables eficiencias en remoción de DBO₅ y otros parámetros.

La laguna de estabilización No.2 de coordenadas 21.119591 N y 75.818530 W responde a las siguientes características: Consta de un volumen igual a 33000 m³, con una profundidad de 2.20 m y un área de 1.59 ha. (Tillan Días, Carlos. Bauzá Montero, Daniel. Lorenzo Rojas, Cecilia, 1998), la misma se encuentra trabajando en serie con la primera laguna y a ella se incorpora el efluente tratado de esta. La laguna se encuentra con un buen estado de operación y el efluente que ella trata tiene buena coloración y poca presencia de malos olores lo que indica que está trabajando eficientemente, aunque hay que realizarle mantenimientos periódicos y sobre todo hay que cerrar el área donde esta se encuentra para evitar la entrada de animales y personal no autorizado a la zona. (Ver figura 2.3).

La función del sistema lagunar está relacionado con los volúmenes de aguas residuales generados por los sectores “Centro y Este” de la playa, y por tanto, su existencia depende de las consideraciones relativas al desarrollo habitacional para esa zona. Considerando que el desarrollo total para dichos sectores es de 1184 habitaciones, una dotación de 1,02 m³/habitaciones y un 80% como gasto de aporte sanitario o porcentaje de habitaciones ocupadas, resulta un gasto promedio de 14.0 L/s, al que hay que agregar la población residente cuyo caudal es de 7,64 L/s obteniendo un total de 21,64 L/s lo que constituye 1870 m³/día y por tanto el periodo de retención resulta igual a 25.67 días.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

- Admitiendo una concentración de $\text{DBO}_5 = 250 \text{ mg/L} = 0,25 \text{ kg/m}^3$ se obtiene que para $1870 \text{ m}^3/\text{d}$ ($0,25 \text{ kg/m}^3$) = $468 \text{ kg DBO}_5/\text{día}$ y la carga orgánica superficial (C.O.S) = $468/2,16 = 216.67 \text{ kg DBO}_5 /\text{ha}/\text{día}$. En este sentido podemos abundar que en numerosos muestreos realizados la DBO_5 afluente no supera los 200 mg/L por lo cual la carga impuesta sería menor, no obstante, el resultado obtenido de $216.67 \text{ kg DBO}_5/\text{ha}/\text{día}$ se encuentra en el entorno de las posibilidades de operación en lagunas facultativas, por lo que podemos concluir que la facilidad de tratamiento del desarrollo propuesto para los sectores “Centro y Este” empleando la laguna existente como laguna primaria de un sistema que debe proporcionar periodos de retención mayores (25 – 30 días) es eficiente.



Figura 2.3: Laguna de estabilización de Guardalavaca.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.2.4 Disposición final.

La disposición final de las aguas residuales tratadas es en pozos de infiltración que fueron construidos en el lugar. Los resultados no han sido totalmente satisfactorios como consecuencias de deficiencias constructivas y de la operación y mantenimiento. Actualmente existen dos baterías de seis pozos cada una, donde es infiltrado el residual para su tratamiento definitivo.

2.3 Diagnóstico del sistema de tratamiento

El diagnóstico del sistema de lagunas de Guardalavaca se realizó a través de un recorrido de inspección a la zona.

2.3.1 Espejo de agua del sistema de lagunas

El sistema lagunar presenta buena coloración con un color verde penetrante, no se sienten malos olores en el lugar donde estas se encuentran ubicadas, tiene poca presencia de vegetación y además no se observan objetos flotantes.

2.3.2 Diques de las Lagunas

La corona del dique de la laguna No.1 tiene un ancho de 6 m para permitir el acceso de vehículos al lugar, en el sentido transversal tiene una ligera pendiente que permite su escurrimiento evitando que se acumule el agua de lluvia y ponga en riesgo su correcto funcionamiento y eficiencia.

El talud de esta laguna presenta algunos agrietamientos y tiene poca presencia de vegetación.

La corona del dique de la laguna No.2 presenta un ancho de 6 m para facilitar el paso de vehículos al lugar, en el sentido transversal tiene una ligera inclinación que permite el escurrimiento de la lluvia y evita la acumulación de la misma en la laguna.

El talud de esta laguna está recubierto de hormigón aunque presenta algunos agrietamientos pequeños y no tiene presencia de vegetación.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.3.3 Registro del colector de entrada

Los registros del colector de entrada del sistema de lagunas en general se encuentran en buen estado, están tapados por lo que no tienen presencia de ningún objeto que pueda afectar el correcto funcionamiento de las lagunas.

2.3.4 Estructuras de entrada y salida

La laguna No.1 cuenta con tres registros de entrada que se encuentran en buen estado es decir están trabajando normal. Además cuenta con dos registros de salida que de igual manera trabajan correctamente. Estos registros captan el agua residual a 0.60 m por debajo de la superficie para evitar así el desplazamientos de objetos flotantes por los conductos.

La laguna No.2 cuenta con dos registros de entrada y dos de salida que presentan buen estado y trabajan normal. Los registros de salida al igual que en la laguna de estabilización No.1 captan el agua residual a 0.60 m por debajo de la superficie evitando que se trasladen objetos flotantes por los conductos. Estos registros están conectados a un emisario final que transporta el agua por gravedad hasta su disposición final en los pozos de infiltración.

2.4 Impactos del sistema de lagunas sobre el medio ambiente de la zona

El sistema lagunar se ejecutó lo más apartado posible de la comunidad de la zona objeto de estudio y se previó que no causara grandes impactos ambientales en el territorio. Además de mantenerse controlado el lugar para evitar que ningún usuario de esta zona realice vertimiento de residuales ya sean sólidos o líquidos en el sistema que pongan en riesgo el funcionamiento del mismo.

2.5 Conclusiones del Diagnóstico

El diagnóstico del sistema de tratamiento de residuales líquidos de Guardalavaca y comunidad anexa ha mostrado que el mismo está en buenas condiciones. Casi todas las estructuras que lo componen están funcionando adecuadamente y tienen buen estado técnico facilitando el correcto funcionamiento del sistema y logrando una mayor eficiencia del mismo, pero a pesar de ello hay que realizarle

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

mantenimientos periódicos para evitar así cualquier riesgo que afecte su funcionamiento.

2.6 Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales.

Para el análisis de las aguas residuales se conformaron muestras compuestas en los puntos principales de vertido, desde la entrada de agua al sistema como a la salida de agua del mismo. También se revisaron y analizaron los resultados de muestreos realizados en años anteriores. Todos estos análisis se efectuaron utilizando métodos de ensayos según código RT0507, (Ver tabla 2.4).

Se calcularon los índices de Biodegradabilidad (IB) de los residuos líquidos con las concentraciones halladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a 20°C (DBO₅, 20°) (en lo adelante DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a partir de la ecuación (1):

$$IB= DQO/ DBO_5 \quad (1)$$

Y siguiendo lo estipulado en la siguiente escala de valores:

IB= 1,00-2,50 ----- Biodegradable

IB= 2,50-5,00 ----- Medianamente biodegradable

IB= 5,00 ----- Poco biodegradable. (Romero López, Teresita de Jesús. Santiso Garbayo, Patricia. González Díaz, Orestes Arsenio, 2014).

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Tabla 2.4: Parámetros, Documentación y métodos de medición para aguas residuales.

Análisis	Métodos de determinación	de Documentación que ampara el ensayo
Coliformes Termololerantes (CTT).	Técnicas de los tubos múltiples de fermentación para miembros del grupo Coliformes.	PA31 Determinación bacteriológica en aguas. Técnica de tubos múltiples.
Demanda química de oxígeno (DQO).	Prueba de DBO ₅ por 5 días.	PA12 Procedimiento Analítico para el ensayo de DBO ₅ .
Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO ₅ , 20°).	Método acelerado autoclaveando muestras bajo presión con Dicromato.	PA11 Procedimiento Analítico para el ensayo de DQO.
Sólidos Sedimentables (SS).	Método de separación por diferencia de densidad entre las partículas presentes en una muestra de agua.	2540F.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.7 Límites Máximos permisibles promedios para la descarga de aguas residuales según NC-27:2012 de acuerdo a la clasificación del cuerpo receptor.

Parámetros		Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada a 5 m.		
		UM	(A)	(B)
pH	Unidades	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 500	2 000	4000
Temperatura	°C	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	5	10	30
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	ml/L	1	3,0	5,0
DBO ₅	mg/L	40	60	100
DQO (Dicromato)		90	160	250
Nitrógeno total (Kjd)		5	10	15
Fósforo total		5	5	10
Oxígeno Disuelto		>4	>3	>2
Coliformes Totales (CT)	NMP/100 ml	<1000	<5000	(1)

A los efectos de la NC-27: 2012 los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la clase (A).

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

Según la normativa aplicada en Cuba para los vertimientos en cuerpos receptores de tipo C, donde clasifica la zona que están ubicados los pozos de infiltración, todos los residuos que se aporten a esta deben cumplir con una serie de parámetros y valores. Los estudios realizados en los complejos turísticos de Guardalavaca tuvieron la finalidad de verificar la relación existente entre los resultados obtenidos producto de los muestreos a las aguas negras de los diferentes procesos y los obligatorios expuestos en la norma mencionada.

2.8 Sistema de Tratamiento de aguas residuales de Guardalavaca.

El sistema de tratamiento de aguas residuales que se emplea actualmente en Guardalavaca es eficaz a pesar de que existen problemas relacionados con el alcantarillado sanitario tales como registros mal tapados, obstrucciones reiteradas en el sistema producto a deterioro de los colectores que transportan el agua residual hasta la estación de bombeo donde se capta y bombea el agua hacia la laguna facultativa No.1, luego de haber sido tratado previamente el residual se incorpora mediante la estación de bombeo No.3 que se encuentra en las inmediaciones de la primera laguna, esta descarga en un registro rompe presión de coordenadas 21.119580 N y 75.823186 W que distribuye el caudal hasta la

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

nueva zona de tratamiento que sería la laguna No.2, luego de culminar el proceso de tratamiento de estas aguas residuales en el sistema lagunar, los dispositivos de salida captan el agua a 0.60 m por debajo de la superficie para evitar el desplazamiento de objetos flotantes a través de los conductos, con esto se trata de obtener además un efluente con un menor contenido de algas. El emisario final trabaja a gravedad y transporta el agua tratada hasta una batería de 6 pozos que es la disposición final de estas aguas residuales.

Por otro lado las aguas residuales generadas por estas instituciones contienen grasas y aceites que es un parámetro de interés a la hora de su caracterización y una fuente de contaminación para estas aguas. Esto se debe al estado técnico que presentan las trampas de grasas de estas instalaciones turísticas y a su falta de mantenimiento lo que provoca ineficiencia en la depuración de estos residuales (Ver figura 2.4) y (Ver anexo 7). No existe un valor real en cuanto al contenido de grasas y aceites que presentan estas aguas residuales debido a que la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST) encargada de procesar estos análisis no cuenta con la técnica necesaria, imposibilitando que se ejerza una comparación de este parámetro con la norma NC-27: 2012 y por tanto que no se tenga la información necesaria de su cumplimiento.



Figura 2.4: Trampa de grasas, Hotel Delta Las Brisas.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.9 Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca en el año 2019, (Ver tabla 2.5) y (Ver figura 2.5 y 2.6).

Tabla 2.5: Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca en el año 2019.

Análisis	Entrada del sistema.	Salida del sistema.	Según NC-27: 2012.
Coliformes Termoloterantes (CTT) (NMP/100 mL).	5.4×10^3	1.7×10^3	1
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L).	560	176	<250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/L).	241	40	<100
Sólidos Sedimentables (SS) (ml/L).	1	1	<5

Con estos resultados se determinó el IB de los residuos líquidos, obteniéndose el valor de 2.32, destacándose así que los residuos líquidos que se aportan a la entrada del sistema son biodegradables.

El IB hallado en la salida del sistema fue de 4.4 por lo que la materia orgánica que se encuentra en los residuos líquidos es Medianamente biodegradable indicando que el sistema no está trabajando bien con respecto a este parámetro. Este incumplimiento del índice de biodegradabilidad puede estar relacionado con que en la laguna No.2 los carros limpia fosas están vertiendo el agua residual cruda que proviene de la escuela de buceo y los quioscos cercanos a la playa. Este residual no cuenta con un tratamiento previo lo que afecta el funcionamiento de la

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

laguna y provoca alteraciones en los muestreos que se toman disminuyendo la eficiencia del sistema en general.



Figura 2.5: Entrada de agua al sistema de lagunas de Guardalavaca.



Figura 2.6: Salida de agua del sistema de lagunas de Guardalavaca.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.9.1 Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca año 2018 (Ver tabla 2.6).

Tabla 2.6: Características físico-química y bacteriológica de las aguas residuales en la entrada y salida del sistema de Lagunas Facultativas de Guardalavaca año 2018.

Análisis	Agua Residual entrada del sistema.	Agua Residual salida del sistema.	Según NC-27: 2012.
Coliformes Termololerantes (CTT) (NMP/100 mL).	-	$1.7 \cdot 10^3$	1
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L).	576	480	<250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/L).	323	299	<100
Sólidos Sedimentables (SS) (ml/L).	7	4	<5

El IB hallado en la entrada del sistema fue de 1.78 por lo que la materia orgánica que se encuentra en los residuos líquidos es biodegradable.

Con los resultados de la tabla 2.6 se determinó el IB a la salida del sistema siendo el mismo igual a 1.61, clasificando así el sistema como biodegradable.

2.10 Comparación de resultados obtenidos, según los muestreos realizados por diferentes años.

Cada año el Polo Turístico tiene la obligación de controlar la calidad de las aguas mediante estudios físico-químico y bacteriológico, con el apoyo de diferentes laboratorios especializados y acreditados a tales efectos.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Como se puede observar en las tablas anteriores, los resultados de los muestreos en los dos últimos años manifiestan que en el presente año tuvo una mejora considerable en comparación con el año 2018 en el cual las eficiencias de remoción de la materia orgánica fueron muy bajas y casi nulas, además de no cumplir con algunos parámetros físico- químico y bacteriológico establecidos en la NC-27:2012 tales como la DBO₅, DQO y los CTT que no se encuentran en el rango de cumplimiento para aguas servidas, los sólidos disueltos cumplen con la norma al igual que el IB que se mantuvo en el rango de 1 hasta 2.50 clasificando la materia orgánica como biodegradable tanto a la entrada como a la salida del sistema lagunar (Ver tabla 2.6). Mientras que en el año 2019 hubo una mejora notable pues el sistema aumentó su eficiencia de remoción de la materia orgánica. Además de cumplir con los parámetros exigidos por la Norma cubana para las aguas residuales, tales como: DBO₅ a 20 grados de temperatura por cinco días, DQO y SS que tuvieron una remoción considerable de estos parámetros, demostrando la eficiencia y el buen estado de funcionamiento del sistema lagunar en este año. A pesar de que el IB en el presente año a la salida del sistema no está dentro del rango de biodegradabilidad y el parámetro CTT no cumplir con la NC-27: 2012 por los problemas antes mencionados, el sistema de tratamiento de aguas residuales es efectivo para la zona en cuestión.

2.11 Calculo de la eficiencia del sistema lagunar en distintos años.

Usando la ecuación (2) se determina la eficiencia de trabajo del sistema lagunar en estudio (Ver tabla 2.7).

$$\mu = ((\text{DBO}_{5 \text{ Ent.}} - \text{DBO}_{5 \text{ Sal}}) / \text{DBO}_{5 \text{ Ent}}) * 100\% \quad (2)$$

Tabla 2.7: Resultado del cálculo de la eficiencia del sistema lagunar en distintos años.

Eficiencia del sistema de lagunas (%), año 2019.	Eficiencia del sistema de lagunas (%), año 2018.
83	7.4

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Como se pudo observar en la tabla anterior los resultados más favorables pertenecen al año 2019 que fue donde las lagunas de estabilización tuvieron mayor eficiencia en cuanto a remoción de materia orgánica, mostrando la efectividad del sistema lagunar en cuanto al tratamiento de las aguas residuales que genera la zona en estudio.

Según los análisis realizados las diferencias que se observan en los resultados obtenidos obedecen a violaciones que se cometieron en el procedimiento de muestreo, provocando que no exista un registro homogéneo de las características del agua que se utiliza, imposibilitando llevar a cabo una comparación representativa de las concentraciones de los tenores citados, haciendo por tanto, más difícil, aún con la información existente implementar un sistema de gestión para el tratamiento efectivo de más del 75% del agua residual de las instalaciones turísticas en cuestión. El método más adecuado en estos casos, debe ser la adquisición de una muestra compuesta cada cierto periodo de tiempo, con alícuotas proporcionales a los flujos, garantizando así una composición más heterogénea del residual a evaluar.

2.12 Cálculo de la DBO₅ promedio del sistema lagunar en el pasado año 2018.

Al tener el sistema de lagunas de estabilización valores diferentes en los distintos años, se recogieron los muestreos del año 2018 pues el sistema precisa de un balance de masa para poder calcular el valor promedio de DBO₅; de ahí que se usarán los indicadores que se presentan en la Tabla 2.8.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

Tabla 2.8: Resultados del análisis de muestreos al sistema de lagunas, año 2018.

Muestreos realizados, año 2018.	Sistema de tratamiento.	DBO ₅ (mg/L)	Q (L/s)
13-03-2018	Entrada al sistema	323	11.7
13-03-2018	Salida del sistema	299	11
12-06-2018	Entrada al sistema	240	6.22
12-06-2018	Salida del sistema	43	5.25
12-09-2018	Entrada al sistema	41	11.7
12-09-2018	Salida del sistema	89	10.9
13-12-2018	Entrada al sistema	42	11.3
13-12-2018	Salida del sistema	29	11.1

Utilizando la ecuación (3) se determina el valor promedio de la DBO₅, concentración que es de suma importancia para la gestión del sistema de tratamiento de aguas residuales del Polo Turístico de Guardalavaca y comunidad anexa.

$$DBO_5 = (\sum_{1}^n DBO_{5n} \cdot Q_n) / \sum_{1}^n Q_N \quad (3)$$

Dónde: DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno. Q: caudal.

Los resultados del balance de masa no se obtuvieron debido a que no se realizó el cálculo correspondiente por los motivos expuestos anteriormente sobre las violaciones que se cometen ante el procedimiento de muestreo de las aguas residuales que genera el polo turístico de Guardalavaca y la comunidad de su mismo nombre.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

2.13 Propuesta como solución al tratamiento de las aguas servidas del polo turístico de Guardalavaca.

1. Teniendo en cuenta que los dos complejos turísticos pertenecientes a Guardalavaca tienen grandes consumo de agua potable para el desarrollo de sus actividades diarias a lo que se asocia entonces riesgos que pueden provocar vertimientos de las aguas residuales, se propone la construcción del Emisario Submarino en la salida de la laguna de estabilización No.2 para que este conduzca el residual al mar evitando así la contaminación de la zona objeto de estudio. Para la construcción del Emisario Submarino, se debe tener en cuenta el caudal de salida de las aguas de vertimiento y la composición de las mismas; además la investigación geológica de las zonas por donde pasarán los conductos que deben ser cerrados y de materiales que resistan la agresividad de las aguas que pasarán por ellos. Por otro lado, se deberá prever el desarrollo que tendrá la zona en cuestión en lo relativo a nuevas redes turísticas, aumento de la población de la zona en cuestión, comercios, etc.
2. Después de la laguna de estabilización No.2, agregar un tratamiento terciario con filtración (zeolita) y desinfección (cloro) con el objetivo principal de reutilizar estas aguas residuales tratadas en el regadío de áreas verdes y campo de golf de los hoteles en cuestión lo que facilitará el perfeccionamiento turístico de esta zona y servirá como apoyo para el desarrollo económico del país.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Conclusiones

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

3 Conclusiones.

1. Se realizó una descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales existentes en Guardalavaca y su comunidad anexa.
2. Se realizó un diagnóstico de la situación actual de funcionamiento del sistema de lagunas de estabilización facultativas del Polo Turístico del norte de Holguín y la comunidad de su mismo nombre.
3. Se realizaron propuestas de recomendaciones, que de llevarse a cabo por los decisores, se mejoraría el tratamiento de las aguas residuales del Polo turístico Guardalavaca y con ello la posible contaminación de la zona objeto de estudio.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Recomendaciones

4 Recomendaciones.

1. Revisar y adecuar el protocolo de muestreo de los sistemas de tratamiento de residuales de las instalaciones turísticas de Guardalavaca y la comunidad de esta zona objeto de estudio para evitar violaciones que introduzcan errores en los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.
2. Implementar las acciones correctivas que permitan solucionar las no conformidades existentes en las estaciones de bombeo, redes y colectores de alcantarillado que provocan obstrucciones, incorporación del escurrimiento superficial al mismo y vertimientos, los cuales introducen alteraciones en el funcionamiento de las lagunas de estabilización.
3. Adoptar las medidas necesarias para evitar el vertimiento directo de carros limpia fosas a las lagunas de estabilización, provocando alteraciones en su funcionamiento. Se recomiendan tomar las siguientes medidas:
 - Realizarle mantenimientos periódicos a la técnica es decir a las estaciones de bombeo y redes de alcantarillado sanitario.
 - Establecer en la estación de bombeo No.1 y No.3 un grupo electrógeno de reserva para cuando haya pérdida de fluido eléctrico.
 - Agregar en la estación de bombeo No.1 otra bomba de reserva por si existiera algún fallo técnico con la que se encuentre trabajando se puedan distribuir los caudales a los sistemas de tratamiento con la de reserva.
4. Teniendo en cuenta que estamos en presencia de un Polo Turístico en pleno desarrollo, en el que se ha planificado la construcción de otras instalaciones y campos de Golf y que el mismo se encuentra ubicado en una zona que no existen abundantes fuentes de abasto de agua, debe preverse la construcción de una variante de tratamiento terciario de forma tal que el efluente de este sistema de alcantarillado pueda ser reutilizado en el riego de áreas verdes.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Referencias Bibliográfica

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

5 Referencia Bibliográfica.

-  ESPIGARES GARCÍA, M y PÉREZ LÓPEZ, JA. (1985). Aguas Residuales. Composición.
-  Berro, T. (2005). "Medio Ambiente y Desarrollo". Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, Cuba.
-  Landívar, Pupo Darlena. (2018). Trabajo de Diploma: " Diagnóstico y Evaluación de la laguna de estabilización del reparto Abel Santamaría Micro III.
-  Sánchez Moreno, Hernando. (2000). Emisario Submarino: Solución a los problemas Ambientales.
-  Pérez Hernández, Onell. (2003). Tesis de Maestría: Gestión de operación del acueducto # 2 "San Juan" en la zona del litoral.
-  Wikipedia. (2015). Aguas Residuales: Estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación (FAO).
-  Beato, Otilio. (2002). "Aguas Residuales. Caracterización. Sistema de Tratamiento". Curso integral de inspección estatal.
-  Gómez Apac, Hugo Ramírez. Matute Mejía, Genaro Lino. Ortiz Jahn, César Paul. Borrantes Cáceres, Roxana María. Fiscalización Ambiental en aguas Residuales. (OEFA): Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental.
-  METCALF-EDDY. Tratamiento y depuración de aguas residuales. Ed. Labor, S.A. Barcelona.
-  METCALF-EDDY; Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.
-  METCALF-EDDY; Capítulo IX; "Introducción al Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales"
-  Allende Abreu, Ignacio V. Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento para Agua Residuales.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

-  Rivas Mijares, G. (1978). Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed. Ediciones Vega. Caracas.
-  Romero Rojas, Jairo A. (1994). Lagunas de estabilización de aguas residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
-  Fair, Geyer y Okún. Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales.
-  Horrach Torrens, Juan Mateo. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales. Emisarios Submarinos.
-  BLOGPLASTICS; Blog: www.blogplastics.com: Emisarios Submarinos.
-  SALAS J, H. (1994). Emisarios Submarinos. Enfoque general, Conceptos Básicos de diseño y requerimiento de datos para América Latina y el Caribe. CEPIS.
-  MONDACA M, A Y PADILLA B, L. (1995). Caracterización microbiológica de los Efluentes de Aguas Servidas de los Emisarios Submarinos.
-  Tillan Días, Carlos y otros autores. (1998). Proyecto: Sistema de tratamiento. Playa Guardalavaca.
-  Romero López, Teresita de Jesús. Santiso Garbayo, Patricia. González Díaz, Orestes Arsenio. (2014). Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE. La Habana.
-  NC- 27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. La Habana.

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Bibliografía

6 Bibliografía.

-  Allende Abreu, Ignacio V. Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento para Agua Residuales.
-  Beato, Otilio. (2002). "Agua Residuales. Caracterización. Sistema de Tratamiento". Curso integral de inspección estatal.
-  Berro, T. (2005). "Medio Ambiente y Desarrollo", Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, Cuba.
-  BLOGPLASTICS; Blog: www.blogplastics.com: Emisarios Submarinos.
-  Documentos varios. (2019). Delegación Provincial de recursos hidráulicos. Holguín.
-  ESPIGARES GARCÍA, M y PÉREZ LÓPEZ, JA. (1985). Agua Residuales. Composición.
-  Fair, Geyer y Okún. Purificación de agua, tratamiento y remoción de agua residuales.
-  Gómez Apac, Hugo Ramírez. Matute Mejía, Genaro Lino. Ortiz Jahn, César Paul. Borrantes Cáceres, Roxana María. Fiscalización Ambiental en agua Residuales. (OEFA): Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental.
-  Guevara Vega, Antonio. (1996). et al. Propuesta Metodológica Evaluación de Lagunas de Estabilización, Lima-Perú: Ediciones CEPIS.
-  Gutiérrez Díaz, Joaquín B. García Fernández, Jorge Mario. (2015). Lagunas de Estabilización. La Habana.
-  Horrach Torrens, Juan Mateo. (2016). Tratamiento de Agua Residuales. Emisarios Submarinos.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

-  Landívar Pupo, Darlena. (2018). Trabajo de Diploma: Diagnóstico y Evaluación de la laguna de estabilización del reparto Abel Santamaría Micro III.
-  METCALF-EDDY. Capítulo IX; "Introducción al Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales"
-  METCALF-EDDY. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.
-  METCALF-EDDY. Tratamiento y depuración de aguas residuales. Ed. Labor, S.A. Barcelona.
-  MONDACA M, A Y PADILLA B, L. (1995). Caracterización microbiológica de los Efluentes de Aguas Servidas de los Emisarios Submarinos.
-  NC-27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. La Habana.
-  Notas de Clase. (2017- 2018). Asignatura; tratamiento de aguas residuales.
-  Pérez Hernández, Onell. (2003). Tesis de Maestría: Gestión de operación del acueducto # 2 "San Juan" en la zona del litoral.
-  Rivas Mijares, G. (1978). Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed. Ediciones Vega. Caracas.
-  Romero López, Teresita de Jesús. Santiso Garbayo, Patricia. González Díaz, Orestes Arsenio. (2014). Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE. La Habana.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.



Romero Rojas, Jairo A. (1994). Lagunas de estabilización de aguas residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.



SALAS J, H. (1994). Emisarios Submarinos. Enfoque general, Conceptos Básicos de diseño y requerimiento de datos para América Latina y el Caribe. CEPIS.



Sánchez Moreno, Hernando. (2000). Emisario Submarino: Solución a los problemas Ambientales.



Tillan Días, Carlos y otros autores. (1998). Proyecto: Sistema de tratamiento. Playa Guardalavaca.



Wikipedia. (2015). Aguas Residuales. Estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación (FAO).

**Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual
proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa.
Provincia Holguín.**

Anexos

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.

7 Anexos.

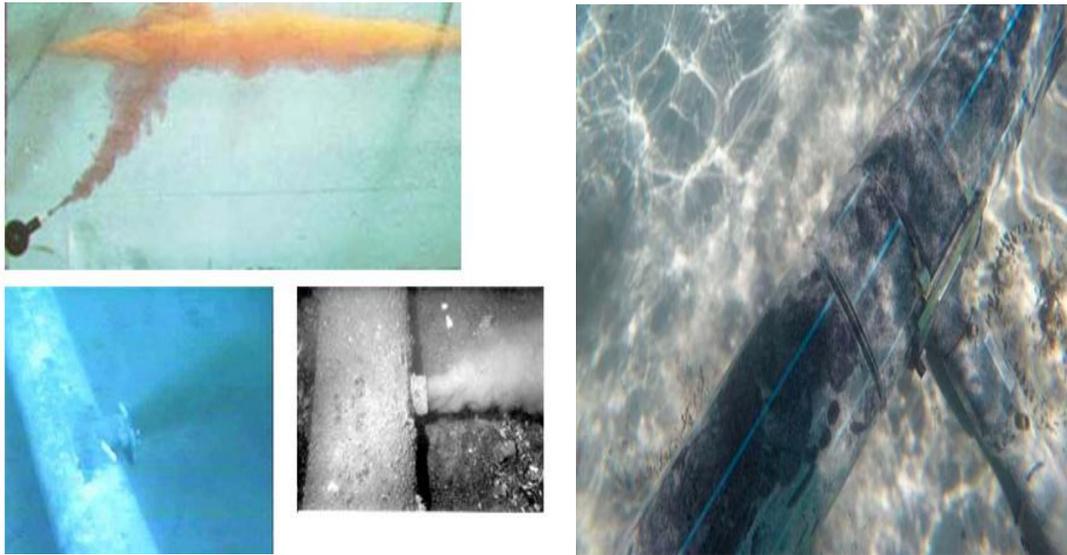


Anexo 1: Foto satelital donde se ubican los hoteles de Guardalavaca.



Anexo 2: Aguas Residuales.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.



Anexo 3: Emisario Submarino como solución al tratamiento de las aguas residuales.



Anexo 4: Registro de Alcantarillado Sanitario.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.



Anexo 5: Estación de Bombeo No.2.

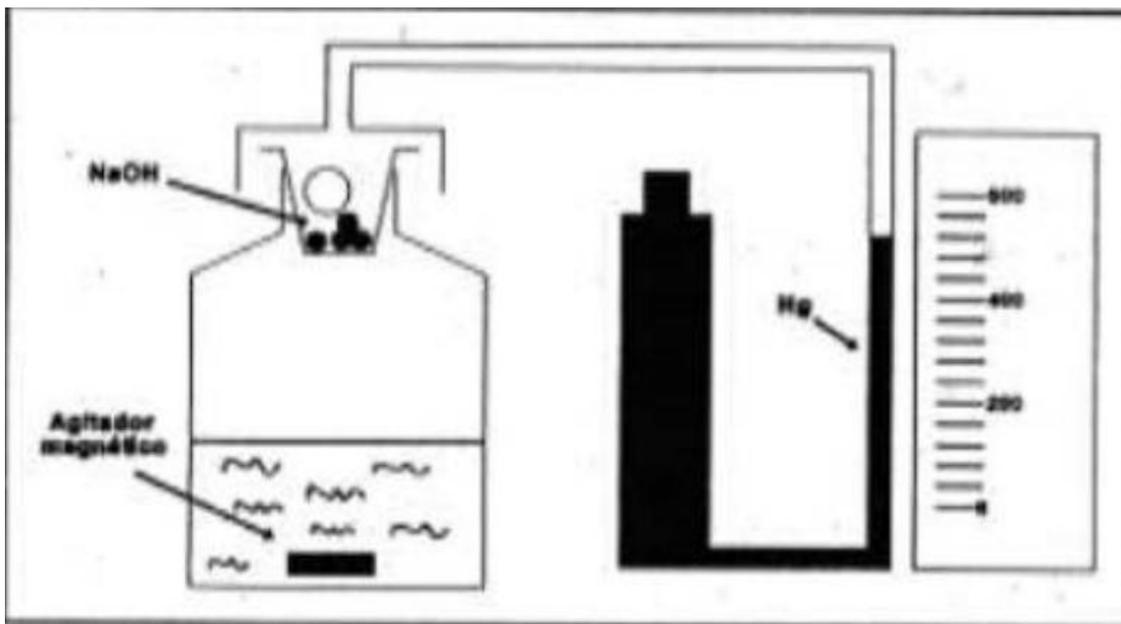


Anexo 6: Estación de Bombeo No.3.

Título: Descripción y Diagnóstico del sistema de tratamiento del agua residual proveniente de complejos hoteleros Guardalavaca y comunidad anexa. Provincia Holguín.



Anexo 7: Trampa de grasas, Hotel Delta Las Brisas.



Anexo 8: Esquema de aparato manométrico para determinación de DBO_5 .